



**HAL**  
open science

## Ein Redehandlungskalkül

Moritz Cordes, Friedrich Reinmuth

► **To cite this version:**

| Moritz Cordes, Friedrich Reinmuth. Ein Redehandlungskalkül. 2010. hal-00532643v1

**HAL Id: hal-00532643**

**<https://hal.science/hal-00532643v1>**

Preprint submitted on 4 Nov 2010 (v1), last revised 31 Jan 2011 (v2)

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



UNIVERSITÄT GREIFSWALD

# Ein Redehandlungskalkül

---

Ein pragmatisierter Kalkül des natürlichen  
Schließens nebst Metatheorie

Moritz Cordes und Friedrich Reinmuth

26.10.2010

**VERSION 1.0**

**Kommentare willkommen!**

IN DIESER ARBEIT WIRD AUFBAUEND AUF DEN ARBEITEN VON PETER HINST UND GEO SIEGWART EIN PRAGMATISIERTER KALKÜL DES NATÜRLICHEN SCHLIEßENS ENTWICKELT UND DIE ÄQUIVALENZ DER KONSEQUENZRELATION FÜR DEN KALKÜL MIT DER MODELLTHEORETISCHEN KONSEQUENZRELATION BEWIESEN.



Ein Redehandlungskalkül. Ein pragmatisierter Kalkül des natürlichen Schließens nebst Metatheorie. Version 1.0 von Moritz Cordes und Friedrich Reinmuth steht unter einer [Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs 3.0 Germany Lizenz](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/de/).

This work is licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs 3.0 Germany License. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/de/> or send a letter to Creative Commons, 171 Second Street, Suite 300, San Francisco, California, 94105, USA.

# Inhaltsverzeichnis

<b>VORBEMERKUNG</b> .....	<b>III</b>
<b>1 ZUM GRAMMATISCHEN RAHMEN</b> .....	<b>1</b>
1.1 INVENTAR UND SYNTAX .....	1
1.2 SUBSTITUTION .....	19
<b>2 VERFÜGBARKEIT VON AUSSAGEN</b> .....	<b>39</b>
2.1 ABSCHNITTE UND ABSCHNITTSFOLGEN.....	39
2.2 GESCHLOSSENE ABSCHNITTE.....	56
2.3 VERS, VANS, VER UND VAN .....	98
<b>3 DER REDEHANDLUNGSKALKÜL</b> .....	<b>115</b>
3.1 DER KALKÜL .....	115
3.2 ABLEITUNGSBEGRIFF UND DEDUKTIVE KONSEQUENZSCHAFT.....	123
3.3 VERS, VANS, VER UND VAN IN ABLEITUNGEN UND BEI EINZELNEN ÜBERGÄNGEN.....	137
<b>4 THEOREME ZUR DEDUKTIVEN KONSEQUENZSCHAFT</b> .....	<b>153</b>
4.1 VORBEREITUNGEN .....	153
4.2 EIGENSCHAFTEN DER DEDUKTIVEN KONSEQUENZSCHAFT .....	194
<b>5 MODELLTHEORIE</b> .....	<b>211</b>
5.1 ERFÜLLUNGSRELATION UND MODELLTHEORETISCHE KONSEQUENZ .....	211
5.2 ABGESCHLOSSENHEIT DER MODELLTHEORETISCHEN KONSEQUENZ.....	231
<b>6 KORREKTHEIT UND VOLLSTÄNDIGKEIT DES REDEHANDLUNGSKALKÜLS</b> .....	<b>241</b>
6.1 KORREKTHEIT DES REDEHANDLUNGSKALKÜLS .....	241
6.2 VOLLSTÄNDIGKEIT DES REDEHANDLUNGSKALKÜLS .....	247
<b>7 RÜCK- UND AUSBLICK</b> .....	<b>265</b>
<b>LITERATUR</b> .....	<b>267</b>
<b>DEFINITIONSVERZEICHNIS</b> .....	<b>269</b>
<b>THEOREMVERZEICHNIS</b> .....	<b>273</b>
<b>REGELVERZEICHNIS</b> .....	<b>281</b>



## Vorbemerkung

In dieser Arbeit wird aufbauend auf den Arbeiten von PETER HINST und GEO SIEGWART zur Pragmatisierung von Kalkülen des natürlichen Schließens<sup>1</sup> ein (klassischer) Redehandlungskalkül<sup>2</sup> für das natürliche Schließen entwickelt, für den gilt: (i) Jede Sequenz  $\mathfrak{S}$  aus Annahme- und Folgerungssätzen ist keine Ableitung einer Aussage aus einer Aussagenmenge oder es gibt genau eine Aussage  $\Gamma$  und genau eine Aussagenmenge  $X$ , so dass  $\mathfrak{S}$  eine Ableitung von  $\Gamma$  aus  $X$  ist, wobei dies für jede Satzsequenz ohne Rückgriff auf metasprachliche Kommentarmittel feststellbar ist.<sup>3</sup> (ii) Die klassische modelltheoretische Konsequenzrelation für die erste Stufe ist äquivalent zu der Konsequenzrelation für den Kalkül.

Bei der Entwicklung des Kalküls wird der von PETER HINST und GEO SIEGWART entwickelte grammatische Rahmen pragmatisierter Sprachen erster Stufe vorausgesetzt und um einige zusätzliche Begrifflichkeiten ergänzt (1). Sodann wird die Rede von der Verfügbarkeit von Aussagen etabliert: Im Gegensatz zu den von HINST und SIEGWART entwickelten Kalkülen wird bei der Formulierung der Redehandlungsregeln für diesen Kalkül nicht auf eine Abhängigkeitsrelation zwischen Aussagenmengen und Aussagen zurückgegriffen, sondern auf eine Verfügbarkeitsrelation zwischen Aussagen, Satzsequenzen und Stellen (natürlichen Zahlen im Definitionsbereich von Sequenzen). Dabei ist die Gestaltung der Verfügbarkeitsrede von der etwa im KALISH-MONTAGUE-MAR-Kalkül umgesetzten Idee inspiriert, dass – mit Ausnahme der Konklusion – die Aussagen in einem Unterbeweis nach Schließung dieses Unterbeweises nicht mehr verfügbar sein sollen.<sup>4</sup> Allerdings werden hier nur Unterbeweise, die auf Subjunktoreinführung (SE), Negator-

---

<sup>1</sup> Siehe HINST, P.: *Pragmatische Regeln, Logischer Grundkurs* und SIEGWART, G.: *Vorfragen, Denkwerkzeuge*.

<sup>2</sup> Den Ausdruck 'Redehandlungskalkül' zur Bezeichnung pragmatisierter Kalküle des natürlichen Schließens übernehmen wir von SEBASTIAN PAASCH.

<sup>3</sup> Dabei regulieren wir das Prädikat ' $\Delta$  ist eine Ableitung von  $\Gamma$  aus  $X$ ' so, dass die an dritter Stelle genannte Aussagenmenge die Menge der in der an erster Stelle genannten Satzsequenz tatsächlich auftretenden und nicht eliminierten Annahmen ist. Reguliert man das Prädikat, wie auch üblich, so, dass die an dritter Stelle genannte Aussagenmenge eine Obermenge der Menge der in der Satzsequenz tatsächlich auftretenden und nicht eliminierten Annahmen ist, dann gewährleistet der Kalkül dementsprechend, dass jede Sequenz  $\mathfrak{S}$  aus Annahme- und Folgerungssätzen entweder keine Ableitung einer Aussage aus einer Aussagenmenge ist oder aber dass es eine Aussage  $\Gamma$  und Aussagenmenge  $X$  gibt, so dass für jede Aussage  $\Delta$  und Aussagenmenge  $Y$  gilt:  $\mathfrak{S}$  ist eine Ableitung von  $\Delta$  aus  $Y$  gdw  $\Delta = \Gamma$  und  $X \subseteq Y$ .

<sup>4</sup> Siehe KALISH, D.; MONTAGUE, R.; MAR, G.: *Logic*. Siehe auch LINK, G.: *Collegium Logicum*, S. 299–363.

einführung (NE) oder Partikularquantorbeseitigung (PB) abzielen, so behandelt und der Kalkül wird so etabliert, dass auf den Einsatz graphischer Mittel oder metasprachlicher Kommentare verzichtet werden kann: Welche Aussagen in einer Sequenz verfügbar sind, lässt sich für jede Sequenz ohne Rückgriff auf irgendeine Art von Kommentar eindeutig feststellen (2).

Sodann wird der Redehandlungskalkül etabliert. Dieser enthält wie für pragmatisierte Kalküle des natürlichen Schließens üblich neben einer Annahmeregeln, die das Annehmen beliebiger Aussagen erlaubt, für jeden logischen Operator zwei Regeln, von denen jeweils die eine seine ›Einführung‹ und die andere seine ›Beseitigung‹ reguliert. Abgesehen von der Regel der Identitätseinführung (IE), die die prämissenlose Folgerung von Selbstidentitätsaussagen erlaubt, verlangen die Einführungs- und Beseitigungsregeln immer, dass bereits entsprechende Prämissen gewonnen wurden, d.h. verfügbar sind. So erlaubt etwa die Regel der Subjunktorbeseitigung (SB), dass man  $\Gamma$  folgern darf, wenn man  $\Delta$  und  $\ulcorner \Delta \rightarrow \Gamma \urcorner$  bereits gewonnen hat, d.h. wenn  $\Delta$  und  $\ulcorner \Delta \rightarrow \Gamma \urcorner$  verfügbar sind. Gewonnen bzw. verfügbar gemacht werden Aussagen dabei, indem sie gefolgert oder angenommen werden. Sodann gewinnt man eine Aussage  $\Gamma$  im Ausgang von einer Annahme, wenn diese Annahme die letzte vor bzw. bei der Gewinnung von  $\Gamma$  gemachte Annahme ist, die noch verfügbar ist.

Drei der Regeln, nämlich SE, NE und PB erlauben es ihrerseits, sich von gemachten Annahmen auch wieder zu befreien: Hat man im Ausgang von der Annahme einer Aussage  $\Delta$  eine Aussage  $\Gamma$  gewonnen, dann darf man  $\ulcorner \Delta \rightarrow \Gamma \urcorner$  folgern und sich so von der gemachten Annahme von  $\Delta$  befreien (SE); hat man im Ausgang von der Annahme einer Aussage  $\Delta$  Aussagen  $\Gamma$  und  $\ulcorner \neg \Gamma \urcorner$  gewonnen, dann darf man  $\ulcorner \neg \Delta \urcorner$  folgern und sich so von der gemachten Annahme von  $\Delta$  befreien (NE), ist eine Partikularquantifikation  $\ulcorner \forall \xi \Delta \urcorner$  verfügbar und hat man im Ausgang von der repräsentativen Ersatzannahme  $[\beta, \xi, \Delta]$  eine Aussage  $\Gamma$  gewonnen, dann darf man  $\Gamma$  folgern und sich so von der gemachten Ersatzannahme befreien (PB). Die Befreiung von der jeweils gemachten Eingangsannahme wird dabei dadurch erreicht, dass mit der Anwendung von SE, NE und PB jeweils der gesamte Unterbeweis von der entsprechenden Annahme an geschlossen wird. Dies hat dann zum einen zur Folge, dass die jeweiligen Eingangsannahmen nicht mehr verfügbar sind, aber es macht auch die im Zuge des Unterbeweises gemachten Zwischenfolgerun-

gen als Prämissen unverfügbar – diese dienten ja nur dazu, die entsprechende Regelanwendung vorzubereiten, und sind unter der jeweiligen Annahme gewonnen. Ist die Annahme nicht mehr verfügbar, dann sollen es dementsprechend auch keine Aussagen sein, die nur unter dieser Annahme zu gewinnen waren. Man vergegenwärtige sich dies etwa an dem zur Vorbereitung von NE zu gewinnenden Paar  $\Gamma$  und  $\ulcorner \neg \Gamma \urcorner$ .

Im Anschluss an die Etablierung des Kalküls wird dann ein Ableitungs- und Konsequenzbegriff für den Kalkül etabliert. Dabei ist dann eine Satzsequenz  $\mathfrak{S}$  genau dann eine Ableitung einer Aussage  $\Gamma$  aus einer Aussagenmenge  $X$ , wenn sich  $\mathfrak{S}$  gemäß den Regeln des Kalküls äußern lässt,  $\Gamma$  die Aussage des letzten Gliedes von  $\mathfrak{S}$  und  $X$  die Menge der in  $\mathfrak{S}$  verfügbaren Annahmen ist. Sodann wird  $\Gamma$  genau dann deduktive Konsequenz aus  $X$  sein, wenn es eine Ableitung von  $\Gamma$  aus einer Aussagenmenge  $Y \subseteq X$  gibt (3).

Um den Beweis der Adäquatheit des so etablierten deduktiven Konsequenzbegriffs vorzubereiten, sind sodann u.a. Reflexivität, Abgeschlossenheit unter Einführung und Beseitigung und Transitivität der deduktiven Konsequenzschaft zu beweisen (4). Im Anschluss wird dann eine zum grammatischen Rahmen passende Fassung des üblichen modelltheoretischen Konsequenzbegriffs etabliert (5). Sodann wird die Korrektheit und die Vollständigkeit des deduktiven gegenüber diesem modelltheoretischen Konsequenzbegriff gezeigt (6). Den Abschluss bilden einige Bemerkungen zum möglichen Ausbau des hier verfolgten Ansatzes (7).

Als Rahmen für die Entwicklung des Kalküls setzen wir eine gängige Mengen- oder Klassen-Mengen-Lehre, wie etwa ZF oder NBG(U), voraus, wobei wir zur Bezeichnung von Mengen auch die Klassenschreibweise verwenden. Da wir keine Entscheidung für eine reine Mengenlehre treffen wollten, müssen wir an einigen Stellen Forderungen – wie etwa  $X \in \{X\}$  – erheben, die im Rahmen einer reinen Mengenlehre trivial, im Rahmen einer Klassen-Mengen-Lehre jedoch informativ sind. Die Entwicklung und metatheoretische Analyse des Redehandlungskalküls greift stark auf übliche mengentheoretische und (meta)logische Instrumente und Beweistechniken zurück, wie sie in den im Literaturverzeichnis aufgeführten Werken präsentiert werden, ohne dass dies immer einzeln ausgewiesen wäre.

Ein Benutzerhinweis: Die Einträge im Inhaltsverzeichnis sind mit den entsprechenden Kapiteln verknüpft und als Lesezeichen vorhanden. Ferner verlinken alle Querverweise

sowie alle Nennungen von Postulaten, Definitionen, Theoremen und Regeln, auf die entsprechende Stelle. Man kann daher durch Klicken auf Verweise und mit den Funktionen "Vorherige Ansicht" (Alt+Nach-Links-Taste) und "Nächste Ansicht" (Alt+Nach-Rechts-Taste) zwischen den einschlägigen Verweisstellen und dem gerade gelesenen Abschnitt wechseln.

Wir danken SEBASTIAN PAASCH dafür, uns auf Probleme, die die Entwicklung unseres Kalküls angestoßen und angetrieben haben, aufmerksam gemacht zu haben, für wertvolle Hinweise und für seine konstruktive Kritik an einer früheren Fassung dieses Textes. Sodann danken wir GEO SIEGWART für wertvolle Hinweise, Duldung und ein offenes Ohr.





# 1 Zum grammatischen Rahmen

Der Redehandlungskalkül und seine Metatheorie werden für abzählbare und pragmatisierte Sprachen erster Stufe entwickelt.<sup>5</sup> Um die folgende Darstellung zu vereinfachen, wird jedoch der Sprachbezug unterdrückt bzw. eine beliebig, aber fest gewählte Sprache dieser Art mit abzählbar unendlichem Inventar, die Sprache  $L$ , vorausgesetzt. Deren Inventar und Syntax sind zunächst zu spezifizieren (1.1). Sodann sind Substitutionsbegrifflichkeiten für die weitere Arbeit zu entwickeln und einige Substitutionstheoreme zu beweisen (1.2).

## 1.1 Inventar und Syntax

$L$  soll als beliebig, aber fest gewählter Vertreter für Sprachen des gewünschten Typs mit abzählbar unendlichem nicht-logischen Inventar stehen, wobei der Kalkül natürlich auch für Sprachen mit endlich vielen deskriptiven Konstanten einschlägig ist. Da  $L$  nicht eine konkret konstruierte Sprache ist, wird nun einfach gefordert, dass ein entsprechendes Inventar existiert und eine passende Verkettungsoperation über der Menge der Grundaussdrücke existiert. Welches Inventar im konkreten Fall gewählt bzw. wie es konstruiert wird (und wie es mengentheoretisch etwa durch Rückgriff auf  $\mathbb{N}$  in NBG oder ZF modelliert bzw. unter Rückgriff auf axiomatisch charakterisierte (Mengen von) Urelemente(n) in NBGU beschrieben wird) und wie die Verkettungsoperation ausgestaltet wird (etwa einfach durch Rückgriff auf endliche Folgen oder durch eine eigens entwickelte Konkatenaionsoperation) wird offen gelassen. Mit dem ersten Postulat wird nun die Existenz passender Mengen von Grundaussdrücken für das Inventar von  $L$  gefordert:

**Postulat 1-1.** *Das Inventar von  $L$  (KONST, PAR, VAR, FUNK, PRÄ, JUNK, QUANT, PERF, HZ)*

Folgende Mengen sind wohldefiniert, paarweise disjunkt und haben  $\emptyset$  nicht zum Element:

- (i) die abzählbar unendliche Menge  $\text{KONST} = \{c_i \mid i \in \mathbb{N}\}$ , wobei für alle  $i, j \in \mathbb{N}$  mit  $i \neq j$ :  $c_i \neq c_j$  und  $c_i \in \{c_i\}$ , (*die Menge der Individuenkonstanten; Metavariablen:  $\alpha, \alpha', \alpha^*, \dots$* ),
- (ii) die abzählbar unendliche Menge  $\text{PAR} = \{x_i \mid i \in \mathbb{N}\}$ , wobei für alle  $i, j \in \mathbb{N}$  mit  $i \neq j$ :  $x_i \neq x_j$  und  $x_i \in \{x_i\}$ , (*die Menge der Parameter; Metavariablen:  $\beta, \beta', \beta^*, \dots$* ),
- (iii) die abzählbar unendliche Menge  $\text{VAR} = \{x_i \mid i \in \mathbb{N}\}$ , wobei für alle  $i, j \in \mathbb{N}$  mit  $i \neq j$ :

---

<sup>5</sup> Siehe dazu die in Fußnote 1 angegebene Literatur.

- $x_i \neq x_j$  und  $x_i \in \{x_i\}$ , (die Menge der Variablen; Metavariablen:  $\xi, \zeta, \omega, \xi', \zeta', \omega', \xi^*, \zeta^*, \omega^*, \dots$ ),
- (iv) die abzählbar unendliche Menge  $\text{FUNK} = \{f_{i,j} \mid i \in \mathbb{N} \setminus \{0\} \text{ und } j \in \mathbb{N}\}$ , wobei für alle  $i, j, k, l \in \mathbb{N}$  mit  $(i, j) \neq (k, l)$ :  $f_{i,j} \neq f_{k,l}$  und  $f_{i,j} \in \{f_{i,j}\}$ , (die Menge der Funktoren; Metavariablen:  $\varphi, \varphi', \varphi^*, \dots$ ),
- (v) die abzählbar unendliche Menge  $\text{PRÄ} = \{=\} \cup \{P_{i,j} \mid i \in \mathbb{N} \setminus \{0\} \text{ und } j \in \mathbb{N}\}$ , wobei  $\{=\} \not\subseteq \{P_{i,j} \mid i \in \mathbb{N} \setminus \{0\} \text{ und } j \in \mathbb{N}\}$  und für alle  $i, j, k, l \in \mathbb{N} \setminus \{0\}$  mit  $(i, j) \neq (k, l)$ :  $P_{i,j} \neq P_{k,l}$  und  $P_{i,j} \in \{P_{i,j}\}$ , (die Menge der Prädikatoren; Metavariablen:  $\Phi, \Phi', \Phi^*, \dots$ ),
- (vi) die Fünfermenge  $\text{JUNK} = \{\neg, \rightarrow, \leftrightarrow, \wedge, \vee\}$  (die Menge der Junktoren; Metavariablen:  $\psi, \psi', \psi^*, \dots$ ),
- (vii) die Zweiermenge  $\text{QUANT} = \{\wedge, \vee\}$  (die Menge der Quantifikatoren; Metavariablen:  $\Pi, \Pi', \Pi^*, \dots$ ),
- (viii) die Zweiermenge  $\text{PERF} = \{\text{Sei}, \text{Also}\}$  (die Menge der Performatoren; Metavariablen:  $\Xi, \Xi', \Xi^*, \dots$ ) und
- (ix) die Dreiermenge  $\text{HZ} = \{(\} \cup \{)\} \cup \{,\}$  (die Menge der Hilfszeichen).

Die metasprachlichen Ausdrücke, durch die die Elemente der Mengen  $\text{PERF}$  und  $\text{HZ}$  bezeichnet werden, werden im Folgenden außerdem als metasprachliche Performatoren und Hilfszeichen *verwendet*, gleiches gilt für den Identitätsprädikator. Um Konfusionen zu vermeiden und die intuitive Lesbarkeit zu erhöhen, werden daher im Folgenden Quasianführungszeichen (' $\ulcorner$ ', ' $\urcorner$ ') verwendet, wenn objektsprachliche Ausdrücke bezeichnet werden sollen. Als allgemeine Metavariablen für objektsprachliche Ausdrücke dienen:  $\mu, \tau, \mu', \tau', \mu^*, \tau^*, \dots$ . Das Inventar von  $L$  soll nun einfach die Menge aus den in Postulat 1-1 geforderten Mengen sein:

**Definition 1-1.** *Das Inventar von  $L$  (INV)*

$$\text{INV} = \{\text{KONST}, \text{PAR}, \text{VAR}, \text{FUNK}, \text{PRÄ}, \text{JUNK}, \text{QUANT}, \text{PERF}, \text{HZ}\}$$

Die Syntax von  $L$  enthält die Kategorien der Terme, Quantoren, Formeln und Sätze gemäß der folgenden Definitionen. Zunächst wird die Menge der Grundausrücke etabliert:

**Definition 1-2.** *Grundausrücke (GAUS)*

$$\text{GAUS} = \cup \text{INV}$$

Nun wird die Existenz einer passenden Verkettungsoperation über der Menge der Grundausrücke postuliert, wobei – wie bereits bemerkt – offen gelassen wird, wie diese im einzelnen auszugestalten ist:

**Postulat 1-2.** *Die Ausdrucksverkettungsoperation*<sup>6</sup>

Die durch Juxtaposition angezeigte Ausdrucksverkettungsoperation ist wie folgt wohldefiniert:

- (i) Für alle  $k \in \mathbb{N} \setminus \{0\}$ : Wenn  $\{\mu_0, \dots, \mu_{k-1}\} \subseteq \text{GAUS}$ , dann ist  $\lceil \mu_0 \dots \mu_{k-1} \rceil$  wohldefiniert und für alle  $j \in \mathbb{N} \setminus \{0\}$ : Wenn  $\{\mu'_0, \dots, \mu'_{j-1}\} \subseteq \text{GAUS}$ , dann:  $\lceil \mu_0 \dots \mu_{k-1} \rceil = \lceil \mu'_0 \dots \mu'_{j-1} \rceil$  gdw  $j = k$  und für alle  $i < k$  gilt:  $\mu_i = \mu'_i$ ,
- (ii) Wenn  $\mu \in \text{GAUS}$ , dann gibt es kein  $k \in \mathbb{N} \setminus \{0, 1\}$ , so dass  $\{\mu_0, \dots, \mu_{k-1}\} \subseteq \text{GAUS}$  und  $\mu = \lceil \mu_0 \dots \mu_{k-1} \rceil$ ,
- (iii) Für alle  $k \in \mathbb{N} \setminus \{0\}$ : Wenn  $\{\mu_0, \dots, \mu_{k-1}\} \subseteq \text{GAUS}$ , dann ist  $\lceil \mu_0 \dots \mu_{k-1} \rceil \neq \emptyset$  und  $\lceil \mu_0 \dots \mu_{k-1} \rceil \in \{\lceil \mu_0 \dots \mu_{k-1} \rceil\}$  und
- (iv) Für alle  $k \in \mathbb{N} \setminus \{0\}$ : Wenn es ein  $i < k$  gibt, so dass  $a_i \notin \text{GAUS}$ , dann ist  $\lceil a_0 \dots a_{k-1} \rceil = \emptyset$ .

Mit der Darstellung durch Juxtaposition wird bereits die Assoziativität der Ausdrucksverkettungsoperation vorausgesetzt. Diese Eigenschaft kann daher als implizit postuliert betrachtet werden. Als Obermenge zu allen im weiteren Verlauf zu definierenden Kategorien wird sodann die Menge aller Ausdrücke und im Anschluss die Längenfunktion definiert:

**Definition 1-3.** *Ausdrücke (AUS; Metavariablen:  $\mu, \tau, \mu', \tau', \mu^*, \tau^*, \dots$ )*

$$\text{AUS} = \{\lceil \mu_0 \dots \mu_{k-1} \rceil \mid k \in \mathbb{N} \setminus \{0\} \text{ und } \{\mu_0, \dots, \mu_{k-1}\} \subseteq \text{GAUS}\}$$

**Definition 1-4.** *Ausdruckslänge (AUSL)*

$$\text{AUSL} = \{(\mu, k) \mid \mu \in \text{AUS}, k \in \mathbb{N} \setminus \{0\} \text{ und es gibt } \{\mu_0, \dots, \mu_{k-1}\} \subseteq \text{GAUS} \text{ mit } \mu = \lceil \mu_0 \dots \mu_{k-1} \rceil\}$$

**Theorem 1-1.** *AUSL ist eine Funktion auf AUS*

- (i)  $\text{Dom}(\text{AUSL}) = \text{AUS}$  und
- (ii) Für alle  $\mu \in \text{AUS}, k, l \in \mathbb{N}$ : Wenn  $(\mu, k), (\mu, l) \in \text{AUSL}$ , dann  $k = l$ .

*Beweis:* (i) ergibt sich direkt aus Definition 1-3 und Definition 1-4. Zu (ii): Seien  $\mu \in \text{AUS}, k, l \in \mathbb{N}$  mit  $(\mu, k), (\mu, l) \in \text{AUSL}$ . Dann gibt es  $\{\mu_0, \dots, \mu_{k-1}\} \subseteq \text{GAUS}$  mit  $\mu = \lceil \mu_0 \dots \mu_{k-1} \rceil$  und es gibt  $\{\mu'_0, \dots, \mu'_{l-1}\} \subseteq \text{GAUS}$  mit  $\mu = \lceil \mu'_0 \dots \mu'_{l-1} \rceil$ . Nach Postulat 1-2-(i) ist dann  $k = l$ .  $\square$

---

<sup>6</sup> Hier und im Folgenden setzen wir voraus, dass gilt: Wenn  $k \in \mathbb{N} \setminus \{0\}$  und  $\{a_0, \dots, a_{k-1}\} \subseteq X$ , wobei  $X \in \{X\}$ , dann gilt für alle  $i < k$ :  $a_i \in \{a_0, \dots, a_{k-1}\}$ .

Nun können bereits alle Operatoren nach ihrer Stelligkeit bestimmt werden. Für die unter Definition 1-5-(vi) beschriebenen Operatoren wird in Definition 1-8 eine eigene Kategorie definiert.

**Definition 1-5. Stelligkeit**

$\mu$  ist  $i$ -stellig

gdw

- (i)  $\mu \in \text{FUNK}$  und es gibt  $j \in \mathbb{N}$ , so dass  $\mu = f_{i,j}$  oder
- (ii)  $\mu \in \text{PRÄ}$  und es gibt  $j \in \mathbb{N}$ , so dass  $\mu = P_{i,j}$  oder
- (iii)  $\mu = \ulcorner \text{=} \urcorner$  und  $i = 2$  oder
- (iv)  $\mu = \ulcorner \neg \urcorner$  und  $i = 1$  oder
- (v)  $\mu \in \text{JUNK} \setminus \{ \ulcorner \neg \urcorner \}$  und  $i = 2$  oder
- (vi) es gibt  $\Pi \in \text{QUANT}$  und  $\xi \in \text{VAR}$  und  $\mu = \ulcorner \Pi \xi \urcorner$  und  $i = 1$  oder
- (vii)  $\mu \in \text{PERF}$  und  $i = 1$ .

Die ersten beiden Theoreme dienen der Vorbereitung der Theoreme zur eindeutigen Lesbarkeit (Theorem 1-6 und Theorem 1-7):

**Theorem 1-2. Eindeutige Anfangs- und Endausdrücke**

Wenn  $\mu, \mu', \mu^*, \mu^+ \in \text{AUS}$ , dann:

- (i) Wenn  $\ulcorner \mu \mu^* \urcorner = \ulcorner \mu \mu^+ \urcorner$ , dann:  $\mu^* = \mu^+$ ,
- (ii) Wenn  $\ulcorner \mu^* \mu \urcorner = \ulcorner \mu^+ \mu \urcorner$ , dann:  $\mu^* = \mu^+$  und
- (iii) Wenn  $\mu, \mu' \in \text{GAUS}$  und  $\ulcorner \mu \mu^* \urcorner = \ulcorner \mu' \mu^+ \urcorner$ , dann  $\mu = \mu'$ .

*Beweis:* Seien  $\mu, \mu', \mu^*, \mu^+ \in \text{AUS}$ . Dann gibt es  $i \in \mathbb{N} \setminus \{0\}$ , so dass  $\{\mu_0, \dots, \mu_{i-1}\} \subseteq \text{GAUS}$  und  $\mu = \ulcorner \mu_0 \dots \mu_{i-1} \urcorner$  und  $j \in \mathbb{N} \setminus \{0\}$ , so dass  $\{\mu^*_0, \dots, \mu^*_{j-1}\} \subseteq \text{GAUS}$  und  $\mu^* = \ulcorner \mu^*_0 \dots \mu^*_{j-1} \urcorner$  und  $k \in \mathbb{N} \setminus \{0\}$ , so dass  $\{\mu^+_0, \dots, \mu^+_{k-1}\} \subseteq \text{GAUS}$  und  $\mu^+ = \ulcorner \mu^+_0 \dots \mu^+_{k-1} \urcorner$ . Sei nun für (i)  $\ulcorner \mu \mu^* \urcorner = \ulcorner \mu \mu^+ \urcorner$ . Dann ist  $\ulcorner \mu_0, \dots, \mu_{i-1} \mu^*_0 \dots \mu^*_{j-1} \urcorner = \ulcorner \mu_0, \dots, \mu_{i-1} \mu^+_0 \dots \mu^+_{k-1} \urcorner$ . Dann gilt mit Postulat 1-2-(i):  $i+j = i+k$  und somit  $j = k$  und für alle  $l < j$  gilt:  $\mu^*_l = \mu^+_l$  und somit gilt wiederum nach Postulat 1-2-(i):  $\mu^* = \ulcorner \mu^*_0 \dots \mu^*_{j-1} \urcorner = \ulcorner \mu^+_0 \dots \mu^+_{j-1} \urcorner = \mu^+$ . (ii) ergibt sich analog. Seien nun für (iii)  $\mu, \mu' \in \text{GAUS}$  und  $\ulcorner \mu \mu^* \urcorner = \ulcorner \mu' \mu^+ \urcorner$ . Dann ist  $\ulcorner \mu \mu^*_0 \dots \mu^*_{j-1} \urcorner = \ulcorner \mu' \mu^+_0 \dots \mu^+_{k-1} \urcorner$ . Dann gilt mit Postulat 1-2-(i):  $j = k$  und für alle  $l < j$  gilt:  $\mu^*_l = \mu^+_l$  sowie  $\mu = \mu'$ .  $\square$

**Theorem 1-3.** *Kein Ausdruck enthält sich selbst echt*

Wenn  $\mu', \mu^*, \mu^+ \in \text{AUS}$ , dann:

- (i)  $\mu' \neq \ulcorner \mu' \mu^{*\urcorner}$ ,
- (ii)  $\mu' \neq \ulcorner \mu^* \mu' \mu^{+\urcorner}$  und
- (iii)  $\mu' \neq \ulcorner \mu^* \mu^{\urcorner}$ .

*Beweis:* Seien  $\mu', \mu^*, \mu^+ \in \text{AUS}$ . Dann gibt es  $i \in \mathbb{N} \setminus \{0\}$ , so dass  $\{\mu'_0, \dots, \mu'_{i-1}\} \subseteq \text{AUS}$  und  $\mu' = \ulcorner \mu'_0 \dots \mu'_{i-1} \urcorner$  und  $j \in \mathbb{N} \setminus \{0\}$ , so dass  $\{\mu^*_0, \dots, \mu^*_{j-1}\} \subseteq \text{AUS}$  und  $\mu^* = \ulcorner \mu^*_0 \dots \mu^*_{j-1} \urcorner$  und  $k \in \mathbb{N} \setminus \{0\}$ , so dass  $\{\mu^+_0, \dots, \mu^+_{k-1}\} \subseteq \text{AUS}$  und  $\mu^+ = \ulcorner \mu^+_0 \dots \mu^+_{k-1} \urcorner$ . Wäre nun  $\mu' = \ulcorner \mu' \mu^{*\urcorner}$  oder  $\mu' = \ulcorner \mu^* \mu' \mu^{+\urcorner}$  oder  $\mu' = \ulcorner \mu^* \mu^{\urcorner}$ . Dann wäre  $\ulcorner \mu'_0 \dots \mu'_{i-1} \urcorner = \ulcorner \mu'_0 \dots \mu'_{i-1} \mu^*_0 \dots \mu^*_{j-1} \urcorner$  oder  $\ulcorner \mu'_0 \dots \mu'_{i-1} \urcorner = \ulcorner \mu^*_0 \dots \mu^*_{j-1} \mu'_0 \dots \mu'_{i-1} \mu^+_0 \dots \mu^+_{k-1} \urcorner$  oder  $\ulcorner \mu'_0 \dots \mu'_{i-1} \urcorner = \ulcorner \mu^*_0, \dots, \mu^*_{i-1} \mu'_0 \dots \mu'_{j-1} \urcorner$ . Dann wäre mit Postulat 1-2-(i):  $i = i+j$  oder  $i = j+i+k$  oder  $i = j+i$  und andererseits mit  $i, j, k \in \mathbb{N} \setminus \{0\}$ :  $i \neq i+j$  und  $i \neq j+i+k$  und  $i \neq j+i$ . Widerspruch! Also  $\mu' \neq \ulcorner \mu' \mu^{*\urcorner}$  und  $\mu' \neq \ulcorner \mu^* \mu' \mu^{+\urcorner}$  und  $\mu' \neq \ulcorner \mu^* \mu^{\urcorner}$ .  $\square$

**Definition 1-6.** *Die Menge der Terme (TERM; Metavariablen:  $\theta, \theta', \theta^*, \dots$ )*

$\text{TERM} = \bigcap \{R \mid R \subseteq \text{AUS},$

- (i)  $\text{KONST} \cup \text{PAR} \cup \text{VAR} \subseteq R$  und
- (ii) Wenn  $\{\theta_0, \dots, \theta_{n-1}\} \subseteq R$  und  $\varphi \in \text{FUNK}$   $n$ -stellig, dann  $\ulcorner \varphi(\theta_0, \dots, \theta_{n-1}) \urcorner \in R$

*Hinweis:* Leerzeichen dienen hier und im Folgenden nur der besseren Lesbarkeit, sie sind kein Teil der Ausdrücke. So steht etwa  $\ulcorner f_{3,1}(c_0, c_0, c_1) \urcorner$  für  $\ulcorner f_{3,1}(c_0, c_0, c_1) \urcorner$

**Definition 1-7.** *Atomare und funktorale Terme (ATERM und FTERM)*

- (i)  $\text{ATERM} = \text{KONST} \cup \text{PAR} \cup \text{VAR}$
- (ii)  $\text{FTERM} = \text{TERM} \setminus \text{ATERM}$

**Definition 1-8.** *Die Menge der Quantoren (QUANTOR)*

$\text{QUANTOR} = \{ \ulcorner \Pi \xi \urcorner \mid \Pi \in \text{QUANT} \text{ und } \xi \in \text{VAR} \}$

**Definition 1-9.** Die Menge der Formeln (FORM; Metavariablen: A, B,  $\Gamma$ ,  $\Delta$ , A', B',  $\Gamma'$ ,  $\Delta'$ , A\*, B\*,  $\Gamma^*$ ,  $\Delta^*$ , ...)

FORM =  $\bigcap \{R \mid R \subseteq \text{AUS}\}$

- (i) Wenn  $\{\theta_0, \dots, \theta_{n-1}\} \subseteq \text{TERM}$  und  $\Phi \in \text{PRÄ}$   $n$ -stellig, dann  $\lceil \Phi(\theta_0, \dots, \theta_{n-1}) \rceil \in R$ ,
- (ii) Wenn  $\Delta \in R$ , dann  $\lceil \neg \Delta \rceil \in R$ ,
- (iii) Wenn  $\Delta_0, \Delta_1 \in R$  und  $\psi \in \text{JUNK} \setminus \{\lceil \neg \rceil\}$ , dann  $\lceil (\Delta_0 \psi \Delta_1) \rceil \in R$  und
- (iv) Wenn  $\Delta \in R$  und  $\xi \in \text{VAR}$  und  $\Pi \in \text{QUANT}$ , dann  $\lceil \Pi \xi \Delta \rceil \in R$

**Definition 1-10.** Atomare, junktorale und quantorale Formeln (AFORM, JFORM, QFORM)

- (i) AFORM =  $\{\lceil \Phi(\theta_0, \dots, \theta_{n-1}) \rceil \mid \Phi \in \text{PRÄ}$   $n$ -stellig und  $\{\theta_0, \dots, \theta_{n-1}\} \subseteq \text{TERM}\}$ ,
- (ii) JFORM =  $\{\lceil \neg \Delta \rceil \mid \Delta \in \text{FORM}\} \cup \{\lceil (\Delta_0 \psi \Delta_1) \rceil \mid \Delta_0, \Delta_1 \in \text{FORM}$  und  $\psi \in \text{JUNK} \setminus \{\lceil \neg \rceil\}\}$ ,
- (iii) QFORM =  $\{\lceil \Pi \xi \Delta \rceil \mid \Delta \in \text{FORM}$  und  $\Pi \in \text{QUANT}$  und  $\xi \in \text{VAR}\}$

Das folgende Theorem führt direkt zur eindeutigen Lesbarkeit hin.

**Theorem 1-4.** Terme resp. Formeln haben keine Terme resp. Formeln als echte Anfangsausdrücke

- (i) Wenn  $\theta, \theta' \in \text{TERM}$  und  $\mu \in \text{AUS}$ , dann  $\theta' \neq \lceil \theta \mu \rceil$  und
- (ii) Wenn  $\Delta, \Delta' \in \text{FORM}$  und  $\mu \in \text{AUS}$ , dann  $\Delta' \neq \lceil \Delta \mu \rceil$ .

*Beweis:* Zu (i): Seien  $\theta, \theta' \in \text{TERM}$  und  $\mu \in \text{AUS}$ . Der Beweis wird mittels Induktion über  $\text{AUSL}(\theta')$  geführt. Gelte dazu die Behauptung für alle  $\theta \in \text{TERM}$  mit  $\text{AUSL}(\theta) < \text{AUSL}(\theta')$ . Für  $\text{AUSL}(\theta') = 1$ , also  $\theta' \in \text{ATERM}$  gilt die Behauptung trivial, weil es nach Postulat 1-2-(ii) kein  $\theta, \mu \in \text{AUS}$  gibt, so dass  $\theta' = \lceil \theta \mu \rceil$ . Sei nun  $1 < \text{AUSL}(\theta')$ . Dann gilt  $\theta' \notin \text{ATERM}$ , also  $\theta' \in \text{FTERM}$ . Angenommen  $\theta' = \lceil \theta \mu \rceil$ . Also gibt es  $n' \in \mathbb{N} \setminus \{0\}$  und  $\varphi' \in \text{FUNK}$ , wobei  $\varphi'$   $n'$ -stellig, und  $\{\theta'_0, \dots, \theta'_{n'-1}\} \subseteq \text{TERM}$ , so dass  $\theta' = \lceil \varphi'(\theta'_0, \dots, \theta'_{n'-1}) \rceil$ . Wäre  $\theta \in \text{ATERM}$ , dann wäre mit Postulat 1-2-(i)  $\text{AUSL}(\theta') = \text{AUSL}(\theta) = 1$ . Widerspruch! Also ist  $\theta \in \text{FTERM}$  und es gibt  $n \in \mathbb{N} \setminus \{0\}$  und  $\varphi \in \text{FUNK}$ , wobei  $\varphi$   $n$ -stellig, und  $\{\theta_0, \dots, \theta_{n-1}\} \subseteq \text{TERM}$ , so dass  $\theta = \lceil \varphi(\theta_0, \dots, \theta_{n-1}) \rceil$ . Also  $\lceil \varphi'(\theta'_0, \dots, \theta'_{n'-1}) \rceil = \lceil \varphi(\theta_0, \dots, \theta_{n-1}) \mu \rceil$ . Dann gilt mit Theorem 1-2-(iii)  $\varphi' = \varphi$  und damit nach Definition 1-5 und Postulat 1-1-(iv)  $n = n'$ . Also  $\lceil \varphi(\theta'_0, \dots, \theta'_{n-1}) \rceil = \lceil \varphi(\theta_0, \dots, \theta_{n-1}) \mu \rceil$ .

Sodann gilt mit  $\text{TERM} \subseteq \text{AUS}$ , dass es  $\{\mu^{\theta_0}_0, \dots, \mu^{\theta_0}_{\text{AUSL}(\theta_0)-1}\} \cup \dots \cup \{\mu^{\theta_{n-1}}_0, \dots, \mu^{\theta_{n-1}}_{\text{AUSL}(\theta_{n-1})-1}\} \subseteq \text{GAUS}$  und  $\{\mu^{\theta_0}_0, \dots, \mu^{\theta_0}_{\text{AUSL}(\theta_0)-1}\} \cup \dots \cup \{\mu^{\theta_{n-1}}_0, \dots, \mu^{\theta_{n-1}}_{\text{AUSL}(\theta_{n-1})-1}\} \subseteq$

GAUS gibt, so dass für alle  $i < n$ :  $\theta'_i = \ulcorner \mu^{\theta'_i}_0 \dots \mu^{\theta'_i}_{\text{AUSL}(\theta'_i)-1} \urcorner$  und  $\theta_i = \ulcorner \mu^{\theta_i}_0 \dots \mu^{\theta_i}_{\text{AUSL}(\theta_i)-1} \urcorner$ .

Dann ist

$$\ulcorner \varphi(\theta'_0, \dots, \theta'_{n-1}) \urcorner = \ulcorner \varphi(\mu^{\theta'_0}_0 \dots \mu^{\theta'_0}_{\text{AUSL}(\theta'_0)-1}, \dots, \mu^{\theta'_{n-1}}_0 \dots \mu^{\theta'_{n-1}}_{\text{AUSL}(\theta'_{n-1})-1}) \urcorner$$

und

$$\ulcorner \varphi(\theta_0, \dots, \theta_{n-1}) \urcorner = \ulcorner \varphi(\mu^{\theta_0}_0 \dots \mu^{\theta_0}_{\text{AUSL}(\theta_0)-1}, \dots, \mu^{\theta_{n-1}}_0 \dots \mu^{\theta_{n-1}}_{\text{AUSL}(\theta_{n-1})-1}) \urcorner$$

und damit:

$$\begin{aligned} & \ulcorner \varphi(\mu^{\theta'_0}_0 \dots \mu^{\theta'_0}_{\text{AUSL}(\theta'_0)-1}, \dots, \mu^{\theta'_{n-1}}_0 \dots \mu^{\theta'_{n-1}}_{\text{AUSL}(\theta'_{n-1})-1}) \urcorner \\ & = \\ & \ulcorner \varphi(\mu^{\theta_0}_0 \dots \mu^{\theta_0}_{\text{AUSL}(\theta_0)-1}, \dots, \mu^{\theta_{n-1}}_0 \dots \mu^{\theta_{n-1}}_{\text{AUSL}(\theta_{n-1})-1}) \urcorner \end{aligned}$$

und damit mit Theorem 1-2-(i)

$$\begin{aligned} & \ulcorner \mu^{\theta'_0}_0 \dots \mu^{\theta'_0}_{\text{AUSL}(\theta'_0)-1}, \dots, \mu^{\theta'_{n-1}}_0 \dots \mu^{\theta'_{n-1}}_{\text{AUSL}(\theta'_{n-1})-1} \urcorner \\ & = \\ & \ulcorner \mu^{\theta_0}_0 \dots \mu^{\theta_0}_{\text{AUSL}(\theta_0)-1}, \dots, \mu^{\theta_{n-1}}_0 \dots \mu^{\theta_{n-1}}_{\text{AUSL}(\theta_{n-1})-1} \urcorner \end{aligned}$$

Wenn nun  $\text{AUSL}(\theta'_i) = \text{AUSL}(\theta_i)$  für alle  $i < n$ , dann wäre mit Postulat 1-2-(i) und Theorem 1-2-(i)  $\ulcorner \urcorner = \ulcorner \mu \urcorner$ , während andererseits mit Postulat 1-2-(ii) gilt:  $\ulcorner \urcorner \neq \ulcorner \mu \urcorner$  Widerspruch! Also gibt es ein kleinstes  $i$  mit  $\text{AUSL}(\theta'_i) \neq \text{AUSL}(\theta_i)$ . Sei  $i$  so und zunächst  $\text{AUSL}(\theta'_i) < \text{AUSL}(\theta_i)$ . Angenommen  $i = 0$ . Dann ergibt sich mit Postulat 1-2-(i) für alle  $j < \text{AUSL}(\theta'_0)$ , dass  $\mu^{\theta'_0}_j = \mu^{\theta_0}_j$  und damit  $\theta'_0 = \ulcorner \mu^{\theta'_0}_0 \dots \mu^{\theta'_0}_{\text{AUSL}(\theta'_0)-1} \urcorner = \ulcorner \mu^{\theta_0}_0 \dots \mu^{\theta_0}_{\text{AUSL}(\theta'_0)-1} \urcorner$ . Wegen  $\text{AUSL}(\theta'_0) < \text{AUSL}(\theta_0)$  gilt dann aber, dass  $\theta_0 = \ulcorner \mu^{\theta_0}_0 \dots \mu^{\theta_0}_{\text{AUSL}(\theta_0)-1} \urcorner = \ulcorner \mu^{\theta'_0}_0 \dots \mu^{\theta'_0}_{\text{AUSL}(\theta'_0)-1} \mu^{\theta_0}_{\text{AUSL}(\theta'_0)} \dots \mu^{\theta_0}_{\text{AUSL}(\theta_0)-1} \urcorner = \ulcorner \theta'_0 \mu^{\theta_0}_{\text{AUSL}(\theta'_0)} \dots \mu^{\theta_0}_{\text{AUSL}(\theta_0)-1} \urcorner$  im Widerspruch zur I.V. Angenommen  $i > 0$ . Dann gilt mit Postulat 1-2-(i):

$$\begin{aligned} & \ulcorner \mu^{\theta'_0}_0 \dots \mu^{\theta'_0}_{\text{AUSL}(\theta'_0)-1}, \dots, \mu^{\theta'_{i-1}}_0 \dots \mu^{\theta'_{i-1}}_{\text{AUSL}(\theta'_{i-1})-1} \urcorner \\ & = \\ & \ulcorner \mu^{\theta_0}_0 \dots \mu^{\theta_0}_{\text{AUSL}(\theta_0)-1}, \dots, \mu^{\theta_{i-1}}_0 \dots \mu^{\theta_{i-1}}_{\text{AUSL}(\theta_{i-1})-1} \urcorner. \end{aligned}$$

Also mit Theorem 1-2-(i):

$$\ulcorner \mu^{\theta'_i}_0 \dots \mu^{\theta'_i}_{\text{AUSL}(\theta'_i)-1}, \dots, \mu^{\theta'_{n-1}}_0 \dots \mu^{\theta'_{n-1}}_{\text{AUSL}(\theta'_{n-1})-1} \urcorner$$

$$= \ulcorner \mu^{0i} \dots \mu^{0i}_{\text{AUSL}(\theta_i)-1}, \dots, \mu^{\theta_{n-1}} \dots \mu^{\theta_{n-1}}_{\text{AUSL}(\theta_{n-1})-1} \urcorner \mu \urcorner.$$

Mit Postulat 1-2-(i) gilt sodann für alle  $j < \text{AUSL}(\theta'_i)$ , dass  $\mu^{\theta'_j}_0 = \mu^{\theta_j}_0$  und damit  $\theta'_i = \ulcorner \mu^{0i} \dots \mu^{0i}_{\text{AUSL}(\theta'_i)-1} \urcorner = \ulcorner \mu^{0i} \dots \mu^{0i}_{\text{AUSL}(\theta_i)-1} \urcorner$ . Wegen  $\text{AUSL}(\theta'_i) < \text{AUSL}(\theta_i)$  gilt dann aber, dass  $\theta_i = \ulcorner \mu^{0i} \dots \mu^{0i}_{\text{AUSL}(\theta_i)-1} \urcorner = \ulcorner \mu^{0i} \dots \mu^{0i}_{\text{AUSL}(\theta'_i)-1} \mu^{0i}_{\text{AUSL}(\theta'_i)} \dots \mu^{0i}_{\text{AUSL}(\theta_i)-1} \urcorner = \ulcorner \theta'_i \mu^{0i}_{\text{AUSL}(\theta'_i)} \dots \mu^{0i}_{\text{AUSL}(\theta_i)-1} \urcorner$  ebenfalls im Widerspruch zur I.V. Bei  $\text{AUSL}(\theta_i) < \text{AUSL}(\theta'_i)$  ergibt sich analog ein Widerspruch.

*Zu (ii):* Seien nun  $\Delta, \Delta' \in \text{FORM}$  und  $\mu \in \text{AUS}$ . Der Beweis wird mittels Induktion über  $\text{AUSL}(\Delta')$  geführt. Gelte dazu die Behauptung für alle  $\Delta \in \text{FORM}$  mit  $\text{AUSL}(\Delta) < \text{AUSL}(\Delta')$ . Nun gilt  $\text{FORM} \cap \text{GAUS} = \emptyset$ . Damit ist die Behauptung für  $\text{AUSL}(\Delta') = 1$  trivial erfüllt. Sei nun  $1 < \text{AUSL}(\Delta')$ . Also  $\Delta' \in \text{AFORM} \cup \{ \ulcorner \neg \Delta^{*'} \urcorner \mid \Delta^* \in \text{FORM} \} \cup \{ \ulcorner (\Delta_0 \psi \Delta_1) \urcorner \mid \Delta_0, \Delta_1 \in \text{FORM} \text{ und } \psi \in \text{JUNK} \setminus \{ \ulcorner \neg \urcorner \} \} \cup \text{QFORM}$ . Diese vier Fälle werden nun unterschieden.

*Erstens:* Sei  $\Delta' \in \text{AFORM}$ . Der Beweis wird analog zum Induktionsschritt für (i) unter Rückgriff auf (i) gezeigt. Angenommen  $\Delta' = \ulcorner \Delta \mu \urcorner$ . Also gibt es  $n' \in \mathbb{N} \setminus \{0\}$  und  $\Phi' \in \text{PRÄ}$  und  $\{\theta'_0, \dots, \theta'_{n'-1}\} \subseteq \text{TERM}$ , so dass  $\Delta' = \ulcorner \Phi'(\theta'_0, \dots, \theta'_{n'-1}) \urcorner$ . Wäre  $\Delta \in \text{JFORM} \cup \text{QFORM}$ , dann gäbe es  $\mu' \in \{ \ulcorner \neg \urcorner, \ulcorner \lrcorner \urcorner \} \cup \text{QUANT}$  und  $\mu^* \in \text{AUS}$ , so dass  $\Delta = \ulcorner \mu' \mu^{*'} \urcorner$ , also  $\ulcorner \Phi'(\theta'_0, \dots, \theta'_{n'-1}) \urcorner = \Delta' = \ulcorner \Delta \mu \urcorner = \ulcorner \mu' \mu^* \mu \urcorner$  und damit nach Theorem 1-2-(iii)  $\Phi' = \mu'$ . Also  $\Phi' \in \{ \ulcorner \neg \urcorner, \ulcorner \lrcorner \urcorner \} \cup \text{QUANT}$ . Widerspruch! Also  $\Delta \notin \text{JFORM} \cup \text{QFORM}$ , sondern  $\Delta \in \text{AFORM}$ . Damit gibt es  $n \in \mathbb{N} \setminus \{0\}$  und  $\Phi \in \text{PRÄ}$  und  $\{\theta_0, \dots, \theta_{n-1}\} \subseteq \text{TERM}$ , so dass  $\Delta = \ulcorner \Phi(\theta_0, \dots, \theta_{n-1}) \urcorner$ . Also  $\ulcorner \Phi'(\theta'_0, \dots, \theta'_{n'-1}) \urcorner = \ulcorner \Phi(\theta_0, \dots, \theta_{n-1}) \mu \urcorner$ . Dann gilt mit Theorem 1-2-(iii)  $\Phi' = \Phi$  und damit nach Definition 1-5 und Postulat 1-1-(v)  $n = n'$ . Also  $\ulcorner \Phi(\theta'_0, \dots, \theta'_{n-1}) \urcorner = \ulcorner \Phi(\theta_0, \dots, \theta_{n-1}) \mu \urcorner$ . Mit Theorem 1-2-(i) gilt  $\ulcorner \theta'_0, \dots, \theta'_{n-1} \urcorner = \ulcorner \theta_0, \dots, \theta_{n-1} \urcorner \mu$ . Ab hier läuft der Beweis für  $\Delta' \in \text{AFORM}$  vollkommen identisch zum Induktionsschritt für (i), wobei der resultierende Widerspruch hier nicht mit der I.V., sondern mit (i) besteht!

*Zweitens:* Sei nun  $\Delta' \in \{ \ulcorner \neg \Delta^{*'} \urcorner \mid \Delta^* \in \text{FORM} \}$ . Dann gibt es  $\Delta^\# \in \text{FORM}$ , so dass  $\Delta' = \ulcorner \neg \Delta^\# \urcorner$ . Angenommen  $\Delta' = \ulcorner \Delta \mu \urcorner$  und damit  $\ulcorner \Delta \mu \urcorner = \ulcorner \neg \Delta^\# \urcorner$ , wobei  $\text{AUSL}(\Delta^\#) < \text{AUSL}(\Delta')$ . Wäre  $\Delta \in \text{AFORM} \cup \{ \ulcorner (\Delta_0 \psi \Delta_1) \urcorner \mid \Delta_0, \Delta_1 \in \text{FORM} \text{ und } \psi \in \text{JUNK} \setminus \{ \ulcorner \neg \urcorner \} \} \cup \text{QFORM}$ , dann gäbe es  $\mu' \in \text{PRÄ} \cup \{ \ulcorner \lrcorner \urcorner \} \cup \text{QUANT}$  und  $\mu^* \in \text{AUS}$ , so dass  $\Delta = \ulcorner \mu' \mu^{*'} \urcorner$ , also  $\ulcorner \neg \Delta^\# \urcorner = \ulcorner \Delta \mu \urcorner = \ulcorner \mu' \mu^* \mu \urcorner$  und damit nach Theorem 1-2-(iii)  $\ulcorner \neg \urcorner = \mu'$ . Also  $\ulcorner \neg \urcorner \in \text{PRÄ} \cup \{ \ulcorner \lrcorner \urcorner \} \cup \text{QUANT}$ . Widerspruch! Also  $\Delta \in \{ \ulcorner \neg \Delta^{*'} \urcorner \mid \Delta^* \in \text{FORM} \}$  und es

gibt  $\Delta^+ \in \text{FORM}$ , so dass  $\Delta = \ulcorner \neg \Delta^+ \urcorner$ . Also  $\ulcorner \neg \Delta^{\#} \urcorner = \ulcorner \neg \Delta^+ \mu \urcorner$ . Mit Theorem 1-2-(i) gilt  $\Delta^{\#} = \ulcorner \Delta^+ \mu \urcorner$  im Widerspruch zur I.V.

*Drittens:* Sei nun  $\Delta' \in \{\ulcorner (\Delta_0 \psi \Delta_1) \urcorner \mid \Delta_0, \Delta_1 \in \text{FORM} \text{ und } \psi \in \text{JUNK} \setminus \{\ulcorner \neg \urcorner\}\}$ . Dann gibt es  $\Delta'_0, \Delta'_1 \in \text{FORM}$  und  $\psi' \in \text{JUNK} \setminus \{\ulcorner \neg \urcorner\}$ , so dass  $\Delta' = \ulcorner (\Delta'_0 \psi' \Delta'_1) \urcorner$ , wobei  $\text{AUSL}(\Delta'_0) < \text{AUSL}(\Delta')$  und  $\text{AUSL}(\Delta'_1) < \text{AUSL}(\Delta')$ . Angenommen  $\Delta' = \ulcorner \Delta \mu \urcorner$  und damit  $\ulcorner \Delta \mu \urcorner = \ulcorner (\Delta'_0 \psi' \Delta'_1) \urcorner$ . Wäre  $\Delta \in \text{AFORM} \cup \{\ulcorner \neg \Delta^* \urcorner \mid \Delta^* \in \text{FORM}\} \cup \text{QFORM}$ , dann gäbe es  $\mu' \in \text{PRÄ} \cup \{\ulcorner \neg \urcorner\} \cup \text{QUANT}$  und  $\mu^* \in \text{AUS}$ , so dass  $\Delta = \ulcorner \mu' \mu^* \urcorner$ , also  $\ulcorner (\Delta'_0 \psi' \Delta'_1) \urcorner = \Delta' = \ulcorner \Delta \mu \urcorner = \ulcorner \mu' \mu^* \mu \urcorner$  und damit nach Theorem 1-2-(iii)  $\ulcorner \urcorner = \mu'$ . Also  $\ulcorner \urcorner \in \text{PRÄ} \cup \{\ulcorner \neg \urcorner\} \cup \text{QUANT}$ . Widerspruch! Also  $\Delta \in \{\ulcorner (\Delta_0 \psi \Delta_1) \urcorner \mid \Delta_0, \Delta_1 \in \text{FORM} \text{ und } \psi \in \text{JUNK} \setminus \{\ulcorner \neg \urcorner\}\}$  und es gibt  $\Delta_0, \Delta_1 \in \text{FORM}$  und  $\psi \in \text{JUNK} \setminus \{\ulcorner \neg \urcorner\}$ , so dass  $\Delta = \ulcorner (\Delta_0 \psi \Delta_1) \urcorner$ , wobei u.a.  $\text{AUSL}(\Delta_0) < \text{AUSL}(\Delta')$ . Also  $\ulcorner (\Delta'_0 \psi' \Delta'_1) \urcorner = \ulcorner (\Delta_0 \psi \Delta_1) \mu \urcorner$ . Mit Theorem 1-2-(i) gilt  $\ulcorner (\Delta'_0 \psi' \Delta'_1) \urcorner = \ulcorner \Delta_0 \psi \Delta_1 \mu \urcorner$ . Sodann gilt mit  $\text{FORM} \subseteq \text{AUS}$ , dass es  $\{\mu^{\Delta'_0}_0, \dots, \mu^{\Delta'_0}_{\text{AUSL}(\Delta'_0)-1}\} \cup \{\mu^{\Delta'_1}_0, \dots, \mu^{\Delta'_1}_{\text{AUSL}(\Delta'_1)-1}\} \subseteq \text{GAUS}$  und  $\{\mu^{\Delta_0}_0, \dots, \mu^{\Delta_0}_{\text{AUSL}(\Delta_0)-1}\} \cup \{\mu^{\Delta_1}_0, \dots, \mu^{\Delta_1}_{\text{AUSL}(\Delta_1)-1}\} \subseteq \text{GAUS}$  gibt, so dass für alle  $i < 2$ :  $\Delta'_i = \ulcorner \mu^{\Delta'_i}_0 \dots \mu^{\Delta'_i}_{\text{AUSL}(\Delta'_i)-1} \urcorner$  und  $\Delta_i = \ulcorner \mu^{\Delta_i}_0 \dots \mu^{\Delta_i}_{\text{AUSL}(\Delta_i)-1} \urcorner$ . Dann ist

$$\ulcorner (\Delta'_0 \psi' \Delta'_1) \urcorner = \ulcorner \mu^{\Delta'_0}_0 \dots \mu^{\Delta'_0}_{\text{AUSL}(\Delta'_0)-1} \psi' \mu^{\Delta'_1}_0 \dots \mu^{\Delta'_1}_{\text{AUSL}(\Delta'_1)-1} \urcorner$$

und

$$\ulcorner (\Delta_0 \psi \Delta_1) \mu \urcorner = \ulcorner \mu^{\Delta_0}_0 \dots \mu^{\Delta_0}_{\text{AUSL}(\Delta_0)-1} \psi \mu^{\Delta_1}_0 \dots \mu^{\Delta_1}_{\text{AUSL}(\Delta_1)-1} \mu \urcorner$$

und damit

$$\ulcorner \mu^{\Delta'_0}_0 \dots \mu^{\Delta'_0}_{\text{AUSL}(\Delta'_0)-1} \psi' \mu^{\Delta'_1}_0 \dots \mu^{\Delta'_1}_{\text{AUSL}(\Delta'_1)-1} \urcorner = \ulcorner \mu^{\Delta_0}_0 \dots \mu^{\Delta_0}_{\text{AUSL}(\Delta_0)-1} \psi \mu^{\Delta_1}_0 \dots \mu^{\Delta_1}_{\text{AUSL}(\Delta_1)-1} \mu \urcorner.$$

Wäre nun  $\text{AUSL}(\Delta'_0) < \text{AUSL}(\Delta_0)$ . Dann gilt mit Postulat 1-2-(i) für alle  $j < \text{AUSL}(\Delta'_0)$ , dass  $\mu^{\Delta'_0}_j = \mu^{\Delta_0}_j$  und damit, dass  $\Delta_0 = \ulcorner \mu^{\Delta_0}_0 \dots \mu^{\Delta_0}_{\text{AUSL}(\Delta_0)-1} \urcorner = \ulcorner \mu^{\Delta'_0}_0 \dots \mu^{\Delta'_0}_{\text{AUSL}(\Delta'_0)-1} \mu^{\Delta_0}_{\text{AUSL}(\Delta_0)} \dots \mu^{\Delta_0}_{\text{AUSL}(\Delta_0)-1} \urcorner = \ulcorner \Delta' \mu^{\Delta_0}_{\text{AUSL}(\Delta_0)} \dots \mu^{\Delta_0}_{\text{AUSL}(\Delta_0)-1} \urcorner$  im Widerspruch zur I.V. Bei  $\text{AUSL}(\Delta_0) < \text{AUSL}(\Delta'_0)$  ergibt sich analog ein Widerspruch. Also  $\text{AUSL}(\Delta'_0) = \text{AUSL}(\Delta_0)$ . Damit gilt mit Postulat 1-2-(i)  $\ulcorner \mu^{\Delta'_0}_0 \dots \mu^{\Delta'_0}_{\text{AUSL}(\Delta'_0)-1} \psi' \urcorner = \ulcorner \mu^{\Delta_0}_0 \dots \mu^{\Delta_0}_{\text{AUSL}(\Delta_0)-1} \psi \urcorner$  und damit mit Theorem 1-2-(i) auch  $\ulcorner \mu^{\Delta'_1}_0 \dots \mu^{\Delta'_1}_{\text{AUSL}(\Delta'_1)-1} \urcorner = \ulcorner \mu^{\Delta_1}_0 \dots \mu^{\Delta_1}_{\text{AUSL}(\Delta_1)-1} \mu \urcorner$ . Nun gibt es mit  $\mu \in \text{AUS} \{\mu^*_0, \dots, \mu^*_{\text{AUSL}(\mu)-1}\} \subseteq \text{GAUS}$ , so dass  $\mu = \ulcorner \mu^*_0 \dots \mu^*_{\text{AUSL}(\mu)-1} \urcorner$ . Dann ist mit Postulat 1-2-(i)  $\mu^*_{\text{AUSL}(\mu)-1} = \ulcorner \urcorner$ . Damit ist mit Theorem 1-2-(ii) für  $\text{AUSL}(\mu) > 2$ :  $\Delta'_1 = \ulcorner \Delta_1 \mu^*_0 \dots \mu^*_{\text{AUSL}(\mu)-2} \urcorner$  und für  $\text{AUSL}(\mu) = 1$ :  $\Delta'_1 = \ulcorner \Delta_1 \urcorner$ ; beides im Widerspruch zur I.V.

*Viertens:* Sei nun  $\Delta' \in \text{QFORM}$ . Dann gibt es  $\Delta^\# \in \text{FORM}$  und  $\Pi' \in \text{QUANT}$  und  $\xi' \in \text{VAR}$ , so dass  $\Delta' = \ulcorner \Pi' \xi' \Delta^\# \urcorner$ , wobei  $\text{AUSL}(\Delta^\#) < \text{AUSL}(\Delta')$ . Angenommen  $\Delta' = \ulcorner \Delta \mu \urcorner$  und damit  $\ulcorner \Delta \mu \urcorner = \ulcorner \Pi' \xi' \Delta^\# \urcorner$ . Wäre  $\Delta \in \text{AFORM} \cup \text{JFORM}$ , dann gäbe es  $\mu' \in \text{PRÄ} \cup \{\ulcorner \neg \urcorner, \ulcorner \lrcorner \urcorner\}$  und  $\mu^* \in \text{AUS}$ , so dass  $\Delta = \ulcorner \mu' \mu^* \urcorner$ , also  $\ulcorner \Pi' \xi' \Delta^\# \urcorner = \ulcorner \Delta \mu \urcorner = \ulcorner \mu' \mu^* \mu \urcorner$  und damit  $\Pi' = \mu'$ . Also  $\Pi' \in \text{PRÄ} \cup \{\ulcorner \neg \urcorner, \ulcorner \lrcorner \urcorner\}$ . Widerspruch! Also  $\Delta \in \text{QFORM}$  und es gibt  $\Delta^+ \in \text{FORM}$  und  $\Pi \in \text{QUANT}$  und  $\xi \in \text{VAR}$ , so dass  $\Delta = \ulcorner \Pi \xi \Delta^+ \urcorner$ . Also  $\ulcorner \Pi' \xi' \Delta^\# \urcorner = \ulcorner \Pi \xi \Delta^+ \mu \urcorner$ . Mit Theorem 1-2-(i) und -(iii) gilt zunächst  $\ulcorner \xi' \Delta^\# \urcorner = \ulcorner \xi \Delta^+ \mu \urcorner$  und schließlich  $\Delta^\# = \ulcorner \Delta^+ \mu \urcorner$  im Widerspruch zur I.V.

In allen vier Fällen führt  $\Delta' = \ulcorner \Delta \mu \urcorner$  zum Widerspruch. Also  $\Delta' \neq \ulcorner \Delta \mu \urcorner$ .  $\square$

**Theorem 1-5.** *Eindeutige Lesbarkeit ohne Sätze (a – Eindeutige Kategorie)*

- (i)  $\text{KONST} \cap (\text{PAR} \cup \text{VAR} \cup \text{FTERM} \cup \text{QUANTOR} \cup \text{AFORM} \cup \{\ulcorner \neg \Delta \urcorner \mid \Delta \in \text{FORM}\} \cup \{\ulcorner (\Delta_0 \psi \Delta_1) \urcorner \mid \Delta_0, \Delta_1 \in \text{FORM} \text{ und } \psi \in \text{JUNK} \setminus \{\ulcorner \neg \urcorner\}\} \cup \text{QFORM}) = \emptyset$
- (ii)  $\text{PAR} \cap (\text{KONST} \cup \text{VAR} \cup \text{FTERM} \cup \text{QUANTOR} \cup \text{AFORM} \cup \{\ulcorner \neg \Delta \urcorner \mid \Delta \in \text{FORM}\} \cup \{\ulcorner (\Delta_0 \psi \Delta_1) \urcorner \mid \Delta_0, \Delta_1 \in \text{FORM} \text{ und } \psi \in \text{JUNK} \setminus \{\ulcorner \neg \urcorner\}\} \cup \text{QFORM}) = \emptyset$
- (iii)  $\text{VAR} \cap (\text{KONST} \cup \text{PAR} \cup \text{FTERM} \cup \text{QUANTOR} \cup \text{AFORM} \cup \{\ulcorner \neg \Delta \urcorner \mid \Delta \in \text{FORM}\} \cup \{\ulcorner (\Delta_0 \psi \Delta_1) \urcorner \mid \Delta_0, \Delta_1 \in \text{FORM} \text{ und } \psi \in \text{JUNK} \setminus \{\ulcorner \neg \urcorner\}\} \cup \text{QFORM}) = \emptyset$
- (iv)  $\text{FTERM} \cap (\text{KONST} \cup \text{PAR} \cup \text{VAR} \cup \text{QUANTOR} \cup \text{AFORM} \cup \{\ulcorner \neg \Delta \urcorner \mid \Delta \in \text{FORM}\} \cup \{\ulcorner (\Delta_0 \psi \Delta_1) \urcorner \mid \Delta_0, \Delta_1 \in \text{FORM} \text{ und } \psi \in \text{JUNK} \setminus \{\ulcorner \neg \urcorner\}\} \cup \text{QFORM}) = \emptyset$
- (v)  $\text{QUANTOR} \cap (\text{KONST} \cup \text{PAR} \cup \text{VAR} \cup \text{FTERM} \cup \text{AFORM} \cup \{\ulcorner \neg \Delta \urcorner \mid \Delta \in \text{FORM}\} \cup \{\ulcorner (\Delta_0 \psi \Delta_1) \urcorner \mid \Delta_0, \Delta_1 \in \text{FORM} \text{ und } \psi \in \text{JUNK} \setminus \{\ulcorner \neg \urcorner\}\} \cup \text{QFORM}) = \emptyset$
- (vi)  $\text{AFORM} \cap (\text{KONST} \cup \text{PAR} \cup \text{VAR} \cup \text{FTERM} \cup \text{QUANTOR} \cup \{\ulcorner \neg \Delta \urcorner \mid \Delta \in \text{FORM}\} \cup \{\ulcorner (\Delta_0 \psi \Delta_1) \urcorner \mid \Delta_0, \Delta_1 \in \text{FORM} \text{ und } \psi \in \text{JUNK} \setminus \{\ulcorner \neg \urcorner\}\} \cup \text{QFORM}) = \emptyset$
- (vii)  $\{\ulcorner \neg \Delta \urcorner \mid \Delta \in \text{FORM}\} \cap (\text{KONST} \cup \text{PAR} \cup \text{VAR} \cup \text{FTERM} \cup \text{QUANTOR} \cup \text{AFORM} \cup \{\ulcorner (\Delta_0 \psi \Delta_1) \urcorner \mid \Delta_0, \Delta_1 \in \text{FORM} \text{ und } \psi \in \text{JUNK} \setminus \{\ulcorner \neg \urcorner\}\} \cup \text{QFORM}) = \emptyset$
- (viii)  $\{\ulcorner (\Delta_0 \psi \Delta_1) \urcorner \mid \Delta_0, \Delta_1 \in \text{FORM} \text{ und } \psi \in \text{JUNK} \setminus \{\ulcorner \neg \urcorner\}\} \cap (\text{KONST} \cup \text{PAR} \cup \text{VAR} \cup \text{FTERM} \cup \text{QUANTOR} \cup \text{AFORM} \cup \{\ulcorner \neg \Delta \urcorner \mid \Delta \in \text{FORM}\} \cup \text{QFORM}) = \emptyset$
- (ix)  $\text{QFORM} \cap (\text{KONST} \cup \text{PAR} \cup \text{VAR} \cup \text{FTERM} \cup \text{QUANTOR} \cup \text{AFORM} \cup \{\ulcorner \neg \Delta \urcorner \mid \Delta \in \text{FORM}\} \cup \{\ulcorner (\Delta_0 \psi \Delta_1) \urcorner \mid \Delta_0, \Delta_1 \in \text{FORM} \text{ und } \psi \in \text{JUNK} \setminus \{\ulcorner \neg \urcorner\}\}) = \emptyset$

*Beweis:* Sei  $\mu \in \text{KONST}$ . Dann ist nach Postulat 1-1  $\mu \notin \text{PAR} \cup \text{VAR}$  und nach Definition 1-7  $\mu \notin \text{FTERM}$ . Wäre  $\mu \in \text{QUANTOR} \cup \text{AFORM} \cup \{\ulcorner \neg \Delta \urcorner \mid \Delta \in \text{FORM}\} \cup \{\ulcorner (\Delta_0 \psi \Delta_1) \urcorner \mid \Delta_0, \Delta_1 \in \text{FORM} \text{ und } \psi \in \text{JUNK} \setminus \{\ulcorner \neg \urcorner\}\} \cup \text{QFORM}$ , so gäbe es  $\mu' \in \text{GAUS}$  und  $\mu^* \in \text{AUS}$ , so dass  $\mu = \ulcorner \mu' \mu^* \urcorner$ . Das widerspricht Postulat 1-2-(ii). Also  $\mu \notin \text{QUANTOR} \cup \text{AFORM} \cup \{\ulcorner \neg \Delta \urcorner \mid \Delta \in \text{FORM}\} \cup \{\ulcorner (\Delta_0 \psi \Delta_1) \urcorner \mid \Delta_0, \Delta_1 \in \text{FORM} \text{ und } \psi \in \text{JUNK} \setminus \{\ulcorner \neg \urcorner\}\} \cup \text{QFORM}$ .

Für  $\mu \in \text{PAR}$  und  $\mu \in \text{VAR}$  verläuft der Beweis analog.

Sei nun  $\mu \in \text{FTERM}$ . Nach Definition 1-7 ist dann  $\mu \notin \text{KONST} \cup \text{PAR} \cup \text{VAR}$  und es ist  $\mu \in \text{TERM}$ . Nach Definition 1-6-(ii) gibt es damit  $\varphi \in \text{FUNK}$  und  $\mu^+ \in \text{AUS}$ , so dass  $\mu = \ulcorner \varphi \mu^+ \urcorner$ . Wäre  $\mu \in \text{QUANTOR} \cup \text{AFORM} \cup \{ \ulcorner \neg \Delta \urcorner \mid \Delta \in \text{FORM} \} \cup \{ \ulcorner (\Delta_0 \psi \Delta_1) \urcorner \mid \Delta_0, \Delta_1 \in \text{FORM} \text{ und } \psi \in \text{JUNK} \setminus \{ \ulcorner \neg \urcorner \} \} \cup \text{QFORM}$ , so gäbe es  $\mu' \in \text{PRÄ} \cup \text{QUANT} \cup \{ \ulcorner \neg \urcorner, \ulcorner ( \urcorner \}$  und  $\mu^* \in \text{AUS}$ , so dass  $\mu = \ulcorner \mu' \mu^* \urcorner$ . Sei  $\mu'$  so. Dann müsste nach Theorem 1-2-(iii)  $\mu' = \varphi$  sein und damit  $\mu' \in \text{FUNK}$ . Das widerspricht Postulat 1-1. Also  $\mu \notin \text{QUANTOR} \cup \text{AFORM} \cup \{ \ulcorner \neg \Delta \urcorner \mid \Delta \in \text{FORM} \} \cup \{ \ulcorner (\Delta_0 \psi \Delta_1) \urcorner \mid \Delta_0, \Delta_1 \in \text{FORM} \text{ und } \psi \in \text{JUNK} \setminus \{ \ulcorner \neg \urcorner \} \} \cup \text{QFORM}$ .

Für  $\mu \in \text{QUANTOR}$ ,  $\mu \in \text{AFORM}$ ,  $\mu \in \{ \ulcorner \neg \Delta \urcorner \mid \Delta \in \text{FORM} \}$ ,  $\mu \in \{ \ulcorner (\Delta_0 \psi \Delta_1) \urcorner \mid \Delta_0, \Delta_1 \in \text{FORM} \text{ und } \psi \in \text{JUNK} \setminus \{ \ulcorner \neg \urcorner \} \}$  und  $\mu \in \text{QFORM}$  verläuft der Beweis analog.  $\square$

**Theorem 1-6.** *Eindeutige Lesbarkeit ohne Sätze (b – Eindeutige Zerlegbarkeit)*

Wenn  $\mu \in \text{TERM} \cup \text{QUANTOR} \cup \text{FORM}$ , dann:

- (i)  $\mu \in \text{ATERM}$  oder
- (ii)  $\mu \in \text{FTERM}$  und es gibt  $n \in \mathbb{N} \setminus \{0\}$ ,  $\varphi \in \text{FUNK}$  und  $\{\theta_0, \dots, \theta_{n-1}\} \subseteq \text{TERM}$ , so dass  $\mu = \ulcorner \varphi(\theta_0, \dots, \theta_{n-1}) \urcorner$  und für alle  $n' \in \mathbb{N} \setminus \{0\}$ ,  $\varphi' \in \text{FUNK}$  und  $\{\theta'_0, \dots, \theta'_{k-1}\} \subseteq \text{TERM}$  mit  $\mu = \ulcorner \varphi'(\theta'_0, \dots, \theta'_{k-1}) \urcorner$  gilt:  $n = n'$  und  $\varphi = \varphi'$  und für alle  $i < n$ :  $\theta_i = \theta'_i$ , oder
- (iii)  $\mu \in \text{QUANTOR}$  und es gibt  $\Pi \in \text{QUANT}$  und  $\xi \in \text{VAR}$ , so dass  $\mu = \ulcorner \Pi \xi \urcorner$  und für alle  $\Pi' \in \text{QUANT}$  und  $\xi' \in \text{VAR}$  mit  $\mu = \ulcorner \Pi' \xi' \urcorner$  gilt:  $\Pi = \Pi'$  und  $\xi = \xi'$ , oder
- (iv)  $\mu \in \text{AFORM}$  und es gibt  $n \in \mathbb{N} \setminus \{0\}$ ,  $\Phi \in \text{PRÄ}$  und  $\{\theta_0, \dots, \theta_{n-1}\} \subseteq \text{TERM}$ , so dass  $\mu = \ulcorner \Phi(\theta_0, \dots, \theta_{n-1}) \urcorner$  und für alle  $n' \in \mathbb{N} \setminus \{0\}$ ,  $\Phi' \in \text{PRÄ}$  und  $\{\theta'_0, \dots, \theta'_{k-1}\} \subseteq \text{TERM}$  mit  $\mu = \ulcorner \Phi'(\theta'_0, \dots, \theta'_{k-1}) \urcorner$  gilt:  $n = n'$  und  $\Phi = \Phi'$  und für alle  $i < n$ :  $\theta_i = \theta'_i$ , oder
- (v)  $\mu \in \{ \ulcorner \neg \Delta \urcorner \mid \Delta \in \text{FORM} \}$  und es gibt  $\Delta \in \text{FORM}$ , so dass  $\mu = \ulcorner \neg \Delta \urcorner$  und für alle  $\Delta' \in \text{FORM}$  mit  $\mu = \ulcorner \neg \Delta' \urcorner$  gilt:  $\Delta = \Delta'$ , oder
- (vi)  $\mu \in \{ \ulcorner (\Delta_0 \psi \Delta_1) \urcorner \mid \Delta_0, \Delta_1 \in \text{FORM} \text{ und } \psi \in \text{JUNK} \setminus \{ \ulcorner \neg \urcorner \} \}$  und es gibt  $\Delta_0, \Delta_1 \in \text{FORM}$  und  $\psi \in \text{JUNK} \setminus \{ \ulcorner \neg \urcorner \}$ , so dass  $\mu = \ulcorner (\Delta_0 \psi \Delta_1) \urcorner$  und für alle  $\Delta'_0, \Delta'_1 \in \text{FORM}$  und  $\psi' \in \text{JUNK} \setminus \{ \ulcorner \neg \urcorner \}$  mit  $\mu = \ulcorner (\Delta'_0 \psi' \Delta'_1) \urcorner$  gilt:  $\Delta_0 = \Delta'_0$  und  $\Delta_1 = \Delta'_1$  und  $\psi = \psi'$ , oder
- (vii)  $\mu \in \text{QFORM}$  und es gibt  $\Pi \in \text{QUANT}$ ,  $\xi \in \text{VAR}$  und  $\Delta \in \text{FORM}$ , so dass  $\mu = \ulcorner \Pi \xi \Delta \urcorner$  und für alle  $\Pi' \in \text{QUANT}$ ,  $\xi' \in \text{VAR}$  und  $\Delta' \in \text{FORM}$  mit  $\mu = \ulcorner \Pi' \xi' \Delta' \urcorner$  gilt:  $\Pi = \Pi'$  und  $\xi = \xi'$  und  $\Delta = \Delta'$ .

*Beweis:* Sei  $\mu \in \text{TERM} \cup \text{QUANTOR} \cup \text{FORM}$ . Also  $\mu \in \text{ATERM} \cup \text{FTERM} \cup \text{QUANTOR} \cup \text{AFORM} \cup \{ \ulcorner \neg \Delta \urcorner \mid \Delta \in \text{FORM} \} \cup \{ \ulcorner (\Delta_0 \psi \Delta_1) \urcorner \mid \Delta_0, \Delta_1 \in \text{FORM} \text{ und } \psi \in \text{JUNK} \setminus \{ \ulcorner \neg \urcorner \} \} \cup \text{QFORM}$ . Es werden diese *sieben* Fälle unterschieden. *Erstens:* Angenommen  $\mu \in \text{ATERM}$ . Damit ist (i) trivial erfüllt.

*Zweitens:* Sei  $\mu \in \text{FTERM}$ . Dann gibt es nach Definition 1-6 und Definition 1-7  $n \in \mathbb{N} \setminus \{0\}$ ,  $\varphi \in \text{FUNK}$  und  $\{\theta_0, \dots, \theta_{n-1}\} \subseteq \text{TERM}$ , so dass  $\mu = \ulcorner \varphi(\theta_0, \dots, \theta_{n-1}) \urcorner$ . Seien nun

auch  $n' \in \mathbb{N} \setminus \{0\}$ ,  $\varphi' \in \text{FUNK}$  und  $\{\theta'_0, \dots, \theta'_{n'-1}\} \subseteq \text{TERM}$ , so dass  $\mu = \ulcorner \varphi'(\theta'_0, \dots, \theta'_{n'-1}) \urcorner$ .  $\varphi = \varphi'$  und damit  $n = n'$  ergibt sich aus Theorem 1-2-(iii), Definition 1-5 und Postulat 1-1-(iv). Angenommen, nicht für alle  $i < n$  gilt  $\theta_i = \theta'_i$ . Sei  $i$  der kleinste Index, für den gilt  $\theta_i \neq \theta'_i$ . Mit Theorem 1-2-(i) gilt dann  $\ulcorner \theta_i, \dots, \theta_{n-1} \urcorner = \ulcorner \theta'_i, \dots, \theta'_{n-1} \urcorner$ . Dann gibt es  $\{\mu_0, \dots, \mu_{\text{AUSL}(\theta_i)-1}\} \cup \{\mu'_0, \dots, \mu'_{\text{AUSL}(\theta'_i)-1}\} \subseteq \text{GAUS}$ , so dass  $\theta_i = \ulcorner \mu_0 \dots \mu_{\text{AUSL}(\theta_i)-1} \urcorner$  und  $\theta'_i = \ulcorner \mu'_0 \dots \mu'_{\text{AUSL}(\theta'_i)-1} \urcorner$  und damit  $\ulcorner \mu_0 \dots \mu_{\text{AUSL}(\theta_i)-1}, \dots, \theta_{n-1} \urcorner = \ulcorner \mu'_0 \dots \mu'_{\text{AUSL}(\theta'_i)-1}, \dots, \theta'_{n-1} \urcorner$ . Wäre nun  $\text{AUSL}(\theta_i) = \text{AUSL}(\theta'_i)$ . Dann wäre  $\theta_i = \ulcorner \mu_0 \dots \mu_{\text{AUSL}(\theta_i)-1} \urcorner = \ulcorner \mu'_0 \dots \mu'_{\text{AUSL}(\theta'_i)-1} \urcorner = \theta'_i$ . Wäre nun  $\text{AUSL}(\theta_i) < \text{AUSL}(\theta'_i)$ . Dann gilt  $\ulcorner \theta_i \mu'_{\text{AUSL}(\theta_i)} \dots \mu'_{\text{AUSL}(\theta'_i)-1} \urcorner = \theta'_i$  entgegen Theorem 1-4-(i). Gleichermaßen ergibt sich für  $\text{AUSL}(\theta'_i) < \text{AUSL}(\theta_i)$  ein Widerspruch. Also gilt für alle  $i < n$ :  $\theta_i = \theta'_i$ .

*Drittens:* Sei  $\mu \in \text{QUANTOR}$ . Dann gibt es nach Definition 1-8  $\Pi \in \text{QUANT}$  und  $\xi \in \text{VAR}$ , so dass  $\mu = \ulcorner \Pi \xi \urcorner$ . Seien nun auch  $\Pi' \in \text{QUANT}$ ,  $\xi' \in \text{VAR}$ , so dass  $\mu = \ulcorner \Pi' \xi' \urcorner$ . Aus Theorem 1-2-(iii) und -(i) folgt sofort  $\Pi = \Pi'$  und  $\xi = \xi'$ .

*Viertens:* Sei  $\mu \in \text{AFORM}$ . Dann gibt es nach Definition 1-10-(i)  $n \in \mathbb{N} \setminus \{0\}$ ,  $\Phi \in \text{PRÄ}$  und  $\{\theta_0, \dots, \theta_{n-1}\} \subseteq \text{TERM}$ , so dass  $\mu = \ulcorner \Phi(\theta_0, \dots, \theta_{n-1}) \urcorner$ . Seien nun auch  $n' \in \mathbb{N} \setminus \{0\}$ ,  $\Phi' \in \text{PRÄ}$  und  $\{\theta'_0, \dots, \theta'_{n'-1}\} \subseteq \text{TERM}$ , so dass  $\mu = \ulcorner \Phi'(\theta'_0, \dots, \theta'_{n'-1}) \urcorner$ .  $\Phi = \Phi'$  und damit  $n = n'$  ergibt sich aus Theorem 1-2-(iii), Definition 1-5 und Postulat 1-1-(v). Angenommen, nicht für alle  $i < n$  gilt  $\theta_i = \theta'_i$ . Sei  $i$  der kleinste Index, für den gilt  $\theta_i \neq \theta'_i$ . Mit Theorem 1-2-(i) gilt dann  $\ulcorner \theta_i, \dots, \theta_{n-1} \urcorner = \ulcorner \theta'_i, \dots, \theta'_{n-1} \urcorner$ . Damit ergibt sich wie im zweiten Fall, dass für alle  $i < n$ :  $\theta_i = \theta'_i$ .

*Fünftens:* Sei  $\mu \in \{\ulcorner \neg \Delta \urcorner \mid \Delta \in \text{FORM}\}$ . Dann gibt es  $\Delta \in \text{FORM}$ , so dass  $\mu = \ulcorner \neg \Delta \urcorner$ . Sei nun auch  $\Delta' \in \text{FORM}$ , so dass  $\mu = \ulcorner \neg \Delta' \urcorner$ . Aus Theorem 1-2-(i) folgt sofort  $\Delta = \Delta'$ .

*Sechstens:* Sei  $\mu \in \{\ulcorner (\Delta_0 \psi \Delta_1) \urcorner \mid \Delta_0, \Delta_1 \in \text{FORM} \text{ und } \psi \in \text{JUNK} \setminus \{\ulcorner \neg \urcorner\}\}$ . Dann gibt es  $\Delta_0, \Delta_1 \in \text{FORM}$  und  $\psi \in \text{JUNK} \setminus \{\ulcorner \neg \urcorner\}$ , so dass  $\mu = \ulcorner (\Delta_0 \psi \Delta_1) \urcorner$ . Seien nun auch  $\Delta'_0, \Delta'_1 \in \text{FORM}$  und  $\psi' \in \text{JUNK} \setminus \{\ulcorner \neg \urcorner\}$ , so dass  $\mu = \ulcorner (\Delta'_0 \psi' \Delta'_1) \urcorner$ . Dann gilt zunächst mit Theorem 1-2-(i)  $\ulcorner \Delta_0 \psi \Delta_1 \urcorner = \ulcorner \Delta'_0 \psi' \Delta'_1 \urcorner$ . Sodann gibt es  $\{\mu_0, \dots, \mu_{\text{AUSL}(\Delta_0)-1}\} \cup \{\mu'_0, \dots, \mu'_{\text{AUSL}(\Delta'_0)-1}\} \subseteq \text{GAUS}$ , so dass  $\Delta_0 = \ulcorner \mu_0 \dots \mu_{\text{AUSL}(\Delta_0)-1} \urcorner$  und  $\Delta'_0 = \ulcorner \mu'_0 \dots \mu'_{\text{AUSL}(\Delta'_0)-1} \urcorner$ . Wäre  $\text{AUSL}(\Delta_0) < \text{AUSL}(\Delta'_0)$ , dann wäre  $\Delta'_0 = \ulcorner \mu'_0 \dots \mu'_{\text{AUSL}(\Delta'_0)-1} \urcorner = \ulcorner \mu'_0 \dots \mu'_{\text{AUSL}(\Delta_0)-1} \mu'_{\text{AUSL}(\Delta_0)} \dots \mu'_{\text{AUSL}(\Delta'_0)-1} \urcorner = \ulcorner \mu_0 \dots \mu_{\text{AUSL}(\Delta_0)-1} \mu'_{\text{AUSL}(\Delta_0)} \dots \mu'_{\text{AUSL}(\Delta'_0)-1} \urcorner = \ulcorner \Delta_0 \mu'_{\text{AUSL}(\Delta_0)} \dots \mu'_{\text{AUSL}(\Delta'_0)-1} \urcorner$  entgegen Theorem 1-4-(ii). Gleiches gilt für  $\text{AUSL}(\Delta'_0) < \text{AUSL}(\Delta_0)$ . Also  $\text{AUSL}(\Delta_0) = \text{AUSL}(\Delta'_0)$  und damit  $\Delta_0 = \ulcorner \mu_0 \dots \mu_{\text{AUSL}(\Delta_0)-1} \urcorner = \ulcorner \mu'_0 \dots \mu'_{\text{AUSL}(\Delta'_0)-1} \urcorner = \Delta'_0$ . Mit Theorem 1-2 gilt dann  $\ulcorner \psi \Delta_1 \urcorner = \ulcorner \psi' \Delta'_1 \urcorner$ , dann  $\psi = \psi'$ , weiter  $\ulcorner \Delta_1 \urcorner = \ulcorner \Delta'_1 \urcorner$  und schließlich  $\Delta_1 = \Delta'_1$ .

*Siebtens:* Sei  $\mu \in \text{QFORM}$ . Dann gibt es nach Definition 1-10-(iii)  $\Pi \in \text{QUANT}$ ,  $\xi \in \text{VAR}$  und  $\Delta \in \text{FORM}$ , so dass  $\mu = \ulcorner \Pi \xi \Delta \urcorner$ . Seien nun auch  $\Pi' \in \text{QUANT}$ ,  $\xi' \in \text{VAR}$ ,  $\Delta \in \text{FORM}$ , so dass  $\mu = \ulcorner \Pi' \xi' \Delta \urcorner$ . Aus Theorem 1-2-(iii) und -(i) folgt sofort  $\Pi = \Pi'$  und  $\xi = \xi'$  und  $\Delta = \Delta'$ .  $\square$

Nach Theorem 1-5 und Theorem 1-6 lassen sich nun in der üblichen Weise Funktionen auf den Mengen TERM, FORM und ihrer Vereinigungsmenge über den induktiven Aufbau der Terme und Formeln definieren. Die folgenden Term- und Formelgraddefinitionen (Definition 1-11 und Definition 1-12) erlauben es im Rest der Arbeit, Beweise mittels Induktion auch über die natürlichen Zahlen statt nur über den strukturellen Aufbau von Termen und Formeln zu führen.

**Definition 1-11.** *Termgrad (TGRAD)*

TGRAD ist eine Funktion auf TERM und

- (i) Wenn  $\theta \in \text{ATERM}$ , dann  $\text{TGRAD}(\theta) = 0$ ,
- (ii) Wenn  $\ulcorner \varphi(\theta_0, \dots, \theta_{n-1}) \urcorner \in \text{FTERM}$ , dann
 
$$\text{TGRAD}(\ulcorner \varphi(\theta_0, \dots, \theta_{n-1}) \urcorner) = \max(\{\text{TGRAD}(\theta_0), \dots, \text{TGRAD}(\theta_{n-1})\}) + 1.$$

**Definition 1-12.** *Formelgrad (FGRAD)*

FGRAD ist eine Funktion auf FORM und

- (i) Wenn  $\Delta \in \text{AFORM}$ , dann  $\text{FGRAD}(\Delta) = 0$ ,
- (ii) Wenn  $\ulcorner \neg \Delta \urcorner \in \text{JFORM}$ , dann  $\text{FGRAD}(\ulcorner \neg \Delta \urcorner) = \text{FGRAD}(\Delta) + 1$
- (iii) Wenn  $\ulcorner (\Delta_0 \psi \Delta_1) \urcorner \in \text{JFORM}$ , dann
 
$$\text{FGRAD}(\ulcorner (\Delta_0 \psi \Delta_1) \urcorner) = \max(\{\text{FGRAD}(\Delta_0), \text{FGRAD}(\Delta_1)\}) + 1$$
- (iv) Wenn  $\ulcorner \Pi \xi \Delta \urcorner \in \text{QFORM}$ , dann  $\text{FGRAD}(\ulcorner \Pi \xi \Delta \urcorner) = \text{FGRAD}(\Delta) + 1.$

Für den Identitätsprädikator wird im Weiteren die übliche Infixnotation ohne Klammern verwendet, also  $\ulcorner \theta = \theta^* \urcorner$  für  $\ulcorner =(\theta, \theta^*) \urcorner$ . Auch werden bei Formeln die äußeren Klammern weggelassen, also  $\ulcorner A \psi B \urcorner$  für  $\ulcorner (A \psi B) \urcorner$ . Mit der Definition 1-13 können nun die freien Variablen eines Terms oder einer Formel und auf dieser Basis die Sätze in Definition 1-16 bestimmt werden.

**Definition 1-13.** Zuordnung der Menge der freien Variablen, die in einem Term  $\theta$  oder einer Formel  $\Gamma$  vorkommen (FV)

FV ist eine Funktion auf  $\text{TERM} \cup \text{FORM}$  und

- (i) Wenn  $\alpha \in \text{KONST}$ , dann  $\text{FV}(\alpha) = \emptyset$ ,
- (ii) Wenn  $\beta \in \text{PAR}$ , dann  $\text{FV}(\beta) = \emptyset$ ,
- (iii) Wenn  $\xi \in \text{VAR}$ , dann  $\text{FV}(\xi) = \{\xi\}$ ,
- (iv) Wenn  $\ulcorner \varphi(\theta_0, \dots, \theta_{n-1}) \urcorner \in \text{FTERM}$ , dann
 
$$\text{FV}(\ulcorner \varphi(\theta_0, \dots, \theta_{n-1}) \urcorner) = \cup\{\text{FV}(\theta_i) \mid i \in n\},$$
- (v) Wenn  $\ulcorner \Phi(\theta_0, \dots, \theta_{n-1}) \urcorner \in \text{AFORM}$ , dann
 
$$\text{FV}(\ulcorner \Phi(\theta_0, \dots, \theta_{n-1}) \urcorner) = \cup\{\text{FV}(\theta_i) \mid i \in n\},$$
- (vi) Wenn  $\ulcorner \neg \Delta \urcorner \in \text{JFORM}$ , dann  $\text{FV}(\ulcorner \neg \Delta \urcorner) = \text{FV}(\Delta)$ ,
- (vii) Wenn  $\ulcorner \Delta_0 \psi \Delta_1 \urcorner \in \text{JFORM}$ , dann  $\text{FV}(\ulcorner \Delta_0 \psi \Delta_1 \urcorner) = \text{FV}(\Delta_0) \cup \text{FV}(\Delta_1)$  und
- (viii) Wenn  $\ulcorner \Pi \xi \Delta \urcorner \in \text{QFORM}$  und, dann  $\text{FV}(\ulcorner \Pi \xi \Delta \urcorner) = \text{FV}(\Delta) \setminus \{\xi\}$ .

**Definition 1-14.** Die Menge der geschlossenen Terme (GTERM)

$$\text{GTERM} = \{\theta \mid \theta \in \text{TERM} \text{ und } \text{FV}(\theta) = \emptyset\}$$

*Hinweis:* Man beachte, dass Parameter nach Definition 1-14 geschlossene Terme sind.

**Definition 1-15.** Die Menge der geschlossenen Formeln (GFORM)

$$\text{GFORM} = \{\Delta \mid \Delta \in \text{FORM} \text{ und } \text{FV}(\Delta) = \emptyset\}$$

Geschlossene Formeln werden auch als Aussagen angesprochen. Man beachte, dass geschlossene Formeln durchaus Parameter zum Teilausdruck (siehe Definition 1-20) haben können.

**Definition 1-16.** Die Menge der Sätze (SATZ; Metavariablen:  $\Sigma, \Sigma', \Sigma^*, \dots$ )

$$\text{SATZ} = \{\ulcorner \Xi \Gamma \urcorner \mid \Xi \in \text{PERF} \text{ und } \Gamma \in \text{GFORM}\}$$

**Definition 1-17.** Annahme- und Folgerungssätze (ASATZ und FSATZ)

- (i) ASATZ =  $\{\ulcorner \text{Sei } \Gamma \urcorner \mid \Gamma \in \text{GFORM}\}$
- (ii) FSATZ =  $\{\ulcorner \text{Also } \Gamma \urcorner \mid \Gamma \in \text{GFORM}\}$

**Theorem 1-7.** *Eindeutige Kategorie und eindeutige Lesbarkeit für Sätze*

Wenn  $\Sigma \in \text{SATZ}$ , dann  $\Sigma \notin \text{TERM} \cup \text{QUANTOR} \cup \text{FORM}$  und

- (i)  $\Sigma \in \text{ASATZ}$  und  $\Sigma \notin \text{FSATZ}$  und es gibt  $\Gamma \in \text{GFORM}$ , so dass  $\Sigma = \ulcorner \text{Sei } \Gamma \urcorner$  und für alle  $\Gamma' \in \text{GFORM}$  mit  $\Sigma = \ulcorner \text{Sei } \Gamma' \urcorner$  gilt:  $\Gamma = \Gamma'$ , oder
- (ii)  $\Sigma \in \text{FSATZ}$  und  $\Sigma \notin \text{ASATZ}$  und es gibt  $\Gamma \in \text{GFORM}$ , so dass  $\Sigma = \ulcorner \text{Also } \Gamma \urcorner$  und für alle  $\Gamma' \in \text{GFORM}$  mit  $\Sigma = \ulcorner \text{Also } \Gamma' \urcorner$  gilt:  $\Gamma = \Gamma'$ .

*Beweis:* Sei  $\Sigma \in \text{SATZ}$ . Also gibt es  $\Xi \in \text{PERF}$  und  $\Gamma \in \text{GFORM}$ , so dass  $\Sigma = \ulcorner \Xi \Gamma \urcorner$ . Wäre  $\Sigma \in \text{TERM} \cup \text{QUANTOR} \cup \text{FORM}$ , dann wäre  $\Sigma \in \text{ATERM}$  oder  $\Sigma \in \text{FTERM} \cup \text{QUANTOR} \cup \text{FORM}$ . Im ersten Falle wäre im Widerspruch zu Postulat 1-2-(ii)  $\Sigma \in \text{GAUS}$ . Im zweiten Falle gäbe es  $\mu \in \text{FUNK} \cup \text{QUANT} \cup \text{PRÄ} \cup \{\ulcorner \neg \urcorner, \ulcorner ( \urcorner\}$  und  $\mu' \in \text{AUS}$ , so dass  $\Sigma = \ulcorner \mu \mu' \urcorner$ . Damit wäre  $\Xi = \mu$  und mithin  $\Xi \in \text{FUNK} \cup \text{QUANT} \cup \text{PRÄ} \cup \{\ulcorner \neg \urcorner, \ulcorner ( \urcorner$  im Widerspruch zu Postulat 1-1. Also  $\Sigma \notin \text{TERM} \cup \text{QUANTOR} \cup \text{FORM}$ .

Wenn nun  $\Sigma \in \text{SATZ}$ , dann  $\Sigma \in \text{ASATZ}$  oder  $\Sigma \in \text{FSATZ}$ . Es werden diese *zwei* Fälle unterschieden. *Erstens:* Sei  $\Sigma \in \text{ASATZ}$ . Dann gibt es  $\Gamma \in \text{GFORM}$ , so dass  $\Sigma = \ulcorner \text{Sei } \Gamma \urcorner$ . Wäre darüber hinaus  $\Sigma \in \text{FSATZ}$ , dann gäbe es  $\Gamma^*$ , so dass  $\Sigma = \ulcorner \text{Also } \Gamma^* \urcorner$  und nach Theorem 1-2-(iii)  $\ulcorner \text{Sei} \urcorner = \ulcorner \text{Also} \urcorner$ . Dann wäre entgegen Postulat 1-1-(viii)  $\{\ulcorner \text{Sei} \urcorner, \ulcorner \text{Also} \urcorner\}$  keine Zweiermenge. Also  $\Sigma \notin \text{FSATZ}$ . Sei nun auch  $\Gamma' \in \text{GFORM}$ , so dass  $\Sigma = \ulcorner \text{Sei } \Gamma' \urcorner$ . Also  $\ulcorner \text{Sei } \Gamma \urcorner = \ulcorner \text{Sei } \Gamma' \urcorner$ . Mit Theorem 1-2-(i) folgt sofort  $\Gamma = \Gamma'$ .

*Zweitens:* Sei  $\Sigma \in \text{FSATZ}$ . Dann gibt es  $\Gamma \in \text{GFORM}$ , so dass  $\Sigma = \ulcorner \text{Also } \Gamma \urcorner$ . Wäre nun auch  $\Sigma \in \text{ASATZ}$ , dann ergäbe sich wieder ein Widerspruch. Also  $\Sigma \notin \text{ASATZ}$ . Sei nun auch  $\Gamma' \in \text{GFORM}$ , so dass  $\Sigma = \ulcorner \text{Also } \Gamma' \urcorner$ . Also  $\ulcorner \text{Also } \Gamma \urcorner = \ulcorner \text{Also } \Gamma' \urcorner$ . Mit Theorem 1-2-(i) folgt sofort  $\Gamma = \Gamma'$ .  $\square$

Nach Theorem 1-7 lassen sich nun auch Funktionen auf der Menge  $\text{TERM} \cup \text{FORM} \cup \text{SATZ}$  in der üblichen Weise über den Aufbau der Terme, Formeln und Sätze definieren.

**Definition 1-18.** *Satzaussagenzuordnung (A)*

$$A = \{(\ulcorner \Xi \Gamma \urcorner, \Gamma) \mid \Xi \in \text{PERF} \text{ und } \Gamma \in \text{GFORM}\}$$

*Hinweis:* Mit Definition 1-16 und Theorem 1-7 ergibt sich sofort, dass A eine Funktion auf  $\text{SATZ}$  ist. Daher wird im Weiteren die Funktionsschreibweise verwendet:  $A(\ulcorner \Xi \Gamma \urcorner) = \Gamma$ . Die definierten Kategorien können nun als die eigentlichen Ausdrücke zusammengefasst werden.

**Definition 1-19.** Die Menge der eigentlichen Ausdrücke (EAUS)

$$\text{EAUS} = \text{GAUS} \cup \text{QUANTOR} \cup \text{TERM} \cup \text{FORM} \cup \text{SATZ}$$

**Definition 1-20.** Die Teilausdruckfunktion (TA)

TA ist eine Funktion auf EAUS und

- (i) Wenn  $\tau \in \text{GAUS}$ , dann  $\text{TA}(\tau) = \{\tau\}$ ,
- (ii) Wenn  $\ulcorner \varphi(\theta_0, \dots, \theta_{n-1}) \urcorner \in \text{FTERM}$ , dann
 
$$\text{TA}(\ulcorner \varphi(\theta_0, \dots, \theta_{n-1}) \urcorner) = \{\ulcorner \varphi(\theta_0, \dots, \theta_{n-1}) \urcorner, \varphi\} \cup \bigcup \{\text{TA}(\theta_i) \mid i \in n\},$$
- (iii) Wenn  $\ulcorner \Pi \xi \urcorner \in \text{QUANTOR}$ , dann  $\text{TA}(\ulcorner \Pi \xi \urcorner) = \{\ulcorner \Pi \xi \urcorner, \Pi, \xi\}$ , und
- (iv) Wenn  $\ulcorner \Phi(\theta_0, \dots, \theta_{n-1}) \urcorner \in \text{AFORM}$ , dann
 
$$\text{TA}(\ulcorner \Phi(\theta_0, \dots, \theta_{n-1}) \urcorner) = \{\ulcorner \Phi(\theta_0, \dots, \theta_{n-1}) \urcorner, \Phi\} \cup \bigcup \{\text{TA}(\theta_i) \mid i \in n\},$$
- (v) Wenn  $\ulcorner \neg \Delta \urcorner \in \text{JFORM}$ , dann  $\text{TA}(\ulcorner \neg \Delta \urcorner) = \{\ulcorner \neg \Delta \urcorner, \ulcorner \neg \urcorner\} \cup \text{TA}(\Delta)$ ,
- (vi) Wenn  $\ulcorner \Delta_0 \psi \Delta_1 \urcorner \in \text{JFORM}$ , dann
 
$$\text{TA}(\ulcorner \Delta_0 \psi \Delta_1 \urcorner) = \{\ulcorner \Delta_0 \psi \Delta_1 \urcorner, \psi\} \cup \text{TA}(\Delta_0) \cup \text{TA}(\Delta_1),$$
- (vii) Wenn  $\ulcorner \Pi \xi \Delta \urcorner \in \text{QFORM}$ , dann
 
$$\text{TA}(\ulcorner \Pi \xi \Delta \urcorner) = \{\ulcorner \Pi \xi \Delta \urcorner\} \cup \text{TA}(\ulcorner \Pi \xi \urcorner) \cup \text{TA}(\Delta),$$
 und
- (viii) Wenn  $\ulcorner \Xi \Delta \urcorner \in \text{SATZ}$ , dann  $\text{TA}(\ulcorner \Xi \Delta \urcorner) = \{\ulcorner \Xi \Delta \urcorner, \Xi\} \cup \text{TA}(\Delta)$ .

**Definition 1-21.** Die Teiltermfunktion (TT)

TT ist eine Funktion auf  $\text{TERM} \cup \text{FORM} \cup \text{SATZ}$  und für alle  $\tau \in \text{TERM} \cup \text{FORM} \cup \text{SATZ}$  ist  $\text{TT}(\tau) = \text{TA}(\tau) \cap \text{TERM}$ .

**Definition 1-22.** Die Teilformelfunktion (TF)

TF ist eine Funktion auf  $\text{FORM} \cup \text{SATZ}$  und für alle  $\tau \in \text{FORM} \cup \text{SATZ}$  ist  $\text{TF}(\tau) = \text{TA}(\tau) \cap \text{FORM}$ .

Die folgenden Definitionen beschreiben die Syntax von L insoweit sie über die Satzebene hinausgeht. Wie gesagt, wird– wie schon bei den vorhergehenden Definitionen – der explizite Bezug auf L unterdrückt. Definition 1-23 zeichnet endliche Folgen aus Folge- und Annahmesätzen als (Satz)Sequenzen aus:

**Definition 1-23.** (Satz)Sequenzen (Metavariablen:  $\mathfrak{S}, \mathfrak{S}', \mathfrak{S}^*, \dots$ )

$\mathfrak{S}$  ist eine Sequenz

gdw

$\mathfrak{S}$  ist eine endliche Folge und für alle  $i \in \text{Dom}(\mathfrak{S})$  gilt:  $\mathfrak{S}_i \in \text{SATZ}$ .

**Definition 1-24.** Menge der (Satz)Sequenzen (SEQ)

$$\text{SEQ} = \{\mathfrak{S} \mid \mathfrak{S} \text{ ist eine Sequenz}\}$$

**Definition 1-25.** Konklusionszuordnung (K)

$$K = \{(\mathfrak{S}, \Gamma) \mid \mathfrak{S} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\} \text{ und } \Gamma = A(\mathfrak{S}_{\text{Dom}(\mathfrak{S})-1})\}$$

*Hinweis:* Aus dieser Definition ergibt sich direkt, dass K eine Funktion auf  $\text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$  ist.

**Definition 1-26.** Zuordnung der Teilmenge einer Sequenz  $\mathfrak{S}$ , deren Glieder die Annahmesätze von  $\mathfrak{S}$  sind (ANS)

$$\text{ANS} = \{(\mathfrak{S}, X) \mid \mathfrak{S} \in \text{SEQ} \text{ und } X = \{(i, \mathfrak{S}_i) \mid i \in \text{Dom}(\mathfrak{S}) \text{ und } \mathfrak{S}_i \in \text{ASATZ}\}\}$$

**Definition 1-27.** Zuordnung der Menge der Annahmen (AN)

$$\text{AN} = \{(\mathfrak{S}, X) \mid \mathfrak{S} \in \text{SEQ} \text{ und } X = \{\Gamma \mid \text{Es gibt ein } i \in \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{S})), \text{ so dass } \Gamma = A(\mathfrak{S}_i)\}\}$$

**Definition 1-28.** Zuordnung der Teilmenge einer Sequenz  $\mathfrak{S}$ , deren Glieder die Folgerungssätze von  $\mathfrak{S}$  sind (FS)

$$\text{FS} = \{(\mathfrak{S}, X) \mid \mathfrak{S} \in \text{SEQ} \text{ und } X = \{(i, \mathfrak{S}_i) \mid i \in \text{Dom}(\mathfrak{S}) \text{ und } \mathfrak{S}_i \in \text{FSATZ}\}\}$$

*Hinweis:* Aus diesen Definitionen ergibt sich direkt, dass ANS, AN und FS Funktionen auf SEQ sind.

**Definition 1-29.** Reine Folgerungssequenzen

$\mathfrak{S}$  ist eine reine Folgerungssequenz gdw  $\mathfrak{S} \in \text{SEQ}$  und  $\mathfrak{S} = \text{FS}(\mathfrak{S})$ .

**Definition 1-30.** Reine Annahmesequenzen

$\mathfrak{S}$  ist eine reine Annahmesequenz gdw  $\mathfrak{S} \in \text{SEQ}$  und  $\mathfrak{S} = \text{ANS}(\mathfrak{S})$ .

**Definition 1-31.** Zuordnung der Menge der Teilterme der Glieder einer Sequenz  $\mathfrak{S}$  (TTSEQ)

$$\text{TTSEQ} = \{(\mathfrak{S}, X) \mid \mathfrak{S} \in \text{SEQ} \text{ und } X = \cup\{\text{TT}(\mathfrak{S}_i) \mid i \in \text{Dom}(\mathfrak{S})\}\}$$

*Hinweis:* Aus dieser Definition ergibt sich direkt, dass TTSEQ eine Funktion auf SEQ ist.

**Definition 1-32.** Zuordnung der Menge der Teilterme der Elemente einer Formelmenge  $X$  (TTFM)

$$\text{TTFM} = \{(X, Y) \mid X \subseteq \text{FORM und } Y = \cup\{\text{TT}(A) \mid A \in X\}\}$$

*Hinweis:* Aus dieser Definition ergibt sich direkt, dass TTFM eine Funktion auf  $\text{Pot}(\text{FORM})$  ist.

## 1.2 Substitution

Für die metalogische Arbeit sind nun Substitutionsbegrifflichkeiten zu etablieren. Dabei wird die übliche Substitutionskonzeption eingeschränkt: Die Substituenda dürfen nur atomare Terme sein und von den Substituentia wird Geschlossenheit verlangt. Dies macht es auch überflüssig, gebundene Umbenennungen vorzunehmen, um Variablenkollisionen zu verhindern, da die Substituentia eben geschlossen sind. Die Aufgaben, die in vielen Kalkülen und in der Modelltheorie üblicherweise von freien Variablen übernommen werden, leisten im Redehandlungskalkül und in der hier entwickelten Modelltheorie die Parameter – welche geschlossene Terme sind (siehe Definition 1-14). Sodann können nicht nur Terme und Formeln Substitutionsorte sein, sondern auch Sätze und Sequenzen (Klausel (xi) und (xii) von Definition 1-33).

**Definition 1-33.** *Substitution von geschlossenen Termen für atomare Terme in Termen, Formeln und Sätzen*<sup>7</sup>

Die Substitution ist eine Funktion auf  $\{\langle\langle\theta'_0, \dots, \theta'_{k-1}\rangle, \langle\theta_0, \dots, \theta_{k-1}\rangle, \mu\rangle \mid k \in \mathbb{N} \setminus \{0\}, \langle\theta'_0, \dots, \theta'_{k-1}\rangle \in {}^k\text{GTERM}, \langle\theta_0, \dots, \theta_{k-1}\rangle \in {}^k\text{ATERM} \text{ und } \mu \in \text{TERM} \cup \text{FORM} \cup \text{SATZ} \cup \text{SEQ}\}$ . Als Substitutionsoperator wird '[... ..]' verwendet. Die Werte werden wie folgt zugeordnet:

- (i) Wenn  $\theta^+ \in \text{ATERM}$  und  $\theta^+ = \theta_{k-1}$ , dann  $[\langle\theta'_0, \dots, \theta'_{k-1}\rangle, \langle\theta_0, \dots, \theta_{k-1}\rangle, \theta^+] = \theta'_{k-1}$ ,
- (ii) Wenn  $\theta^+ \in \text{ATERM}$ ,  $\theta^+ \neq \theta_{k-1}$  und  $k = 1$ , dann  $[\langle\theta'_0, \dots, \theta'_{k-1}\rangle, \langle\theta_0, \dots, \theta_{k-1}\rangle, \theta^+] = \theta^+$ ,
- (iii) Wenn  $\theta^+ \in \text{ATERM}$ ,  $\theta^+ \neq \theta_{k-1}$  und  $k \neq 1$ , dann
 
$$[\langle\theta'_0, \dots, \theta'_{k-1}\rangle, \langle\theta_0, \dots, \theta_{k-1}\rangle, \theta^+] = [\langle\theta'_0, \dots, \theta'_{k-2}\rangle, \langle\theta_0, \dots, \theta_{k-2}\rangle, \theta^+],$$
- (iv) Wenn  $\ulcorner\varphi(\theta^*_{l-1}, \dots, \theta^*_{l-1})\urcorner \in \text{FTERM}$ , dann
 
$$\begin{aligned} &[\langle\theta'_0, \dots, \theta'_{k-1}\rangle, \langle\theta_0, \dots, \theta_{k-1}\rangle, \ulcorner\varphi(\theta^*_{l-1}, \dots, \theta^*_{l-1})\urcorner] \\ &= \ulcorner\varphi([\langle\theta'_0, \dots, \theta'_{k-1}\rangle, \langle\theta_0, \dots, \theta_{k-1}\rangle, \theta^*_0], \dots, [\langle\theta'_0, \dots, \theta'_{k-1}\rangle, \langle\theta_0, \dots, \theta_{k-1}\rangle, \theta^*_{l-1}])\urcorner, \end{aligned}$$
- (v) Wenn  $\ulcorner\Phi(\theta_{l-1}, \dots, \theta_{l-1})\urcorner \in \text{AFORM}$ , dann
 
$$\begin{aligned} &[\langle\theta'_0, \dots, \theta'_{k-1}\rangle, \langle\theta_0, \dots, \theta_{k-1}\rangle, \ulcorner\Phi(\theta_{l-1}, \dots, \theta_{l-1})\urcorner] \\ &= \ulcorner\Phi([\langle\theta'_0, \dots, \theta'_{k-1}\rangle, \langle\theta_0, \dots, \theta_{k-1}\rangle, \theta^*_0], \dots, [\langle\theta'_0, \dots, \theta'_{k-1}\rangle, \langle\theta_0, \dots, \theta_{k-1}\rangle, \theta^*_{l-1}])\urcorner, \end{aligned}$$
- (vi) Wenn  $\ulcorner\neg\Delta\urcorner \in \text{JFORM}$ , dann
 
$$[\langle\theta'_0, \dots, \theta'_{k-1}\rangle, \langle\theta_0, \dots, \theta_{k-1}\rangle, \ulcorner\neg\Delta\urcorner] = \ulcorner\neg[\langle\theta'_0, \dots, \theta'_{k-1}\rangle, \langle\theta_0, \dots, \theta_{k-1}\rangle, \Delta]\urcorner,$$
- (vii) Wenn  $\ulcorner\Delta_0 \psi \Delta_1\urcorner \in \text{JFORM}$ , dann
 
$$\begin{aligned} &[\langle\theta'_0, \dots, \theta'_{k-1}\rangle, \langle\theta_0, \dots, \theta_{k-1}\rangle, \ulcorner\Delta_0 \psi \Delta_1\urcorner] \\ &= \ulcorner[\langle\theta'_0, \dots, \theta'_{k-1}\rangle, \langle\theta_0, \dots, \theta_{k-1}\rangle, \Delta_0] \psi [\langle\theta'_0, \dots, \theta'_{k-1}\rangle, \langle\theta_0, \dots, \theta_{k-1}\rangle, \Delta_1]\urcorner, \end{aligned}$$

<sup>7</sup> Es gelte  ${}^xY = \{f \mid f \in \text{Pot}(X \times Y) \text{ und } f \text{ ist Funktion auf } X \text{ und } \text{Ran}(f) \subseteq Y\}$ . Für die Verwendung des Tupeloperators gelte:  $\langle a_0, \dots, a_{k-1} \rangle = \{(i, a_i) \mid i < k\}$ . Bei der Angabe von Substitutionen werden im Folgenden für 1-Tupel einfach deren Werte notiert. Also etwa  $[\theta'_0, \theta_0, \Delta]$  statt  $[\langle\theta'_0\rangle, \langle\theta_0\rangle, \Delta]$ .

- (viii) Wenn  $\ulcorner \Pi \xi \Delta \urcorner \in \text{QFORM}$ , dann sei  $\langle i_0, \dots, i_{s-1} \rangle$  so, dass  $s = |\{j \mid j < k \text{ und } \theta_j \neq \xi\}|$  und für alle  $l < s$  gilt  $i_l \in \{j \mid j < k \text{ und } \theta_j \neq \xi\}$  und für alle  $k < l < s$  gilt  $i_k < i_l$ , und es sei  $[\langle \theta'_0, \dots, \theta'_{k-1} \rangle, \langle \theta_0, \dots, \theta_{k-1} \rangle, \ulcorner \Pi \xi \Delta \urcorner] = \ulcorner \Pi \xi [\langle \theta'_{i_0}, \dots, \theta'_{i_{s-1}} \rangle, \langle \theta_{i_0}, \dots, \theta_{i_{s-1}} \rangle, \Delta] \urcorner$ , falls  $|\{j \mid j < k \text{ und } \theta_j \neq \xi\}| \neq 0$ ,  $[\langle \theta'_0, \dots, \theta'_{k-1} \rangle, \langle \theta_0, \dots, \theta_{k-1} \rangle, \ulcorner \Pi \xi \Delta \urcorner] = \ulcorner \Pi \xi \Delta \urcorner$  sonst,
- (ix) Wenn  $\ulcorner \Xi \Delta \urcorner \in \text{SATZ}$ , dann  $[\langle \theta'_0, \dots, \theta'_{k-1} \rangle, \langle \theta_0, \dots, \theta_{k-1} \rangle, \ulcorner \Xi \Delta \urcorner] = \ulcorner \Xi [\langle \theta'_0, \dots, \theta'_{k-1} \rangle, \langle \theta_0, \dots, \theta_{k-1} \rangle, \Delta] \urcorner$  und
- (x) Wenn  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ}$ , dann  $[\langle \theta'_0, \dots, \theta'_{k-1} \rangle, \langle \theta_0, \dots, \theta_{k-1} \rangle, \mathfrak{H}] = \{(j, [\langle \theta'_0, \dots, \theta'_{k-1} \rangle, \langle \theta_0, \dots, \theta_{k-1} \rangle, \mathfrak{H}_j]) \mid j \in \text{Dom}(\mathfrak{H})\}$ .

In Klausel (viii) wird die Substitution in Quantorformeln reguliert. Falls Glieder der Substituendumfolge nicht mit der durch den betreffenden Quantor gebundene Variable identisch sind, dann soll die Substitution innerhalb der quantifizierten Formel für und nur für diese Glieder der Substituendumfolge durchgeführt werden. Dementsprechend müssen in diesem Fall die erwünschten Substituendglieder und die ihnen korrespondierenden Substituensglieder herausgegriffen werden. Dies geschieht durch die (jeweils eindeutig bestimmte) Zahlenfolge  $\langle i_0, \dots, i_{s-1} \rangle$ , die gerade die Indizes herausgreift, deren Werte in der Substituendumfolge verschieden von der gebundenen Variable sind. Durch Komposition der ursprünglichen Substituendum- resp. Substituensfolgen mit  $\langle i_0, \dots, i_{s-1} \rangle$  entstehen dann gerade die neue Substituendum- resp. Substituensfolgen, die die gewünschten Eigenschaften haben. Sind dagegen alle Glieder der Substituendumfolge mit der gebundenen Variable identisch, dann soll das Substitutionsergebnis mit dem Substitutionsort – also der betreffenden Quantorformel – identisch sein.

Nun sind einige Theoreme zu etablieren, die für die Metatheorie des Redehandlungskalküls – insbesondere *ab* Kap. 4 – benötigt werden. Es empfiehlt sich für den ungeduldigeren Leser, diese Theoreme zunächst zu überspringen und dann im Bedarfsfall hierher zurückzukehren. Zunächst folgt ein Theorem, das Induktionsbeweise über den Formelgrad vereinfacht. Es wird mittels Induktion über den Formelaufbau bewiesen.

**Theorem 1-8.** *Formelgraderhaltung bei Substitution*

Wenn  $\theta \in \text{GTERM}$ ,  $\theta' \in \text{ATERM}$  und  $\Delta \in \text{FORM}$ , dann  $\text{FGRAD}(\Delta) = \text{FGRAD}([\theta, \theta', \Delta])$ .

*Beweis:* Seien  $\theta \in \text{GTERM}$ ,  $\theta' \in \text{ATERM}$  und  $\Delta \in \text{FORM}$ . Der Beweis wird mittels struktureller Induktion über den Formelaufbau von  $\Delta$  geführt. Sei  $\Delta \in \text{AFORM}$ , also  $\Delta = \ulcorner \Phi(\theta_0, \dots, \theta_{n-1}) \urcorner$ . Dann ist nach Definition 1-12  $\text{FGRAD}(\Delta) = 0$ . Dabei gilt  $[\theta, \theta', \Delta] = [\theta, \theta', \ulcorner \Phi(\theta_0, \dots, \theta_{n-1}) \urcorner] = \ulcorner \Phi([\theta, \theta', \theta_0], \dots, [\theta, \theta', \theta_{n-1}]) \urcorner \in \text{AFORM}$ . Also auch  $\text{FGRAD}([\theta,$

$\theta', \Delta]) = 0$ . Gelte die Behauptung nun für  $\Delta_0$  und  $\Delta_1$ . Also  $\text{FGRAD}(\Delta_0) = \text{FGRAD}([\theta, \theta', \Delta_0])$  und  $\text{FGRAD}(\Delta_1) = \text{FGRAD}([\theta, \theta', \Delta_1])$ .

*Zu JFORM:* Sei nun  $\Delta = \ulcorner \neg \Delta_0 \urcorner$ . Dann ist  $\text{FGRAD}(\Delta) = \text{FGRAD}(\ulcorner \neg \Delta_0 \urcorner) = \text{FGRAD}(\Delta_0) + 1 = \text{FGRAD}([\theta, \theta', \Delta_0]) + 1 = \text{FGRAD}(\ulcorner \neg [\theta, \theta', \Delta_0] \urcorner) = \text{FGRAD}([\theta, \theta', \ulcorner \neg \Delta_0 \urcorner]) = \text{FGRAD}([\theta, \theta', \Delta])$ . Sei nun  $\Delta = \ulcorner (\Delta_0 \psi \Delta_1) \urcorner$  für ein  $\psi \in \text{JUNK} \setminus \{ \ulcorner \neg \urcorner \}$ . Dann ist  $\text{FGRAD}(\Delta) = \text{FGRAD}(\ulcorner (\Delta_0 \psi \Delta_1) \urcorner) = \max(\{\text{FGRAD}(\Delta_0), \text{FGRAD}(\Delta_1)\}) + 1 = \max(\{\text{FGRAD}([\theta, \theta', \Delta_0]), \text{FGRAD}([\theta, \theta', \Delta_1])\}) + 1 = \text{FGRAD}(\ulcorner ([\theta, \theta', \Delta_0] \psi [\theta, \theta', \Delta_1]) \urcorner) = \text{FGRAD}([\theta, \theta', \ulcorner (\Delta_0 \psi \Delta_1) \urcorner]) = \text{FGRAD}([\theta, \theta', \Delta])$ .

*Zu QFORM:* Sei nun  $\Delta = \ulcorner \Pi \xi \Delta_0 \urcorner$ . Sei zunächst  $\xi \neq \theta'$ . Dann ist  $\text{FGRAD}(\Delta) = \text{FGRAD}(\ulcorner \Pi \xi \Delta_0 \urcorner) = \text{FGRAD}(\Delta_0) + 1 = \text{FGRAD}([\theta, \theta', \Delta_0]) + 1 = \text{FGRAD}(\ulcorner \Pi \xi [\theta, \theta', \Delta_0] \urcorner) = \text{FGRAD}([\theta, \theta', \ulcorner \Pi \xi \Delta_0 \urcorner]) = \text{FGRAD}([\theta, \theta', \Delta])$ . Sei sodann  $\xi = \theta'$ . Dann ist  $\text{FGRAD}(\Delta) = \text{FGRAD}(\ulcorner \Pi \xi \Delta_0 \urcorner) = \text{FGRAD}([\theta, \theta', \ulcorner \Pi \xi \Delta_0 \urcorner]) = \text{FGRAD}([\theta, \theta', \Delta])$ .  $\square$

**Theorem 1-9.** *Für alle Substituenda und Substitutionsorte gilt, dass entweder alle geschlossenen Terme Teilterme des jeweiligen Substitutionsergebnisses sind oder für alle geschlossenen Terme das jeweilige Substitutionsergebnis mit dem Substitutionsort identisch ist*

Wenn  $\theta' \in \text{ATERM}$ ,  $\theta^* \in \text{TERM}$ ,  $\Delta \in \text{FORM}$  dann:

- (i)  $\theta \in \text{TT}([\theta, \theta', \theta^*])$  für alle  $\theta \in \text{GTERM}$  oder  $[\theta, \theta', \theta^*] = \theta^*$  für alle  $\theta \in \text{GTERM}$  und
- (ii)  $\theta \in \text{TT}([\theta, \theta', \Delta])$  für alle  $\theta \in \text{GTERM}$  oder  $[\theta, \theta', \Delta] = \Delta$  für alle  $\theta \in \text{GTERM}$ .

*Beweis:* Seien  $\theta' \in \text{ATERM}$ ,  $\theta^* \in \text{TERM}$ ,  $\Delta \in \text{FORM}$ . *Zu (i):* Der Beweis wird mittels struktureller Induktion über den Termaufbau von  $\theta^*$  geführt. Sei  $\theta^* \in \text{ATERM}$ . Falls  $\theta' = \theta^*$ , dann ist  $[\theta, \theta', \theta^*] = \theta$  und mithin  $\theta \in \text{TT}([\theta, \theta', \theta^*])$  für alle  $\theta \in \text{GTERM}$ . Falls  $\theta' \neq \theta^*$ , dann ist  $[\theta, \theta', \theta^*] = \theta^*$  für alle  $\theta \in \text{GTERM}$ . Gelte die Behauptung nun für  $\theta^*_0, \dots, \theta^*_{r-1} \in \text{TERM}$  und sei  $\theta^* = \ulcorner \varphi(\theta^*_0, \dots, \theta^*_{r-1}) \urcorner \in \text{FTERM}$ . Dann ist  $[\theta, \theta', \theta^*] = [\theta, \theta', \ulcorner \varphi(\theta^*_0, \dots, \theta^*_{r-1}) \urcorner] = \ulcorner \varphi([\theta, \theta', \theta^*_0], \dots, [\theta, \theta', \theta^*_{r-1}]) \urcorner$  für alle  $\theta \in \text{GTERM}$ . Nun gilt nach I.V. für alle  $i < r$ :  $\theta \in \text{TT}([\theta, \theta', \theta^*_i])$  für alle  $\theta \in \text{GTERM}$  oder  $[\theta, \theta', \theta^*_i] = \theta^*_i$  für alle  $\theta \in \text{GTERM}$ . Angenommen es gibt ein  $i < r$ , so dass  $\theta \in \text{TT}([\theta, \theta', \theta^*_i])$  für alle  $\theta \in \text{GTERM}$ . Dann ist auch  $\theta \in \text{TT}(\ulcorner \varphi([\theta, \theta', \theta^*_0], \dots, [\theta, \theta', \theta^*_{r-1}]) \urcorner) = \text{TT}([\theta, \theta', \theta^*])$  für alle  $\theta \in \text{GTERM}$ . Angenommen es gibt kein  $i < r$ , so dass  $\theta \in \text{TT}([\theta, \theta', \theta^*_i])$  für alle  $\theta \in \text{GTERM}$ . Dann gilt nach I.V.  $[\theta, \theta', \theta^*_i] = \theta^*_i$  für alle  $\theta \in \text{GTERM}$  und alle  $i < r$ . Also  $[\theta, \theta', \theta^*] = \ulcorner \varphi([\theta, \theta', \theta^*_0], \dots, [\theta, \theta', \theta^*_{r-1}]) \urcorner = \ulcorner \varphi(\theta^*_0, \dots, \theta^*_{r-1}) \urcorner = \theta^*$  für alle  $\theta \in \text{GTERM}$ .

Zu (ii): Sei  $\Delta \in \text{FORM}$ . Der Beweis wird mittels struktureller Induktion über den Formelaufbau von  $\Delta$  geführt. Sei  $\Delta = \ulcorner \Phi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \urcorner \in \text{AFORM}$ . Der Fall verläuft analog zum FTERM-Fall unter Verwendung von (i).

Gelte die Behauptung nun für  $\Delta_0, \Delta_1 \in \text{FORM}$  und sei  $\Delta = \ulcorner \neg \Delta_0 \urcorner \in \text{JFORM}$ . Dann ist  $[\theta, \theta', \Delta] = [\theta, \theta', \ulcorner \neg \Delta_0 \urcorner] = \ulcorner \neg [\theta, \theta', \Delta_0] \urcorner$  für alle  $\theta \in \text{GTERM}$ . Nun gilt nach I.V.  $\theta \in \text{TT}([\theta, \theta', \Delta_0])$  für alle  $\theta \in \text{GTERM}$  oder  $[\theta, \theta', \Delta_0] = \Delta_0$  für alle  $\theta \in \text{GTERM}$ . Im ersten Fall gilt auch  $\theta \in \text{TT}(\ulcorner \neg [\theta, \theta', \Delta_0] \urcorner) = \text{TT}(\Delta)$  für alle  $\theta \in \text{GTERM}$ . Im zweiten Fall gilt  $[\theta, \theta', \Delta] = \ulcorner \neg [\theta, \theta', \Delta_0] \urcorner = \ulcorner \neg \Delta_0 \urcorner = \Delta$  für alle  $\theta \in \text{GTERM}$ . Sei  $\Delta = \ulcorner (\Delta_0 \psi \Delta_1) \urcorner$ . Der Fall verläuft analog zum Negatorfall.

Sei  $\Delta = \ulcorner \Pi \xi \Delta_0 \urcorner$ . Sei zunächst  $\xi = \theta'$ . Dann ist  $[\theta, \theta', \Delta] = [\theta, \theta', \ulcorner \Pi \xi \Delta_0 \urcorner] = \ulcorner \Pi \xi \Delta_0 \urcorner = \Delta$  für alle  $\theta \in \text{GTERM}$ . Sei sodann  $\xi \neq \theta'$ . Dann ist  $[\theta, \theta', \Delta] = [\theta, \theta', \ulcorner \Pi \xi \Delta_0 \urcorner] = \ulcorner \Pi \xi [\theta, \theta', \Delta_0] \urcorner$  für alle  $\theta \in \text{GTERM}$ . Nun gilt nach I.V.  $\theta \in \text{TT}([\theta, \theta', \Delta_0])$  für alle  $\theta \in \text{GTERM}$  oder  $[\theta, \theta', \Delta_0] = \Delta_0$  für alle  $\theta \in \text{GTERM}$ . Im ersten Fall gilt auch  $\theta \in \text{TT}(\ulcorner \Pi \xi [\theta, \theta', \Delta_0] \urcorner) \subseteq \text{TT}(\Delta)$  für alle  $\theta \in \text{GTERM}$ . Im zweiten Fall gilt  $[\theta, \theta', \Delta] = \ulcorner \Pi \xi [\theta, \theta', \Delta_0] \urcorner = \ulcorner \Pi \xi \Delta_0 \urcorner = \Delta$  für alle  $\theta \in \text{GTERM}$ .  $\square$

**Theorem 1-10.** *Basen für die Substitution von geschlossenen Termen in Termen*

Wenn  $\theta \in \text{TERM}$ ,  $k \in \mathbb{N} \setminus \{0\}$ ,  $\{\theta_0, \dots, \theta_{k-1}\} \subseteq \text{GTERM}$  und  $\{\xi_0, \dots, \xi_{k-1}\} \subseteq \text{VAR} \setminus \text{TT}(\theta)$ , wobei  $\xi_i \neq \xi_j$  für alle  $i, j < k$  mit  $i \neq j$ , dann gibt es ein  $\theta^+ \in \text{TERM}$ , wobei  $\text{FV}(\theta^+) \subseteq \{\xi_0, \dots, \xi_{k-1}\} \cup \text{FV}(\theta)$  und  $\text{TT}(\theta^+) \cap \{\theta_0, \dots, \theta_{k-1}\} = \emptyset$ , so dass  $\theta = [\langle \theta_0, \dots, \theta_{k-1} \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{k-1} \rangle, \theta^+]$ .

*Beweis:* Durch Induktion über den Termaufbau von  $\theta$ . Sei  $\theta \in \text{ATERM}$ . Sei nun  $k \in \mathbb{N} \setminus \{0\}$ ,  $\{\theta_0, \dots, \theta_{k-1}\} \subseteq \text{GTERM}$  und  $\{\xi_0, \dots, \xi_{k-1}\} \subseteq \text{VAR} \setminus \text{TT}(\theta)$ , wobei  $\xi_i \neq \xi_j$  für alle  $i, j < k$  mit  $i \neq j$ . Dann ist  $\theta \in \text{KONST} \cup \text{PAR} \cup \text{VAR}$ . Sei zunächst  $\theta \in \text{PAR} \cup \text{KONST}$ . Dann gibt es kein  $i < k$ , so dass  $\theta = \theta_i$ , oder es gibt ein  $i < k$ , so dass  $\theta = \theta_i$ . Im *ersten Fall* ergibt sich  $\theta = [\langle \theta_0, \dots, \theta_{k-1} \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{k-1} \rangle, \theta]$  sowie  $\text{FV}(\theta) \subseteq \{\xi_0, \dots, \xi_{k-1}\} \cup \text{FV}(\theta)$  und  $\text{TT}(\theta) \cap \{\theta_0, \dots, \theta_{k-1}\} = \emptyset$ . Im *zweiten Fall* ist dann für ein  $i < k$   $\theta = [\langle \theta_0, \dots, \theta_i \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_i \rangle, \xi_i]$ . Wegen  $\xi_i \neq \xi_j$  für alle  $i, j < k$  mit  $i \neq j$ , gilt damit aber auch  $\theta = [\langle \theta_0, \dots, \theta_i \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_i \rangle, \xi_i] = [\langle \theta_0, \dots, \theta_{k-1} \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{k-1} \rangle, \xi_i]$  und es ist  $\text{FV}(\xi_i) \subseteq \{\xi_0, \dots, \xi_{k-1}\} \cup \text{FV}(\theta)$  und  $\text{TT}(\xi_i) \cap \{\theta_0, \dots, \theta_{k-1}\} = \emptyset$ . Sei nun  $\theta \in \text{VAR}$ . Dann ist wegen  $\langle \xi_0, \dots, \xi_{k-1} \rangle \in {}^k(\text{VAR} \setminus \text{TT}(\theta))$  ebenfalls  $\theta = [\langle \theta_0, \dots, \theta_{k-1} \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{k-1} \rangle, \theta]$  und  $\text{FV}(\theta) \subseteq \text{FV}(\theta)$  und wegen  $\text{TT}(\theta) \cap \{\theta_0, \dots, \theta_{k-1}\} \subseteq \text{VAR} \cap \text{GTERM} = \emptyset$  auch  $\text{TT}(\theta) \cap \{\theta_0, \dots, \theta_{k-1}\} = \emptyset$ .

Gelte die Behauptung nun für  $\theta'_0, \dots, \theta'_{r-1} \in \text{TERM}$  und sei  $\theta = \ulcorner \varphi(\theta'_0, \dots, \theta'_{r-1}) \urcorner \in \text{FTERM}$ . Sei nun  $k \in \mathbb{N} \setminus \{0\}$ ,  $\{\theta_0, \dots, \theta_{k-1}\} \subseteq \text{GTERM}$  und  $\{\xi_0, \dots, \xi_{k-1}\} \subseteq \text{VAR} \setminus \text{TT}(\theta)$ ,

wobei  $\xi_i \neq \xi_j$  für alle  $i, j < k$  mit  $i \neq j$ . Dann gibt es nach I.V. für jedes  $\theta'_i$  ( $i < r$ ) ein  $\theta^+_i \in \text{TERM}$ , so dass  $\theta'_i = [\langle \theta_0, \dots, \theta_{k-1} \rangle, \langle \xi_1, \dots, \xi_{k-1} \rangle, \theta^+_i]$  und  $\text{FV}(\theta^+_i) \subseteq \{\xi_0, \dots, \xi_{k-1}\} \cup \text{FV}(\theta'_i)$  und  $\text{TT}(\theta^+_i) \cap \{\theta_0, \dots, \theta_{k-1}\} = \emptyset$ . Dann gibt es kein  $i < k$ , so dass  $\ulcorner \varphi(\theta'_0, \dots, \theta'_{r-1}) \urcorner = \theta_i$ , oder es gibt ein  $i < k$ , so dass  $\ulcorner \varphi(\theta'_0, \dots, \theta'_{r-1}) \urcorner = \theta_i$ . Im *ersten Fall* ist  $\ulcorner \varphi(\theta'_0, \dots, \theta'_{r-1}) \urcorner = \ulcorner \varphi([\langle \theta_0, \dots, \theta_{n-1} \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{n-1} \rangle, \theta^+_0], \dots, [\langle \theta_0, \dots, \theta_{n-1} \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{n-1} \rangle, \theta^+_{r-1}]) \urcorner = [\langle \theta_0, \dots, \theta_{n-1} \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{n-1} \rangle, \ulcorner \varphi(\theta^+_0, \dots, \theta^+_{r-1}) \urcorner]$ . Sodann ist  $\text{FV}(\ulcorner \varphi(\theta^+_0, \dots, \theta^+_{r-1}) \urcorner) = \cup\{\text{FV}(\theta^+_i) \mid i < r\}$  und somit mit I.V.  $\text{FV}(\ulcorner \varphi(\theta^+_0, \dots, \theta^+_{r-1}) \urcorner) \subseteq \cup\{\text{FV}(\theta_i) \mid i \in r\} \cup \{\xi_0, \dots, \xi_{k-1}\} = \text{FV}(\ulcorner \varphi(\theta'_0, \dots, \theta'_{r-1}) \urcorner) \cup \{\xi_0, \dots, \xi_{k-1}\}$ . Sodann ist nach Fallannahme und I.V.  $\text{TT}(\ulcorner \varphi(\theta^+_0, \dots, \theta^+_{r-1}) \urcorner) \cap \{\theta_0, \dots, \theta_{k-1}\} = (\{\ulcorner \varphi(\theta^+_0, \dots, \theta^+_{r-1}) \urcorner\} \cup \cup\{\text{TT}(\theta^+_i) \mid i < r\}) \cap \{\theta_0, \dots, \theta_{k-1}\} = (\{\ulcorner \varphi(\theta^+_0, \dots, \theta^+_{r-1}) \urcorner\} \cap \{\theta_0, \dots, \theta_{k-1}\}) \cup (\cup\{\text{TT}(\theta^+_i) \mid i < r\} \cap \{\theta_0, \dots, \theta_{k-1}\}) = \emptyset \cup \cup\{\text{TT}(\theta^+_i) \cap \{\theta_0, \dots, \theta_{k-1}\} \mid i < r\} = \emptyset$ . Im *zweiten Fall* ist dann für ein  $i$   $\ulcorner \varphi(\theta'_0, \dots, \theta'_{r-1}) \urcorner = [\langle \theta_0, \dots, \theta_i \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_i \rangle, \xi_i]$ . Wegen  $\xi_i \neq \xi_j$  für alle  $i, j < k$  mit  $i \neq j$ , gilt aber auch  $\ulcorner \varphi(\theta'_0, \dots, \theta'_{r-1}) \urcorner = [\langle \theta_0, \dots, \theta_i \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_i \rangle, \xi_i] = [\langle \theta_0, \dots, \theta_{k-1} \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{k-1} \rangle, \xi_i]$  und  $\text{FV}(\xi_i) \subseteq \{\xi_0, \dots, \xi_{k-1}\} \cup \text{FV}(\ulcorner \varphi(\theta'_0, \dots, \theta'_{r-1}) \urcorner)$  und wegen  $\xi_i \notin \text{GTERM}$  auch  $\text{TT}(\xi_i) \cap \{\theta_0, \dots, \theta_{k-1}\} = \emptyset$ .  $\square$

**Theorem 1-11.** *Basen für die Substitution von geschlossenen Termen in Formeln*

Wenn  $\Delta \in \text{FORM}$ ,  $k \in \mathbb{N} \setminus \{0\}$ ,  $\{\theta_0, \dots, \theta_{k-1}\} \subseteq \text{GTERM}$  und  $\{\xi_0, \dots, \xi_{k-1}\} \subseteq \text{VAR} \setminus \text{TT}(\Delta)$ , wobei  $\xi_i \neq \xi_j$  für alle  $i, j \in k$  mit  $i \neq j$ , dann gibt es ein  $\Delta^+ \in \text{FORM}$ , wobei  $\text{FV}(\Delta^+) \subseteq \{\xi_0, \dots, \xi_{k-1}\} \cup \text{FV}(\Delta)$  und  $\text{TT}(\Delta^+) \cap \{\theta_0, \dots, \theta_{k-1}\} = \emptyset$ , so dass  $\Delta = [\langle \theta_0, \dots, \theta_{k-1} \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{k-1} \rangle, \Delta^+]$ .

*Beweis:* Durch Induktion über den Formelaufbau von  $\Delta$ . Sei  $\Delta = \ulcorner \Phi(\theta'_0, \dots, \theta'_{r-1}) \urcorner \in \text{AFORM}$ . Sei nun  $k \in \mathbb{N} \setminus \{0\}$ ,  $\{\theta_0, \dots, \theta_{k-1}\} \subseteq \text{GTERM}$  und  $\{\xi_0, \dots, \xi_{k-1}\} \subseteq \text{VAR} \setminus \text{TT}(\ulcorner \Phi(\theta'_0, \dots, \theta'_{r-1}) \urcorner)$ , wobei  $\xi_i \neq \xi_j$  für alle  $i, j < k$  mit  $i \neq j$ . Dann gibt es nach Theorem 1-10 für jedes  $\theta'_i$  ( $i < r$ ) ein  $\theta^+_i \in \text{TERM}$ , so dass  $\theta'_i = [\langle \theta_0, \dots, \theta_{k-1} \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{k-1} \rangle, \theta^+_i]$  und  $\text{FV}(\theta^+_i) \subseteq \{\xi_0, \dots, \xi_{k-1}\} \cup \text{FV}(\theta'_i)$  und  $\text{TT}(\theta^+_i) \cap \{\theta_0, \dots, \theta_{k-1}\} = \emptyset$ . Dann ist  $\ulcorner \Phi(\theta'_0, \dots, \theta'_{r-1}) \urcorner = \ulcorner \Phi([\langle \theta_0, \dots, \theta_{k-1} \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{k-1} \rangle, \theta^+_0], \dots, [\langle \theta_0, \dots, \theta_{k-1} \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{k-1} \rangle, \theta^+_{r-1}]) \urcorner = [\langle \theta_0, \dots, \theta_{k-1} \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{k-1} \rangle, \ulcorner \Phi(\theta^+_0, \dots, \theta^+_{r-1}) \urcorner]$ . Sodann ist  $\text{FV}(\ulcorner \Phi(\theta^+_0, \dots, \theta^+_{r-1}) \urcorner) = \cup\{\text{FV}(\theta^+_i) \mid i < r\}$  und daher mit I.V.  $\text{FV}(\ulcorner \Phi(\theta^+_0, \dots, \theta^+_{r-1}) \urcorner) \subseteq \cup\{\text{FV}(\theta'_i) \mid i \in r\} \cup \{\xi_0, \dots, \xi_{k-1}\} = \text{FV}(\ulcorner \Phi(\theta'_0, \dots, \theta'_{r-1}) \urcorner) \cup \{\xi_0, \dots, \xi_{k-1}\}$ . Sodann ist nach I.V.  $\text{TT}(\ulcorner \Phi(\theta^+_0, \dots, \theta^+_{r-1}) \urcorner) \cap \{\theta_0, \dots, \theta_{k-1}\} = \cup\{\text{TT}(\theta^+_i) \mid i < r\} \cap \{\theta_0, \dots, \theta_{k-1}\} = \cup\{\text{TT}(\theta^+_i) \cap \{\theta_0, \dots, \theta_{k-1}\} \mid i < r\} = \emptyset$ .

Gelte die Behauptung nun für  $\Delta_0, \Delta_1 \in \text{FORM}$  und sei  $\Delta = \ulcorner \neg \Delta_0 \urcorner \in \text{JFORM}$ . Sei nun  $k \in \mathbb{N} \setminus \{0\}$ ,  $\{\theta_0, \dots, \theta_{k-1}\} \subseteq \text{GTERM}$  und  $\{\xi_0, \dots, \xi_{k-1}\} \subseteq \text{VAR} \setminus \text{TT}(\ulcorner \neg \Delta_0 \urcorner)$ , wobei  $\xi_i \neq \xi_j$  für alle  $i, j < k$  mit  $i \neq j$ . Dann gibt es nach I.V. für  $\Delta_0$  ein  $\Delta^+_0 \in \text{FORM}$ , so dass  $\Delta_0 = [\langle \theta_0,$

$\dots, \theta_{k-1}\rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{k-1}\rangle, \Delta^+_0]$  und  $FV(\Delta^+_0) \subseteq \{\xi_0, \dots, \xi_{k-1}\} \cup FV(\Delta_0)$  und  $TT(\Delta^+_0) \cap \{\theta_0, \dots, \theta_{k-1}\} = \emptyset$ . Dann ist  $\ulcorner \neg \Delta_0 \urcorner = \ulcorner \neg[\langle \theta_0, \dots, \theta_{k-1}\rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{k-1}\rangle, \Delta^+_0] \urcorner = [\langle \theta_0, \dots, \theta_{k-1}\rangle, \langle \xi_1, \dots, \xi_{k-1}\rangle, \ulcorner \neg \Delta^+_0 \urcorner]$ . Sodann ist  $FV(\ulcorner \neg \Delta^+_0 \urcorner) = FV(\Delta^+_0)$  und daher mit I.V.  $FV(\ulcorner \neg \Delta^+_0 \urcorner) \subseteq FV(\Delta_0) \cup \{\xi_0, \dots, \xi_{k-1}\} = FV(\ulcorner \neg \Delta_0 \urcorner) \cup \{\xi_0, \dots, \xi_{k-1}\}$ . Sodann ist nach I.V.  $TT(\ulcorner \neg \Delta^+_0 \urcorner) \cap \{\theta_0, \dots, \theta_{k-1}\} = TT(\Delta^+_0) \cap \{\theta_0, \dots, \theta_{k-1}\} = \emptyset$ .

Sei nun  $\Delta = \ulcorner (\Delta_0 \psi \Delta_1) \urcorner \in \text{JFORM}$ . Sei nun  $k \in \mathbb{N} \setminus \{0\}$ ,  $\{\theta_0, \dots, \theta_{k-1}\} \subseteq \text{GTERM}$ , wobei  $\theta_i \neq \theta_j$  für alle  $i, j < k$  mit  $i \neq j$ , und  $\{\xi_0, \dots, \xi_{k-1}\} \subseteq \text{VAR} \setminus \text{TT}(\ulcorner (\Delta_0 \psi \Delta_1) \urcorner)$ , wobei  $\xi_i \neq \xi_j$  für alle  $i, j < k$  mit  $i \neq j$ . Dann gibt es nach I.V. für  $\Delta_0, \Delta_1$  jeweils ein  $\Delta^+_0, \Delta^+_1 \in \text{FORM}$ , so dass für  $l < 2$ :  $\Delta_l = [\langle \theta_0, \dots, \theta_{k-1}\rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{k-1}\rangle, \Delta^+_l]$  und  $FV(\Delta^+_l) \subseteq \{\xi_0, \dots, \xi_{k-1}\} \cup FV(\Delta_l)$  und  $TT(\Delta^+_l) \cap \{\theta_0, \dots, \theta_{k-1}\} = \emptyset$ . Dann ist  $\ulcorner (\Delta_0 \psi \Delta_1) \urcorner = \ulcorner [\langle \theta_0, \dots, \theta_{k-1}\rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{k-1}\rangle, \Delta^+_0] \psi [\langle \theta_0, \dots, \theta_{k-1}\rangle, \langle \xi_1, \dots, \xi_{k-1}\rangle, \Delta^+_1] \urcorner = [\langle \theta_0, \dots, \theta_{k-1}\rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{k-1}\rangle, \ulcorner (\Delta^+_0 \psi \Delta^+_1) \urcorner]$ . Sodann ist  $FV(\ulcorner (\Delta^+_0 \psi \Delta^+_1) \urcorner) = FV(\Delta^+_0) \cup FV(\Delta^+_1)$  und daher mit I.V.  $FV(\ulcorner (\Delta^+_0 \psi \Delta^+_1) \urcorner) \subseteq FV(\Delta_0) \cup FV(\Delta_1) \cup \{\xi_0, \dots, \xi_{k-1}\} = FV(\ulcorner (\Delta_0 \psi \Delta_1) \urcorner) \cup \{\xi_0, \dots, \xi_{k-1}\}$ . Sodann ist nach I.V.  $TT(\ulcorner (\Delta^+_0 \psi \Delta^+_1) \urcorner) \cap \{\theta_0, \dots, \theta_{k-1}\} = (TT(\Delta^+_0) \cap \{\theta_0, \dots, \theta_{k-1}\}) \cup (TT(\Delta^+_1) \cap \{\theta_0, \dots, \theta_{k-1}\}) = \emptyset$ .

Sei nun  $\Delta = \ulcorner \Pi \zeta \Delta_0 \urcorner \in \text{QFORM}$  und weiter  $k \in \mathbb{N} \setminus \{0\}$ ,  $\{\theta_0, \dots, \theta_{k-1}\} \subseteq \text{GTERM}$  und  $\{\xi_0, \dots, \xi_{k-1}\} \subseteq \text{VAR} \setminus \text{TT}(\ulcorner \Pi \zeta \Delta_0 \urcorner)$ , wobei  $\xi_i \neq \xi_j$  für alle  $i, j < k$  mit  $i \neq j$ . Damit gilt insbesondere  $\zeta \notin \{\xi_0, \dots, \xi_{k-1}\}$ . Sodann gibt es nach I.V. für  $\Delta_0$  ein  $\Delta^+_0 \in \text{FORM}$ , so dass  $\Delta_0 = [\langle \theta_0, \dots, \theta_{k-1}\rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{k-1}\rangle, \Delta^+_0]$  und  $FV(\Delta^+_0) \subseteq \{\xi_0, \dots, \xi_{k-1}\} \cup FV(\Delta_0)$  und  $TT(\Delta^+_0) \cap \{\theta_0, \dots, \theta_{k-1}\} = \emptyset$ . Da  $\zeta \notin \{\xi_0, \dots, \xi_{k-1}\}$  ist dann  $\ulcorner \Pi \zeta \Delta_0 \urcorner = \ulcorner \Pi \zeta [\langle \theta_0, \dots, \theta_{k-1}\rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{k-1}\rangle, \Delta^+_0] \urcorner = [\langle \theta_0, \dots, \theta_{k-1}\rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{k-1}\rangle, \ulcorner \Pi \zeta \Delta^+_0 \urcorner]$ . Sodann ist mit I.V.  $FV(\ulcorner \Pi \zeta \Delta^+_0 \urcorner) = (FV(\Delta^+_0) \setminus \{\zeta\}) \cup \{\zeta\} \subseteq (FV(\Delta_0) \setminus \{\zeta\}) \cup \{\zeta\} \cup \{\xi_0, \dots, \xi_{k-1}\} = FV(\ulcorner \Pi \zeta \Delta_0 \urcorner) \cup \{\xi_0, \dots, \xi_{k-1}\}$ . Sodann ist mit  $\text{VAR} \cap \text{GTERM} = \emptyset$  und nach I.V.  $TT(\ulcorner \Pi \zeta \Delta^+_0 \urcorner) \cap \{\theta_0, \dots, \theta_{k-1}\} = (TT(\Delta^+_0) \cup \{\zeta\}) \cap \{\theta_0, \dots, \theta_{k-1}\} = \emptyset$ .  $\square$

**Theorem 1-12.** *Alternative Basen für die Substitution von geschlossenen Termen für Variablen in Termen*

Wenn  $\{\xi, \zeta\} \cup X \subseteq \text{VAR}$ , wobei  $\{\xi, \zeta\} \cap X = \emptyset$ , und  $\theta \in \text{TERM}$ , wobei  $FV(\theta) \subseteq \{\xi\} \cup X$ , dann gibt es ein  $\theta^* \in \text{TERM}$ , wobei  $FV(\theta^*) \subseteq \{\zeta\} \cup X$ , so dass für alle  $\theta' \in \text{GTERM}$  gilt:  $[\theta', \xi, \theta] = [\theta', \zeta, \theta^*]$ .

*Beweis:* Seien  $\{\xi, \zeta\} \cup X \subseteq \text{VAR}$ , wobei  $\{\xi, \zeta\} \cap X = \emptyset$  und  $FV(\theta) \subseteq \{\xi\} \cup X$ . Falls  $\xi = \zeta$ , dann ergibt sich mit  $\theta^* = \theta$  sofort die Behauptung. Sei nun  $\xi \neq \zeta$ . Der Beweis wird mittels Induktion über den Termaufbau von  $\theta$  geführt. Sei  $\theta \in \text{KONST} \cup \text{PAR}$ . Dann gilt mit

$\theta^* = \theta$ , dass  $FV(\theta^*) = \emptyset \subseteq \{\zeta\} \cup X$  und dass für alle  $\theta' \in \text{GTERM}$  gilt:  $[\theta', \xi, \theta] = [\theta', \zeta, \theta^*]$ . Sei nun  $\theta \in \text{VAR}$ . Angenommen  $\theta = \xi$ . Dann gilt mit  $\theta^* = \zeta$ , dass  $FV(\theta^*) \subseteq \{\zeta\} \cup X$  und für alle  $\theta' \in \text{GTERM}$ :  $[\theta', \xi, \theta] = \theta' = [\theta', \zeta, \theta^*]$ . Angenommen  $\theta \neq \xi$ . Dann ist  $\theta \in X$  und damit  $\theta \notin \{\xi, \zeta\}$ . Dann gilt mit  $\theta^* = \theta$ , dass  $FV(\theta^*) = \{\theta\} \subseteq \{\zeta\} \cup X$  und dass für alle  $\theta' \in \text{GTERM}$  gilt:  $[\theta', \xi, \theta] = [\theta', \zeta, \theta^*]$ .

Gelte die Behauptung nun für  $\theta_0, \dots, \theta_{r-1} \in \text{TERM}$  und sei  $\ulcorner \varphi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \urcorner \in \text{FTERM}$  und  $\{\xi, \zeta\} \cup X \subseteq \text{VAR}$ , wobei  $\{\xi, \zeta\} \cap X = \emptyset$  und  $FV(\ulcorner \varphi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \urcorner) \subseteq \{\xi\} \cup X$ . Dann gilt für alle  $i < r$ :  $FV(\theta_i) \subseteq \{\xi\} \cup X$ . Dann gibt es nach I.V. für alle  $i < r$  ein  $\theta^*_i \in \text{TERM}$ , wobei  $FV(\theta^*_i) \subseteq \{\zeta\} \cup X$ , so dass für alle  $\theta' \in \text{GTERM}$  gilt:  $[\theta', \xi, \theta_i] = [\theta', \zeta, \theta^*_i]$ . Dann gilt mit  $\theta^* = \ulcorner \varphi(\theta^*_0, \dots, \theta^*_{r-1}) \urcorner$ , dass  $FV(\theta^*) \subseteq \{\zeta\} \cup X$  und dass für alle  $\theta' \in \text{GTERM}$  gilt:  $[\theta', \xi, \ulcorner \varphi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \urcorner] = \ulcorner \varphi([\theta', \xi, \theta_0], \dots, [\theta', \xi, \theta_{r-1}]) \urcorner = \ulcorner \varphi([\theta', \zeta, \theta^*_0], \dots, [\theta', \zeta, \theta^*_{r-1}]) \urcorner = [\theta', \zeta, \ulcorner \varphi(\theta^*_0, \dots, \theta^*_{r-1}) \urcorner] = [\theta', \zeta, \theta^*]$ .  $\square$

**Theorem 1-13.** *Alternative Basen für die Substitution von geschlossenen Termen für Variablen in Formeln*

Wenn  $\{\xi, \zeta\} \cup X \subseteq \text{VAR}$ , wobei  $\{\xi, \zeta\} \cap X = \emptyset$ , und  $\Delta \in \text{FORM}$ , wobei  $FV(\Delta) \subseteq \{\xi\} \cup X$  und  $\zeta \notin \text{TT}(\Delta)$ , dann gibt es ein  $\Delta^* \in \text{FORM}$ , wobei  $FV(\Delta^*) \subseteq \{\zeta\} \cup X$ , so dass für alle  $\theta' \in \text{GTERM}$  gilt:  $[\theta', \xi, \Delta] = [\theta', \zeta, \Delta^*]$ .

*Beweis:* Der Beweis wird mittels Induktion über den Formelaufbau von  $\Delta$  geführt. Sei  $\Delta = \ulcorner \Phi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \urcorner \in \text{AFORM}$ . Seien  $\{\xi, \zeta\} \cup X \subseteq \text{VAR}$ , wobei  $\{\xi, \zeta\} \cap X = \emptyset$ , und  $FV(\Delta) \subseteq \{\xi\} \cup X$  und  $\zeta \notin \text{TT}(\Delta)$ . Dann gilt für alle  $i < r$ :  $FV(\theta_i) \subseteq \{\xi\} \cup X$ . Nach Theorem 1-12 gibt es dann für alle  $i < r$  ein  $\theta^*_i \in \text{TERM}$ , wobei  $FV(\theta^*_i) \subseteq \{\zeta\} \cup X$ , so dass für alle  $\theta' \in \text{GTERM}$  gilt:  $[\theta', \xi, \theta_i] = [\theta', \zeta, \theta^*_i]$ . Dann gilt mit  $\Delta^* = \ulcorner \Phi(\theta^*_0, \dots, \theta^*_{r-1}) \urcorner$ , dass  $FV(\Delta^*) \subseteq \{\zeta\} \cup X$  und dass für alle  $\theta' \in \text{GTERM}$  gilt:  $[\theta', \xi, \ulcorner \Phi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \urcorner] = \ulcorner \Phi([\theta', \xi, \theta_0], \dots, [\theta', \xi, \theta_{r-1}]) \urcorner = \ulcorner \Phi([\theta', \zeta, \theta^*_0], \dots, [\theta', \zeta, \theta^*_{r-1}]) \urcorner = [\theta', \zeta, \ulcorner \Phi(\theta^*_0, \dots, \theta^*_{r-1}) \urcorner] = [\theta', \zeta, \Delta^*]$ .

Gelte die Behauptung nun für  $\Delta_0, \Delta_1 \in \text{FORM}$  und sei  $\Delta \in \text{JFORM}$ . Seien  $\{\xi, \zeta\} \cup X \subseteq \text{VAR}$ , wobei  $\{\xi, \zeta\} \cap X = \emptyset$ , und  $FV(\Delta) \subseteq \{\xi\} \cup X$  und  $\zeta \notin \text{TT}(\Delta)$ . Sei zunächst  $\Delta = \ulcorner \neg \Delta_0 \urcorner$ . Dann gilt  $FV(\Delta_0) = FV(\Delta) \subseteq \{\xi\} \cup X$  und  $\zeta \notin \text{TT}(\Delta_0)$ . Dann gibt es nach I.V.  $\Delta^*_0 \in \text{FORM}$ , wobei  $FV(\Delta^*_0) \subseteq \{\zeta\} \cup X$ , so dass für alle  $\theta' \in \text{GTERM}$  gilt:  $[\theta', \xi, \Delta_0] =$

$[\theta', \zeta, \Delta^*_0]$ . Dann gilt mit  $\Delta^* = \ulcorner \neg \Delta^*_0 \urcorner$ , dass  $FV(\Delta^*) \subseteq \{\zeta\} \cup X$  und dass für alle  $\theta' \in \text{GTERM}$  gilt:  $[\theta', \xi, \ulcorner \neg \Delta_0 \urcorner] = \ulcorner \neg [\theta', \xi, \Delta_0] \urcorner = \ulcorner \neg [\theta', \zeta, \Delta^*_0] \urcorner = [\theta', \zeta, \ulcorner \neg \Delta^*_0 \urcorner] = [\theta', \zeta, \Delta^*]$ .

Sei nun  $\Delta = \ulcorner (\Delta_0 \psi \Delta_1) \urcorner \in \text{JFORM}$ . Dann gilt  $FV(\Delta_0) \subseteq FV(\Delta) \subseteq \{\xi\} \cup X$  und  $\zeta \notin \text{TT}(\Delta_0)$  und  $FV(\Delta_1) \subseteq FV(\Delta) \subseteq \{\xi\} \cup X$  und  $\zeta \notin \text{TT}(\Delta_1)$ . Dann gibt es nach I.V.  $\Delta^*_0, \Delta^*_1 \in \text{FORM}$ , wobei  $FV(\Delta^*_0) \subseteq \{\zeta\} \cup X$  und  $FV(\Delta^*_1) \subseteq \{\zeta\} \cup X$ , so dass für alle  $\theta' \in \text{GTERM}$  gilt:  $[\theta', \xi, \Delta_0] = [\theta', \zeta, \Delta^*_0]$  und  $[\theta', \xi, \Delta_1] = [\theta', \zeta, \Delta^*_1]$ . Dann gilt mit  $\Delta^* = \ulcorner (\Delta^*_0 \psi \Delta^*_1) \urcorner$ , dass  $FV(\Delta^*) \subseteq \{\zeta\} \cup X$  und dass für alle  $\theta' \in \text{GTERM}$  gilt:  $[\theta', \xi, \ulcorner (\Delta_0 \psi \Delta_1) \urcorner] = \ulcorner [\theta', \xi, \Delta_0] \psi [\theta', \xi, \Delta_1] \urcorner = \ulcorner [\theta', \zeta, \Delta^*_0] \psi [\theta', \zeta, \Delta^*_1] \urcorner = [\theta', \zeta, \ulcorner (\Delta^*_0 \psi \Delta^*_1) \urcorner] = [\theta', \zeta, \Delta^*]$ .

Sei nun  $\Delta = \ulcorner \Pi \xi' \Delta_0 \urcorner \in \text{QFORM}$ . Seien  $\{\xi, \zeta\} \cup X \subseteq \text{VAR}$ , wobei  $\{\xi, \zeta\} \cap X = \emptyset$ , und  $FV(\Delta) \subseteq \{\xi\} \cup X$  und  $\zeta \notin \text{TT}(\Delta)$ . Dann gilt insbesondere  $\zeta \neq \xi'$ . Sei zunächst  $\xi = \xi'$ . Dann ist  $[\theta', \xi, \ulcorner \Pi \xi' \Delta_0 \urcorner] = \ulcorner \Pi \xi' \Delta_0 \urcorner$  für alle  $\theta' \in \text{GTERM}$  und  $FV(\Delta) \subseteq X$ . Sei dann  $\Delta^* = \Delta = \ulcorner \Pi \xi' \Delta_0 \urcorner$ . Da  $\zeta \notin \text{TT}(\Delta)$  gilt auch  $[\theta', \zeta, \ulcorner \Pi \xi' \Delta_0 \urcorner] = \ulcorner \Pi \xi' \Delta_0 \urcorner$  für alle  $\theta' \in \text{GTERM}$  und  $FV(\Delta^*) = FV(\Delta) \subseteq X \subseteq \{\zeta\} \cup X$ . Sei nun  $\xi \neq \xi'$ . Dann gilt  $FV(\Delta_0) \subseteq FV(\Delta) \cup \{\xi'\} \subseteq \{\xi\} \cup X \cup \{\xi'\}$  und  $\zeta \notin \text{TT}(\Delta_0)$ . Dann gibt es nach I.V.  $\Delta^*_0 \in \text{FORM}$ , wobei  $FV(\Delta^*_0) \subseteq \{\zeta\} \cup X \cup \{\xi'\}$ , so dass für alle  $\theta' \in \text{GTERM}$  gilt:  $[\theta', \xi, \Delta_0] = [\theta', \zeta, \Delta^*_0]$ . Dann gilt mit  $\Delta^* = \ulcorner \Pi \xi' \Delta^*_0 \urcorner$ , dass  $FV(\Delta^*) \subseteq \{\zeta\} \cup X$  und dass für alle  $\theta' \in \text{GTERM}$  gilt:  $[\theta', \xi, \ulcorner \Pi \xi' \Delta_0 \urcorner] = \ulcorner \Pi \xi' [\theta', \xi, \Delta_0] \urcorner = \ulcorner \Pi \xi' [\theta', \zeta, \Delta^*_0] \urcorner = [\theta', \zeta, \ulcorner \Pi \xi' \Delta^*_0 \urcorner] = [\theta', \zeta, \Delta^*]$ .  $\square$

**Theorem 1-14.** *Eindeutige Substitutionsorte (a) für Terme*

Wenn  $\theta, \theta^+ \in \text{TERM}$ ,  $\theta^* \in \text{GTERM} \setminus (\text{TT}(\theta) \cup \text{TT}(\theta^+))$  und  $\theta^\S \in \text{ATERM}$  und wenn  $[\theta^*, \theta^\S, \theta] = [\theta^*, \theta^\S, \theta^+]$  dann  $\theta = \theta^+$ .

*Beweis:* Durch Induktion über den Termaufbau von  $\theta$ . Sei  $\theta \in \text{ATERM}$ . Sei nun  $\theta^+ \in \text{TERM}$ ,  $\theta^* \in \text{GTERM} \setminus (\text{TT}(\theta) \cup \text{TT}(\theta^+))$  und  $\theta^\S \in \text{ATERM}$  und sei  $[\theta^*, \theta^\S, \theta] = [\theta^*, \theta^\S, \theta^+]$ . Sei nun  $\theta^\S = \theta$ . Dann ist  $[\theta^*, \theta^\S, \theta] = \theta^*$ . Dann ist  $\theta^* = [\theta^*, \theta, \theta^+]$ . Da nach Voraussetzung  $\theta^* \notin \text{TT}(\theta^+)$  und mithin  $\theta^+ \neq \theta^*$ , ist dann  $\theta = \theta^+$ . Sei nun  $\theta^\S \neq \theta$ . Dann ist  $[\theta^*, \theta^\S, \theta] = \theta$ . Dann ist  $\theta = [\theta^*, \theta^\S, \theta^+]$ , womit sich wegen  $\theta^* \notin \text{TT}(\theta)$  und mithin  $\theta \neq \theta^*$  ebenfalls ergibt, dass  $\theta = \theta^+$ .

Gelte die Behauptung nun für  $\{\theta_0, \dots, \theta_{r-1}\} \subseteq \text{TERM}$  und sei  $\ulcorner \varphi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \urcorner \in \text{FTERM}$ . Sei nun  $\theta^+ \in \text{TERM}$ ,  $\theta^* \in \text{GTERM} \setminus (\text{TT}(\ulcorner \varphi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \urcorner) \cup \text{TT}(\theta^+))$  und  $\theta^\S \in$

ATERM und sei  $[\theta^*, \theta^\S, \ulcorner \varphi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \urcorner] = [\theta^*, \theta^\S, \theta^+]$ . Also  $[\theta^*, \theta^\S, \theta^+] = \ulcorner \varphi([\theta^*, \theta^\S, \theta_0], \dots, [\theta^*, \theta^\S, \theta_{r-1}]) \urcorner \in \text{FTERM}$ . Wäre  $\theta^+ \in \text{ATERM}$ , dann wäre  $\theta^\S \neq \theta^+$  oder  $\theta^\S = \theta^+$ . Angenommen  $\theta^\S \neq \theta^+$ . Dann ist  $\theta^+ = [\theta^*, \theta^\S, \theta^+] = \ulcorner \varphi([\theta^*, \theta^\S, \theta_0], \dots, [\theta^*, \theta^\S, \theta_{r-1}]) \urcorner \in \text{FTERM}$ . Widerspruch! Angenommen  $\theta^\S = \theta^+$ . Dann ist  $\theta^* = [\theta^*, \theta^\S, \theta^+] = \ulcorner \varphi([\theta^*, \theta^\S, \theta_0], \dots, [\theta^*, \theta^\S, \theta_{r-1}]) \urcorner$ . Mit Theorem 1-9-(i) gilt dann für alle  $i < r$ :  $[\theta^*, \theta^\S, \theta_i] = \theta_i$  oder es gibt ein  $i < r$ , so dass  $\theta^* \in \text{TT}([\theta^*, \theta^\S, \theta_i])$ . Wenn  $[\theta^*, \theta^\S, \theta_i] = \theta_i$  für alle  $i < r$ , dann  $\theta^* = \ulcorner \varphi([\theta^*, \theta^\S, \theta_0], \dots, [\theta^*, \theta^\S, \theta_{r-1}]) \urcorner = \ulcorner \varphi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \urcorner$  und damit entgegen der Voraussetzung  $\theta^* \in \text{TT}(\ulcorner \varphi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \urcorner)$ . Wenn es andererseits ein  $i < r$  gibt, so dass  $\theta^* \in \text{TT}([\theta^*, \theta^\S, \theta_i])$ , dann ist  $\theta^*$  echter Teilterm von  $\ulcorner \varphi([\theta^*, \theta^\S, \theta_0], \dots, [\theta^*, \theta^\S, \theta_{r-1}]) \urcorner$ , also echter Teilterm von sich selbst. Widerspruch zu Theorem 1-3. Also  $\theta^+ \notin \text{ATERM}$ , sondern  $\theta^+ \in \text{FTERM}$ . Also gibt es  $\{\theta'_0, \dots, \theta'_{k-1}\} \subseteq \text{TERM}$  und  $\varphi' \in \text{FUNK}$ , so dass  $\theta^+ = \ulcorner \varphi'(\theta'_0, \dots, \theta'_{k-1}) \urcorner$ . Damit ist  $\ulcorner \varphi'([\theta^*, \theta^\S, \theta'_0], \dots, [\theta^*, \theta^\S, \theta'_{k-1}]) \urcorner = [\theta^*, \theta^\S, \ulcorner \varphi'(\theta'_0, \dots, \theta'_{k-1}) \urcorner] = [\theta^*, \theta^\S, \theta^+] = \ulcorner \varphi([\theta^*, \theta^\S, \theta_0], \dots, [\theta^*, \theta^\S, \theta_{r-1}]) \urcorner$ . Mit Theorem 1-6-(ii) gilt dann  $k = r$  und  $\varphi' = \varphi$  und  $[\theta^*, \theta^\S, \theta_i] = [\theta^*, \theta^\S, \theta'_i]$  für alle  $i < r$ . Mit I.V. ergibt sich, dass  $\theta_i = \theta'_i$  für alle  $i < r$ . Damit ist dann  $\ulcorner \varphi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \urcorner = \ulcorner \varphi'(\theta'_0, \dots, \theta'_{k-1}) \urcorner = \theta^+$ .  $\square$

**Theorem 1-15.** *Eindeutige Substitutionsorte (a) für Formeln*

Wenn  $\Delta, \Delta^+ \in \text{FORM}$ ,  $\theta^* \in \text{GTERM} \setminus (\text{TT}(\Delta) \cup \text{TT}(\Delta^+))$  und  $\theta^\S \in \text{ATERM}$  und wenn  $[\theta^*, \theta^\S, \Delta] = [\theta^*, \theta^\S, \Delta^+]$  dann  $\Delta = \Delta^+$ .

*Beweis:* Seien  $\Delta, \Delta^+ \in \text{FORM}$ ,  $\theta^* \in \text{GTERM} \setminus (\text{TT}(\Delta) \cup \text{TT}(\Delta^+))$  und  $\theta^\S \in \text{ATERM}$  und  $[\theta^*, \theta^\S, \Delta] = [\theta^*, \theta^\S, \Delta^+]$ . Wie im Induktionsschritt des vorangehenden Beweises für funktoriale Terme lässt sich für alle Formeln zeigen, dass Substitutionsorte ( $\Delta$  bzw.  $\Delta^+$ ) der gleichen Kategorie angehören und denselben Hauptoperator (Prädikator, Junktor oder Quantor) haben wie die Substitutionsergebnisse ( $[\theta^*, \theta^\S, \Delta]$  bzw.  $[\theta^*, \theta^\S, \Delta^+]$ ). Der Beweis wird nun mittels struktureller Induktion über den Formelaufbau von  $\Delta$  geführt. Sei  $\Delta = \ulcorner \Phi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \urcorner \in \text{AFORM}$ . Dann ist auch  $[\theta^*, \theta^\S, \Delta] = \ulcorner \Phi([\theta^*, \theta^\S, \theta_0], \dots, [\theta^*, \theta^\S, \theta_{r-1}]) \urcorner \in \text{AFORM}$  und es gibt  $\{\theta'_0, \dots, \theta'_{r-1}\} \subseteq \text{TERM}$  mit  $\ulcorner \Phi(\theta'_0, \dots, \theta'_{r-1}) \urcorner = \Delta^+$ . Also auch  $\ulcorner \Phi([\theta^*, \theta^\S, \theta_0], \dots, [\theta^*, \theta^\S, \theta_{r-1}]) \urcorner = [\theta^*, \theta^\S, \Delta] = [\theta^*, \theta^\S, \Delta^+] = [\theta^*, \theta^\S, \ulcorner \Phi(\theta'_0, \dots, \theta'_{r-1}) \urcorner] = \ulcorner \Phi([\theta^*, \theta^\S, \theta'_0], \dots, [\theta^*, \theta^\S, \theta'_{r-1}]) \urcorner \in \text{AFORM}$ . Mit Theorem 1-6-(iv) gilt dann  $[\theta^*, \theta^\S, \theta_i] = [\theta^*, \theta^\S, \theta'_i]$  für alle  $i < r$ . Mit Theorem 1-14 ergibt sich, dass  $\theta_i = \theta'_i$  für alle  $i < r$ . Damit ist dann  $\ulcorner \Phi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \urcorner = \ulcorner \Phi(\theta'_0, \dots, \theta'_{r-1}) \urcorner = \Delta^+$ .

Gelte die Behauptung nun für  $\Delta_0, \Delta_1 \in \text{FORM}$  und sei  $\Delta = \ulcorner \neg \Delta_0 \urcorner \in \text{JFORM}$ . Dann ist auch  $[\theta^*, \theta^\S, \Delta] = \ulcorner \neg [\theta^*, \theta^\S, \Delta_0] \urcorner \in \text{JFORM}$  und es gibt  $\Delta'_0 \in \text{FORM}$  mit  $\ulcorner \neg \Delta'_0 \urcorner = \Delta^+$ .

Also auch  $\ulcorner \neg[\theta^*, \theta^{\S}, \Delta_0] \urcorner = [\theta^*, \theta^{\S}, \Delta] = [\theta^*, \theta^{\S}, \Delta^+] = [\theta^*, \theta^{\S}, \ulcorner \neg\Delta'_0 \urcorner] = \ulcorner \neg[\theta^*, \theta^{\S}, \Delta'_0] \urcorner \in \text{JFORM}$ . Mit Theorem 1-6-(v) gilt dann  $[\theta^*, \theta^{\S}, \Delta_0] = [\theta^*, \theta^{\S}, \Delta'_0]$ . Mit I.V. ergibt sich, dass  $\Delta_0 = \Delta'_0$  und damit  $\Delta = \ulcorner \neg\Delta_0 \urcorner = \ulcorner \neg\Delta'_0 \urcorner = \Delta^+$ . Sei  $\Delta = \ulcorner (\Delta_0 \psi \Delta_1) \urcorner \in \text{JFORM}$ . Dann ist auch  $[\theta^*, \theta^{\S}, \Delta] = \ulcorner ([\theta^*, \theta^{\S}, \Delta_0] \psi [\theta^*, \theta^{\S}, \Delta_1]) \urcorner \in \text{JFORM}$  und es gibt  $\Delta'_0, \Delta'_1 \in \text{FORM}$  mit  $\ulcorner (\Delta'_0 \psi \Delta'_1) \urcorner = \Delta^+$ . Also auch  $\ulcorner ([\theta^*, \theta^{\S}, \Delta_0] \psi [\theta^*, \theta^{\S}, \Delta_1]) \urcorner = [\theta^*, \theta^{\S}, \Delta] = [\theta^*, \theta^{\S}, \Delta^+] = [\theta^*, \theta^{\S}, \ulcorner (\Delta'_0 \psi \Delta'_1) \urcorner] = \ulcorner ([\theta^*, \theta^{\S}, \Delta'_0] \psi [\theta^*, \theta^{\S}, \Delta'_1]) \urcorner \in \text{JFORM}$ . Mit Theorem 1-6-(vi) gilt dann  $[\theta^*, \theta^{\S}, \Delta_0] = [\theta^*, \theta^{\S}, \Delta'_0]$  und  $[\theta^*, \theta^{\S}, \Delta_1] = [\theta^*, \theta^{\S}, \Delta'_1]$ . Mit I.V. ergibt sich, dass  $\Delta_0 = \Delta'_0$  und  $\Delta_1 = \Delta'_1$  und damit  $\Delta = \ulcorner (\Delta_0 \psi \Delta_1) \urcorner = \ulcorner (\Delta'_0 \psi \Delta'_1) \urcorner = \Delta^+$ .

Sei  $\Delta = \ulcorner \Pi\xi\Delta_0 \urcorner \in \text{QFORM}$ . Dann ist auch  $[\theta^*, \theta^{\S}, \Delta] \in \text{QFORM}$  und es gibt  $\Delta'_0 \in \text{FORM}$  mit  $\ulcorner \Pi\xi\Delta'_0 \urcorner = \Delta^+$ . Angenommen  $\xi = \theta^{\S}$ . Dann ist  $\Delta = \ulcorner \Pi\xi\Delta_0 \urcorner = [\theta^*, \theta^{\S}, \ulcorner \Pi\xi\Delta_0 \urcorner] = [\theta^*, \theta^{\S}, \Delta] = [\theta^*, \theta^{\S}, \Delta^+] = [\theta^*, \theta^{\S}, \ulcorner \Pi\xi\Delta'_0 \urcorner] = \ulcorner \Pi\xi\Delta'_0 \urcorner = \Delta^+$ . Angenommen  $\xi \neq \theta^{\S}$ . Dann ist  $\ulcorner \Pi\xi[\theta^*, \theta^{\S}, \Delta_0] \urcorner = [\theta^*, \theta^{\S}, \Delta] = [\theta^*, \theta^{\S}, \Delta^+] = [\theta^*, \theta^{\S}, \ulcorner \Pi\xi\Delta'_0 \urcorner] = \ulcorner \Pi\xi[\theta^*, \theta^{\S}, \Delta'_0] \urcorner \in \text{QFORM}$ . Mit Theorem 1-6-(vii) gilt dann  $[\theta^*, \theta^{\S}, \Delta_0] = [\theta^*, \theta^{\S}, \Delta'_0]$ . Mit I.V. ergibt sich, dass  $\Delta_0 = \Delta'_0$  und damit  $\Delta = \ulcorner \Pi\xi\Delta_0 \urcorner = \ulcorner \Pi\xi\Delta'_0 \urcorner = \Delta^+$ .  $\square$

**Theorem 1-16.** *Eindeutige Substitutionsorte (a) für Sätze*

Wenn  $\Sigma, \Sigma^+ \in \text{FORM}$ ,  $\theta^* \in \text{GTERM} \setminus (\text{TT}(\Sigma) \cup \text{TT}(\Sigma^+))$  und  $\theta^{\S} \in \text{ATERM}$  und wenn  $[\theta^*, \theta^{\S}, \Sigma] = [\theta^*, \theta^{\S}, \Sigma^+]$  dann  $\Sigma = \Sigma^+$ .

*Beweis:* Analog zum Negatorfall im Beweis zu Theorem 1-15 unter Rückgriff auf Theorem 1-15.  $\square$

**Theorem 1-17.** *Eindeutige Substitutionsorte (b) für Terme*

Wenn  $\theta, \theta^+ \in \text{TERM}$ ,  $\theta^* \in \text{GTERM} \setminus (\text{TT}(\theta) \cup \text{TT}(\theta^+))$ ,  $\xi \in \text{VAR}$ ,  $\beta \in \text{PAR}$  und  $[\theta^*, \xi, \theta] = [\theta^*, \beta, \theta^+]$ , dann  $\theta^+ = [\beta, \xi, \theta]$ .

*Beweis:* Durch Induktion über den Termaufbau von  $\theta$ . Sei  $\theta \in \text{ATERM}$ . Sei nun  $\theta^+ \in \text{TERM}$ ,  $\theta^* \in \text{GTERM} \setminus (\text{TT}(\theta) \cup \text{TT}(\theta^+))$ ,  $\xi \in \text{VAR}$ ,  $\beta \in \text{PAR}$  und  $[\theta^*, \xi, \theta] = [\theta^*, \beta, \theta^+]$ . Dann ist  $\theta \in \text{KONST} \cup \text{PAR} \cup \text{VAR}$ . Sei nun  $\theta \in \text{KONST}$ . Dann ist  $[\theta^*, \xi, \theta] = \theta$ . Dann ist  $\theta = [\theta^*, \beta, \theta^+]$ , womit sich wegen  $\theta \neq \theta^*$  ergibt, dass  $\theta = \theta^+$  und wegen  $\theta \neq \xi$ :  $\theta^+ = \theta = [\beta, \xi, \theta]$ . Sei nun  $\theta \in \text{PAR}$ . Dann ist  $[\theta^*, \xi, \theta] = \theta$ . Dann ist  $\theta = [\theta^*, \beta, \theta^+]$ , womit sich wegen  $\theta \neq \theta^*$  ergibt, dass auch  $\theta = \theta^+$  und wegen  $\xi \neq \theta$ :  $\theta^+ = \theta = [\beta, \xi, \theta]$ . Sei nun  $\theta \in \text{VAR}$ . Angenommen  $\theta = \xi$ . Dann ist  $[\theta^*, \xi, \theta] = \theta^*$ . Dann ist  $\theta^* = [\theta^*, \beta, \theta^+]$ . Dann ist wegen  $\theta^* \neq \theta^+ \beta \in \text{TT}(\theta^+)$ . Damit ist  $\theta^* \in \text{TT}([\theta^*, \beta, \theta^+])$ . Wäre nun  $\theta^+ \neq \beta$  ergäbe sich dann mit  $\theta^* = [\theta^*, \beta, \theta^+]$ , dass  $\theta^*$  im Widerspruch zu Theorem 1-3 echter Teilterm von

sich selbst wäre. Also gilt  $\theta^+ = \beta = [\beta, \xi, \theta]$ . Sei nun  $\theta \neq \xi$ . Dann ist  $\theta = [\theta^*, \xi, \theta]$ . Dann ist  $\theta = [\theta^*, \beta, \theta^+]$ . Dann ist wegen  $\theta^* \neq \theta$   $\theta = \theta^+$  und wegen  $\theta \neq \xi$ :  $\theta^+ = \theta = [\beta, \xi, \theta]$ .

Gelte die Behauptung nun für  $\{\theta_0, \dots, \theta_{r-1}\} \subseteq \text{TERM}$  und sei  $\ulcorner \varphi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \urcorner \in \text{FTERM}$ . Sei nun  $\theta^+ \in \text{TERM}$ ,  $\theta^* \in \text{TERM} \setminus (\text{TT}(\theta) \cup \text{TT}(\theta^+))$ ,  $\xi \in \text{VAR}$ ,  $\beta \in \text{PAR}$  und  $[\theta^*, \xi, \ulcorner \varphi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \urcorner] = [\theta^*, \beta, \theta^+]$ . Also  $[\theta^*, \beta, \theta^+] = \ulcorner \varphi([\theta^*, \xi, \theta_0], \dots, [\theta^*, \xi, \theta_{r-1}]) \urcorner \in \text{FTERM}$ . Wäre  $\theta^+ \in \text{ATERM}$ , dann wäre  $\beta \neq \theta^+$  oder  $\beta = \theta^+$ . Angenommen  $\beta \neq \theta^+$ . Dann ist  $\theta^+ = [\theta^*, \beta, \theta^+] = \ulcorner \varphi([\theta^*, \xi, \theta_0], \dots, [\theta^*, \xi, \theta_{r-1}]) \urcorner \in \text{FTERM}$ . Widerspruch. Angenommen  $\beta = \theta^+$ . Dann ist  $\theta^* = [\theta^*, \beta, \theta^+] = \ulcorner \varphi([\theta^*, \xi, \theta_0], \dots, [\theta^*, \xi, \theta_{r-1}]) \urcorner$ . Mit Theorem 1-9-(i) gilt dann für alle  $i < r$ :  $[\theta^*, \xi, \theta_i] = \theta_i$  oder es gibt ein  $i < r$ , so dass  $\theta^* \in \text{TT}([\theta^*, \xi, \theta_i])$ . Wenn  $[\theta^*, \xi, \theta_i] = \theta_i$  für alle  $i < r$ , dann  $\theta^* = \ulcorner \varphi([\theta^*, \xi, \theta_0], \dots, [\theta^*, \xi, \theta_{r-1}]) \urcorner = \ulcorner \varphi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \urcorner$  und damit entgegen der Voraussetzung  $\theta^* \in \text{TT}(\ulcorner \varphi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \urcorner)$ . Wenn es andererseits ein  $i < r$  gibt, so dass  $\theta^* \in \text{TT}([\theta^*, \xi, \theta_i])$ , dann ist  $\theta^*$  echter Teilterm von  $\ulcorner \varphi([\theta^*, \xi, \theta_0], \dots, [\theta^*, \xi, \theta_{r-1}]) \urcorner$ , also echter Teilterm von sich selbst. Widerspruch zu Theorem 1-3. Also  $\theta^+ \notin \text{ATERM}$ , sondern  $\theta^+ \in \text{FTERM}$ . Also gibt es  $\{\theta'_0, \dots, \theta'_{k-1}\} \subseteq \text{TERM}$  und  $\varphi' \in \text{FUNK}$ , so dass  $\theta^+ = \ulcorner \varphi'(\theta'_0, \dots, \theta'_{k-1}) \urcorner$ . Damit ist  $\ulcorner \varphi'([\theta^*, \beta, \theta'_0], \dots, [\theta^*, \beta, \theta'_{k-1}]) \urcorner = [\theta^*, \beta, \ulcorner \varphi'(\theta'_0, \dots, \theta'_{k-1}) \urcorner] = [\theta^*, \beta, \theta^+] = \ulcorner \varphi([\theta^*, \xi, \theta_0], \dots, [\theta^*, \xi, \theta_{r-1}]) \urcorner$ . Mit Theorem 1-6-(ii) gilt dann  $k = r$  und  $\varphi' = \varphi$  und  $[\theta^*, \beta, \theta'_i] = [\theta^*, \xi, \theta_i]$  für alle  $i < r$ . Mit I.V. ergibt sich, dass  $\theta'_i = [\beta, \xi, \theta_i]$  für alle  $i < r$ . Damit ist dann  $\theta^+ = \ulcorner \varphi'(\theta'_0, \dots, \theta'_{k-1}) \urcorner = \ulcorner \varphi([\beta, \xi, \theta_0], \dots, [\beta, \xi, \theta_{r-1}]) \urcorner = [\beta, \xi, \ulcorner \varphi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \urcorner]$ .  $\square$

**Theorem 1-18.** *Eindeutige Substitutionsorte (b) für Formeln*

Wenn  $\Delta, \Delta^+ \in \text{FORM}$ ,  $\theta^* \in \text{TERM} \setminus (\text{TT}(\Delta) \cup \text{TT}(\Delta^+))$ ,  $\xi \in \text{VAR}$ ,  $\beta \in \text{PAR}$  und  $[\theta^*, \xi, \Delta] = [\theta^*, \beta, \Delta^+]$ , dann  $\Delta^+ = [\beta, \xi, \Delta]$ .

*Beweis:* Seien  $\Delta, \Delta^+ \in \text{FORM}$ ,  $\theta^* \in \text{GTERM} \setminus (\text{TT}(\Delta) \cup \text{TT}(\Delta^+))$  und  $\xi \in \text{VAR}$ ,  $\beta \in \text{PAR}$  und  $[\theta^*, \xi, \Delta] = [\theta^*, \beta, \Delta^+]$ . Wie im Induktionsschritt des vorangehenden Beweises für funktoriale Terme lässt sich für alle Formeln zeigen, dass Substitutionsorte ( $\Delta$  bzw.  $\Delta^+$ ) der gleichen Kategorie angehören und denselben Hauptoperator (Prädikator, Junktor oder Quantor) haben wie die Substitutionsergebnisse ( $[\theta^*, \xi, \Delta]$  bzw.  $[\theta^*, \beta, \Delta^+]$ ). Der Beweis wird nun mittels struktureller Induktion über den Formelaufbau von  $\Delta$  geführt. Sei  $\Delta = \ulcorner \Phi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \urcorner \in \text{AFORM}$ . Dann ist auch  $[\theta^*, \xi, \Delta] = \ulcorner \Phi([\theta^*, \xi, \theta_0], \dots, [\theta^*, \xi, \theta_{r-1}]) \urcorner \in \text{AFORM}$  und es gibt  $\{\theta'_0, \dots, \theta'_{r-1}\} \subseteq \text{TERM}$  mit  $\ulcorner \Phi(\theta'_0, \dots, \theta'_{r-1}) \urcorner = \Delta^+$ . Also auch  $\ulcorner \Phi([\theta^*, \xi, \theta_0], \dots, [\theta^*, \xi, \theta_{r-1}]) \urcorner = [\theta^*, \xi, \Delta] = [\theta^*, \beta, \Delta^+] = [\theta^*, \beta, \ulcorner \Phi(\theta'_0, \dots, \theta'_{r-1}) \urcorner] = \ulcorner \Phi([\theta^*, \beta, \theta'_0], \dots, [\theta^*, \beta, \theta'_{r-1}]) \urcorner \in \text{AFORM}$ . Mit Theorem 1-6-(iv) gilt dann  $[\theta^*, \xi, \theta_i] =$

$[\theta^*, \beta, \theta'_i]$  für alle  $i < r$ . Mit Theorem 1-17 ergibt sich, dass  $\theta'_i = [\beta, \xi, \theta_i]$  für alle  $i < r$ . Damit ist dann  $\Delta^+ = \ulcorner \Phi(\theta'_0, \dots, \theta'_{r-1}) \urcorner = \ulcorner \Phi([\beta, \xi, \theta_0], \dots, [\beta, \xi, \theta_{r-1}]) \urcorner = [\beta, \xi, \ulcorner \Phi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \urcorner] = [\beta, \xi, \Delta]$ .

Gelte die Behauptung nun für  $\Delta_0, \Delta_1 \in \text{FORM}$  und sei  $\Delta = \ulcorner \neg \Delta_0 \urcorner \in \text{JFORM}$ . Dann ist auch  $[\theta^*, \xi, \Delta] = \ulcorner \neg[\theta^*, \xi, \Delta_0] \urcorner \in \text{JFORM}$  und es gibt  $\Delta'_0 \in \text{FORM}$  mit  $\ulcorner \neg \Delta'_0 \urcorner = \Delta^+$ . Also auch  $\ulcorner \neg[\theta^*, \xi, \Delta_0] \urcorner = [\theta^*, \beta, \Delta^+] = [\theta^*, \beta, \ulcorner \neg \Delta'_0 \urcorner] = \ulcorner \neg[\theta^*, \beta, \Delta'_0] \urcorner \in \text{JFORM}$ . Mit Theorem 1-6-(v) gilt dann  $[\theta^*, \xi, \Delta_0] = [\theta^*, \beta, \Delta'_0]$ . Mit I.V. ergibt sich, dass  $\Delta'_0 = [\beta, \xi, \Delta_0]$  und damit  $\Delta^+ = \ulcorner \neg \Delta'_0 \urcorner = \ulcorner \neg[\beta, \xi, \Delta_0] \urcorner = [\beta, \xi, \ulcorner \neg \Delta_0 \urcorner] = [\beta, \xi, \Delta]$ . Sei  $\Delta = \ulcorner (\Delta_0 \psi \Delta_1) \urcorner \in \text{JFORM}$ . Dann ist auch  $[\theta^*, \xi, \Delta] = \ulcorner ([\theta^*, \xi, \Delta_0] \psi [\theta^*, \xi, \Delta_1]) \urcorner \in \text{JFORM}$  und es gibt  $\Delta'_0, \Delta'_1 \in \text{FORM}$  mit  $\ulcorner (\Delta'_0 \psi \Delta'_1) \urcorner = \Delta^+$ . Also auch  $\ulcorner ([\theta^*, \xi, \Delta_0] \psi [\theta^*, \xi, \Delta_1]) \urcorner = [\theta^*, \beta, \Delta^+] = [\theta^*, \beta, \ulcorner (\Delta'_0 \psi \Delta'_1) \urcorner] = \ulcorner ([\theta^*, \beta, \Delta'_0] \psi [\theta^*, \beta, \Delta'_1]) \urcorner \in \text{JFORM}$ . Mit Theorem 1-6-(vi) gilt dann  $[\theta^*, \xi, \Delta_0] = [\theta^*, \beta, \Delta'_0]$  und  $[\theta^*, \xi, \Delta_1] = [\theta^*, \beta, \Delta'_1]$ . Mit I.V. ergibt sich, dass  $\Delta'_0 = [\beta, \xi, \Delta_0]$  und  $\Delta'_1 = [\beta, \xi, \Delta_1]$  und damit  $\Delta^+ = \ulcorner (\Delta'_0 \psi \Delta'_1) \urcorner = \ulcorner ([\beta, \xi, \Delta_0] \psi [\beta, \xi, \Delta_1]) \urcorner = [\beta, \xi, \ulcorner (\Delta_0 \psi \Delta_1) \urcorner] = [\beta, \xi, \Delta]$ .

Sei  $\Delta = \ulcorner \Pi \xi' \Delta_0 \urcorner \in \text{QFORM}$ . Angenommen  $\xi' = \xi$ . Dann ist  $\Delta = \ulcorner \Pi \xi' \Delta_0 \urcorner = [\theta^*, \xi, \ulcorner \Pi \xi' \Delta_0 \urcorner] = [\theta^*, \xi, \Delta] = [\theta^*, \beta, \Delta^+]$ . Mit Theorem 1-9-(ii) ist  $\theta^* \in \text{TT}([\theta^*, \beta, \Delta^+]) = \text{TT}(\Delta)$  oder  $[\theta^*, \beta, \Delta^+] = \Delta^+$ . Der erste Fall kann nach Voraussetzung nicht eintreten. Im zweiten Fall ist  $\Delta^+ = \ulcorner \Pi \xi' \Delta_0 \urcorner = [\beta, \xi, \ulcorner \Pi \xi' \Delta_0 \urcorner] = [\beta, \xi, \Delta]$ . Angenommen  $\xi' \neq \xi$ . Dann ist auch  $[\theta^*, \xi, \Delta] = \ulcorner \Pi \xi' [\theta^*, \xi, \Delta_0] \urcorner \in \text{QFORM}$  und es gibt  $\Delta'_0 \in \text{FORM}$  mit  $\ulcorner \Pi \xi' \Delta'_0 \urcorner = \Delta^+$ . Also auch  $\ulcorner \Pi \xi' [\theta^*, \xi, \Delta_0] \urcorner = [\theta^*, \beta, \Delta^+] = [\theta^*, \beta, \ulcorner \Pi \xi' \Delta'_0 \urcorner] = \ulcorner \Pi \xi' [\theta^*, \beta, \Delta'_0] \urcorner \in \text{QFORM}$ . Mit Theorem 1-6-(vii) gilt dann  $[\theta^*, \xi, \Delta_0] = [\theta^*, \beta, \Delta'_0]$ . Mit I.V. ergibt sich, dass  $\Delta'_0 = [\beta, \xi, \Delta_0]$  und damit  $\Delta^+ = \ulcorner \Pi \xi' \Delta'_0 \urcorner = \ulcorner \Pi \xi' [\beta, \xi, \Delta_0] \urcorner = [\beta, \xi, \ulcorner \Pi \xi' \Delta_0 \urcorner] = [\beta, \xi, \Delta]$ .  $\square$

**Theorem 1-19.** *Kürzung von Parametern bei der Substitution*

Wenn  $\theta \in \text{TERM}$ ,  $\Delta \in \text{FORM}$ ,  $\Sigma \in \text{SATZ}$ ,  $\theta^* \in \text{GTERM}$ ,  $\beta \in \text{PAR}(\text{TT}(\theta) \cup \text{TT}(\Delta) \cup \text{TT}(\Sigma))$  und  $\theta^+ \in \text{ATERM}$ , dann:

- (i)  $[\theta^*, \theta^+, \theta] = [\theta^*, \beta, [\beta, \theta^+, \theta]]$ ,
- (ii)  $[\theta^*, \theta^+, \Delta] = [\theta^*, \beta, [\beta, \theta^+, \Delta]]$  und
- (iii)  $[\theta^*, \theta^+, \Sigma] = [\theta^*, \beta, [\beta, \theta^+, \Sigma]]$ .

*Beweis:* Seien  $\theta \in \text{TERM}$ ,  $\Delta \in \text{FORM}$ ,  $\Sigma \in \text{SATZ}$ ,  $\theta^* \in \text{GTERM}$ ,  $\beta \in \text{PAR}(\text{TT}(\theta) \cup \text{TT}(\Delta) \cup \text{TT}(\Sigma))$  und  $\theta^+ \in \text{ATERM}$ . Zu (i): Der Beweis wird mittels struktureller Induktion über den Termaufbau von  $\theta$  geführt. Sei  $\theta \in \text{ATERM}$ . Dann ist  $\theta = \theta^+$  oder  $\theta \neq \theta^+$ . Sei

zunächst  $\theta = \theta^+$ . Dann ist  $[\beta, \theta^+, \theta] = \beta$  und  $[\theta^*, \theta^+, \theta] = \theta^*$ . Dann ist  $[\theta^*, \theta^+, \theta] = \theta^* = [\theta^*, \beta, \beta] = [\theta^*, \beta, [\beta, \theta^+, \theta]]$ . Sei nun  $\theta \neq \theta^+$ . Dann ist  $[\beta, \theta^+, \theta] = \theta$  und  $[\theta^*, \theta^+, \theta] = \theta$ . Wegen  $\beta \notin \text{TT}(\theta)$  ist  $\beta \neq \theta$  und mithin  $\theta = [\theta^*, \beta, \theta]$ . Also  $[\theta^*, \theta^+, \theta] = \theta = [\theta^*, \beta, \theta] = [\theta^*, \beta, [\beta, \theta^+, \theta]]$ .

Gelte die Behauptung nun für  $\{\theta_0, \dots, \theta_{r-1}\} \subseteq \text{TERM}$  und sei  $\theta = \ulcorner \varphi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \urcorner \in \text{FTERM}$ . Wegen  $\beta \notin \text{TT}(\theta)$  gilt auch  $\beta \notin \text{TT}(\theta_i)$  für alle  $i < r$ . Dann gilt mit I.V.  $[\theta^*, \theta^+, \theta_i] = [\theta^*, \beta, [\beta, \theta^+, \theta_i]]$  für alle  $i < r$ . Dann ist  $[\theta^*, \theta^+, \ulcorner \varphi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \urcorner] = \ulcorner \varphi([\theta^*, \theta^+, \theta_0], \dots, [\theta^*, \theta^+, \theta_{r-1}]) \urcorner = \ulcorner \varphi([\theta^*, \beta, [\beta, \theta^+, \theta_0]], \dots, [\theta^*, \beta, [\beta, \theta^+, \theta_{r-1}]]) \urcorner = [\theta^*, \beta, \ulcorner \varphi([\beta, \theta^+, \theta_0], \dots, [\beta, \theta^+, \theta_{r-1}]) \urcorner] = [\theta^*, \beta, [\beta, \theta^+, \ulcorner \varphi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \urcorner]]$ .

Zu (ii): Der Beweis wird mittels struktureller Induktion über den Formelaufbau von  $\Delta$  geführt. Sei  $\Delta = \ulcorner \Phi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \urcorner \in \text{AFORM}$ . Dann gilt  $\beta \notin \text{TT}(\theta_i)$  für alle  $i < r$  und  $[\theta^*, \theta^+, \Delta] = [\theta^*, \theta^+, \ulcorner \Phi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \urcorner] = \ulcorner \Phi([\theta^*, \theta^+, \theta_0], \dots, [\theta^*, \theta^+, \theta_{r-1}]) \urcorner$ . Mit (i) gilt  $[\theta^*, \theta^+, \theta_i] = [\theta^*, \beta, [\beta, \theta^+, \theta_i]]$  für alle  $i < r$ . Also  $[\theta^*, \theta^+, \Delta] = \ulcorner \Phi([\theta^*, \beta, [\beta, \theta^+, \theta_0]], \dots, [\theta^*, \beta, [\beta, \theta^+, \theta_{r-1}]]) \urcorner = [\theta^*, \beta, \ulcorner \Phi([\beta, \theta^+, \theta_0], \dots, [\beta, \theta^+, \theta_{r-1}]) \urcorner] = [\theta^*, \beta, [\beta, \theta^+, \ulcorner \Phi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \urcorner]] = [\theta^*, \beta, [\beta, \theta^+, \Delta]]$ .

Sei  $\Delta = \ulcorner \neg \Delta_0 \urcorner \in \text{JFORM}$ . Dann gilt  $\beta \notin \text{TT}(\Delta_0)$  und  $[\theta^*, \theta^+, \Delta] = [\theta^*, \theta^+, \ulcorner \neg \Delta_0 \urcorner] = \ulcorner \neg [\theta^*, \theta^+, \Delta_0] \urcorner$ . Mit I.V. gilt  $[\theta^*, \theta^+, \Delta_0] = [\theta^*, \beta, [\beta, \theta^+, \Delta_0]]$ . Also  $[\theta^*, \theta^+, \Delta] = \ulcorner \neg [\theta^*, \beta, [\beta, \theta^+, \Delta_0]] \urcorner = [\theta^*, \beta, [\beta, \theta^+, \ulcorner \neg \Delta_0 \urcorner]] = [\theta^*, \beta, [\beta, \theta^+, \Delta]]$ . Sei  $\Delta = \ulcorner (\Delta_0 \psi \Delta_1) \urcorner \in \text{JFORM}$ . Der Fall verläuft analog zum Negatorfall.

Sei  $\Delta = \ulcorner \Pi \xi \Delta_0 \urcorner \in \text{QFORM}$ . Angenommen  $\xi = \theta^+$ . Dann ist  $[\theta^*, \theta^+, \Delta] = [\theta^*, \theta^+, \ulcorner \Pi \xi \Delta_0 \urcorner] = \ulcorner \Pi \xi \Delta_0 \urcorner = [\beta, \theta^+, \ulcorner \Pi \xi \Delta_0 \urcorner] = [\beta, \theta^+, \Delta]$ . Dann ist  $\beta \notin \text{TT}([\beta, \theta^+, \Delta]) = \text{TT}(\Delta)$ . Also  $[\theta^*, \theta^+, \Delta] = [\beta, \theta^+, \Delta] = [\theta^*, \beta, [\beta, \theta^+, \Delta]]$ . Angenommen  $\xi \neq \theta^+$ . Der Fall verläuft analog zum Negatorfall.

Zu (iii): Der Fall verläuft analog zum Negatorfall.  $\square$

**Theorem 1-20.** *Eine hinreichende Bedingung für die Kommutativität einer Substitution in Termen und Formeln*

Wenn  $\theta^*_0, \theta^*_1 \in \text{GTERM}$ ,  $\theta_0, \theta_1 \in \text{ATERM}$ ,  $\theta_0 \neq \theta_1$ ,  $\theta_1 \notin \text{TT}(\theta^*_0)$  und  $\theta_0 \notin \text{TT}(\theta^*_1)$ , dann

- (i) Wenn  $\theta^+ \in \text{TERM}$ , dann  $[\theta^*_1, \theta_1, [\theta^*_0, \theta_0, \theta^+]] = [\theta^*_0, \theta_0, [\theta^*_1, \theta_1, \theta^+]]$ , und
- (ii) Wenn  $\Delta \in \text{FORM}$ , dann  $[\theta^*_1, \theta_1, [\theta^*_0, \theta_0, \Delta]] = [\theta^*_0, \theta_0, [\theta^*_1, \theta_1, \Delta]]$ .

*Beweis:* Seien  $\theta^*_0, \theta^*_1 \in \text{GTERM}$ ,  $\theta_0, \theta_1 \in \text{ATERM}$ ,  $\theta_0 \neq \theta_1$ ,  $\theta_1 \notin \text{TT}(\theta^*_0)$  und  $\theta_0 \notin \text{TT}(\theta^*_1)$ . Zu (i): Sei  $\theta^+ \in \text{TERM}$ . Der Beweis wird mittels struktureller Induktion über den Termaufbau von  $\theta^+$  geführt. Sei  $\theta^+ \in \text{ATERM}$ . Angenommen  $\theta^+ = \theta_0$ . Dann ist  $\theta^+ \neq \theta_1$

und  $[\theta^*_1, \theta_1, [\theta^*_0, \theta_0, \theta^+]] = [\theta^*_1, \theta_1, \theta^*_0]$ . Weil  $\theta_1 \notin \text{TT}(\theta^*_0)$  gilt  $[\theta^*_1, \theta_1, \theta^*_0] = \theta^*_0$ . Andererseits ist  $[\theta^*_0, \theta_0, [\theta^*_1, \theta_1, \theta^+]] = [\theta^*_0, \theta_0, \theta^+] = \theta^*_0$ . Also  $[\theta^*_1, \theta_1, [\theta^*_0, \theta_0, \theta^+]] = [\theta^*_0, \theta_0, [\theta^*_1, \theta_1, \theta^+]]$ . Sei nun  $\theta^+ \neq \theta_0$ . Angenommen  $\theta^+ = \theta_1$ . Dann ist  $[\theta^*_1, \theta_1, [\theta^*_0, \theta_0, \theta^+]] = [\theta^*_1, \theta_1, \theta^+] = \theta^*_1$ . Weil  $\theta_0 \notin \text{TT}(\theta^*_1)$  gilt  $[\theta^*_0, \theta_0, \theta^*_1] = \theta^*_1$ . Damit ist  $[\theta^*_0, \theta_0, [\theta^*_1, \theta_1, \theta^+]] = [\theta^*_0, \theta_0, \theta^*_1] = \theta^*_1$ . Also  $[\theta^*_1, \theta_1, [\theta^*_0, \theta_0, \theta^+]] = [\theta^*_0, \theta_0, [\theta^*_1, \theta_1, \theta^+]]$ . Angenommen  $\theta^+ \neq \theta_1$ . Dann ist  $[\theta^*_1, \theta_1, [\theta^*_0, \theta_0, \theta^+]] = [\theta^*_1, \theta_1, \theta^+] = \theta^+$  und  $[\theta^*_0, \theta_0, [\theta^*_1, \theta_1, \theta^+]] = [\theta^*_0, \theta_0, \theta^+] = \theta^+$ . Also auch  $[\theta^*_1, \theta_1, [\theta^*_0, \theta_0, \theta^+]] = [\theta^*_0, \theta_0, [\theta^*_1, \theta_1, \theta^+]]$ .

Gelte die Behauptung für  $\{\theta'_0, \dots, \theta'_{r-1}\} \subseteq \text{TERM}$  und sei  $\theta^+ = \ulcorner \varphi(\theta'_0, \dots, \theta'_{r-1}) \urcorner \in \text{FTERM}$ . Dann ist  $[\theta^*_1, \theta_1, [\theta^*_0, \theta_0, \theta^+]] = [\theta^*_1, \theta_1, [\theta^*_0, \theta_0, \ulcorner \varphi(\theta'_0, \dots, \theta'_{r-1}) \urcorner]] = \ulcorner \varphi([\theta^*_1, \theta_1, [\theta^*_0, \theta_0, \theta'_0]], \dots, [\theta^*_1, \theta_1, [\theta^*_0, \theta_0, \theta'_{r-1}]]) \urcorner$ . Mit I.V. gilt  $[\theta^*_1, \theta_1, [\theta^*_0, \theta_0, \theta'_i]] = [\theta^*_0, \theta_0, [\theta^*_1, \theta_1, \theta'_i]]$  für alle  $i < r$ . Also  $[\theta^*_1, \theta_1, [\theta^*_0, \theta_0, \theta^+]] = \ulcorner \varphi([\theta^*_0, \theta_0, [\theta^*_1, \theta_1, \theta'_0]], \dots, [\theta^*_0, \theta_0, [\theta^*_1, \theta_1, \theta'_{r-1}]]) \urcorner = [\theta^*_0, \theta_0, [\theta^*_1, \theta_1, \ulcorner \varphi(\theta'_0, \dots, \theta'_{r-1}) \urcorner]] = [\theta^*_0, \theta_0, [\theta^*_1, \theta_1, \theta^+]]$ .

Zu (ii): Sei  $\Delta \in \text{FORM}$ . Der Beweis wird mittels struktureller Induktion über den Formelaufbau von  $\Delta$  geführt. Sei  $\Delta = \ulcorner \Phi(\theta'_0, \dots, \theta'_{r-1}) \urcorner \in \text{AFORM}$ . Dann ist  $[\theta^*_1, \theta_1, [\theta^*_0, \theta_0, \Delta]] = [\theta^*_1, \theta_1, [\theta^*_0, \theta_0, \ulcorner \Phi(\theta'_0, \dots, \theta'_{r-1}) \urcorner]] = \ulcorner \Phi([\theta^*_1, \theta_1, [\theta^*_0, \theta_0, \theta'_0]], \dots, [\theta^*_1, \theta_1, [\theta^*_0, \theta_0, \theta'_{r-1}]]) \urcorner$ . Mit (i) gilt  $[\theta^*_1, \theta_1, [\theta^*_0, \theta_0, \theta'_i]] = [\theta^*_0, \theta_0, [\theta^*_1, \theta_1, \theta'_i]]$  für alle  $i < r$ . Also  $[\theta^*_1, \theta_1, [\theta^*_0, \theta_0, \Delta]] = \ulcorner \Phi([\theta^*_0, \theta_0, [\theta^*_1, \theta_1, \theta'_0]], \dots, [\theta^*_0, \theta_0, [\theta^*_1, \theta_1, \theta'_{r-1}]]) \urcorner = [\theta^*_0, \theta_0, [\theta^*_1, \theta_1, \ulcorner \Phi(\theta'_0, \dots, \theta'_{r-1}) \urcorner]] = [\theta^*_0, \theta_0, [\theta^*_1, \theta_1, \Delta]]$ .

Gelte die Behauptung für  $\Delta_0, \Delta_1 \in \text{FORM}$  und sei  $\Delta = \ulcorner \neg \Delta_0 \urcorner \in \text{JFORM}$ . Dann ist  $[\theta^*_1, \theta_1, [\theta^*_0, \theta_0, \Delta]] = [\theta^*_1, \theta_1, [\theta^*_0, \theta_0, \ulcorner \neg \Delta_0 \urcorner]] = \ulcorner \neg [\theta^*_1, \theta_1, [\theta^*_0, \theta_0, \Delta_0]] \urcorner$ . Mit I.V. gilt  $[\theta^*_1, \theta_1, [\theta^*_0, \theta_0, \Delta_0]] = [\theta^*_0, \theta_0, [\theta^*_1, \theta_1, \Delta_0]]$ . Also  $[\theta^*_1, \theta_1, [\theta^*_0, \theta_0, \Delta]] = \ulcorner \neg [\theta^*_0, \theta_0, [\theta^*_1, \theta_1, \Delta_0]] \urcorner = [\theta^*_0, \theta_0, [\theta^*_1, \theta_1, \ulcorner \neg \Delta_0 \urcorner]] = [\theta^*_0, \theta_0, [\theta^*_1, \theta_1, \Delta]]$ . Sei  $\Delta = \ulcorner (\Delta_0 \psi \Delta_1) \urcorner \in \text{JFORM}$ . Der Fall verläuft analog zum Negatorfall.

Sei  $\Delta = \ulcorner \Pi \xi \Delta_0 \urcorner \in \text{QFORM}$ . Angenommen  $\xi = \theta_0$ . Dann ist  $\xi \neq \theta_1$  und  $[\theta^*_1, \theta_1, [\theta^*_0, \theta_0, \Delta]] = [\theta^*_1, \theta_1, [\theta^*_0, \theta_0, \ulcorner \Pi \xi \Delta_0 \urcorner]] = [\theta^*_1, \theta_1, \ulcorner \Pi \xi \Delta_0 \urcorner] = \ulcorner \Pi \xi [\theta^*_1, \theta_1, \Delta_0] \urcorner = [\theta^*_0, \theta_0, \ulcorner \Pi \xi [\theta^*_1, \theta_1, \Delta_0] \urcorner] = [\theta^*_0, \theta_0, [\theta^*_1, \theta_1, \ulcorner \Pi \xi \Delta_0 \urcorner]] = [\theta^*_0, \theta_0, [\theta^*_1, \theta_1, \Delta]]$ . Angenommen  $\xi = \theta_1$ . Dann ist  $\xi \neq \theta_0$  und  $[\theta^*_1, \theta_1, \ulcorner \Pi \xi [\theta^*_0, \theta_0, \Delta_0] \urcorner] = \ulcorner \Pi \xi [\theta^*_0, \theta_0, \Delta_0] \urcorner = [\theta^*_0, \theta_0, \ulcorner \Pi \xi \Delta_0 \urcorner] = [\theta^*_0, \theta_0, [\theta^*_1, \theta_1, \ulcorner \Pi \xi \Delta_0 \urcorner]] = [\theta^*_0, \theta_0, [\theta^*_1, \theta_1, \Delta]]$ . Sei  $\theta_0 \neq \xi \neq \theta_1$ . Der Fall verläuft analog zum Negatorfall.  $\square$

**Theorem 1-21.** *Substitution in Substitutionsergebnissen*

Wenn  $\zeta \in \text{VAR}$ ,  $\theta', \theta^* \in \text{GTERM}$  und  $\theta^+ \in \text{KONST} \cup \text{PAR}$ , dann:

- (i) Wenn  $\theta \in \text{TERM}$ , dann  $[\theta', \theta^+, [\theta^*, \zeta, \theta]] = [[\theta', \theta^+, \theta^*], \zeta, [\theta', \theta^+, \theta]]$ , und
- (ii) Wenn  $\Delta \in \text{FORM}$ , dann  $[\theta', \theta^+, [\theta^*, \zeta, \Delta]] = [[\theta', \theta^+, \theta^*], \zeta, [\theta', \theta^+, \Delta]]$ .

*Beweis:* Seien  $\zeta \in \text{VAR}$ ,  $\theta', \theta^* \in \text{GTERM}$  und  $\theta^+ \in \text{KONST} \cup \text{PAR}$ . *Zu (i):* Sei  $\theta \in \text{TERM}$ . Der Beweis wird mittels struktureller Induktion über den Termaufbau von  $\theta$  geführt. Sei  $\theta \in \text{ATERM}$ . Sei weiter  $\theta \in \text{KONST} \cup \text{PAR}$ . Angenommen  $\theta = \theta^+$ . Dann ist  $[\theta', \theta^+, [\theta^*, \zeta, \theta]] = [\theta', \theta^+, \theta] = \theta'$ . Nun ist  $\zeta \notin \text{TT}(\theta')$  und daher  $[\theta', \theta^+, [\theta^*, \zeta, \theta]] = \theta' = [[\theta', \theta^+, \theta^*], \zeta, \theta'] = [[\theta', \theta^+, \theta^*], \zeta, [\theta', \theta^+, \theta]]$ . Angenommen  $\theta \neq \theta^+$ . Dann ist  $[\theta', \theta^+, [\theta^*, \zeta, \theta]] = [\theta', \theta^+, \theta] = \theta = [[\theta', \theta^+, \theta^*], \zeta, \theta] = [[\theta', \theta^+, \theta^*], \zeta, [\theta', \theta^+, \theta]]$ . Sei schließlich  $\theta \in \text{VAR}$ . Angenommen  $\theta = \zeta$ . Dann ist  $[\theta', \theta^+, [\theta^*, \zeta, \theta]] = [\theta', \theta^+, \theta^*] = [[\theta', \theta^+, \theta^*], \zeta, \theta] = [[\theta', \theta^+, \theta^*], \zeta, [\theta', \theta^+, \theta]]$ . Angenommen  $\theta \neq \zeta$ . Dann ist  $[\theta', \theta^+, [\theta^*, \zeta, \theta]] = [\theta', \theta^+, \theta] = \theta = [[\theta', \theta^+, \theta^*], \zeta, \theta] = [[\theta', \theta^+, \theta^*], \zeta, [\theta', \theta^+, \theta]]$ .

Gelte die Behauptung nun für  $\{\theta_0, \dots, \theta_{r-1}\} \subseteq \text{TERM}$  und sei  $\theta = \ulcorner \varphi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \urcorner \in \text{FTERM}$ . Dann ist  $[\theta', \theta^+, [\theta^*, \zeta, \theta]] = [\theta', \theta^+, [\theta^*, \zeta, \ulcorner \varphi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \urcorner]] = \ulcorner \varphi([\theta', \theta^+, [\theta^*, \zeta, \theta_0]], \dots, [\theta', \theta^+, [\theta^*, \zeta, \theta_{r-1}]]) \urcorner$ . Mit I.V. gilt  $[\theta', \theta^+, [\theta^*, \zeta, \theta_i]] = [[\theta', \theta^+, \theta^*], \zeta, [\theta', \theta^+, \theta_i]]$  für alle  $i < r$ . Also  $[\theta', \theta^+, [\theta^*, \zeta, \theta]] = \ulcorner \varphi([[ \theta', \theta^+, \theta^* ], \zeta, [\theta', \theta^+, \theta_0]], \dots, [[ \theta', \theta^+, \theta^* ], \zeta, [\theta', \theta^+, \theta_{r-1}]]]) \urcorner = [[\theta', \theta^+, \theta^*], \zeta, [\theta', \theta^+, \ulcorner \varphi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \urcorner]] = [[\theta', \theta^+, \theta^*], \zeta, [\theta', \theta^+, \theta]]$ .

*Zu (ii):* Sei  $\Delta \in \text{FORM}$ . Der Beweis wird mittels struktureller Induktion über den Formelaufbau von  $\Delta$  geführt. Sei  $\Delta = \ulcorner \Phi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \urcorner \in \text{AFORM}$ . Der Fall verläuft analog zum FTERM-Fall unter Verwendung von (i).

Gelte die Behauptung für  $\Delta_0, \Delta_1 \in \text{FORM}$  und sei  $\Delta = \ulcorner \neg \Delta_0 \urcorner \in \text{JFORM}$ . Dann ist  $[\theta', \theta^+, [\theta^*, \zeta, \Delta]] = [\theta', \theta^+, [\theta^*, \zeta, \ulcorner \neg \Delta_0 \urcorner]] = \ulcorner \neg [\theta', \theta^+, [\theta^*, \zeta, \Delta_0]] \urcorner$ . Mit I.V. gilt  $[\theta', \theta^+, [\theta^*, \zeta, \Delta_0]] = [[\theta', \theta^+, \theta^*], \zeta, [\theta', \theta^+, \Delta_0]]$ . Also  $[\theta', \theta^+, [\theta^*, \zeta, \Delta]] = \ulcorner \neg [[\theta', \theta^+, \theta^*], \zeta, [\theta', \theta^+, \Delta_0]] \urcorner = [[\theta', \theta^+, \theta^*], \zeta, [\theta', \theta^+, \ulcorner \neg \Delta_0 \urcorner]] = [[\theta', \theta^+, \theta^*], \zeta, [\theta', \theta^+, \Delta]]$ . Sei  $\Delta = \ulcorner (\Delta_0 \psi \Delta_1) \urcorner \in \text{JFORM}$ . Der Fall verläuft analog zum Negatorfall.

Sei  $\Delta = \ulcorner \Pi \xi \Delta_0 \urcorner \in \text{QFORM}$ . Angenommen  $\xi = \zeta$ . Dann ist  $[\theta', \theta^+, [\theta^*, \zeta, \Delta]] = [\theta', \theta^+, [\theta^*, \zeta, \ulcorner \Pi \xi \Delta_0 \urcorner]] = [\theta', \theta^+, \ulcorner \Pi \xi \Delta_0 \urcorner] = \ulcorner \Pi \xi [\theta', \theta^+, \Delta_0] \urcorner = [[\theta', \theta^+, \theta^*], \zeta, \ulcorner \Pi \xi [\theta', \theta^+, \Delta_0] \urcorner] = [[\theta', \theta^+, \theta^*], \zeta, [\theta', \theta^+, \ulcorner \Pi \xi \Delta_0 \urcorner]] = [[\theta', \theta^+, \theta^*], \zeta, [\theta', \theta^+, \Delta]]$ . Angenommen  $\xi \neq \zeta$ . Der Fall verläuft analog zum Negatorfall.  $\square$

**Theorem 1-22.** *Mehrfache Substitution von neuen und paarweise verschiedenen Parametern für paarweise verschiedene Parameter in Termen und Formeln*

Wenn  $\theta \in \text{TERM}$ ,  $\Delta \in \text{FORM}$ ,  $\Sigma \in \text{SATZ}$ ,  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ}$ ,  $k \in \mathbb{N} \setminus \{0\}$  und  $\{\beta^*_0, \dots, \beta^*_k\} \subseteq \text{PAR} \setminus (\text{TT}(\theta) \cup \text{TT}(\Delta) \cup \text{TT}(\Sigma) \cup \text{TTSEQ}(\mathfrak{H}))$  und  $\{\beta_0, \dots, \beta_k\} \subseteq \text{PAR} \setminus \{\beta^*_0, \dots, \beta^*_k\}$ , wobei  $\beta^*_i \neq \beta^*_j$  und  $\beta_i \neq \beta_j$  für alle  $i, j < k+1$  mit  $i \neq j$ , dann:

- (i)  $[\beta^*_k, \beta_k, [\langle \beta^*_0, \dots, \beta^*_{k-1} \rangle, \langle \beta_0, \dots, \beta_{k-1} \rangle, \theta]] = [\langle \beta^*_0, \dots, \beta^*_k \rangle, \langle \beta_0, \dots, \beta_k \rangle, \theta]$ ,
- (ii)  $[\beta^*_k, \beta_k, \langle \beta^*_0, \dots, \beta^*_{k-1} \rangle, \langle \beta_0, \dots, \beta_{k-1} \rangle, \Delta] = [\langle \beta^*_0, \dots, \beta^*_k \rangle, \langle \beta_0, \dots, \beta_k \rangle, \Delta]$ ,
- (iii)  $[\beta^*_k, \beta_k, \langle \beta^*_0, \dots, \beta^*_{k-1} \rangle, \langle \beta_0, \dots, \beta_{k-1} \rangle, \Sigma] = [\langle \beta^*_0, \dots, \beta^*_k \rangle, \langle \beta_0, \dots, \beta_k \rangle, \Sigma]$  und
- (iv)  $[\beta^*_k, \beta_k, \langle \beta^*_0, \dots, \beta^*_{k-1} \rangle, \langle \beta_0, \dots, \beta_{k-1} \rangle, \mathfrak{H}] = [\langle \beta^*_0, \dots, \beta^*_k \rangle, \langle \beta_0, \dots, \beta_k \rangle, \mathfrak{H}]$ .

*Beweis:* Seien  $\theta \in \text{TERM}$ ,  $\Delta \in \text{FORM}$ ,  $\Sigma \in \text{SATZ}$ ,  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ}$ ,  $k \in \mathbb{N} \setminus \{0\}$  und  $\{\beta^*_0, \dots, \beta^*_k\} \subseteq \text{PAR} \setminus (\text{TT}(\theta) \cup \text{TT}(\Delta))$  und  $\{\beta_0, \dots, \beta_k\} \subseteq \text{PAR} \setminus \{\beta^*_0, \dots, \beta^*_k\}$ , wobei  $\beta^*_i \neq \beta^*_j$  und  $\beta_i \neq \beta_j$  für alle  $i, j < k+1$  mit  $i \neq j$ . *Zu (i):* Der Beweis wird mittels struktureller Induktion über den Termaufbau von  $\theta$  geführt. Sei  $\theta \in \text{ATERM}$ . Dann ist  $\theta \in \text{KONST} \cup \text{PAR} \cup \text{VAR}$ . Sei nun  $\theta \in \text{KONST} \cup \text{VAR} \cup (\text{PAR} \setminus \{\beta_0, \dots, \beta_k\})$ . Dann ist  $\theta = [\langle \beta^*_0, \dots, \beta^*_{k-1} \rangle, \langle \beta_0, \dots, \beta_{k-1} \rangle, \theta]$  und es ist  $\theta = [\langle \beta^*_0, \dots, \beta^*_k \rangle, \langle \beta_0, \dots, \beta_k \rangle, \theta]$  und damit  $[\beta^*_k, \beta_k, [\langle \beta^*_0, \dots, \beta^*_{k-1} \rangle, \langle \beta_0, \dots, \beta_{k-1} \rangle, \theta]] = [\beta^*_k, \beta_k, \theta] = \theta = [\langle \beta^*_0, \dots, \beta^*_k \rangle, \langle \beta_0, \dots, \beta_k \rangle, \theta]$ .

Sei nun  $\theta \in \{\beta_0, \dots, \beta_k\}$ . Dann ist  $\theta = \beta_i$  für ein  $i < k+1$ . Dann ist nach Voraussetzung für alle  $j < k+1$  mit  $j \neq i$   $\theta \neq \beta_j$ . Damit ist zunächst  $[\langle \beta^*_0, \dots, \beta^*_k \rangle, \langle \beta_0, \dots, \beta_k \rangle, \theta] = \beta^*_i$ . Sei nun  $i < k$ . Dann ist  $[\langle \beta^*_0, \dots, \beta^*_{k-1} \rangle, \langle \beta_0, \dots, \beta_{k-1} \rangle, \theta] = \beta^*_i$  und damit  $[\beta^*_k, \beta_k, [\langle \beta^*_0, \dots, \beta^*_{k-1} \rangle, \langle \beta_0, \dots, \beta_{k-1} \rangle, \theta]] = [\beta^*_k, \beta_k, \beta^*_i]$ . Aus der Voraussetzung ergibt sich nun, dass  $\beta_k \neq \beta^*_i$  und damit, dass  $[\beta^*_k, \beta_k, \beta^*_i] = \beta^*_i$ . Sei nun  $i = k$ . Dann ist  $[\langle \beta^*_0, \dots, \beta^*_{k-1} \rangle, \langle \beta_0, \dots, \beta_{k-1} \rangle, \theta] = \beta_k$  und somit  $[\beta^*_k, \beta_k, [\langle \beta^*_0, \dots, \beta^*_{k-1} \rangle, \langle \beta_0, \dots, \beta_{k-1} \rangle, \theta]] = [\beta^*_k, \beta_k, \beta_k] = \beta^*_k = \beta^*_i$ .

Gelte die Behauptung nun für  $\{\theta_0, \dots, \theta_{r-1}\} \subseteq \text{TERM}$  und sei  $\theta = \ulcorner \varphi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \urcorner \in \text{FTERM}$ . Dann ist  $[\beta^*_k, \beta_k, [\langle \beta^*_0, \dots, \beta^*_{k-1} \rangle, \langle \beta_0, \dots, \beta_{k-1} \rangle, \theta]] = [\beta^*_k, \beta_k, [\langle \beta^*_0, \dots, \beta^*_{k-1} \rangle, \langle \beta_0, \dots, \beta_{k-1} \rangle, \ulcorner \varphi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \urcorner]] = \ulcorner \varphi([\beta^*_k, \beta_k, [\langle \beta^*_0, \dots, \beta^*_{k-1} \rangle, \langle \beta_0, \dots, \beta_{k-1} \rangle, \theta_0]], \dots, [\beta^*_k, \beta_k, [\langle \beta^*_0, \dots, \beta^*_{k-1} \rangle, \langle \beta_0, \dots, \beta_{k-1} \rangle, \theta_{r-1}]] \urcorner$ . Mit I.V. gilt  $[\beta^*_k, \beta_k, [\langle \beta^*_0, \dots, \beta^*_{k-1} \rangle, \langle \beta_0, \dots, \beta_{k-1} \rangle, \theta_i]] = [\langle \beta^*_0, \dots, \beta^*_k \rangle, \langle \beta_0, \dots, \beta_k \rangle, \theta_i]$  für alle  $i < r$ . Also  $[\beta^*_k, \beta_k, [\langle \beta^*_0, \dots, \beta^*_{k-1} \rangle, \langle \beta_0, \dots, \beta_{k-1} \rangle, \theta]] = \ulcorner \varphi([\langle \beta^*_0, \dots, \beta^*_k \rangle, \langle \beta_0, \dots, \beta_k \rangle, \theta_0], \dots, [\langle \beta^*_0, \dots, \beta^*_k \rangle, \langle \beta_0, \dots, \beta_k \rangle, \theta_{r-1}]] \urcorner = [\langle \beta^*_0, \dots, \beta^*_k \rangle, \langle \beta_0, \dots, \beta_k \rangle, \ulcorner \varphi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \urcorner] = [\langle \beta^*_0, \dots, \beta^*_k \rangle, \langle \beta_0, \dots, \beta_k \rangle, \theta]$ .

*Zu (ii):* Der Beweis wird mittels struktureller Induktion über den Formelaufbau von  $\Delta$  geführt. Sei  $\Delta = \ulcorner \Phi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \urcorner \in \text{AFORM}$ . Der Fall verläuft analog zum FTERM-Fall unter Verwendung von (i).

Gelte die Behauptung nun für  $\Delta_0, \Delta_1 \in \text{FORM}$  und sei  $\Delta = \ulcorner \neg \Delta_0 \urcorner \in \text{JFORM}$ . Dann ist  $[\beta^*_k, \beta_k, [\langle \beta^*_0, \dots, \beta^*_{k-1} \rangle, \langle \beta_0, \dots, \beta_{k-1} \rangle, \Delta]] = [\beta^*_k, \beta_k, [\langle \beta^*_0, \dots, \beta^*_{k-1} \rangle, \langle \beta_0, \dots, \beta_{k-1} \rangle,$

$\lceil \neg \Delta_0 \rceil = \lceil \neg [\beta^*_k, \beta_k, [\langle \beta^*_0, \dots, \beta^*_{k-1} \rangle, \langle \beta_0, \dots, \beta_{k-1} \rangle, \Delta_0]] \rceil$ . Mit I.V. gilt  $[\beta^*_k, \beta_k, \langle \beta^*_0, \dots, \beta^*_{k-1} \rangle, \langle \beta_0, \dots, \beta_{k-1} \rangle, \Delta_0] = [\langle \beta^*_0, \dots, \beta^*_k \rangle, \langle \beta_0, \dots, \beta_k \rangle, \Delta_0]$ . Also  $[\beta^*_k, \beta_k, [\langle \beta^*_0, \dots, \beta^*_{k-1} \rangle, \langle \beta_0, \dots, \beta_{k-1} \rangle, \Delta]] = \lceil \neg [\langle \beta^*_0, \dots, \beta^*_k \rangle, \langle \beta_0, \dots, \beta_k \rangle, \Delta_0] \rceil = [\langle \beta^*_0, \dots, \beta^*_k \rangle, \langle \beta_0, \dots, \beta_k \rangle, \lceil \neg \Delta_0 \rceil] = [\langle \beta^*_0, \dots, \beta^*_k \rangle, \langle \beta_0, \dots, \beta_k \rangle, \Delta]$ . Sei  $\Delta = \lceil (\Delta_0 \psi \Delta_1) \rceil \in \text{JFORM}$ . Der Fall verläuft analog zum Negatorfall. Sei  $\Delta = \lceil \Pi \xi \Delta_0 \rceil \in \text{QFORM}$ . Der Fall verläuft analog zum Negatorfall.

Zu (iii) und (iv): (iii) ergibt sich analog zum Negatorfall unter Verwendung von (ii) und (iv) ergibt sich analog zum FTERM-Fall unter Verwendung von (iii).  $\square$

*Hinweis:* Ein zu Theorem 1-22 analoges Theorem lässt sich für Formelmengen zeigen.

**Theorem 1-23.** *Mehrfache Substitution von geschlossenen Termen für paarweise verschiedene Variablen in Termen und Formeln (a)*

Wenn  $k \in \mathbb{N} \setminus \{0\}$ ,  $\{\theta^*_0, \dots, \theta^*_k\} \subseteq \text{GTERM}$  und  $\{\xi_0, \dots, \xi_k\} \subseteq \text{VAR}$ , wobei  $\xi_i \neq \xi_j$  für alle  $i, j < k+1$  mit  $i \neq j$ , dann:

(i) Wenn  $\theta \in \text{TERM}$ , dann

$$[\theta^*_k, \xi_k, [\langle \theta^*_0, \dots, \theta^*_{k-1} \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{k-1} \rangle, \theta]] = [\langle \theta^*_0, \dots, \theta^*_k \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_k \rangle, \theta], \text{ und}$$

(ii) Wenn  $\Delta \in \text{FORM}$ , dann

$$[\theta^*_k, \xi_k, [\langle \theta^*_0, \dots, \theta^*_{k-1} \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{k-1} \rangle, \Delta]] = [\langle \theta^*_0, \dots, \theta^*_k \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_k \rangle, \Delta].$$

*Beweis:* Zu (i): Seien  $k \in \mathbb{N} \setminus \{0\}$ ,  $\{\theta^*_0, \dots, \theta^*_k\} \subseteq \text{GTERM}$  und  $\{\xi_0, \dots, \xi_k\} \subseteq \text{VAR}$ , wobei  $\xi_i \neq \xi_j$  für alle  $i, j < k+1$  mit  $i \neq j$ . Sei  $\theta \in \text{TERM}$ . Der Beweis wird mittels struktureller Induktion über den Termaufbau von  $\theta$  geführt. Sei  $\theta \in \text{ATERM}$ . Angenommen  $\xi_i \neq \theta$  für alle  $i < k+1$ . Dann ist  $[\theta^*_k, \xi_k, [\langle \theta^*_0, \dots, \theta^*_{k-1} \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{k-1} \rangle, \theta]] = [\theta^*_k, \xi_k, \theta] = \theta = [\langle \theta^*_0, \dots, \theta^*_k \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_k \rangle, \theta]$ . Angenommen  $\xi_i = \theta$  für ein  $i < k$ . Dann ist  $\xi_j \neq \theta$  für alle  $i < j < k+1$ . Dann ist  $[\langle \theta^*_0, \dots, \theta^*_k \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_k \rangle, \theta] = [\langle \theta^*_0, \dots, \theta^*_{k-1} \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{k-1} \rangle, \theta] = [\langle \theta^*_0, \dots, \theta^*_i \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_i \rangle, \theta] = \theta^*_i \in \text{GTERM}$ . Also  $[\theta^*_k, \xi_k, [\langle \theta^*_0, \dots, \theta^*_{k-1} \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{k-1} \rangle, \theta]] = [\langle \theta^*_0, \dots, \theta^*_{k-1} \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{k-1} \rangle, \theta] = [\langle \theta^*_0, \dots, \theta^*_k \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_k \rangle, \theta]$ . Angenommen  $\xi_k = \theta$ . Dann ist  $\xi_i \neq \theta$  für alle  $i < k$  und  $[\langle \theta^*_0, \dots, \theta^*_{k-1} \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{k-1} \rangle, \theta] = \theta$ . Also  $[\theta^*_k, \xi_k, [\langle \theta^*_0, \dots, \theta^*_{k-1} \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{k-1} \rangle, \theta]] = [\theta^*_k, \xi_k, \theta] = \theta^*_k = [\langle \theta^*_0, \dots, \theta^*_k \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_k \rangle, \theta]$ .

Gelte die Behauptung nun für  $\{\theta_0, \dots, \theta_{r-1}\} \subseteq \text{TERM}$  und sei  $\theta = \lceil \varphi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \rceil \in \text{FTERM}$ . Dann ist  $[\theta^*_k, \xi_k, [\langle \theta^*_0, \dots, \theta^*_{k-1} \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{k-1} \rangle, \theta]] = [\theta^*_k, \xi_k, [\langle \theta^*_0, \dots, \theta^*_{k-1} \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{k-1} \rangle, \lceil \varphi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \rceil]] = \lceil \varphi([\theta^*_k, \xi_k, [\langle \theta^*_0, \dots, \theta^*_{k-1} \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{k-1} \rangle, \theta_0]], \dots, [\theta^*_k, \xi_k, [\langle \theta^*_0, \dots, \theta^*_{k-1} \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{k-1} \rangle, \theta_{r-1}]] \rceil$ . Mit I.V. gilt  $[\theta^*_k, \xi_k, [\langle \theta^*_0, \dots, \theta^*_{k-1} \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{k-1} \rangle, \theta_i]] = [\langle \theta^*_0, \dots, \theta^*_k \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_k \rangle, \theta_i]$  für alle  $i < r$ . Also  $[\theta^*_k, \xi_k, [\langle \theta^*_0, \dots, \theta^*_{k-1} \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{k-1} \rangle, \theta]] = [\langle \theta^*_0, \dots, \theta^*_k \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_k \rangle, \theta]$ .

$\rangle, \theta]] = \ulcorner \varphi(\langle \theta^*_0, \dots, \theta^*_k \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_k \rangle, \theta_0, \dots, [\langle \theta^*_0, \dots, \theta^*_k \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_k \rangle, \theta_{r-1}]) \urcorner = [\langle \theta^*_0, \dots, \theta^*_k \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_k \rangle, \ulcorner \varphi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \urcorner] = [\langle \theta^*_0, \dots, \theta^*_k \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_k \rangle, \theta]$ .

Zu (ii): Sei  $\Delta \in \text{FORM}$ . Der Beweis wird mittels struktureller Induktion über den Formelaufbau von  $\Delta$  geführt. Seien  $k \in \mathbb{N} \setminus \{0\}$ ,  $\{\theta^*_0, \dots, \theta^*_k\} \subseteq \text{GTERM}$  und  $\{\xi_0, \dots, \xi_k\} \subseteq \text{VAR}$ , wobei  $\xi_i \neq \xi_j$  für alle  $i, j < k+1$  mit  $i \neq j$ .  $\Delta = \ulcorner \Phi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \urcorner \in \text{AFORM}$ . Der Fall verläuft analog zum FTERM-Fall unter Verwendung von (i).

Gelte das Theorem nun für  $\Delta_0, \Delta_1 \in \text{FORM}$  und seien  $k \in \mathbb{N} \setminus \{0\}$ ,  $\{\theta^*_0, \dots, \theta^*_k\} \subseteq \text{GTERM}$  und  $\{\xi_0, \dots, \xi_k\} \subseteq \text{VAR}$ , wobei  $\xi_i \neq \xi_j$  für alle  $i, j < k+1$  mit  $i \neq j$ . Sei  $\Delta = \ulcorner \neg \Delta_0 \urcorner \in \text{JFORM}$ . Dann ist  $[\theta^*_k, \xi_k, [\langle \theta^*_0, \dots, \theta^*_{k-1} \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{k-1} \rangle, \Delta]] = [\theta^*_k, \xi_k, [\langle \theta^*_0, \dots, \theta^*_{k-1} \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{k-1} \rangle, \ulcorner \neg \Delta_0 \urcorner]] = \ulcorner \neg [\theta^*_k, \xi_k, [\langle \theta^*_0, \dots, \theta^*_{k-1} \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{k-1} \rangle, \Delta_0]] \urcorner$ . Mit I.V. gilt  $[\theta^*_k, \xi_k, [\langle \theta^*_0, \dots, \theta^*_{k-1} \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{k-1} \rangle, \Delta_0]] = [\langle \theta^*_0, \dots, \theta^*_k \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_k \rangle, \Delta_0]$ . Also  $[\theta^*_k, \xi_k, [\langle \theta^*_0, \dots, \theta^*_{k-1} \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{k-1} \rangle, \Delta]] = \ulcorner \neg [\langle \theta^*_0, \dots, \theta^*_k \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_k \rangle, \Delta_0] \urcorner = [\langle \theta^*_0, \dots, \theta^*_k \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_k \rangle, \ulcorner \neg \Delta_0 \urcorner] = [\langle \theta^*_0, \dots, \theta^*_k \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_k \rangle, \Delta]$ . Sei  $\Delta = \ulcorner (\Delta_0 \psi \Delta_1) \urcorner \in \text{JFORM}$ . Der Fall verläuft analog zum Negatorfall.

Sei  $\Delta = \ulcorner \Pi \zeta \Delta_0 \urcorner \in \text{QFORM}$ . Angenommen  $\xi_i = \zeta$  für ein  $i < k$ . Dann ist  $\xi_j \neq \zeta$  für alle  $j < k+1$  mit  $i \neq j$ . Dann ist  $[\theta^*_k, \xi_k, [\langle \theta^*_0, \dots, \theta^*_{k-1} \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{k-1} \rangle, \Delta]] = [\theta^*_k, \xi_k, [\langle \theta^*_0, \dots, \theta^*_{k-1} \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{k-1} \rangle, \ulcorner \Pi \zeta \Delta_0 \urcorner]] = [\theta^*_k, \xi_k, \ulcorner \Pi \zeta [\langle \theta^*_0, \dots, \theta^*_{i-1}, \theta^*_{i+1}, \dots, \theta^*_{k-1} \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{i-1}, \xi_{i+1}, \dots, \xi_{k-1} \rangle, \Delta_0] \urcorner] = \ulcorner \Pi \zeta [\theta^*_k, \xi_k, [\langle \theta^*_0, \dots, \theta^*_{i-1}, \theta^*_{i+1}, \dots, \theta^*_{k-1} \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{i-1}, \xi_{i+1}, \dots, \xi_{k-1} \rangle, \Delta_0]] \urcorner$ . Mit I.V. gilt  $[\theta^*_k, \xi_k, [\langle \theta^*_0, \dots, \theta^*_{i-1}, \theta^*_{i+1}, \dots, \theta^*_{k-1} \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{i-1}, \xi_{i+1}, \dots, \xi_{k-1} \rangle, \Delta_0]] = [\langle \theta^*_0, \dots, \theta^*_{i-1}, \theta^*_{i+1}, \dots, \theta^*_k \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{i-1}, \xi_{i+1}, \dots, \xi_k \rangle, \Delta_0]$ . Also  $[\theta^*_k, \xi_k, [\langle \theta^*_0, \dots, \theta^*_{k-1} \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{k-1} \rangle, \Delta]] = \ulcorner \Pi \zeta [\langle \theta^*_0, \dots, \theta^*_{i-1}, \theta^*_{i+1}, \dots, \theta^*_k \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{i-1}, \xi_{i+1}, \dots, \xi_k \rangle, \Delta_0] \urcorner = [\langle \theta^*_0, \dots, \theta^*_k \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_k \rangle, \ulcorner \Pi \xi \Delta_0 \urcorner] = [\langle \theta^*_0, \dots, \theta^*_k \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_k \rangle, \Delta]$ . Angenommen  $\xi_k = \zeta$ . Dann ist  $\xi_i \neq \zeta$  für alle  $i < k$  und  $[\theta^*_k, \xi_k, [\langle \theta^*_0, \dots, \theta^*_{k-1} \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{k-1} \rangle, \Delta]] = [\theta^*_k, \xi_k, [\langle \theta^*_0, \dots, \theta^*_{k-1} \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{k-1} \rangle, \ulcorner \Pi \zeta \Delta_0 \urcorner]] = [\theta^*_k, \xi_k, \ulcorner \Pi \zeta [\langle \theta^*_0, \dots, \theta^*_{k-1} \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{k-1} \rangle, \Delta_0] \urcorner] = \ulcorner \Pi \zeta [\langle \theta^*_0, \dots, \theta^*_{k-1} \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{k-1} \rangle, \Delta_0] \urcorner = [\langle \theta^*_0, \dots, \theta^*_k \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_k \rangle, \ulcorner \Pi \zeta \Delta_0 \urcorner] = [\langle \theta^*_0, \dots, \theta^*_k \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_k \rangle, \Delta]$ .

Angenommen  $\xi_i \neq \zeta$  für alle  $i < k+1$ . Dann ist  $[\theta^*_k, \xi_k, [\langle \theta^*_0, \dots, \theta^*_{k-1} \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{k-1} \rangle, \Delta]] = [\theta^*_k, \xi_k, [\langle \theta^*_0, \dots, \theta^*_{k-1} \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{k-1} \rangle, \ulcorner \Pi \zeta \Delta_0 \urcorner]] = [\theta^*_k, \xi_k, \ulcorner \Pi \zeta [\langle \theta^*_0, \dots, \theta^*_{k-1} \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{k-1} \rangle, \Delta_0] \urcorner] = \ulcorner \Pi \zeta [\theta^*_k, \xi_k, [\langle \theta^*_0, \dots, \theta^*_{k-1} \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{k-1} \rangle, \Delta_0]] \urcorner$ . Mit I.V. gilt  $[\theta^*_k, \xi_k, [\langle \theta^*_0, \dots, \theta^*_{k-1} \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{k-1} \rangle, \Delta_0]] = [\langle \theta^*_0, \dots, \theta^*_k \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_k \rangle, \Delta_0]$ . Also  $[\theta^*_k, \xi_k, [\langle \theta^*_0, \dots, \theta^*_{k-1} \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{k-1} \rangle, \Delta]] = \ulcorner \Pi \zeta [\langle \theta^*_0, \dots, \theta^*_k \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_k \rangle, \Delta_0] \urcorner = [\langle \theta^*_0, \dots, \theta^*_k \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_k \rangle, \ulcorner \Pi \xi \Delta_0 \urcorner] = [\langle \theta^*_0, \dots, \theta^*_k \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_k \rangle, \Delta]$ .  $\square$

**Theorem 1-24.** *Mehrfache Substitution von geschlossenen Termen für paarweise verschiedene Variablen in Formeln (b)*

Wenn  $k \in \mathbb{N} \setminus \{0\}$ ,  $\{\theta^*_0, \dots, \theta^*_k\} \subseteq \text{GTERM}$  und  $\{\xi_0, \dots, \xi_k\} \subseteq \text{VAR}$ , wobei  $\xi_i \neq \xi_j$  für alle  $i, j < k+1$  mit  $i \neq j$ , dann:

(i) Wenn  $\theta \in \text{TERM}$ , dann

$$[\langle \theta^*_0, \dots, \theta^*_{k-1} \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{k-1} \rangle, [\theta^*_k, \xi_k, \theta]] = [\langle \theta^*_0, \dots, \theta^*_k \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_k \rangle, \theta], \text{ und}$$

(ii) Wenn  $\Delta \in \text{FORM}$ , dann

$$[\langle \theta^*_0, \dots, \theta^*_{k-1} \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{k-1} \rangle, [\theta^*_k, \xi_k, \Delta]] = [\langle \theta^*_0, \dots, \theta^*_k \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_k \rangle, \Delta].$$

*Beweis:* Seien  $k \in \mathbb{N} \setminus \{0\}$ ,  $\{\theta^*_0, \dots, \theta^*_k\} \subseteq \text{GTERM}$  und  $\{\xi_0, \dots, \xi_k\} \subseteq \text{VAR}$ , wobei  $\xi_i \neq \xi_j$  für alle  $i, j < k+1$  mit  $i \neq j$ . *Zu (i):* Sei  $\theta \in \text{TERM}$ . Der Beweis wird mittels Induktion über  $k$  geführt. Sei  $k = 1$ . Dann ist mit Theorem 1-20-(i) und Theorem 1-23-(i)  $[\theta^*_0, \xi_0, [\theta^*_1, \xi_1, \theta]] = [\theta^*_1, \xi_1, [\theta^*_0, \xi_0, \theta]] = [\langle \theta^*_0, \theta^*_1 \rangle, \langle \xi_0, \xi_1 \rangle, \theta]$ . Sei nun  $1 < k$ . Durch Anwendung von I.V., Theorem 1-20-(i), I.V., Theorem 1-23-(i), I.V. und Theorem 1-23-(i) in dieser Reihenfolge ergibt sich:  $[\langle \theta^*_0, \dots, \theta^*_{k-1} \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{k-1} \rangle, [\theta^*_k, \xi_k, \theta]] = [\langle \theta^*_0, \dots, \theta^*_{k-2} \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{k-2} \rangle, [\theta^*_{k-1}, \xi_{k-1}, [\theta^*_k, \xi_k, \theta]]] = [\langle \theta^*_0, \dots, \theta^*_{k-2}, \theta^*_k \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{k-2}, \xi_k \rangle, [\theta^*_{k-1}, \xi_{k-1}, \theta]] = [\theta^*_k, \xi_k, [\langle \theta^*_0, \dots, \theta^*_{k-2} \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{k-2} \rangle, [\theta^*_{k-1}, \xi_{k-1}, \theta]]] = [\theta^*_k, \xi_k, [\langle \theta^*_0, \dots, \theta^*_{k-1} \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{k-1} \rangle, \theta]] = [\langle \theta^*_0, \dots, \theta^*_k \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_k \rangle, \theta]$ .

(ii) folgt auf analogem Wege aus Theorem 1-20-(ii) und Theorem 1-23-(ii).  $\square$



## 2 Verfügbarkeit von Aussagen

In diesem Kapitel werden die für den Kalkül benötigten Verfügbarkeitsbegrifflichkeiten entwickelt. Das Vorgehen lässt sich wie folgt skizzieren: Vorbereitend sind zunächst Redemittel zu Abschnitten und Abschnittsfolgen zu etablieren, wobei ein Abschnitt in einer nicht-leeren Sequenz eine nicht-leere zusammenhängende Teilmenge derselben ist (2.1). Sodann werden bestimmte SE-, NE- und EA-artige Abschnitte, wie sie insbesondere beim Schließen mit Subjunktureinführung (SE), Negatoreinführung (NE) und Partikularquantorbeseitigung (PB) entstehen, als geschlossene Abschnitte ausgezeichnet (2.2). Ausgehend von den geschlossenen Abschnitten werden dann die Verfügbarkeitsbegrifflichkeiten selbst etabliert, wobei in einer Sequenz genau solche Aussagen an einer Stelle verfügbar sein sollen, die in dieser Sequenz an dieser Stelle nicht in einem echten Anfangsabschnitt eines geschlossenen Abschnitts liegen (2.3). Mit den in diesem Kapitel etablierten Theoremen lässt sich dann später zeigen, dass SE, NE und PB und nur diese Annahmen eliminieren können.

### 2.1 Abschnitte und Abschnittsfolgen

In diesem Kapitel werden nun Abschnitte in einer nicht-leeren Sequenz als nicht-leere und zusammenhängende Teilmengen derselben charakterisiert. Sodann werden einige Theoreme zu Abschnitten beweisen. Anschließend werden Begrifflichkeiten und Theoreme zu Abschnittsfolgen für Sequenzen etabliert, wobei Abschnittsfolgen für eine Sequenz  $\mathfrak{S}$  solche endlichen Folgen sind, die nur disjunkte Abschnitte in  $\mathfrak{S}$  aufzählen. Ausgehend von den Abschnittsfolgen werden dann so genannte ANS-umfassende Abschnittsfolgen für Abschnitte in Sequenzen definiert. Dabei ist eine ANS-umfassende Abschnittsfolge für einen Abschnitt  $\mathfrak{A}$  in  $\mathfrak{S}$  eine Abschnittsfolge für  $\mathfrak{S}$ , deren Werte alle samt Teilabschnitte von  $\mathfrak{A}$  sind, wobei diese Teilabschnitte einerseits disjunkt sind und andererseits alle Annahmesätze in  $\mathfrak{A}$  in einem dieser Teilabschnitte liegen. Diese ANS-umfassenden Abschnittsfolgen werden später bei der induktiven Erzeugung von geschlossenen Abschnitten eine Schlüsselrolle spielen. Den Abschluss des Kapitels bildet dann der Beweis von Theoremen zu ANS-umfassenden Abschnittsfolgen, die bei der Etablierung der geschlossenen Abschnitte bzw. von Theoremen über diese benötigt werden. Nun zur Abschnittsdefinition:

**Definition 2-1.** Abschnitt in einer Sequenz<sup>8</sup> (Metavariablen:  $\mathfrak{A}, \mathfrak{B}, \mathfrak{C}, \mathfrak{A}', \mathfrak{B}', \mathfrak{C}', \mathfrak{A}^*, \mathfrak{B}^*, \mathfrak{C}^*, \dots$ )

$\mathfrak{A}$  ist ein Abschnitt in  $\mathfrak{H}$

gdw

$\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$ ,  $\mathfrak{A} \neq \emptyset$ ,  $\mathfrak{A} \subseteq \mathfrak{H}$  und  $\mathfrak{A} = \{(i, \mathfrak{H}_i) \mid \min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) \leq i \leq \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))\}$ .

**Definition 2-2.** Zuordnung der Menge der Abschnitte von  $\mathfrak{H}$  (ABS)

$\text{ABS} = \{(\mathfrak{H}, X) \mid \mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\} \text{ und } X = \{\mathfrak{A} \mid \mathfrak{A} \text{ ist ein Abschnitt in } \mathfrak{H}\}\}$

**Theorem 2-1.** Es gibt genau dann einen Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ , wenn  $\mathfrak{H}$  eine nicht-leere Sequenz ist

Es gibt einen Abschnitt  $\mathfrak{A}$  in  $\mathfrak{H}$  gdw  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$ .

*Beweis:* Sei  $\mathfrak{A}$  ein Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ . Dann ist  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$ . Sei nun  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$ . Dann ist  $\mathfrak{H}$  ein Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ .  $\square$

**Theorem 2-2.** Das Abschnittsprädikat ist bezüglich Teilmengenschaft zwischen Sequenzen monoton.

Wenn  $\mathfrak{H}, \mathfrak{H}' \in \text{SEQ}$ ,  $\mathfrak{H} \subseteq \mathfrak{H}'$  und  $\mathfrak{A}$  ein Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist, dann ist  $\mathfrak{A}$  ein Abschnitt in  $\mathfrak{H}'$ .

*Beweis:* Seien  $\mathfrak{H}, \mathfrak{H}' \in \text{SEQ}$ ,  $\mathfrak{H} \subseteq \mathfrak{H}'$  und  $\mathfrak{A}$  ein Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ . Dann ist  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$  und damit auch  $\mathfrak{H}' \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$ . Sodann ist  $\mathfrak{A} \neq \emptyset$  und  $\mathfrak{A} \subseteq \mathfrak{H} \subseteq \mathfrak{H}'$ . Ferner ist  $\mathfrak{H} = \mathfrak{H}' \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})$ . Damit ist

$$\begin{aligned} \mathfrak{A} &= \{(i, \mathfrak{H}_i) \mid \min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) \leq i \leq \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))\} \\ &= \\ &\{(i, \mathfrak{H}'_i) \mid \min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) \leq i \leq \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))\} \end{aligned}$$

und somit  $\mathfrak{A}$  insgesamt ein Abschnitt in  $\mathfrak{H}'$ .  $\square$

---

<sup>8</sup> 'min(..)' sei für nicht-leere Teilmengen von  $\mathbb{N}$  und 'max(..)' für nicht-leere und endliche Teilmengen von  $\mathbb{N}$  wie üblich definiert. Falls  $X$  keine nicht-leere Teilmenge von  $\mathbb{N}$  ist, sei  $\min(X) = 0$  und falls  $X$  keine nicht-leere endliche Teilmenge von  $\mathbb{N}$  ist, sei auch  $\max(X) = 0$ .

**Bemerkung 2-1.** Alle der im Folgenden definierten Abschnittsprädikate sind bezüglich Teilmengenschaft zwischen Sequenzen monoton. Dies wird in der weiteren Darstellung benutzt, aber nicht extra gezeigt.

Wenn  $F$  eines der im Folgenden definierten Abschnittsprädikate ist, dann gilt: Wenn  $\mathfrak{H}, \mathfrak{H}' \in \text{SEQ}$ ,  $\mathfrak{H} \subseteq \mathfrak{H}'$  und  $\mathfrak{A}$  ein  $F$ -Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist, dann ist  $\mathfrak{A}$  ein  $F$ -Abschnitt in  $\mathfrak{H}'$ .

*Erläuterung:* Alle folgenden Definitionen von Abschnittsprädikaten haben eine der beiden folgenden Formen:

$\mathfrak{A}$  ist ein  $F$ -Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  gdw  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$ ,  $\mathfrak{A} \in \text{ABS}(\mathfrak{H})$  und  $H(\mathfrak{A}, \mathfrak{H})$ .

oder

$\mathfrak{A}$  ist ein  $F$ -Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  gdw  $\mathfrak{A}$  ein Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist und  $H(\mathfrak{A}, \mathfrak{H})$ .

Dabei ist  $H$  der variable Teil im Definiens, der die einzelnen Definitionen voneinander unterscheidet. Für  $H$  gilt jeweils: Wenn  $\mathfrak{H}, \mathfrak{H}' \in \text{SEQ}$ ,  $\mathfrak{H} \subseteq \mathfrak{H}'$  und  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$ ,  $\mathfrak{A} \in \text{ABS}(\mathfrak{H})$  (bzw., äquivalent dazu:  $\mathfrak{A}$  ist ein Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ ) und  $H(\mathfrak{A}, \mathfrak{H})$ , dann  $H(\mathfrak{A}, \mathfrak{H}')$ . Damit ergibt sich mit Theorem 2-2 und der entsprechenden Definition dann jeweils: Wenn  $\mathfrak{H}, \mathfrak{H}'$  Sequenzen sind,  $\mathfrak{H} \subseteq \mathfrak{H}'$  und  $\mathfrak{A}$  ein  $F$ -Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist, dann ist  $\mathfrak{A}$  ein  $F$ -Abschnitt in  $\mathfrak{H}'$ .

Daraus ergibt sich auch: Wenn  $\mathfrak{H}, \mathfrak{H}'$  Sequenzen sind, und  $\mathfrak{A}$  ein  $F$ -Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist, dann ist  $\mathfrak{A}$  auch ein  $F$ -Abschnitt in  $\mathfrak{H} \frown \mathfrak{H}'$ .<sup>9</sup> Zu beachten ist allerdings, dass für viele der im Folgenden definierten Abschnittsprädikate *nicht* gilt: Wenn  $\mathfrak{H}, \mathfrak{H}'$  Sequenzen sind, und  $\mathfrak{A}$  ein  $F$ -Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist, dann ist  $\mathfrak{A}$  auch ein  $F$ -Abschnitt in  $\mathfrak{H}' \frown \mathfrak{H}$ .  $\square$

---

<sup>9</sup> '...' ist der Operator der Folgenverkettung. Die Klammern sind weggelassen und es ist Linksklammerung unterstellt. Also:  $\lceil a_0 \frown a_1 \frown a_2 \frown \dots \frown a_{n-1} \rceil = \lceil (\dots ((a_0 \frown a_1) \frown a_2) \frown \dots) \frown a_{n-1} \rceil$ .

**Theorem 2-3.** *Abschnitte in Beschränkungen*<sup>10</sup>

Wenn  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ}$ , dann:  $\mathfrak{A}$  ist genau dann ein Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ , wenn  $\mathfrak{A}$  ein Abschnitt in  $\mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathfrak{A})) + 1$  ist.

*Beweis:* Sei  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ}$ . (*L-R*): Sei  $\mathfrak{A}$  ein Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ . Dann ergibt sich:  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$ ,  $\mathfrak{A} \neq \emptyset$ ,  $\mathfrak{A} \subseteq \mathfrak{H}$  und damit:  $\mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathfrak{A})) + 1 \in \text{SEQ}$ . Sodann ist  $\mathfrak{A} \subseteq \mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathfrak{A})) + 1$  und somit  $\mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathfrak{A})) + 1 \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$  und auch

$$\begin{aligned} \mathfrak{A} &= \{(i, \mathfrak{H}_i) \mid \min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) \leq i \leq \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))\} \\ &= \\ &\{(i, (\mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathfrak{A})) + 1)_i) \mid \min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) \leq i \leq \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))\} \end{aligned}$$

und  $\mathfrak{A}$  somit insgesamt ein Abschnitt in  $\mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathfrak{A})) + 1$ . (*R-L*): Ist umgekehrt  $\mathfrak{A}$  ein Abschnitt in  $\mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathfrak{A})) + 1$ , dann ist nach der Eingangsvoraussetzung  $\mathfrak{H}$  eine Sequenz und mit  $\mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathfrak{A})) + 1 \subseteq \mathfrak{H}$  und Theorem 2-2  $\mathfrak{A}$  auch ein Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ .  $\square$

**Bemerkung 2-2.** *F-Abschnitte in Beschränkungen*

Wenn  $F$  eines der im Folgenden definierten Abschnittsprädikate ist, dann gilt: Wenn  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ}$ , dann ist  $\mathfrak{A}$  genau dann ein  $F$ -Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ , wenn  $\mathfrak{A}$  ein  $F$ -Abschnitt in  $\mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathfrak{A})) + 1$  ist.

*Erläuterung:* Alle folgenden Definitionen von Abschnittsprädikaten haben die Form wie in Bemerkung 2-1 angegeben, wobei für  $H$  jeweils gilt: Wenn  $\mathfrak{H}$  einer Sequenz ist und  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$ ,  $\mathfrak{A} \in \text{ABS}(\mathfrak{H})$  (bzw., äquivalent dazu:  $\mathfrak{A}$  ist ein Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ ) und  $H(\mathfrak{A}, \mathfrak{H})$ , dann  $H(\mathfrak{A}, \mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathfrak{A})) + 1)$ . Der Grund ist jeweils, dass in den Definientia nur Bezug auf Verhältnisse in  $\mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathfrak{A})) + 1$  genommen wird. Damit ergibt sich dann mit Theorem 2-3 und der entsprechenden Definition jeweils: Wenn  $\mathfrak{H}$  eine Sequenz ist und  $\mathfrak{A}$  ein  $F$ -Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist, dann ist  $\mathfrak{A}$  ein  $F$ -Abschnitt in  $\mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathfrak{A})) + 1$ . Für die Gegenrichtung siehe Bemerkung 2-1.  $\square$

Definition 2-3, Definition 2-4 und Definition 2-5 dienen vor allem der Verflüssigung des Ausdrucks.

---

<sup>10</sup> ' $\upharpoonright$ ' ist der Beschränkungsoperator. Dabei gelte:  $R \upharpoonright X = \{(x, y) \mid (x, y) \in R \text{ und } x \in X\}$ .

**Definition 2-3. Abschnitt**

$\mathfrak{A}$  ist ein Abschnitt gdw es gibt ein  $\mathfrak{H}$ , so dass  $\mathfrak{A}$  ein Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist.

**Definition 2-4. Teilabschnitt**

$\mathfrak{A}$  ist ein Teilabschnitt von  $\mathfrak{A}'$  gdw  $\mathfrak{A}, \mathfrak{A}'$  sind Abschnitte und  $\mathfrak{A} \subseteq \mathfrak{A}'$ .

**Definition 2-5. Echter Teilabschnitt**

$\mathfrak{A}$  ist ein echter Teilabschnitt von  $\mathfrak{A}'$  gdw  $\mathfrak{A}$  ist Teilabschnitt von  $\mathfrak{A}'$  und  $\mathfrak{A} \neq \mathfrak{A}'$ .

**Definition 2-6. Reiner Folgerungsabschnitt**

$\mathfrak{A}$  ist ein reiner Folgerungsabschnitt in  $\mathfrak{H}$  gdw  $\mathfrak{A}$  ist ein Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  und  $\mathfrak{A} \subseteq \text{FS}(\mathfrak{H})$ .

**Definition 2-7. Reiner Annahmeabschnitt**

$\mathfrak{A}$  ist ein reiner Annahmeabschnitt in  $\mathfrak{H}$  gdw  $\mathfrak{A}$  ist ein Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  und  $\mathfrak{A} \subseteq \text{ANS}(\mathfrak{H})$ .

**Theorem 2-4. Abschnitte mit gleichem Anfang und Ende sind identisch**

Wenn  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$ ,  $\mathfrak{A}, \mathfrak{A}' \in \text{ABS}(\mathfrak{H})$ ,  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) = \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}'))$  und  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{A})) = \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}'))$ , dann  $\mathfrak{A} = \mathfrak{A}'$ .

*Beweis:* Sei  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$ ,  $\mathfrak{A}, \mathfrak{A}' \in \text{ABS}(\mathfrak{H})$ ,  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) = \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}'))$  und  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{A})) = \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}'))$ . Dann gilt für alle  $(i, \mathfrak{H}_i)$ :  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \mathfrak{A}$  gdw  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) \leq i \leq \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$  gdw  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}')) \leq i \leq \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}'))$  gdw  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \mathfrak{A}'$ .  $\square$

**Theorem 2-5. Inklusionsverhältnisse zwischen Abschnitten**

Wenn  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$  und  $\mathfrak{A}, \mathfrak{A}' \in \text{ABS}(\mathfrak{H})$ , dann:

- (i)  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) \leq \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}'))$  und  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{A}')) \leq \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$  gdw  $\mathfrak{A}' \subseteq \mathfrak{A}$  und
- (ii) wenn  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) = \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}'))$ , dann  $\mathfrak{A} \subseteq \mathfrak{A}'$  oder  $\mathfrak{A}' \subseteq \mathfrak{A}$ .

*Beweis:* Seien  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$  und  $\mathfrak{A}, \mathfrak{A}' \in \text{ABS}(\mathfrak{H})$ . Dann ist

$$\mathfrak{A} = \{(l, \mathfrak{H}_l) \mid \min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) \leq l \leq \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))\}$$

und

$$\mathfrak{A}' = \{(l, \mathfrak{H}_l) \mid \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}')) \leq l \leq \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}'))\}.$$

Zu (i): Sei  $\min(\text{Dom}(\mathcal{A})) \leq \min(\text{Dom}(\mathcal{A}'))$  und  $\max(\text{Dom}(\mathcal{A}')) \leq \max(\text{Dom}(\mathcal{A}))$ . Sei  $(l, \mathfrak{H}_l) \in \mathcal{A}'$ . Dann ist  $\min(\text{Dom}(\mathcal{A}')) \leq l \leq \max(\text{Dom}(\mathcal{A}'))$  und damit nach Voraussetzung  $\min(\text{Dom}(\mathcal{A})) \leq \min(\text{Dom}(\mathcal{A}')) \leq l \leq \max(\text{Dom}(\mathcal{A}')) \leq \max(\text{Dom}(\mathcal{A}))$ . Also ist  $(l, \mathfrak{H}_l) \in \mathcal{A}$ .

Sei nun  $\mathcal{A}' \subseteq \mathcal{A}$ . Dann sind  $\min(\text{Dom}(\mathcal{A}'))$ ,  $\max(\text{Dom}(\mathcal{A}')) \in \text{Dom}(\mathcal{A})$  und somit  $\min(\text{Dom}(\mathcal{A})) \leq \min(\text{Dom}(\mathcal{A}'))$  und  $\max(\text{Dom}(\mathcal{A}')) \leq \max(\text{Dom}(\mathcal{A}))$ .

Zu (ii): Sei  $\min(\text{Dom}(\mathcal{A})) = \min(\text{Dom}(\mathcal{A}'))$ . Dann ist  $\max(\text{Dom}(\mathcal{A})) \leq \max(\text{Dom}(\mathcal{A}'))$  oder  $\max(\text{Dom}(\mathcal{A}')) \leq \max(\text{Dom}(\mathcal{A}))$ . Im ersten Fall ergibt sich dann mit (i):  $\mathcal{A} \subseteq \mathcal{A}'$  im zweiten Fall ergibt sich mit (i):  $\mathcal{A}' \subseteq \mathcal{A}$ .  $\square$

**Theorem 2-6.** *Beschränkungen eines Abschnitts, die Abschnitte sind, haben denselben Anfang wie der beschränkte Abschnitt*

Wenn  $\mathcal{A}$  ein Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist, dann gilt für alle  $k \in \text{Dom}(\mathcal{A})$ : Wenn  $\mathcal{A} \upharpoonright k$  ein Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist, dann ist  $\min(\text{Dom}(\mathcal{A} \upharpoonright k)) = \min(\text{Dom}(\mathcal{A}))$ .

*Beweis:* Sei  $\mathcal{A}$  ein Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ . Sei nun  $k \in \text{Dom}(\mathcal{A})$  und sei  $\mathcal{A} \upharpoonright k$  ein Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ . Dann ist  $\mathcal{A} \upharpoonright k \subseteq \mathcal{A}$  und somit mit Theorem 2-5  $\min(\text{Dom}(\mathcal{A} \upharpoonright k)) \leq \min(\text{Dom}(\mathcal{A}))$ . Wäre nun  $\min(\text{Dom}(\mathcal{A} \upharpoonright k)) < \min(\text{Dom}(\mathcal{A}))$ , dann wäre  $(\min(\text{Dom}(\mathcal{A} \upharpoonright k)), \mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathcal{A} \upharpoonright k))}) \in (\mathcal{A} \upharpoonright k) \setminus \mathcal{A}$ , was im Widerspruch zu  $\mathcal{A} \upharpoonright k \subseteq \mathcal{A}$  steht. Also ist  $\min(\text{Dom}(\mathcal{A} \upharpoonright k)) = \min(\text{Dom}(\mathcal{A}))$ .  $\square$

**Theorem 2-7.** *Zwei Abschnitte sind genau dann elementfremd, wenn einer von beiden vor dem anderen liegt*

Wenn  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$  und  $\mathcal{A}, \mathcal{A}' \in \text{ABS}(\mathfrak{H})$ , dann

$$\mathcal{A} \cap \mathcal{A}' = \emptyset$$

gdw

- (i)  $\min(\text{Dom}(\mathcal{A})) < \min(\text{Dom}(\mathcal{A}'))$  und  $\max(\text{Dom}(\mathcal{A})) < \min(\text{Dom}(\mathcal{A}'))$  oder
- (ii)  $\min(\text{Dom}(\mathcal{A}')) < \min(\text{Dom}(\mathcal{A}))$  und  $\max(\text{Dom}(\mathcal{A}')) < \min(\text{Dom}(\mathcal{A}))$ .

*Beweis:* Sei  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$  und  $\mathcal{A}, \mathcal{A}' \in \text{ABS}(\mathfrak{H})$  und sei  $\mathcal{A} \cap \mathcal{A}' = \emptyset$ . Dann ist

$$\min(\text{Dom}(\mathcal{A})) < \min(\text{Dom}(\mathcal{A}'))$$

oder

$$\min(\text{Dom}(\mathcal{A})) = \min(\text{Dom}(\mathcal{A}'))$$

oder

$$\min(\text{Dom}(\mathcal{A}')) < \min(\text{Dom}(\mathcal{A})).$$

Der zweite Fall  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) = \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}'))$  kann nicht eintreten, denn sonst wäre  $(\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})), \mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))}) \in \mathfrak{A}$  und  $(\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})), \mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))}) \in \mathfrak{A}'$  und damit  $\mathfrak{A} \cap \mathfrak{A}' \neq \emptyset$ .

Angenommen  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) < \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}'))$ . Wäre nun  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}')) \leq \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ , dann wäre  $(\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}')), \mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}'))}) \in \mathfrak{A}$  und  $(\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}')), \mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}'))}) \in \mathfrak{A}'$ . Also  $\mathfrak{A} \cap \mathfrak{A}' \neq \emptyset$ . Daher gilt im ersten Fall  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) < \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}'))$  und  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{A})) < \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}'))$ .

Angenommen  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}')) < \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ . Wäre nun  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) \leq \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}'))$ , dann wäre  $(\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})), \mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))}) \in \mathfrak{A}'$  und  $(\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})), \mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))}) \in \mathfrak{A}$ . Also  $\mathfrak{A} \cap \mathfrak{A}' \neq \emptyset$ . Daher gilt im dritten Fall  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}')) < \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$  und  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{A}')) < \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ .

Sei nun  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) < \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}'))$  und  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{A})) < \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}'))$  oder  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}')) < \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$  und  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{A}')) < \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ . Wäre es nun der Fall, dass  $\mathfrak{A} \cap \mathfrak{A}' \neq \emptyset$ . Dann gäbe es ein  $i$ , so dass  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \mathfrak{A} \cap \mathfrak{A}'$ . Sei  $i$  so. Dann gilt  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) \leq i \leq \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$  und  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}')) \leq i \leq \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}'))$ . Damit würde gelten:  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}')) < \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}'))$  oder  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) < \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ . Also ist  $\mathfrak{A} \cap \mathfrak{A}' = \emptyset$ .  $\square$

**Theorem 2-8.** *Zwei Abschnitte sind genau dann nicht elementfremd, wenn der Anfang von einem von beiden in dem anderen liegt*

Wenn  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$  und  $\mathfrak{A}, \mathfrak{A}' \in \text{ABS}(\mathfrak{H})$ , dann

$\mathfrak{A} \cap \mathfrak{A}' \neq \emptyset$

gdw

- (i)  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) \in \text{Dom}(\mathfrak{A}')$  oder
- (ii)  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}')) \in \text{Dom}(\mathfrak{A})$ .

*Beweis:* Sei  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$  und  $\mathfrak{A}, \mathfrak{A}' \in \text{ABS}(\mathfrak{H})$ . (L-R): Sei  $\mathfrak{A} \cap \mathfrak{A}' \neq \emptyset$ . Dann gibt es ein  $i \in \text{Dom}(\mathfrak{H})$ , so dass  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \mathfrak{H}$ . Sei  $i$  so. Dann gilt:

$$\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) \leq i \leq \max(\text{Dom}(\mathfrak{A})) \text{ und } \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}')) \leq i \leq \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}'))$$

und

$$\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}')) \leq \min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) \text{ oder } \min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) \leq \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}')).$$

Damit ist dann

$$\min(\text{Dom}(\mathcal{A}')) \leq \min(\text{Dom}(\mathcal{A})) \leq i \leq \max(\text{Dom}(\mathcal{A}'))$$

oder

$$\min(\text{Dom}(\mathcal{A})) \leq \min(\text{Dom}(\mathcal{A}')) \leq i \leq \max(\text{Dom}(\mathcal{A})).$$

Damit gilt wiederum:

$$\min(\text{Dom}(\mathcal{A})) \in \text{Dom}(\mathcal{A}') \text{ oder } \min(\text{Dom}(\mathcal{A}')) \in \text{Dom}(\mathcal{A}).$$

(R-L): Gilt  $\min(\text{Dom}(\mathcal{A})) \in \text{Dom}(\mathcal{A}')$  oder  $\min(\text{Dom}(\mathcal{A}')) \in \text{Dom}(\mathcal{A})$ , dann ist  $(\min(\text{Dom}(\mathcal{A})), \mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathcal{A}))}) \in \mathcal{A} \cap \mathcal{A}'$  oder  $(\min(\text{Dom}(\mathcal{A}')), \mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathcal{A}'))}) \in \mathcal{A} \cap \mathcal{A}'$  und in beiden Fällen ist  $\mathcal{A} \cap \mathcal{A}' \neq \emptyset$ .  $\square$

**Definition 2-8.** *Passende Folgen natürlicher Zahlen für Teilmengen von Sequenzen*

*$g$  ist eine passende Folge natürlicher Zahlen für  $\mathcal{A}$*

gdw

Es gibt ein  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ}$ , so dass  $\mathcal{A} \subseteq \mathfrak{H}$  und  $g$  eine streng monoton wachsende Folge natürlicher Zahlen mit  $\text{Ran}(g) = \text{Dom}(\mathcal{A})$  ist.

Zweck der Definition ist es zunächst, die Elemente (des Definitionsbereichs) einer Teilmenge einer Sequenz unter Wahrung der natürlichen Ordnung aufzählen zu können. So dann können passende Folgen dazu verwendet werden, um aus Abschnitten von Sequenzen wieder Sequenzen zu machen, indem man den Abschnitt mit einer zu ihm passenden Folge natürlicher Zahlen verknüpft. In gewisser Weise handelt es sich also um eine Umkehroperation zur Folgenverkettung.

**Theorem 2-9.** *Existenz passender Folgen natürlicher Zahlen*

Wenn  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ}$  und  $\mathcal{A} \subseteq \mathfrak{H}$  ist, dann gibt es ein  $g$ , so dass  $g$  eine passende Folge natürlicher Zahlen für  $\mathcal{A}$  ist.

*Beweis:* Sei  $\mathfrak{H}$  eine Sequenz und  $\mathcal{A} \subseteq \mathfrak{H}$ . Der Beweis wird induktiv über die Mächtigkeit von  $\mathcal{A}$  geführt. Sei  $|\mathcal{A}| = 0$ . Sei  $g = \emptyset$ . Dann ist  $g$  trivialerweise eine streng monoton wachsende Folge natürlicher Zahlen mit  $\text{Ran}(g) = \text{Dom}(\mathcal{A})$ . Sei nun  $|\mathcal{A}| = k+1$ . Dann ist  $k = 0$  oder  $k > 0$ . Im ersten Fall ist  $\{(0, \max(\text{Dom}(\mathcal{A}))\}$  eine passende Folge natürlicher Zahlen für  $\mathcal{A}$ . Sei nun  $k > 0$ . Da  $\mathcal{A}$  eine endliche Funktion ist, ist  $|\mathcal{A} \setminus \{(\max(\text{Dom}(\mathcal{A})), \mathcal{A}_{\max(\text{Dom}(\mathcal{A}))})\}| = k$ . Außerdem ist  $\mathcal{A} \setminus \{(\max(\text{Dom}(\mathcal{A})), \mathcal{A}_{\max(\text{Dom}(\mathcal{A}))})\} \subseteq \mathfrak{H}$ . Also gibt es nach I.V. ein  $g$ , so dass  $g$  eine passende Folge natürlicher Zahlen für  $\mathcal{A} \setminus \{(\max(\text{Dom}(\mathcal{A})), \mathcal{A}_{\max(\text{Dom}(\mathcal{A}))})\}$  ist.

$\mathfrak{A}_{\max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))}$  ist. Sei  $g$  so. Sei  $g' = g \cup \{(\text{Dom}(g), \max(\text{Dom}(\mathfrak{A})))\}$ . Offenbar ist  $\text{Ran}(g') = \text{Dom}(\mathfrak{A})$ . Wegen

$$\begin{aligned} g(\max(\text{Dom}(g))) &= \max(\text{Ran}(g)) = \max(\text{Dom}(\mathfrak{A} \setminus \{(\max(\text{Dom}(\mathfrak{A}), \mathfrak{A}_{\max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))})\})) \\ &< \max(\text{Dom}(\mathfrak{A})) = \max(\text{Ran}(g')) = g'(\text{Dom}(g)) = g'(\max(\text{Dom}(g))) \end{aligned}$$

und  $\max(\text{Dom}(g)) < \max(\text{Dom}(g'))$ , überträgt sich die strenge Monotonie von  $g$  auf  $g'$ . Also ist  $g'$  eine passende Folge natürlicher Zahlen für  $\mathfrak{A}$ .  $\square$

**Theorem 2-10.** *Bijektivität passender Folgen natürlicher Zahlen*

Wenn  $\mathfrak{h} \in \text{SEQ}$ ,  $\mathfrak{A} \subseteq \mathfrak{h}$  und  $g$  eine passende Folge natürlicher Zahlen für  $\mathfrak{A}$  ist, dann ist  $g$  eine Bijektion zwischen  $\text{Dom}(g)$  und  $\text{Dom}(\mathfrak{A})$ .

*Beweis:* Sei  $\mathfrak{h}$  eine Sequenz,  $\mathfrak{A} \subseteq \mathfrak{h}$  und sei  $g$  eine passende Folge natürlicher Zahlen für  $\mathfrak{A}$ . Dann ist  $\text{Ran}(g) = \text{Dom}(\mathfrak{A})$  und  $g$  somit eine Surjektion von  $\text{Dom}(g)$  auf  $\text{Dom}(\mathfrak{A})$ . Ferner gilt, da  $g$  eine streng monotone Folge natürlicher Zahlen ist, dass  $g$  eine Injektion von  $\text{Dom}(g)$  in  $\text{Dom}(\mathfrak{A})$  ist und somit ist  $g$  insgesamt eine Bijektion zwischen  $\text{Dom}(g)$  und  $\text{Dom}(\mathfrak{A})$ .  $\square$

**Theorem 2-11.** *Eindeutigkeit passender Folgen natürlicher Zahlen*

Wenn  $\mathfrak{h} \in \text{SEQ}$ ,  $\mathfrak{A} \subseteq \mathfrak{h}$  und  $g, g'$  passende Folgen natürlicher Zahlen für  $\mathfrak{A}$  sind, dann:  $g = g'$ .

*Beweis:* Sei  $\mathfrak{h}$  eine Sequenz,  $\mathfrak{A} \subseteq \mathfrak{h}$  und seien  $g, g'$  passende Folgen natürlicher Zahlen für  $\mathfrak{A}$ . Dann ist  $\text{Ran}(g) = \text{Dom}(\mathfrak{A}) = \text{Ran}(g')$ . Ferner gilt mit Theorem 2-10 dass  $\text{Dom}(g) = |\text{Ran}(g)| = |\text{Ran}(g')| = \text{Dom}(g')$ . Nun sind aber streng monoton wachsende Folgen natürlicher Zahlen mit gleichem Definitions- und Wertebereich identisch. Also ist  $g = g'$ .  $\square$

**Theorem 2-12.** *Nicht-rekursive Charakterisierung der passenden Folge für einen Abschnitt*

Wenn  $\mathfrak{A}$  ein Abschnitt in  $\mathfrak{h}$  ist, dann ist  $\{(l, \min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) + l) \mid l < |\text{Dom}(\mathfrak{A})|\}$  eine passende Folge natürlicher Zahlen für  $\mathfrak{A}$ .

*Beweis:* Sei  $\mathfrak{h} \in \text{SEQ}$  und  $\mathfrak{A}$  ein Abschnitt in  $\mathfrak{h}$ . Der Beweis wird induktiv über die Mächtigkeit von  $|\text{Dom}(\mathfrak{A})|$  geführt. Sei  $|\text{Dom}(\mathfrak{A})| = 0$ . Sei  $g = \{(l, \min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) + l) \mid l < |\text{Dom}(\mathfrak{A})|\}$ . Dann ist  $g = \emptyset$ . Dann ist  $g$  trivialerweise eine streng monoton wachsende Folge natürlicher Zahlen mit  $\text{Ran}(g) = \text{Dom}(\mathfrak{A})$ .

Sei nun  $|\text{Dom}(\mathfrak{A})| = k+1$ . Dann ist  $k = 0$  oder  $k > 0$ . Im ersten Fall ist  $|\text{Dom}(\mathfrak{A})| = 1$  und  $\text{Dom}(\mathfrak{A}) = \{\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))\}$  und  $\{(0, \min(\text{Dom}(\mathfrak{A})))\}$  ist eine passende Folge natürlicher Zahlen für  $\mathfrak{A}$  und  $\{(0, \min(\text{Dom}(\mathfrak{A})))\} = \{(l, \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))+l) \mid l < 1\} = \{(l, \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))+l) \mid l < |\text{Dom}(\mathfrak{A})|\}$ .

Sei nun  $k > 0$ . Da  $\mathfrak{A}$  eine endliche Funktion ist, ist  $|\mathfrak{A} \setminus \{(\max(\text{Dom}(\mathfrak{A})), \mathfrak{A}_{\max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))})\}| = k$ . Außerdem ist  $\mathfrak{A}^* = \mathfrak{A} \setminus \{(\max(\text{Dom}(\mathfrak{A})), \mathfrak{A}_{\max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))})\} \subseteq \mathfrak{H}$ . Also ist nach I.V.  $g = \{(l, \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}^*))+l) \mid l < |\text{Dom}(\mathfrak{A}^*)|\} = \{(l, \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))+l) \mid l < |\text{Dom}(\mathfrak{A})|-1\}$  eine passende Folgen natürlicher Zahlen für  $\mathfrak{A}^*$ . Sei  $g' = g \cup \{(|\text{Dom}(\mathfrak{A})|-1, \max(\text{Dom}(\mathfrak{A})))\}$ . Dann ist  $\text{Ran}(g') = \text{Dom}(\mathfrak{A}^*) \cup \{\max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))\} = \text{Dom}(\mathfrak{A})$  und es ist  $\text{Dom}(g') = \text{Dom}(g) \cup \{\text{Dom}(g)\} = \text{Dom}(g)+1 = |\text{Dom}(\mathfrak{A}^*)|+1 = |\text{Dom}(\mathfrak{A})|$ . Da  $\mathfrak{A}$  ein Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist, gilt so- dann, dass  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{A}^*))+1 = \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ . Damit ist  $g'(|\text{Dom}(\mathfrak{A})|-1) = \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}^*))+1 = g(|\text{Dom}(\mathfrak{A})|-2)+1 = (\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}^*))+|\text{Dom}(\mathfrak{A})|-2)+1 = (\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))+|\text{Dom}(\mathfrak{A})|-2)+1 = \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))+|\text{Dom}(\mathfrak{A})|-1$ . Somit ist  $g' = \{(l, \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))+l) \mid l < |\text{Dom}(\mathfrak{A})|-1\} \cup \{(|\text{Dom}(\mathfrak{A})|-1, \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))+|\text{Dom}(\mathfrak{A})|-1)\} = \{(l, \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))+l) \mid l < |\text{Dom}(\mathfrak{A})|\}$ . Damit ist  $g'$  auch eine streng monoton wachsende Folge natürlicher Zahlen und somit insgesamt eine passende Folge natürlicher Zahlen für  $\mathfrak{A}$ .  $\square$

**Definition 2-9.** *Abschnittsfolge in nicht-leeren Sequenzen*

$G$  ist eine Abschnittsfolge für  $\mathfrak{H}$

gdw

$\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$  und  $G$  ist eine Folge mit  $\text{Ran}(G) \subseteq \text{ABS}(\mathfrak{H})$  und für alle  $i, j \in \text{Dom}(G)$  gilt: wenn  $i < j$ , dann  $\min(\text{Dom}(G(i))) < \min(\text{Dom}(G(j)))$  und  $\max(\text{Dom}(G(i))) < \min(\text{Dom}(G(j)))$ .

**Definition 2-10.** *Zuordnung der Menge der Abschnittsfolgen für nicht-leeres  $\mathfrak{H}$  (ABSF)*

$\text{ABSF} = \{(\mathfrak{H}, X) \mid \mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\} \text{ und } X = \{G \mid G \text{ ist eine Abschnittsfolge für } \mathfrak{H}\}\}$

**Theorem 2-13.** *Existenz von nicht-leeren Abschnittsfolgen für nicht-leere Sequenzen*

Wenn  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$ , dann gibt es ein  $G \in \text{ABSF}(\mathfrak{H})$  mit  $G \neq \emptyset$ .

*Beweis:* Sei  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$ . Dann ist  $\emptyset \neq \{(i, \{(i, \mathfrak{H}_i)\}) \mid i \in \text{Dom}(\mathfrak{H})\} \in \text{ABSF}(\mathfrak{H})$ .  $\square$

**Theorem 2-14.**  $\emptyset$  ist eine Abschnittsfolge für alle nicht-leeren Sequenzen

Wenn  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$ , dann ist  $\emptyset \in \text{ABSF}(\mathfrak{H})$ .

*Beweis:* Sei  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$ . Dann ist  $\emptyset$  eine Folge mit  $\text{Ran}(\emptyset) = \emptyset \subseteq \text{ABS}(\mathfrak{H})$  und für alle  $i, j \in \text{Dom}(\emptyset) = \emptyset$  gilt trivialerweise: wenn  $i < j$ , dann  $\min(\text{Dom}(\emptyset(i))) < \min(\text{Dom}(\emptyset(j)))$  und  $\max(\text{Dom}(\emptyset(i))) < \min(\text{Dom}(\emptyset(j)))$ .  $\square$

**Theorem 2-15.** *Eigenschaften von Abschnittsfolgen*

Wenn  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$  und  $G \in \text{ABSF}(\mathfrak{H})$ , dann:

- (i)  $G$  ist eine Injektion von  $\text{Dom}(G)$  in  $\text{Ran}(G)$ ,
- (ii)  $G$  ist eine Bijektion zwischen  $\text{Dom}(G)$  und  $\text{Ran}(G)$ ,
- (iii)  $|\text{Dom}(G)| = |\text{Ran}(G)|$ ,
- (iv)  $G$  ist eine endliche Folge.

*Beweis:* Sei  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$  und  $G \in \text{ABSF}(\mathfrak{H})$ . Dann ist  $G$  eine Folge mit  $\text{Ran}(G) \subseteq \text{ABS}(\mathfrak{H})$  und für alle  $i, j \in \text{Dom}(G)$  gilt: wenn  $i < j$ , dann  $\min(\text{Dom}(G(i))) < \min(\text{Dom}(G(j)))$  und  $\max(\text{Dom}(G(i))) < \min(\text{Dom}(G(j)))$ .

*Zu (i):* Seien nun  $i, j \in \text{Dom}(G)$  und sei  $G(i) = G(j)$ . Dann ist  $\min(\text{Dom}(G(i))) = \min(\text{Dom}(G(j)))$ . Wäre  $i \neq j$ . Dann ist  $i < j$  oder  $j < i$  und damit wäre  $\min(\text{Dom}(G(i))) < \min(\text{Dom}(G(j)))$  oder  $\min(\text{Dom}(G(j))) < \min(\text{Dom}(G(i)))$ . Beides steht jedoch im Widerspruch zu  $\min(\text{Dom}(G(i))) = \min(\text{Dom}(G(j)))$ . Also ist für  $i, j \in \text{Dom}(G)$  mit  $G(i) = G(j)$  auch  $i = j$  und somit  $G$  eine Injektion von  $\text{Dom}(G)$  in  $\text{Ran}(G)$ .

*Zu (ii):*  $G$  ist eine Surjektion von  $\text{Dom}(G)$  auf  $\text{Ran}(G)$  und mit (i) ist  $G$  dann eine Bijektion zwischen  $\text{Dom}(G)$  und  $\text{Ran}(G)$ .

*Zu (iii):* Da  $G$  eine Folge ist, gilt mit (ii):  $|\text{Dom}(G)| = |\text{Ran}(G)|$

*Zu (iv):*  $G$  ist eine Folge und mit (iii) ist  $G$  dann eine endliche Folge, denn  $\text{Ran}(G) \subseteq \text{ABS}(\mathfrak{H}) \subseteq \text{POT}(\mathfrak{H})$  und somit (da mit  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ}$  gilt, dass  $|\mathfrak{H}| \in \mathbb{N}$ ):  $|\text{Dom}(G)| = |\text{Ran}(G)| \leq |\text{ABS}(\mathfrak{H})| \leq |\text{POT}(\mathfrak{H})| = 2^{|\mathfrak{H}|} \in \mathbb{N}$ .  $\square$

**Theorem 2-16.** *Existenz von Abschnittsfolgen, die alle Elemente einer Menge von disjunkten Abschnitten aufzählen*

Wenn  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$  und  $X \subseteq \text{ABS}(\mathfrak{H})$  und für alle  $\mathfrak{A}, \mathfrak{A}' \in X$  gilt:

Wenn  $\mathfrak{A} \neq \mathfrak{A}'$ , dann  $\mathfrak{A} \cap \mathfrak{A}' = \emptyset$ , dann gibt es ein  $G \in \text{ABSF}(\mathfrak{H})$ , so dass  $\text{Ran}(G) = X$ .

*Beweis:* Sei  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$  und  $X \subseteq \text{ABS}(\mathfrak{H})$  und gelte für alle  $\mathfrak{A}, \mathfrak{A}' \in X$ : Wenn  $\mathfrak{A} \neq \mathfrak{A}'$ , dann  $\mathfrak{A} \cap \mathfrak{A}' = \emptyset$ . Nun ist  $\mathfrak{B} = \{(l, \mathfrak{H}_l) \mid \text{es gibt ein } \mathfrak{A} \in X \text{ und } l = \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))\} \subseteq \mathfrak{H}$  und damit gibt es nach Theorem 2-9 eine passende Folge natürlicher Zahlen  $g$  für  $\mathfrak{B}$ . Sei  $g$  so. Dann ist  $g$  mit Theorem 2-10 eine Bijektion zwischen  $\text{Dom}(g)$  und  $\text{Dom}(\mathfrak{B})$  und damit gilt nach Definition von  $\mathfrak{B}$  für alle  $\mathfrak{A} \in X$ :  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) = g(i)$  für ein  $i \in \text{Dom}(g)$ . Sodann gilt wegen des streng monotonen Wachstums von  $g$ : wenn  $i, j \in \text{Dom}(g)$  und  $i < j$ , dann  $g(i) < g(j)$ .

Dann gilt für alle  $i \in \text{Dom}(g)$ : es gibt genau ein  $\mathfrak{A} \in X$ , so dass  $g(i) = \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ . Sei nämlich  $i \in \text{Dom}(g)$ . Dann ist  $g(i) = \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$  für ein  $\mathfrak{A} \in X$ . Sei  $\mathfrak{A}$  so und sei nun  $\mathfrak{A}' \in X$  und  $g(i) = \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}'))$ . Nun gilt nach Voraussetzung  $X \subseteq \text{ABS}(\mathfrak{H})$  und somit ergibt sich mit Theorem 2-8:  $\mathfrak{A} \cap \mathfrak{A}' \neq \emptyset$ . Damit ergibt sich aus der Eingangsannahme, dass  $\mathfrak{A} = \mathfrak{A}'$ .

Sei nun  $G = \{(i, \mathfrak{A}) \mid i \in \text{Dom}(g) \text{ und } \mathfrak{A} \in X \text{ und } g(i) = \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))\}$ . Dann ist zunächst  $G$  eine Folge mit  $\text{Ran}(G) \subseteq X \subseteq \text{ABS}(\mathfrak{H})$ . Sodann gilt für alle  $i, j \in \text{Dom}(G)$ : wenn  $i < j$ , dann  $\min(\text{Dom}(G(i))) < \min(\text{Dom}(G(j)))$  und  $\max(\text{Dom}(G(i))) < \min(\text{Dom}(G(j)))$ . Seien nämlich  $i, j \in \text{Dom}(G)$  und sei  $i < j$ . Dann ist  $g(i) = \min(\text{Dom}(G(i))) < g(j) = \min(\text{Dom}(G(j)))$ . Dann ist  $G(i) \neq G(j)$  und somit nach Voraussetzung  $G(i) \cap G(j) = \emptyset$ . Ferner sind dann  $G(i), G(j) \in \text{ABS}(\mathfrak{H})$  und somit – da eben  $\min(\text{Dom}(G(i))) < \min(\text{Dom}(G(j)))$  – mit Theorem 2-7:  $\max(\text{Dom}(G(i))) < \min(\text{Dom}(G(j)))$ .

Ferner ist dann  $\text{Ran}(G) = X$ . Es gilt bereits  $\text{Ran}(G) \subseteq X$ . Sei nun  $\mathfrak{A} \in X$ . Dann ist  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) = g(i)$  für ein  $i \in \text{Dom}(g)$ . Sei  $i$  so. Dann ist  $(i, \mathfrak{A}) \in G$  und somit  $\mathfrak{A} \in \text{Ran}(G)$ .  $\square$

**Theorem 2-17.** *Hinreichende Bedingungen für die Identität der Argumente einer Abschnittsfolge*

Wenn  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$  und  $G \in \text{ABSF}(\mathfrak{H})$ , dann gilt für alle  $i, j \in \text{Dom}(G)$ :

- (i) Wenn  $\min(\text{Dom}(G(i))) = \min(\text{Dom}(G(j)))$ , dann  $i = j$  und
- (ii) Wenn  $\max(\text{Dom}(G(i))) = \max(\text{Dom}(G(j)))$ , dann  $i = j$ .

*Beweis:* Sei  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$  und  $G \in \text{ABSF}(\mathfrak{H})$  und seien  $i, j \in \text{Dom}(G)$ . Sei nun  $\min(\text{Dom}(G(i))) = \min(\text{Dom}(G(j)))$ . Aus Definition 2-9 ergibt sich: wenn  $i < j$ , dann  $\min(\text{Dom}(G(i))) < \min(\text{Dom}(G(j)))$  und wenn  $j < i$ , dann  $\min(\text{Dom}(G(j))) < \min(\text{Dom}(G(i)))$ . Beide Fälle stehen im Widerspruch zur Annahme. Also ist  $i = j$ .

Sei nun  $\max(\text{Dom}(G(i))) = \max(\text{Dom}(G(j)))$ . Wäre nun  $i < j$  oder  $j < i$ , dann wäre  $\max(\text{Dom}(G(i))) < \min(\text{Dom}(G(j)))$  oder  $\max(\text{Dom}(G(j))) < \min(\text{Dom}(G(i)))$ . Also wäre  $\max(\text{Dom}(G(i))) < \min(\text{Dom}(G(j))) \leq \max(\text{Dom}(G(j)))$  oder  $\max(\text{Dom}(G(j))) < \min(\text{Dom}(G(i))) \leq \max(\text{Dom}(G(i)))$  und beide Fälle widersprechen der Annahme. Also ist  $i = j$ .  $\square$

**Theorem 2-18.** *Verschiedene Glieder einer Abschnittsfolge sind elementfremd*

Wenn  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$  und  $G \in \text{ABSF}(\mathfrak{H})$ , dann gilt für alle  $i, j \in \text{Dom}(G)$ : Wenn  $G(i) \neq G(j)$ , dann  $G(i) \cap G(j) = \emptyset$ .

*Beweis:* Sei  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$  und  $G \in \text{ABSF}(\mathfrak{H})$ . Dann ist  $G$  eine Folge mit  $\text{Ran}(G) \subseteq \text{ABS}(\mathfrak{H})$  und für alle  $i, j \in \text{Dom}(G)$  gilt: wenn  $i < j$ , dann  $\min(\text{Dom}(G(i))) < \min(\text{Dom}(G(j)))$  und  $\max(\text{Dom}(G(i))) < \min(\text{Dom}(G(j)))$ . Seien  $i, j \in \text{Dom}(G)$ . Dann gilt:  $G(i), G(j) \in \text{ABS}(\mathfrak{H})$ . Sei nun  $G(i) \neq G(j)$ . Dann gilt mit Theorem 2-15-(i), dass  $i \neq j$ . Dann ist  $i < j$  oder  $j < i$ . Dann ist

$$\min(\text{Dom}(G(i))) < \min(\text{Dom}(G(j))) \text{ und } \max(\text{Dom}(G(i))) < \min(\text{Dom}(G(j)))$$

oder

$$\min(\text{Dom}(G(j))) < \min(\text{Dom}(G(i))) \text{ und } \max(\text{Dom}(G(j))) < \min(\text{Dom}(G(i))).$$

Also ist mit Theorem 2-7  $G(i) \cap G(j) = \emptyset$ .  $\square$

**Definition 2-11.** *ANS-umfassende Abschnittsfolge für einen Abschnitt in  $\mathfrak{H}$*

$G$  ist eine ANS-umfassende Abschnittsfolge für  $\mathfrak{A}$  in  $\mathfrak{H}$

gdw

- (i)  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$ ,
- (ii)  $\mathfrak{A} \in \text{ABS}(\mathfrak{H})$ ,
- (iii)  $G \in \text{ABSF}(\mathfrak{H})$  und
  - a)  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) \leq \min(\text{Dom}(G(0)))$ ,
  - b)  $\max(\text{Dom}(G(\max(\text{Dom}(G)))) \leq \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$  und
  - c) für alle  $l \in \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{H})) \cap \text{Dom}(\mathfrak{A})$  gilt: es gibt ein  $i \in \text{Dom}(G)$ , so dass  $l \in \text{Dom}(G(i))$ .

**Definition 2-12.** *Zuordnung der Menge der ANS-umfassende Abschnittsfolgen in  $\mathfrak{H}$  (ANSUMF)*

$\text{ANSUMF} = \{(\mathfrak{H}, X) \mid \mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\} \text{ und } X = \{G \mid \text{es gibt ein } \mathfrak{A} \in \text{ABS}(\mathfrak{H}) \text{ und } G \text{ ist eine ANS-umfassende Abschnittsfolge für } \mathfrak{A} \text{ in } \mathfrak{H}\}\}$

**Theorem 2-19.** *Existenz von ANS-umfassenden Abschnittsfolgen für alle Abschnitte*

Wenn  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$  und  $\mathfrak{A} \in \text{ABS}(\mathfrak{H})$ , dann gibt es eine ANS-umfassende Abschnittsfolge  $G$  für  $\mathfrak{A}$  in  $\mathfrak{H}$ .

*Beweis:* Sei  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$  und  $\mathfrak{A} \in \text{ABS}(\mathfrak{H})$ . Dann ist  $\{(0, \mathfrak{A})\}$  eine ANS-umfassende Abschnittsfolge für  $\mathfrak{A}$  in  $\mathfrak{H}$ .  $\square$

**Theorem 2-20.** *Existenz von ANS-umfassenden Abschnittsfolgen für nicht-leere Sequenzen*

Wenn  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$ , dann ist  $\text{ANSUMF}(\mathfrak{H}) \neq \emptyset$ .

*Beweis:* Sei  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$ . Dann gibt es mit Theorem 2-1 ein  $\mathfrak{A}$ , so dass  $\mathfrak{A} \in \text{ABS}(\mathfrak{H})$ . Daraus folgt die Behauptung mit Theorem 2-19.  $\square$

**Theorem 2-21.** *Eigenschaften von ANS-umfassenden Abschnittsfolgen*

Wenn  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$  und  $G \in \text{ANSUMF}(\mathfrak{H})$ , dann:

- (i)  $G$  ist eine Injektion von  $\text{Dom}(G)$  in  $\text{Ran}(G)$ ,
- (ii)  $G$  ist eine Bijektion zwischen  $\text{Dom}(G)$  und  $\text{Ran}(G)$ ,
- (iii)  $|\text{Dom}(G)| = |\text{Ran}(G)|$ ,
- (iv)  $G$  ist eine endliche Folge.

*Beweis:* Sei  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$  und  $G \in \text{ANSUMF}(\mathfrak{H})$ . Dann folgt mit Definition 2-11, dass  $G \in \text{ABSF}(\mathfrak{H})$  und damit und mit Theorem 2-15 die Behauptung.  $\square$

**Theorem 2-22.** *Nichtleere Beschränkungen von ANS-umfassenden Abschnittsfolge sind ANS-umfassende Abschnittsfolgen*

Wenn  $G$  eine ANS-umfassende Abschnittsfolge für  $\mathfrak{A}$  in  $\mathfrak{H}$  ist, dann gilt für alle  $j \in \text{Dom}(G)$ :  $G \uparrow (j+1)$  ist eine ANS-umfassende Abschnittsfolge für  $\mathfrak{A} \uparrow (\max(\text{Dom}(G(j)))+1)$ .

*Beweis:* Sei  $G$  eine ANS-umfassende Abschnittsfolge für  $\mathfrak{A}$  in  $\mathfrak{H}$  und sei  $j \in \text{Dom}(G)$ . Dann gilt nach Definition 2-11, dass  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$  und  $\mathfrak{A} \in \text{ABS}(\mathfrak{H})$  und  $G \in \text{ABSF}(\mathfrak{H})$  und  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) \leq \min(\text{Dom}(G(0)))$  und  $\max(\text{Dom}(G(\max(\text{Dom}(G)))) \leq \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$  und für alle  $l \in \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{H})) \cap \text{Dom}(\mathfrak{A})$  gilt: es gibt ein  $i \in \text{Dom}(G)$ , so dass  $l \in \text{Dom}(G(i))$ . Dann gilt mit Definition 2-9, dass  $G \uparrow (j+1) \in \text{ABSF}(\mathfrak{H})$ .

Nun sind die drei Klauseln aus Definition 2-11 zu zeigen. *Zu (i):* Zunächst ist  $0 < j+1$ . Damit ist  $0 \in \text{Dom}(G \uparrow (j+1))$  und somit  $(G \uparrow (j+1))(0) = G(0)$  und damit  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A} \uparrow (\max(\text{Dom}(G(j)))+1))) \leq \min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) \leq \min(\text{Dom}((G \uparrow (j+1))(0)))$ . *Zu (ii):*  $\max(\text{Dom}((G \uparrow (j+1))(\max(\text{Dom}(G \uparrow (j+1))))) = \max(\text{Dom}(G(j)) = \max(\text{Dom}(\mathfrak{A} \uparrow (\max(\text{Dom}(G(j)))+1)))$ . *Zu (iii):* Sei nun  $l \in \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{H})) \cap \text{Dom}(\mathfrak{A} \uparrow (\max(\text{Dom}(G(j)))+1))$ . Dann gibt es ein  $i \in \text{Dom}(G)$ , so dass  $l \in \text{Dom}(G(i))$ . Wäre nun  $j+1 \leq i$ . Dann wäre mit  $G \in \text{ABSF}(\mathfrak{H})$  und Definition 2-9  $\max(\text{Dom}(G(j))) < \min(\text{Dom}(G(i))) \leq l \leq \max(\text{Dom}(G(i)))$  und andererseits  $l \leq \max(\text{Dom}(G(j)))$ . Widerspruch! Also ist  $i < j+1$  und damit  $G(i) = (G \uparrow (j+1))(i)$ . Also gilt für alle  $l \in \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{H})) \cap \text{Dom}(\mathfrak{A} \uparrow (\max(\text{Dom}(G(j)))+1))$ , dass es ein  $i \in \text{Dom}(G \uparrow (j+1))$  gibt, so dass  $l \in \text{Dom}((G \uparrow (j+1))(i))$ . Damit ist dann nach Definition 2-11  $G \uparrow (j+1)$  insgesamt eine ANS-umfassende Abschnittsfolge für  $\mathfrak{A} \uparrow (\max(\text{Dom}(G(j)))+1)$ .  $\square$

**Theorem 2-23.** *Alle Glieder einer ANS-umfassenden Abschnittsfolge liegen innerhalb des betreffenden Abschnitts*

Wenn  $G$  eine ANS-umfassende Abschnittsfolge für  $\mathfrak{A}$  in  $\mathfrak{H}$  ist, dann gilt für alle  $i \in \text{Dom}(G)$ :  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) \leq \min(\text{Dom}(G(i)))$  und  $\max(\text{Dom}(G(i))) \leq \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ .

*Beweis:* Sei  $G$  eine ANS-umfassende Abschnittsfolge für  $\mathfrak{A}$  in  $\mathfrak{H}$  und sei  $i \in \text{Dom}(G)$ . Dann ist  $0 \leq i \leq \max(\text{Dom}(G))$ . Ferner gilt dann – da nach Definition 2-11  $G \in \text{ABSf}(\mathfrak{H})$  – mit Theorem 2-7 und Theorem 2-18, dass für alle  $i, j \in \text{Dom}(G)$ : wenn  $i < j$ , dann  $\min(\text{Dom}(G(i))) < \min(\text{Dom}(G(j)))$  und  $\max(\text{Dom}(G(i))) < \min(\text{Dom}(G(j)))$ . Also gilt:  $\min(\text{Dom}(G(0))) \leq \min(\text{Dom}(G(i)))$  und  $\max(\text{Dom}(G(i))) \leq \min(\text{Dom}(G(\max(\text{Dom}(G)))))$ . Ferner ergibt sich aus der Annahme und Definition 2-11, dass  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) \leq \min(\text{Dom}(G(0)))$  und  $\max(\text{Dom}(G(\max(\text{Dom}(G)))) \leq \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ . Damit gilt dann:  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) \leq \min(\text{Dom}(G(i)))$  und  $\max(\text{Dom}(G(i))) \leq \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ .  $\square$

**Theorem 2-24.** *Alle Glieder einer ANS-umfassenden Abschnittsfolge sind Teilmengen des betreffenden Abschnitts*

Wenn  $G$  eine ANS-umfassende Abschnittsfolge für  $\mathfrak{A}$  in  $\mathfrak{H}$  ist, dann gilt für alle  $i \in \text{Dom}(G)$ :  $G(i) \subseteq \mathfrak{A}$ .

*Beweis:* Sei  $G$  eine ANS-umfassende Abschnittsfolge für  $\mathfrak{A}$  in  $\mathfrak{H}$  und sei  $i \in \text{Dom}(G)$ . Dann gilt mit Definition 2-11 und Definition 2-9:  $\text{Ran}(G) \subseteq \text{ABS}(\mathfrak{H})$  und damit, dass  $G(i)$  ein Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist. Sodann gilt mit Theorem 2-23:  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) \leq \min(\text{Dom}(G(i)))$  und  $\max(\text{Dom}(G(i))) \leq \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ . Damit gilt dann mit Theorem 2-5:  $G(i) \subseteq \mathfrak{A}$ .  $\square$

**Theorem 2-25.** *Hinreichende Bedingungen für die Identität der Argumente einer ANS-umfassenden Abschnittsfolge*

Wenn  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$  und  $G \in \text{ANSUMF}(\mathfrak{H})$ , dann gilt für alle  $i, j \in \text{Dom}(G)$ :

- (i) Wenn  $\min(\text{Dom}(G(i))) = \min(\text{Dom}(G(j)))$ , dann  $i = j$ .
- (ii) Wenn  $\max(\text{Dom}(G(i))) = \max(\text{Dom}(G(j)))$ , dann  $i = j$ .

*Beweis:* Sei  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$  und  $G \in \text{ANSUMF}(\mathfrak{H})$ . Dann folgt mit Definition 2-11 und Definition 2-12, dass  $G \in \text{ABSF}(\mathfrak{H})$  und damit mit Theorem 2-17 die Behauptung.  $\square$

**Theorem 2-26.** *Verschiedene Glieder einer ANS-umfassenden Abschnittsfolge sind elementfremd*

Wenn  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$  und  $G \in \text{ANSUMF}(\mathfrak{H})$ , dann gilt für alle  $i, j \in \text{Dom}(G)$ : Wenn  $G(i) \neq G(j)$ , dann  $G(i) \cap G(j) = \emptyset$ .

*Beweis:* Sei  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$  und  $G \in \text{ANSUMF}(\mathfrak{H})$ . Dann folgt mit Definition 2-11 und Definition 2-12, dass  $G \in \text{ABSF}(\mathfrak{H})$  und damit mit Theorem 2-18 die Behauptung.  $\square$

## 2.2 Geschlossene Abschnitte

Im Folgenden werden mit den SE-, NE- und EA-artigen Abschnitten einzelne Arten von Abschnitten ausgesondert, nämlich die, die grundsätzlich eine Form zeigen, wie sie mit dem Schließen mit Subjunktoreinführung (SE-artige), Negatoreinführung (NE-artige) und Partikularquantorbeseitigung (EA-artige) verbunden ist. Unter diesen werden sodann so genannte minimale SE-, NE-, und PB-geschlossene Abschnitte ausgezeichnet. Sodann wird die Erzeugungsrelation ERZ definiert, mit der sich im Ausgang von minimalen SE-, NE- und PB-geschlossenen Abschnitten weitere ›non-redundante‹ SE-, NE- und EA-artige Abschnitte erzeugen lassen. Sodann wird die Menge der ERZ-induktiven Relationen definiert und ihr großer Schnitt als Menge der geschlossenen Abschnitte ausgezeichnet. Damit sind die geschlossenen Abschnitte in einer Sequenz dann gerade die SE-, NE- und EA-artigen Abschnitte in dieser Sequenz, die entweder minimale geschlossene Abschnitte sind oder sich mit der Erzeugungsrelation aus minimalen SE-, NE- oder PB-geschlossenen Abschnitten bilden lassen.

Sodann werden allgemeine Theoreme zu geschlossenen Abschnitten bewiesen. Im Anschluss werden dann unter den geschlossenen Abschnitten die SE-, NE- bzw. PB-geschlossenen Abschnitte unterschieden, wobei SE- resp. NE- resp. PB-geschlossene Abschnitte gerade die SE- resp. NE- resp. EA-artigen geschlossenen Abschnitte sein werden. Mit den zum Abschluss dieses Kapitels etablierten Theoremen (Theorem 2-65, Theorem 2-66, Theorem 2-67, Theorem 2-68) lässt sich dann später zeigen, dass SE resp. NE resp. PB und nur diese SE- resp. NE- resp. PB-geschlossene Abschnitte und damit überhaupt geschlossene Abschnitte erzeugen. Im nächsten Kapitel (2.3), wird dann unter direktem Rückgriff auf dieses Kapitel die Verfügbarkeitsrede etabliert: Eine Aussage  $\Gamma$  soll in einer Sequenz  $\mathfrak{H}$  genau dann an der Stelle  $i$  verfügbar sein, wenn  $\Gamma$  die Aussage von  $\mathfrak{H}_i$  ist und  $(i, \mathfrak{H}_i)$  in allen geschlossenen Abschnitten in  $\mathfrak{H}$  höchstens als letztes Glied vorkommt. Unter diesen Festlegungen ergibt sich dann, dass SE, NE und PB und nur SE, NE und PB Annahmen eliminieren können.

Mit den ersten drei Definitionen werden nun zunächst die SE-, NE- und EA-artigen Abschnitte ausgesondert. Sodann werden im Anschluss an einige Theoreme unter diesen die minimalen SE-, NE- und PB-geschlossenen Abschnitte ausgezeichnet.

**Definition 2-13.** *SE-artiger Abschnitt*

$\mathfrak{A}$  ist ein SE-artiger Abschnitt in  $\mathfrak{H}$

gdw

$\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$ ,  $\mathfrak{A} \in \text{ABS}(\mathfrak{H})$  und es gibt  $\Delta, \Gamma \in \text{GFORM}$ , so dass

- (i)  $\mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))} = \ulcorner \text{Sei } \Delta \urcorner$ ,
- (ii)  $A(\mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\mathfrak{A})-1)}) = \Gamma$  und
- (iii)  $\mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))} = \ulcorner \text{Also } \Delta \rightarrow \Gamma \urcorner$ .

**Definition 2-14.** *NE-artiger Abschnitt*

$\mathfrak{A}$  ist ein NE-artiger Abschnitt in  $\mathfrak{H}$

gdw

$\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$ ,  $\mathfrak{A} \in \text{ABS}(\mathfrak{H})$  und es gibt  $\Delta, \Gamma \in \text{GFORM}$  und  $i \in \text{Dom}(\mathfrak{H})$ , so dass

- (i)  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) \leq i < \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ ,
- (ii)  $\mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))} = \ulcorner \text{Sei } \Delta \urcorner$ ,
- (iii)  $A(\mathfrak{H}_i) = \Gamma$  und  $A(\mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\mathfrak{A})-1)}) = \ulcorner \neg \Gamma \urcorner$   
oder  
 $A(\mathfrak{H}_i) = \ulcorner \neg \Gamma \urcorner$  und  $A(\mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\mathfrak{A})-1)}) = \Gamma$  und
- (iv)  $\mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))} = \ulcorner \text{Also } \neg \Delta \urcorner$ .

In Klausel (iii) von Definition 2-14 werden Widerspruchsglieder, wie sie für die Negatointro- und Negatoutro-Regeln notwendig sind, in der Sequenz verortet. Dabei ist entweder das negative ( $\ulcorner \neg \Gamma \urcorner$ ) oder das positive ( $\Gamma$ ) Widerspruchsglied die Aussage des vorletzten Folgenglieds des betrachteten Abschnitts  $\mathfrak{A}$ . Die Stelle des jeweils anderen Widerspruchsglieds wird nicht genau festgelegt. Es genügt zu fordern, dass es irgendeine Stelle ( $i$ ) zwischen dem ersten und dem vorletzten Glied des Abschnitts gibt, an der das Widerspruchsglied auftritt. Bei minimalen NE-geschlossenen Abschnitten (Definition 2-17) ist dieser Umstand unproblematisch. Erst bei der Erzeugung nicht-minimaler geschlossener Abschnitte aus geschlossenen Abschnitten muss dagegen gesondert sichergestellt werden, dass das Widerspruchsglied, dessen Stelle nicht näher bekannt ist, nicht in einen echten Teilabschnitt von  $\mathfrak{A}$  fällt, der bereits geschlossen ist. Dies ist insbesondere bei der Konstruktion der Erzeugungsrelation zu berücksichtigen (vgl. insbesondere Definition 2-19).

**Definition 2-15.** EA-artiger Abschnitt

$\mathfrak{A}$  ist ein EA-artiger Abschnitt in  $\mathfrak{H}$

gdw

$\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$ ,  $\mathfrak{A} \in \text{ABS}(\mathfrak{H})$  und es gibt  $\xi \in \text{VAR}$ ,  $\Delta \in \text{FORM}$ , wobei  $\text{FV}(\Delta) \subseteq \{\xi\}$ ,  $\beta \in \text{PAR}$ ,  $\Gamma \in \text{GFORM}$  und  $\mathfrak{B} \in \text{ABS}(\mathfrak{H})$ , so dass

- (i)  $A(\mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))}) = \ulcorner \forall \xi \Delta \urcorner$ ,
- (ii)  $\mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))+1} = \ulcorner \text{Sei } [\beta, \xi, \Delta] \urcorner$ ,
- (iii)  $A(\mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\mathfrak{B}))-1}) = \Gamma$ ,
- (iv)  $\mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\mathfrak{B}))} = \ulcorner \text{Also } \Gamma \urcorner$ ,
- (v)  $\beta \notin \text{TTFM}(\{\Gamma, \Delta\})$ ,
- (vi) Es kein  $j \leq \min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))$  gibt, so dass  $\beta \in \text{TT}(\mathfrak{H}_j)$  und
- (vii)  $\mathfrak{A} = \mathfrak{B} \setminus \{(\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})), \mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))})\}$ .

*Hinweis:* 'EA' steht für **Ersatzannahme**, also die für eine Partikularquantorbeseitigung zu machende ›repräsentative Annahme‹.

**Theorem 2-27.** Kein Abschnitt ist zugleich SE- und NE- oder SE- und EA-artiger Abschnitt

- (i) Es gibt keine  $\mathfrak{A}$ ,  $\mathfrak{H}$ , so dass  $\mathfrak{A}$  SE- und NE-artiger Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist.
- (ii) Es gibt keine  $\mathfrak{A}$ ,  $\mathfrak{H}$ , so dass  $\mathfrak{A}$  SE- und EA-artiger Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist.

*Beweis:* Ergibt sich aus den Definitionen und Theoremen über eindeutige Lesbarkeit (Theorem 1-5 bis Theorem 1-7).  $\square$

Man beachte das es durchaus sein kann, dass ein  $\mathfrak{A}$  NE- und EA-artiger Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist. Unter Verwendung weiter unten einzuführender Terminologie ist das zum Beispiel dann der Fall, wenn die Annahme für einen indirekten Beweis parameterfrei ist, selbst das positive Widerspruchsglied stellt, und zudem die (leer laufende) Partikularquantifikation der indirekten Annahme unmittelbar vor dieser Annahme gewonnen wurde.

**Theorem 2-28.** Das letzte Glied eines SE- oder NE- oder EA-artigen Abschnitts ist kein Annahmesatz

Wenn  $\mathfrak{A}$  ein SE- oder NE- oder EA-artiger Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist, dann ist  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{A})) \notin \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{H}))$ .

*Beweis:* Ergibt sich aus Definition 2-13-(iii), Definition 2-14-(iv), Definition 2-15-(iv) und dem Theorem über die eindeutige Lesbarkeit von Sätzen (Theorem 1-7).  $\square$

**Theorem 2-29.** *Alle Annahmesätze in einem SE- oder NE- oder EA-artigen Abschnitt liegen innerhalb eines echten Teilabschnitts, der das letzte Glied nicht umfasst*

Wenn  $\mathfrak{A}$  ein SE- oder NE- oder EA-artiger Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist, und  $i \in \text{Dom}(\mathfrak{A}) \cap \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{H}))$ , dann  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) \leq i < \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ .

*Beweis:* Ergibt sich aus Theorem 2-28.  $\square$

**Theorem 2-30.** *Mächtigkeit von SE-, NE-, und EA-artigen Abschnitten*

- (i) Wenn  $\mathfrak{A}$  ein SE- oder EA-artiger Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist, dann  $2 \leq |\mathfrak{A}|$  und
- (ii) Wenn  $\mathfrak{A}$  ein NE-artiger Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist, dann  $3 \leq |\mathfrak{A}|$ .

*Beweis:* Ergibt sich mit den Theoremen über eindeutige Lesbarkeit (Theorem 1-5 bis Theorem 1-7) direkt aus Definition 2-13, Definition 2-14, Definition 2-15.  $\square$

**Definition 2-16.** *Minimaler SE-geschlossener Abschnitt*

$\mathfrak{A}$  ist ein minimaler SE-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$

gdw

$\mathfrak{A}$  ist ein SE-artiger Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  und

- (i)  $\text{ANS}(\mathfrak{H}) \cap \mathfrak{A} = \{(\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})), \mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))})\}$  und
- (ii) Für alle  $i \in \text{Dom}(\mathfrak{A})$  gilt:  $\mathfrak{A} \upharpoonright i$  ist kein SE- oder NE- oder EA-artiger Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ .

**Definition 2-17.** *Minimaler NE-geschlossener Abschnitt*

$\mathfrak{A}$  ist ein minimaler NE-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$

gdw

$\mathfrak{A}$  ist ein NE-artiger Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  und

- (i)  $\text{ANS}(\mathfrak{H}) \cap \mathfrak{A} = \{(\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})), \mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))})\}$  und
- (ii) Für alle  $i \in \text{Dom}(\mathfrak{A})$  gilt:  $\mathfrak{A} \upharpoonright i$  ist kein SE- oder NE- oder EA-artiger Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ .

**Definition 2-18.** *Minimaler PB-geschlossener Abschnitt*

$\mathfrak{A}$  ist ein minimaler PB-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$

gdw

$\mathfrak{A}$  ist ein EA-artiger Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  und

- (i)  $\text{ANS}(\mathfrak{H}) \cap \mathfrak{A} = \{(\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})), \mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))})\}$  und
- (ii) Für alle  $i \in \text{Dom}(\mathfrak{A})$  gilt:  $\mathfrak{A} \upharpoonright i$  ist kein SE- oder NE- oder EA-artiger Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ .

**Theorem 2-31.** *SE-, NE- und EA-artige Abschnitte mit nur einem Annahmesatz haben einen minimalen SE-, NE- oder PB-geschlossenen Abschnitt zum Anfangsabschnitt*

Wenn  $\mathcal{A}$  ein SE- oder NE- oder EA-artiger Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist und  $|\text{ANS}(\mathfrak{H}) \cap \mathcal{A}| = 1$ , dann ist  $\mathcal{A}$  ein minimaler SE- oder NE- oder PB-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  oder es gibt ein  $i \in \text{Dom}(\mathcal{A})$ , so dass  $\mathcal{A} \upharpoonright i$  ein minimaler SE- oder NE- oder PB-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist.

*Beweis:* Sei  $\mathcal{A}$  ein SE- oder NE- oder EA-artiger Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  und  $|\text{ANS}(\mathfrak{H}) \cap \mathcal{A}| = 1$ . Dann ist mit Definition 2-13, Definition 2-14 und Definition 2-15  $\text{ANS}(\mathfrak{H}) \cap \mathcal{A} = \{(\min(\text{Dom}(\mathcal{A})), \mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathcal{A}))})\}$ . Angenommen  $\mathcal{A}$  ist kein minimaler SE- oder NE- oder PB-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ . Dann gilt nach Voraussetzung mit Definition 2-16, Definition 2-17 und Definition 2-18, dass es ein  $j \in \text{Dom}(\mathcal{A})$  gibt, so dass  $\mathcal{A} \upharpoonright j$  ein SE- oder NE- oder EA-artiger Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist. Sei nun  $i = \min(\{j \mid j \in \text{Dom}(\mathcal{A}) \text{ und } \mathcal{A} \upharpoonright j \text{ ein SE-, NE- oder EA-artiger Abschnitt in } \mathfrak{H}\})$ . Dann ist  $\text{ANS}(\mathfrak{H}) \cap \mathcal{A} \upharpoonright i \subseteq \text{ANS}(\mathfrak{H}) \cap \mathcal{A}$  und mit Theorem 2-6  $\min(\text{Dom}(\mathcal{A} \upharpoonright i)) = \min(\text{Dom}(\mathcal{A}))$  und damit  $\text{ANS}(\mathfrak{H}) \cap \mathcal{A} \upharpoonright i = \{(\min(\text{Dom}(\mathcal{A} \upharpoonright i)), \mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathcal{A} \upharpoonright i))})\}$ . Sodann gilt wegen der Minimalität von  $i$ , dass für alle  $l \in \text{Dom}(\mathcal{A} \upharpoonright i)$  gilt, dass  $(\mathcal{A} \upharpoonright i) \upharpoonright l = \mathcal{A} \upharpoonright l$  kein SE-, NE- oder EA-artiger Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist. Damit ist dann  $\mathcal{A} \upharpoonright i$  ein minimaler SE- oder NE- oder PB-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ .  $\square$

**Theorem 2-32.** *Verhältnis von Folgerungs- und Annahmesätzen in minimalen SE-, NE- und PB-geschlossenen Abschnitten*

Wenn  $\mathcal{A}$  ein minimaler SE- oder NE- oder PB-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist, dann  $|\text{ANS}(\mathfrak{H}) \cap \mathcal{A}| \leq |\text{FS}(\mathfrak{H}) \cap \mathcal{A}|$ .

*Beweis:* Sei  $\mathcal{A}$  ein minimaler SE- oder NE- oder PB-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ . Dann gilt mit den Definitionen und Theorem 2-28:  $|\text{ANS}(\mathfrak{H}) \cap \mathcal{A}| = 1 \leq |\text{FS}(\mathfrak{H}) \cap \mathcal{A}|$ .  $\square$

Nun wird eine Erzeugungsrelation für Abschnitte definiert, mit der sich dann im Ausgang von minimalen SE-, NE- und PB-geschlossenen Abschnitten weitere ›non-redundante‹ SE-, NE-, und EA-artige Abschnitte erzeugen lassen, bei denen alle Annahmesätze Anfangsglieder eines solchen SE-, NE- oder EA-artigen Teilabschnitts sind. Dazu wird zunächst folgende Proto-Erzeugungsrelation definiert:

**Definition 2-19.** *Proto-Erzeugungsrelation für ›non-redundante‹ SE-, NE- und EA-artige Abschnitte in Sequenzen (PERZ)*

$PERZ = \{(\langle \mathfrak{H}, G \rangle, X) \mid \mathfrak{H} \in SEQ \setminus \{\emptyset\} \text{ und } G \in ANSUMF(\mathfrak{H}) \text{ und } X = \{\mathfrak{A} \mid \mathfrak{A} \in ABS(\mathfrak{H}) \text{ und es gibt ein } \mathfrak{B} \in ABS(\mathfrak{H}), \text{ so dass}$

- (i)  $G$  eine ANS-umfassende Abschnittsfolge für  $\mathfrak{B}$  in  $\mathfrak{H}$  ist,
- (ii)  $ANS(\mathfrak{H}) \cap \mathfrak{B} \neq \emptyset$ ,
- (iii)  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) + 1 = \min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))$  und  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{A})) = \max(\text{Dom}(\mathfrak{B})) + 1$ ,
- (iv)  $\mathfrak{A}$  ist ein SE- oder NE- oder EA-artiger Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  und wenn  $\mathfrak{A}$  ein NE-artiger Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist, dann gibt es  $\Delta, \Gamma \in GFORM$  und  $i \in \text{Dom}(\mathfrak{H})$ , so dass
  - a)  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) \leq i < \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ ,
  - b)  $\mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))} = \ulcorner \text{Sei } \Delta \urcorner$ ,
  - c)  $A(\mathfrak{H}_i) = \Gamma$  und  $A(\mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\mathfrak{A})-1)}) = \ulcorner \neg \Gamma \urcorner$   
oder  
 $A(\mathfrak{H}_i) = \ulcorner \neg \Gamma \urcorner$  und  $A(\mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\mathfrak{A})-1)}) = \Gamma$ ,
  - d) Für alle  $r \in \text{Dom}(G)$  gilt:  $i < \min(\text{Dom}(G(r)))$  oder  $\max(\text{Dom}(G(r))) \leq i$ ,
  - e)  $\mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))} = \ulcorner \text{Also } \neg \Delta \urcorner$  und
- (v) Für alle  $i \in \text{Dom}(\mathfrak{A})$  gilt:  $\mathfrak{A} \upharpoonright i$  ist kein minimaler SE- oder NE- oder EA-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  }

In Klausel (iv) von Definition 2-19 wird für NE-artige Abschnitte eine Sonderbedingung gestellt. Bei der Erzeugung geschlossener Abschnitte aus bereits geschlossenen Abschnitten sollen die Werte der ANS-umfassenden Abschnittsfolge  $G$  nämlich gerade die bereits geschlossenen Ausgangsabschnitte sein. Im NE-Fall muss jedoch sichergestellt werden, dass nur solche Abschnitte  $\mathfrak{A}$  als NE-geschlossen erzeugt werden, bei denen tatsächlich beide Widerspruchsglieder in  $\mathfrak{A} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$  liegen und dort in keinen bereits geschlossenen Abschnitt fallen. Genau dies wird für das erste Widerspruchsglied mit (iv-d) gewährleistet (vgl. den Beweis zu Theorem 2-67).

**Theorem 2-33.** *Einige wichtige Eigenschaften von PERZ*

Wenn  $\mathfrak{H} \in SEQ \setminus \{\emptyset\}$  und  $G \in ANSUMF(\mathfrak{H})$  und  $\mathfrak{A} \in PERZ(\langle \mathfrak{H}, G \rangle)$ , dann:

- (i) Es gibt  $\mathfrak{B} \in ABS(\mathfrak{H})$ , so dass  $G$  eine ANS-umfassende Abschnittsfolge für  $\mathfrak{B}$  in  $\mathfrak{H}$  ist und  $ANS(\mathfrak{H}) \cap \mathfrak{B} \neq \emptyset$ ,  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) + 1 = \min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))$  und  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{A})) = \max(\text{Dom}(\mathfrak{B})) + 1$ ,
- (ii)  $\mathfrak{A} \in ABS(\mathfrak{H})$  ist ein SE- oder NE- oder EA-artiger Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ ,
- (iii) Für alle  $i \in \text{Dom}(\mathfrak{A})$  ist  $\mathfrak{A} \upharpoonright i$  kein minimaler SE-, NE- oder PB-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ ,

- (iv) Es gibt ein  $i \in \text{Dom}(\mathfrak{A})$ , so dass  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) < i$  und  $i \in \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{H}))$ ,
- (v)  $\mathfrak{A}$  ist kein minimaler SE- oder NE- oder PB-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ ,
- (vi)  $G \neq \emptyset$  und
- (vii) Für alle  $\mathfrak{C} \in \text{PERZ}(\langle \mathfrak{H}, G \rangle)$  gilt:  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{C})) = \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ .

*Beweis:* Sei  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$  und  $G \in \text{ANSUMF}(\mathfrak{H})$  und  $\mathfrak{A} \in \text{PERZ}(\langle \mathfrak{H}, G \rangle)$ . Dann ergeben sich (i)-(iii) direkt aus Definition 2-19. Sei nun  $\mathfrak{B}$  wie in (i) gefordert. Dann ist  $\text{ANS}(\mathfrak{H}) \cap \mathfrak{B} \neq \emptyset$  und somit gibt es ein  $i \in \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{H})) \cap \text{Dom}(\mathfrak{B}) \subseteq \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{H})) \cap \text{Dom}(\mathfrak{A})$  wobei wegen  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) + 1 = \min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))$  gilt, dass  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) < i$ . Damit gilt dann (iv) und mit Definition 2-16, Definition 2-17 und Definition 2-18 auch (v). Sodann gilt mit  $\text{ANS}(\mathfrak{H}) \cap \mathfrak{B} \neq \emptyset$  und Definition 2-11, dass es ein  $i \in \text{Dom}(G)$  gibt, und somit ist  $G \neq \emptyset$ . Also gilt (vi).

Sodann gilt nach Definition 2-11, dass  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) \leq \min(\text{Dom}(G(0))) \leq \max(\text{Dom}(\mathfrak{B}))$  und damit, dass  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) < \min(\text{Dom}(G(0)))$ . Sei nun  $\mathfrak{C} \in \text{PERZ}(\langle \mathfrak{H}, G \rangle)$ . Dann gibt es ein  $\mathfrak{B}' \in \text{ABS}(\mathfrak{H})$ , so dass  $G$  eine ANS-umfassende Abschnittsfolge für  $\mathfrak{B}'$  in  $\mathfrak{H}$  ist und  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{C})) + 1 = \min(\text{Dom}(\mathfrak{B}'))$  und  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{C})) = \max(\text{Dom}(\mathfrak{B}')) + 1$  und  $\mathfrak{C}$  ist ein SE- oder NE- oder EA-artiger Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ . Dann gilt  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ ,  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{C})) \in \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{H}))$ . Sodann ergibt sich nach Definition 2-11  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{B}')) \leq \min(\text{Dom}(G(0))) \leq \max(\text{Dom}(\mathfrak{B}'))$  und damit  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{C})) < \min(\text{Dom}(G(0)))$ . Damit gilt dann:  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ ,  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{C})) < \min(\text{Dom}(G(0))) \leq \max(\text{Dom}(\mathfrak{B}))$ ,  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{B}'))$ .

Wäre nun  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{C})) < \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ . Dann wäre  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{B}')) \leq \min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) \leq \max(\text{Dom}(\mathfrak{B}'))$ . Dann wäre  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) \in \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{H})) \cap \text{Dom}(\mathfrak{B}')$  und da  $G$  eine ANS-umfassende Abschnittsfolge  $\mathfrak{B}'$  in  $\mathfrak{H}$  ist, wäre dann nach Definition 2-11  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) \in \text{Dom}(G(l))$  für ein  $l \in \text{Dom}(G)$ . Da  $G$  eine ANS-umfassende Abschnittsfolge für  $\mathfrak{B}$  in  $\mathfrak{H}$  ist, wäre damit nach Theorem 2-24 wiederum  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) + 1 = \min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) \leq \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ . Widerspruch! Wäre nun  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) < \min(\text{Dom}(\mathfrak{C}))$ . Dann wäre  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) \leq \min(\text{Dom}(\mathfrak{C})) \leq \max(\text{Dom}(\mathfrak{B}))$ . Damit wäre dann wiederum  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{C})) \in \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{H})) \cap \text{Dom}(\mathfrak{B})$  und damit  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{C})) \in \text{Dom}(G(l'))$  für ein  $l' \in \text{Dom}(G)$  und damit wiederum  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{C})) + 1 = \min(\text{Dom}(\mathfrak{B}')) \leq \min(\text{Dom}(\mathfrak{C}))$ . Widerspruch! Also ist  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{C})) = \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$  und somit gilt (vii).  $\square$

Die gewünschte Erzeugungsrelation soll dann für gegebene  $\mathfrak{H}$ ,  $G$  lediglich die ›non-redundanten‹ Abschnitte aus  $\text{PERZ}(\langle\mathfrak{H}, G\rangle)$  berücksichtigen:

**Definition 2-20.** *Erzeugungsrelation für ›non-redundante‹ SE-, NE- und EA-artige Abschnitte in Sequenzen (ERZ)*

$$\text{ERZ} = \{(\langle\mathfrak{H}, G\rangle, X) \mid \mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}, G \in \text{ANSUMF}(\mathfrak{H}) \text{ und } X = \{\mathfrak{A} \mid \mathfrak{A} \in \text{PERZ}(\langle\mathfrak{H}, G\rangle) \text{ und es gibt kein } i \in \text{Dom}(\mathfrak{A}) \text{ und } j \in \text{Dom}(G), \text{ so dass } \mathfrak{A} \upharpoonright i \in \text{PERZ}(\langle\mathfrak{H}, G \upharpoonright (j+1)\rangle)\}\}$$

ERZ ist eine zweistellige Funktion, die einer Sequenz  $\mathfrak{H}$  und einer ANS-umfassenden Abschnittsfolge  $G$  für einen Abschnitt  $\mathfrak{B}$  in  $\mathfrak{H}$  eine Teilmenge  $X$  der Menge der SE-, NE- oder EA-artigen Abschnitte in  $\mathfrak{H}$  zuordnet, die die Glieder von  $G$  zum echten Teilabschnitt haben. Diese Teilmenge ist dann entweder leer oder sie ist die Einermenge aus dem kürzesten Abschnitt, der sich mit PERZ für  $\mathfrak{H}$  und Beschränkungen von  $G$  auf  $j+1$  mit  $j \in \text{Dom}(G)$  erzeugen lässt. Dies sichert später, dass nicht nur minimale, sondern auch ERZ-erzeugte und damit alle geschlossenen Abschnitte durch ihren Anfang eindeutig bestimmt sind (vgl. Theorem 2-49). Das folgende Theorem fasst einige Eigenschaften von ERZ für den Fall  $\text{ERZ}(\langle\mathfrak{H}, G\rangle) \neq \emptyset$  zusammen.

**Theorem 2-34.** *Einige häufiger benutzte Konsequenzen aus Definition 2-20*

Wenn  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$  und  $G \in \text{ANSUMF}(\mathfrak{H})$  und  $\mathfrak{A} \in \text{ERZ}(\langle\mathfrak{H}, G\rangle)$ , dann:

- (i) Es gibt  $\mathfrak{B} \in \text{ABS}(\mathfrak{H})$ , so dass  $G$  eine ANS-umfassende Abschnittsfolge für  $\mathfrak{B}$  in  $\mathfrak{H}$  ist und  $\text{ANS}(\mathfrak{H}) \cap \mathfrak{B} \neq \emptyset$ ,  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) + 1 = \min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))$  und  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{A})) = \max(\text{Dom}(\mathfrak{B})) + 1$ ,
- (ii)  $\mathfrak{A} \in \text{ABS}(\mathfrak{H})$  ist ein SE- oder NE- oder EA-artiger Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ ,
- (iii) Für alle  $i \in \text{Dom}(\mathfrak{A})$  ist  $\mathfrak{A} \upharpoonright i$  kein minimaler SE-, NE- oder PB-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ ,
- (iv) Es gibt ein  $i \in \text{Dom}(\mathfrak{A})$ , so dass  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) < i$  und  $i \in \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{H}))$ ,
- (v)  $\mathfrak{A}$  ist kein minimaler SE- oder NE- oder PB-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ ,
- (vi)  $G \neq \emptyset$ ,
- (vii) Es gibt kein  $i \in \text{Dom}(\mathfrak{A})$  und  $j \in \text{Dom}(G)$ , so dass  $\mathfrak{A} \upharpoonright i \in \text{PERZ}(\langle\mathfrak{H}, G \upharpoonright (j+1)\rangle)$  und
- (viii)  $\text{ERZ}(\langle\mathfrak{H}, G\rangle) = \{\mathfrak{A}\}$ .

*Beweis:* Sei  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$  und  $G \in \text{ANSUMF}(\mathfrak{H})$  und  $\mathfrak{A} \in \text{ERZ}(\langle\mathfrak{H}, G\rangle)$ . Dann ergeben sich (i)-(vi) direkt aus Definition 2-20 und Theorem 2-33 und (vii) aus Definition 2-20. Sei nun  $\mathfrak{C} \in \text{ERZ}(\langle\mathfrak{H}, G\rangle)$ . Dann ist mit Definition 2-20 mit  $\mathfrak{A}, \mathfrak{C} \in \text{ERZ}(\langle\mathfrak{H}, G\rangle)$  auch  $\mathfrak{A}$ ,

$\mathcal{C} \in \text{PERZ}(\langle \mathfrak{H}, G \rangle)$  und damit mit Theorem 2-33-(vi)  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) = \min(\text{Dom}(\mathcal{C}))$ . Wäre nun  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{A})) < \max(\text{Dom}(\mathcal{C}))$ . Dann wäre  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{A})) + 1 \leq \max(\text{Dom}(\mathcal{C})) \in \text{Dom}(\mathcal{C})$  und gleichzeitig  $\mathcal{C} \upharpoonright_{\max(\text{Dom}(\mathfrak{A})) + 1} = \mathfrak{A} \in \text{PERZ}(\langle \mathfrak{H}, G \rangle) = \text{PERZ}(\langle \mathfrak{H}, G \upharpoonright_{(\max(\text{Dom}(G)) + 1)} \rangle)$  und somit nach Definition 2-20  $\mathcal{C} \notin \text{ERZ}(\langle \mathfrak{H}, G \rangle)$ . Analog ergibt sich für  $\max(\text{Dom}(\mathcal{C})) < \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$  ein Widerspruch zu (vii). Also ist auch  $\max(\text{Dom}(\mathcal{C})) = \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$  und damit mit Theorem 2-4 insgesamt  $\mathcal{C} = \mathfrak{A} \in \{\mathfrak{A}\}$ . Also ist  $\text{ERZ}(\langle \mathfrak{H}, G \rangle) \subseteq \{\mathfrak{A}\}$ . Sodann gilt nach Voraussetzung  $\{\mathfrak{A}\} \subseteq \text{ERZ}(\langle \mathfrak{H}, G \rangle)$  und somit insgesamt:  $\text{ERZ}(\langle \mathfrak{H}, G \rangle) = \{\mathfrak{A}\}$  und damit (viii).  $\square$

**Theorem 2-35.** *ERZ-erzeugte Abschnitte sind mächtiger als die Glieder der entsprechenden Folge*

Wenn  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$  und  $G \in \text{ANSUMF}(\mathfrak{H})$ , dann gilt für alle  $\mathcal{C} \in \text{Ran}(G)$  und  $\mathfrak{A} \in \text{ERZ}(\langle \mathfrak{H}, G \rangle)$ :  $|\mathcal{C}| < |\mathfrak{A}|$ .

*Beweis:*  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$  und  $G \in \text{ANSUMF}(\mathfrak{H})$ . Zunächst ist  $|\mathfrak{H}| = \text{Dom}(\mathfrak{H})$ . Seien nun  $\mathcal{C} \in \text{Ran}(G)$  und  $\mathfrak{A} \in \text{ERZ}(\langle \mathfrak{H}, G \rangle)$ . Dann gibt es ein  $\mathfrak{B} \in \text{ABS}(\mathfrak{H})$ , so dass  $G$  eine ANS-umfassende Abschnittsfolge für  $\mathfrak{B}$  in  $\mathfrak{H}$  ist und  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) + 1 = \min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))$  und  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{A})) = \max(\text{Dom}(\mathfrak{B})) + 1$  und  $\mathfrak{A}$  ist ein SE- oder NE- oder EA-artiger Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ . Dann ist  $|\mathfrak{B}| < |\mathfrak{A}|$ . Ferner gilt mit Theorem 2-24 wegen  $\mathcal{C} \in \text{Ran}(G)$ , dass  $|\mathcal{C}| \leq |\mathfrak{B}|$  und somit dass  $|\mathcal{C}| < |\mathfrak{A}|$ .  $\square$

**Theorem 2-36.** *Hilfssatz für Theorem 2-38 (a)*

$\{(\mathfrak{H}, \mathfrak{A}) \mid \mathfrak{A} \text{ ist ein minimaler SE- oder NE- oder PB-geschlossener Abschnitt in } \mathfrak{H}\} \subseteq (\text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}) \times \{\mathfrak{A} \mid \mathfrak{A} \text{ ist Abschnitt}\}$ .

*Beweis:* Sei  $(\mathfrak{H}, \mathfrak{A}) \in \{(\mathfrak{H}, \mathfrak{A}) \mid \mathfrak{A} \text{ ist ein minimaler SE- oder NE- oder PB-geschlossener Abschnitt in } \mathfrak{H}\}$ . Dann ergibt sich aus Definition 2-16, Definition 2-17 und Definition 2-18, dass  $\mathfrak{A}$  ein Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist und damit, dass  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$ . Damit:  $(\mathfrak{H}, \mathfrak{A}) \in (\text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}) \times \{\mathfrak{A} \mid \mathfrak{A} \text{ ist Abschnitt}\}$ .  $\square$

**Theorem 2-37.** *Hilfssatz für Theorem 2-38 (b)*

Für alle  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$  und  $G \in \text{ANSUMF}(\mathfrak{H})$  gilt, dass  $\{\mathfrak{H}\} \times \text{ERZ}(\langle \mathfrak{H}, G \rangle) \subseteq (\text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}) \times \{\mathfrak{A} \mid \mathfrak{A} \text{ ist Abschnitt}\}$ .

*Beweis:* Sei  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$  und  $G \in \text{ANSUMF}(\mathfrak{H})$ . Sei nun  $(\mathfrak{H}, \mathfrak{A}) \in \{\mathfrak{H}\} \times \text{ERZ}(\langle \mathfrak{H}, G \rangle)$ . Dann ergibt sich aus den Voraussetzungen und Theorem 2-34-(ii), dass  $\mathfrak{A} \in \text{ABS}(\mathfrak{H})$  und damit folgt insgesamt die Behauptung.  $\square$

Nun wird die Menge der ERZ-induktiven Relationen definiert:

**Definition 2-21.** *Menge der ERZ-induktiven Relationen (GSR)*

$\text{GSR} = \{R \mid R \subseteq (\text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}) \times \{\mathfrak{A} \mid \mathfrak{A} \text{ ist Abschnitt}\} \text{ und}$

- (i)  $\{(\mathfrak{H}, \mathfrak{A}) \mid \mathfrak{A} \text{ ist ein minimaler SE- oder NE- oder PB-geschlossener Abschnitt in } \mathfrak{H}\} \subseteq R$  und
- (ii) Für alle  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$  und  $G \in \text{ANSUMF}(\mathfrak{H})$  mit  $\{\mathfrak{H}\} \times \text{RAN}(G) \subseteq R$  gilt:  $\{\mathfrak{H}\} \times \text{ERZ}(\langle \mathfrak{H}, G \rangle) \subseteq R$

Definition 2-21 ist im Wesentlichen eine Hilfsdefinition, um in Definition 2-22 zu der Relation, die einer Sequenz alle und nur die geschlossenen Abschnitte in dieser Sequenz zuordnet, zu gelangen. Informell gesprochen enthält GSR alle Relationen, die für eine gegebene Sequenz  $\mathfrak{H}$  alle geordneten Paare aus  $\mathfrak{H}$  und – so vorhanden – einem der minimalen SE-, NE- und PB-geschlossenen Abschnitte in  $\mathfrak{H}$  und alle geordneten Paare  $(\mathfrak{H}, \mathfrak{A})$  für Abschnitte  $\mathfrak{A}$  in  $\mathfrak{H}$ , die sich mit ERZ aus Abschnitten  $\mathfrak{B}_0, \dots, \mathfrak{B}_{n-1}$  mit  $\{(\mathfrak{H}, \mathfrak{B}_0), \dots, (\mathfrak{H}, \mathfrak{B}_{n-1})\} \subseteq R$  erzeugen lassen, enthalten.

**Theorem 2-38.** *Hilfssatz für Theorem 2-39*

$(\text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}) \times \{\mathfrak{A} \mid \mathfrak{A} \text{ ist Abschnitt}\} \in \text{GSR}$

*Beweis:* Zunächst gilt:  $(\text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}) \times \{\mathfrak{A} \mid \mathfrak{A} \text{ ist Abschnitt}\} \subseteq (\text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}) \times \{\mathfrak{A} \mid \mathfrak{A} \text{ ist Abschnitt}\}$ . Sodann gilt mit Theorem 2-36, dass  $\{(\mathfrak{H}, \mathfrak{A}) \mid \mathfrak{A} \text{ ist ein minimaler SE- oder NE- oder PB-geschlossener Abschnitt in } \mathfrak{H}\} \subseteq (\text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}) \times \{\mathfrak{A} \mid \mathfrak{A} \text{ ist Abschnitt}\}$ . Ferner gilt mit Theorem 2-37 für alle  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$  und  $G \in \text{ANSUMF}(\mathfrak{H})$  mit  $\{\mathfrak{H}\} \times \text{RAN}(G) \subseteq (\text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}) \times \{\mathfrak{A} \mid \mathfrak{A} \text{ ist Abschnitt}\}$ , dass  $\{\mathfrak{H}\} \times \text{ERZ}(\langle \mathfrak{H}, G \rangle) \subseteq (\text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}) \times \{\mathfrak{A} \mid \mathfrak{A} \text{ ist Abschnitt}\}$ .  $\square$

Nun wird die Relation, die einer Sequenz  $\mathfrak{S}$  alle und nur die Abschnitte zuordnet, die minimale SE- NE- und PB-geschlossene Abschnitte in  $\mathfrak{S}$  sind oder sich durch wiederholte Anwendung von ERZ aus minimalen SE- NE- und PB-geschlossenen Abschnitten in  $\mathfrak{S}$  erzeugen lassen, definiert:

**Definition 2-22.** Die kleinste ERZ-induktive Relation (GS)

$$GS = \bigcap GSR$$

Das folgende Theorem bringt zum Ausdruck, dass GS tatsächlich eine Relation ist, die einer Sequenz alle minimalen SE- NE- und PB-geschlossenen Abschnitte in dieser Sequenz sowie alle NE-, SE- und EA-artigen Abschnitte, die sich durch wiederholte Anwendung von ERZ aus minimalen SE-, NE- und PB-geschlossenen Abschnitten erzeugen lassen, und zum anderen auch Teilmenge von allen anderen solchen Relationen und somit die kleinste solche Relation ist und daher einer Sequenz nur solche Abschnitte wie angegeben zuordnet.

**Theorem 2-39.** GS ist die kleinste ERZ-induktive Relation

- (i)  $GS \in GSR$  und
- (ii) Wenn  $R \in GSR$ , dann  $GS \subseteq R$ .

*Beweis:* (ii) ergibt sich aus Definition 2-22. Zu (i): Zu zeigen ist: a)  $GS \subseteq (SEQ \setminus \{\emptyset\}) \times \{\mathfrak{A} \mid \mathfrak{A} \text{ ist Abschnitt}\}$ , b)  $\{(\mathfrak{S}, \mathfrak{A}) \mid \mathfrak{A} \text{ ist ein minimaler SE- oder NE- oder PB-geschlossener Abschnitt in } \mathfrak{S}\} \subseteq GS$  und c) für alle  $\mathfrak{S} \in SEQ \setminus \{\emptyset\}$  und  $G \in ANSUMF(\mathfrak{S})$  mit  $\{\mathfrak{S}\} \times RAN(G) \subseteq GS$  gilt:  $\{\mathfrak{S}\} \times ERZ(\langle \mathfrak{S}, G \rangle) \subseteq GS$ .

Dabei ergibt sich a)  $GS \subseteq (SEQ \setminus \{\emptyset\}) \times \{\mathfrak{A} \mid \mathfrak{A} \text{ ist Abschnitt}\}$  mit Theorem 2-38 und (ii). Da für alle  $R \in GSR$  gilt, dass  $\{(\mathfrak{S}, \mathfrak{A}) \mid \mathfrak{A} \text{ ist ein minimaler SE- oder NE- oder PB-geschlossener Abschnitt in } \mathfrak{S}\} \subseteq R$ , gilt mit Definition 2-22 auch b)  $\{(\mathfrak{S}, \mathfrak{A}) \mid \mathfrak{A} \text{ ist ein minimaler SE- oder NE- oder PB-geschlossener Abschnitt in } \mathfrak{S}\} \subseteq GS$ .

Nun ist zu zeigen, dass c) für alle  $\mathfrak{S} \in SEQ \setminus \{\emptyset\}$  und  $G \in ANSUMF(\mathfrak{S})$  mit  $\{\mathfrak{S}\} \times RAN(G) \subseteq GS$  gilt:  $\{\mathfrak{S}\} \times ERZ(\langle \mathfrak{S}, G \rangle) \subseteq GS$ . Sei dazu zunächst  $\mathfrak{S} \in SEQ \setminus \{\emptyset\}$  und  $G \in ANSUMF(\mathfrak{S})$  und  $\{\mathfrak{S}\} \times RAN(G) \subseteq GS$ . Um zu zeigen, dass  $\{\mathfrak{S}\} \times ERZ(\langle \mathfrak{S}, G \rangle) \subseteq GS$ , ist nach Definition 2-22 zu zeigen, dass für alle  $R \in GSR$  gilt, dass  $\{\mathfrak{S}\} \times ERZ(\langle \mathfrak{S}, G \rangle) \subseteq R$ . Sei nun  $R \in GSR$ . Dann ergibt sich aus der Annahme, dass  $\{\mathfrak{S}\} \times RAN(G) \subseteq$

GS und (ii), dass  $\{\mathfrak{H}\} \times \text{RAN}(G) \subseteq R$ . Da nun nach Voraussetzung  $R \in \text{GSR}$  ist, gilt mit Definition 2-21  $\{\mathfrak{H}\} \times \text{ERZ}(\langle \mathfrak{H}, G \rangle) \subseteq R$ . Also gilt für alle  $R \in \text{GSR}$ , dass  $\{\mathfrak{H}\} \times \text{ERZ}(\langle \mathfrak{H}, G \rangle) \subseteq R$  und damit ist  $\{\mathfrak{H}\} \times \text{ERZ}(\langle \mathfrak{H}, G \rangle) \subseteq \text{GS}$ . Also gilt für alle  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$  und  $G \in \text{ANSUMF}(\mathfrak{H})$  mit  $\{\mathfrak{H}\} \times \text{RAN}(G) \subseteq \text{GS}$ :  $\{\mathfrak{H}\} \times \text{ERZ}(\langle \mathfrak{H}, G \rangle) \subseteq \text{GS}$ .  
□

Mit dem vorhergehenden Theorem kann die folgende Definition im Anschluss an die obigen Erläuterungen informell so erläutert werden, dass mit ihr genau diejenigen Abschnitte in einer Sequenz als geschlossene Abschnitt in dieser Sequenz ausgezeichnet werden, die minimale SE- oder NE- oder PB-geschlossene Abschnitte in dieser Sequenz sind oder sich durch wiederholte Anwendung von ERZ aus diesen minimalen Abschnitten gewinnen lassen.

**Definition 2-23.** *Geschlossener Abschnitt*

$\mathfrak{A}$  ist ein geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  gdw  $(\mathfrak{H}, \mathfrak{A}) \in \text{GS}$ .

**Theorem 2-40.**  *$\emptyset$  ist kein geschlossener Abschnitt*

$(\mathfrak{H}, \emptyset) \notin \text{GS}$ .

*Beweis:* Für alle  $\mathfrak{H}$  ist  $\emptyset$  kein Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ . Mit Theorem 2-39-(ii) und Theorem 2-38 folgt das Theorem. □

**Theorem 2-41.** *Geschlossene Abschnitte sind minimal oder ERZ-erzeugt*

$(\mathfrak{H}, \mathfrak{A}) \in \text{GS}$

gdw

(i)  $\mathfrak{A}$  ist ein minimaler SE- oder NE- oder PB-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$

oder

(ii)  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$  und es gibt ein  $G \in \text{ANSUMF}(\mathfrak{H})$  mit  $\{\mathfrak{H}\} \times \text{RAN}(G) \subseteq \text{GS}$  und  $\mathfrak{A} \in \text{ERZ}(\langle \mathfrak{H}, G \rangle)$ .

*Beweis:* Die R-L-Richtung ergibt sich mit Theorem 2-39-(i) und Definition 2-21. Sei nun für die L-R-Richtung  $X = \{(\mathfrak{H}, \mathfrak{A}) \mid \mathfrak{A} \text{ ist ein minimaler SE- oder NE- oder PB-geschlossener Abschnitt in } \mathfrak{H} \text{ oder } \mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\} \text{ und es gibt ein } G \in \text{ANSUMF}(\mathfrak{H}) \text{ mit}$

$\{\mathfrak{H}\} \times \text{Ran}(G) \subseteq \text{GS}$  und  $\mathfrak{A} \in \text{ERZ}(\langle\mathfrak{H}, G\rangle) \cap \text{GS}$ . Um das Theorem zu beweisen, reicht es zu zeigen, dass  $X \in \text{GSR}$ , dann folgt die Behauptung mit Theorem 2-39-(ii).

Zunächst ist  $X \subseteq \text{GS} \subseteq (\text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}) \times \{\mathfrak{A} \mid \mathfrak{A} \text{ ist Abschnitt}\}$  und da nach Definition 2-21 für alle  $R \in \text{GSR}$  gilt, dass  $\{(\mathfrak{H}, \mathfrak{A}) \mid \mathfrak{A} \text{ ist ein minimaler SE- oder NE- oder PB-geschlossener Abschnitt in } \mathfrak{H}\} \subseteq R$ , gilt mit Definition 2-22 auch  $\{(\mathfrak{H}, \mathfrak{A}) \mid \mathfrak{A} \text{ ist ein minimaler SE- oder NE- oder PB-geschlossener Abschnitt in } \mathfrak{H}\} \subseteq \text{GS}$ . Nach Definition von  $X$  ist daher  $\{(\mathfrak{H}, \mathfrak{A}) \mid \mathfrak{A} \text{ ist ein minimaler SE- oder NE- oder EA-artiger Abschnitt in } \mathfrak{H}\} \subseteq X$ .

Nun ist zu zeigen, dass für alle  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$  und  $G \in \text{ANSUMF}(\mathfrak{H})$  mit  $\{\mathfrak{H}\} \times \text{RAN}(G) \subseteq X$  gilt:  $\{\mathfrak{H}\} \times \text{ERZ}(\langle\mathfrak{H}, G\rangle) \subseteq X$ . Sei dazu zunächst  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$  und  $G \in \text{ANSUMF}(\mathfrak{H})$  und  $\{\mathfrak{H}\} \times \text{RAN}(G) \subseteq X$ . Dann ist zunächst  $\{\mathfrak{H}\} \times \text{Ran}(G) \subseteq \text{GS}$  und damit mit Theorem 2-39-(i) und Definition 2-21 auch  $\{\mathfrak{H}\} \times \text{ERZ}(\langle\mathfrak{H}, G\rangle) \subseteq \text{GS}$ . Sei nun  $(\mathfrak{H}, \mathfrak{A}) \in \{\mathfrak{H}\} \times \text{ERZ}(\langle\mathfrak{H}, G\rangle)$ . Dann ist  $\mathfrak{A} \in \text{ERZ}(\langle\mathfrak{H}, G\rangle)$ . Dann gibt es also ein  $G \in \text{ANSUMF}(\mathfrak{H})$  mit  $\{\mathfrak{H}\} \times \text{Ran}(G) \subseteq \text{GS}$  und  $\mathfrak{A} \in \text{ERZ}(\langle\mathfrak{H}, G\rangle)$  und außerdem ist  $(\mathfrak{H}, \mathfrak{A}) \in \text{GS}$ . Also ist  $(\mathfrak{H}, \mathfrak{A}) \in X$ . Also insgesamt  $X \in \text{GSR}$ .  $\square$

**Theorem 2-42.** *Geschlossene Abschnitte sind SE- oder NE- oder EA-artige Abschnitte*

Wenn  $(\mathfrak{H}, \mathfrak{A}) \in \text{GS}$ , dann ist  $\mathfrak{A}$  ein SE-, NE- oder EA-artiger Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ .

*Beweis:* Sei  $(\mathfrak{H}, \mathfrak{A}) \in \text{GS}$ . Dann gilt mit Theorem 2-41 und Theorem 2-36:  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$  und  $\mathfrak{A}$  ist ein minimaler SE- oder NE- oder PB-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  oder es gibt ein  $G \in \text{ANSUMF}(\mathfrak{H})$  mit  $\{\mathfrak{H}\} \times \text{Ran}(G) \subseteq \text{GS}$  und  $\mathfrak{A} \in \text{ERZ}(\langle\mathfrak{H}, G\rangle)$ . Dann ergibt sich die Behauptung unmittelbar mit Definition 2-16, Definition 2-17, Definition 2-18 und Theorem 2-34.  $\square$

Theorem 2-42 zeigt, dass GS nur Paare von Sequenzen und SE- und NE- und EA-artigen Abschnitten in diesen Sequenzen enthält. Die ersten und letzten Glieder der Abschnitte verleihen ihnen also die Gestalt, wie sie aus den entsprechenden beweisnahen Schlussfiguren (bei PB mit der Partikularquantifikation vor dem EA-artigen Abschnitt) bekannt ist. Umgekehrt ist aber nicht jedes Paar aus einer Sequenz und einem Abschnitt in dieser Sequenz, der eine solche Gestalt hat, in GS enthalten. Das lässt sich unter Rückgriff auf

Theorem 2-41 und Theorem 2-42 zeigen. Hier ein Beispiel für eine Sequenz und einen SE-artigen-Abschnitt in dieser Sequenz, für die das geordnete Paar aus beiden nicht Element von GS ist:

**Beispiel [2.1]** Sei  $\mathfrak{H}^{[2.1]}$  die folgende Sequenz:

- 0 Sei  $P_{1.1}(c_1)$
- 1 Sei  $P_{1.1}(c_1)$
- 2 Also  $P_{1.1}(c_1) \rightarrow P_{1.1}(c_1)$

*Erläuterung:* Angenommen  $(\mathfrak{H}^{[2.1]}, \mathfrak{H}^{[2.1]}) \in \text{GS}$ . Dann wäre nach Theorem 2-41  $\mathfrak{H}^{[2.1]}$  ein minimaler SE- oder NE- oder PB-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}^{[2.1]}$  oder es gäbe ein  $G \in \text{ANSUMF}(\mathfrak{H}^{[2.1]})$  mit  $\{\mathfrak{H}^{[2.1]}\} \times \text{Ran}(G) \subseteq \text{GS}$  und  $\mathfrak{H}^{[2.1]} \in \text{ERZ}(\langle \mathfrak{H}^{[2.1]}, G \rangle)$ . Da  $|\text{ANS}(\mathfrak{H}^{[2.1]})| = 2$ , ist  $\mathfrak{H}^{[2.1]}$  kein minimaler SE- oder NE- oder PB-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}^{[2.1]}$ . Also gibt es ein  $G \in \text{ANSUMF}(\mathfrak{H}^{[2.1]})$  mit  $\{\mathfrak{H}^{[2.1]}\} \times \text{Ran}(G) \subseteq \text{GS}$  und  $\mathfrak{H}^{[2.1]} \in \text{ERZ}(\langle \mathfrak{H}^{[2.1]}, G \rangle)$ .

Dann ist  $\mathfrak{H}^{[2.1]} \in \text{ERZ}(\langle \mathfrak{H}^{[2.1]}, G \rangle)$ . Dann gibt es ein  $\mathfrak{B} \in \text{ABS}(\mathfrak{H}^{[2.1]})$ , so dass  $G$  eine ANS-umfassende Abschnittsfolge für  $\mathfrak{B}$  in  $\mathfrak{H}^{[2.1]}$  ist und  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{H}^{[2.1]})) + 1 = \min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))$  und  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{H}^{[2.1]})) = \max(\text{Dom}(\mathfrak{B})) + 1$ . Dann ist  $\mathfrak{B} = \{(1, \ulcorner \text{Sei } P_{1.1}(c_1) \urcorner)\}$ . Da  $G$  eine ANS-umfassende Abschnittsfolge für  $\mathfrak{B}$  in  $\mathfrak{H}^{[2.1]}$  sein muss, ist dann  $\text{Ran}(G) = \{(1, \ulcorner \text{Sei } P_{1.1}(c_1) \urcorner)\}$ .

Nun ist jedoch  $\{(1, \ulcorner \text{Sei } P_{1.1}(c_1) \urcorner)\}$  kein SE- oder NE- oder EA-artiger Abschnitt in  $\mathfrak{H}^{[2.1]}$ . Nun gilt aber nach Annahme  $\{\mathfrak{H}^{[2.1]}\} \times \text{Ran}(G) \subseteq \text{GS}$  und damit  $(\mathfrak{H}^{[2.1]}, \{(1, \ulcorner \text{Sei } P_{1.1}(c_1) \urcorner)\}) \in \text{GS}$ . Dann aber müsste nach Theorem 2-42  $\{(1, \ulcorner \text{Sei } P_{1.1}(c_1) \urcorner)\}$  ein SE- oder NE- oder EA-artiger Abschnitt in  $\mathfrak{H}^{[2.1]}$  sein. Aus der Annahme, dass  $(\mathfrak{H}^{[2.1]}, \mathfrak{H}^{[2.1]}) \in \text{GS}$  ergibt sich also ein Widerspruch. Also  $(\mathfrak{H}^{[2.1]}, \mathfrak{H}^{[2.1]}) \notin \text{GS}$ .  $\square$

**Theorem 2-43.** *Geschlossene Abschnitte sind wenigstens zwei-elementig*

Wenn  $(\mathfrak{H}, \mathfrak{A}) \in \text{GS}$ , dann  $2 \leq |\mathfrak{A}|$ .

*Beweis:* Mit Theorem 2-30 gilt für alle SE- oder NE- oder EA-artigen Abschnitte  $\mathfrak{A}$  in  $\mathfrak{H}$ :  $2 \leq |\mathfrak{A}|$ . Mit Theorem 2-42 folgt das Theorem.  $\square$

**Theorem 2-44.** *Jeder geschlossene Abschnitt hat einen minimalen SE- oder NE- oder PB-geschlossenen Abschnitt zum Teilabschnitt*

Wenn  $(\mathfrak{H}, \mathfrak{A}) \in \text{GS}$ , dann gibt es einen minimalen SE- oder NE- oder PB-geschlossenen Abschnitt  $\mathfrak{B}$  in  $\mathfrak{H}$ , so dass  $\mathfrak{B} \subseteq \mathfrak{A}$ .

*Beweis:* Sei  $X = \{(\mathfrak{H}, \mathfrak{A}) \mid \text{Es gibt einen minimalen SE- oder NE- oder PB-geschlossenen Abschnitt } \mathfrak{B} \text{ in } \mathfrak{H}, \text{ so dass } \mathfrak{B} \subseteq \mathfrak{A}\} \cap \text{GS}$ . Um das Theorem zu beweisen, reicht es zu zeigen, dass  $X \in \text{GSR}$ , dann folgt die Behauptung mit Theorem 2-39-(ii).

Zunächst ist  $X \subseteq \text{GS} \subseteq (\text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}) \times \{\mathfrak{A} \mid \mathfrak{A} \text{ ist Abschnitt}\}$  und  $\{(\mathfrak{H}, \mathfrak{A}) \mid \mathfrak{A} \text{ ist ein minimaler SE- oder NE- oder PB-geschlossener Abschnitt in } \mathfrak{H}\} \subseteq X$ .

Nun ist zu zeigen, dass für alle  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$  und  $G \in \text{ANSUMF}(\mathfrak{H})$  mit  $\{\mathfrak{H}\} \times \text{RAN}(G) \subseteq X$  gilt:  $\{\mathfrak{H}\} \times \text{ERZ}(\langle \mathfrak{H}, G \rangle) \subseteq X$ . Sei dazu zunächst  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$  und  $G \in \text{ANSUMF}(\mathfrak{H})$  und  $\{\mathfrak{H}\} \times \text{RAN}(G) \subseteq X$ . Dann ist zunächst  $\{\mathfrak{H}\} \times \text{RAN}(G) \subseteq \text{GS}$ . Sei nun  $(\mathfrak{H}, \mathfrak{A}) \in \{\mathfrak{H}\} \times \text{ERZ}(\langle \mathfrak{H}, G \rangle)$ . Dann ist zunächst  $(\mathfrak{H}, \mathfrak{A}) \in \text{GS}$ . Wegen  $\mathfrak{A} \in \text{ERZ}(\langle \mathfrak{H}, G \rangle)$  gibt es sodann mit Theorem 2-34 ein  $\mathfrak{B} \in \text{ABS}(\mathfrak{H})$ , so dass  $G$  eine ANS-umfassende Abschnittsfolge für  $\mathfrak{B}$  in  $\mathfrak{H}$  ist,  $\text{ANS}(\mathfrak{H}) \cap \mathfrak{B} \neq \emptyset$  und  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) + 1 = \min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))$  und  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{A})) = \max(\text{Dom}(\mathfrak{B})) + 1$  und  $\mathfrak{A}$  ist ein SE- oder NE- oder EA-artiger Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ .

Dann gibt es ein  $i \in \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{H})) \cap \text{Dom}(\mathfrak{B})$ . Nun ist  $G$  eine ANS-umfassende Abschnittsfolge für  $\mathfrak{B}$ . Also gilt mit Definition 2-11 für alle  $r \in \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{H})) \cap \text{Dom}(\mathfrak{B})$ : es gibt ein  $s \in \text{Dom}(G)$ , so dass  $r \in \text{Dom}(G(s))$ . Also gibt es ein entsprechendes  $s$  für  $i$ . Dann ist nach Annahme  $\{\mathfrak{H}\} \times \text{RAN}(G) \subseteq X$  und somit  $(\mathfrak{H}, G(s)) \in X$  und damit gibt es einen minimalen SE- oder NE- oder PB-geschlossenen Abschnitt  $\mathfrak{C}$  in  $\mathfrak{H}$ , so dass  $\mathfrak{C} \subseteq G(s)$ . Nun gilt mit Theorem 2-24  $G(s) \subseteq \mathfrak{B}$  und somit  $\mathfrak{C} \subseteq \mathfrak{B}$  und damit wegen  $\mathfrak{B} \subseteq \mathfrak{A}$  insgesamt  $\mathfrak{C} \subseteq \mathfrak{A}$ . Somit ist  $(\mathfrak{H}, \mathfrak{A}) \in X$ .  $\square$

**Theorem 2-45.** *Verhältnis von Folgerungs- und Annahmesätzen in geschlossenen Abschnitten*

Wenn  $(\mathfrak{H}, \mathfrak{A}) \in \text{GS}$ , dann  $|\text{ANS}(\mathfrak{H}) \cap \mathfrak{A}| \leq |\text{FS}(\mathfrak{H}) \cap \mathfrak{A}|$ .

*Beweis:* Sei  $X = \{(\mathfrak{H}, \mathfrak{A}) \mid \mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\} \text{ und wenn } \mathfrak{A} \text{ ein SE- oder NE- oder EA-artiger Abschnitt in } \mathfrak{H} \text{ ist, dann } |\text{ANS}(\mathfrak{H}) \cap \mathfrak{A}| \leq |\text{FS}(\mathfrak{H}) \cap \mathfrak{A}|\} \cap \text{GS}$ . Um das Theorem zu beweisen,

sen, reicht es zu zeigen, dass  $X \in \text{GSR}$ , dann folgt die Behauptung mit Theorem 2-39-(ii) und Theorem 2-42.

Zunächst ist  $X \subseteq \text{GS} \subseteq (\text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}) \times \{\mathfrak{A} \mid \mathfrak{A} \text{ ist Abschnitt}\}$ . Sodann gilt mit Theorem 2-32:  $\{(\mathfrak{H}, \mathfrak{A}) \mid \mathfrak{A} \text{ ist ein minimaler SE- oder NE- oder PB-geschlossener Abschnitt in } \mathfrak{H}\} \subseteq X$ .

Nun ist zu zeigen, dass für alle  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$  und  $G \in \text{ANSUMF}(\mathfrak{H})$  mit  $\{\mathfrak{H}\} \times \text{RAN}(G) \subseteq X$  gilt:  $\{\mathfrak{H}\} \times \text{ERZ}(\langle \mathfrak{H}, G \rangle) \subseteq X$ . Sei dazu zunächst  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$  und  $G \in \text{ANSUMF}(\mathfrak{H})$  und  $\{\mathfrak{H}\} \times \text{RAN}(G) \subseteq X$ . Dann ist zunächst  $\{\mathfrak{H}\} \times \text{Ran}(G) \subseteq \text{GS}$ . Sei nun  $(\mathfrak{H}, \mathfrak{A}) \in \{\mathfrak{H}\} \times \text{ERZ}(\langle \mathfrak{H}, G \rangle)$ . Dann ist zunächst  $(\mathfrak{H}, \mathfrak{A}) \in \text{GS}$ . Wegen  $\mathfrak{A} \in \text{ERZ}(\langle \mathfrak{H}, G \rangle)$  gibt es sodann mit Theorem 2-34 ein  $\mathfrak{B} \in \text{ABS}(\mathfrak{H})$ , so dass  $G$  eine ANS-umfassende Abschnittsfolge für  $\mathfrak{B}$  in  $\mathfrak{H}$  ist und  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) + 1 = \min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))$  und  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{A})) = \max(\text{Dom}(\mathfrak{B})) + 1$  und  $\mathfrak{A}$  ein SE- oder NE- oder EA-artiger Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist. Dann ist mit Theorem 2-28  $|\text{ANS}(\mathfrak{H}) \cap \mathfrak{A}| \leq 1 + |\text{ANS}(\mathfrak{H}) \cap \mathfrak{B}|$  und  $1 + |\text{FS}(\mathfrak{H}) \cap \mathfrak{B}| \leq |\text{FS}(\mathfrak{H}) \cap \mathfrak{A}|$ . Nun gilt mit Definition 2-11-(iii-c) für alle  $l \in \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{H})) \cap \text{Dom}(\mathfrak{B})$ : es gibt ein  $i \in \text{Dom}(G)$ , so dass  $l \in \text{Dom}(G(i))$  und andererseits gilt mit Theorem 2-24 für alle  $i \in \text{Dom}(G)$ :  $G(i) \subseteq \mathfrak{B}$ . Damit ist  $\cup\{\text{ANS}(\mathfrak{H}) \cap G(i) \mid i \in \text{Dom}(G)\} = \text{ANS}(\mathfrak{H}) \cap \mathfrak{B}$ . Sodann ist  $\cup\{\text{FS}(\mathfrak{H}) \cap G(i) \mid i \in \text{Dom}(G)\} \subseteq \text{FS}(\mathfrak{H}) \cap \mathfrak{B}$ .

Sodann gilt wegen  $\{\mathfrak{H}\} \times \text{RAN}(G) \subseteq X$  für alle  $i \in \text{Dom}(G)$ :  $(\mathfrak{H}, G(i)) \in X$  und mithin  $|\text{ANS}(\mathfrak{H}) \cap G(i)| \leq |\text{FS}(\mathfrak{H}) \cap G(i)|$ . Nun gilt mit Theorem 2-21-(i) und Theorem 2-26 für alle  $i, j \in \text{Dom}(G)$ : wenn  $i \neq j$ , dann  $G(i) \cap G(j) = \emptyset$ . Damit gilt für alle  $i, j \in \text{Dom}(G)$ : wenn  $i \neq j$ , dann  $(\text{ANS}(\mathfrak{H}) \cap G(i)) \cap (\text{ANS}(\mathfrak{H}) \cap G(j)) = \emptyset$  und  $(\text{FS}(\mathfrak{H}) \cap G(i)) \cap (\text{FS}(\mathfrak{H}) \cap G(j)) = \emptyset$ .

Somit gilt

$$|\cup\{\text{ANS}(\mathfrak{H}) \cap G(i) \mid i \in \text{Dom}(G)\}| = \sum_{j=0}^{\text{Dom}(G)-1} |\text{ANS}(\mathfrak{H}) \cap G(j)|$$

und

$$|\cup\{\text{FS}(\mathfrak{H}) \cap G(i) \mid i \in \text{Dom}(G)\}| = \sum_{j=0}^{\text{Dom}(G)-1} |\text{FS}(\mathfrak{H}) \cap G(j)|.$$

Sodann gilt wegen  $|\text{ANS}(\mathfrak{H}) \cap G(i)| \leq |\text{FS}(\mathfrak{H}) \cap G(i)|$  für alle  $i \in \text{Dom}(G)$  auch:

$$\sum_{j=0}^{\text{Dom}(G)-1} |\text{ANS}(\mathfrak{H}) \cap G(j)| \leq \sum_{j=0}^{\text{Dom}(G)-1} |\text{FS}(\mathfrak{H}) \cap G(j)|.$$

Damit gilt insgesamt:

$$\begin{aligned} |\text{ANS}(\mathfrak{H}) \cap \mathfrak{A}| &\leq 1 + |\text{ANS}(\mathfrak{H}) \cap \mathfrak{B}| = 1 + \sum_{j=0}^{\text{Dom}(G)-1} |\text{ANS}(\mathfrak{H}) \cap G(j)| \leq \\ 1 + \sum_{j=0}^{\text{Dom}(G)-1} |\text{FS}(\mathfrak{H}) \cap G(j)| &\leq 1 + |\text{FS}(\mathfrak{H}) \cap \mathfrak{B}| \leq |\text{FS}(\mathfrak{H}) \cap \mathfrak{A}|. \end{aligned}$$

Also ist  $(\mathfrak{H}, \mathfrak{A}) \in X$ .  $\square$

**Theorem 2-46.** *Jeder Annahmesatz in einem geschlossenen Abschnitt  $\mathfrak{A}$  liegt an dessen Anfang oder am Anfang eines echten geschlossenen Teilabschnitts von  $\mathfrak{A}$*

Wenn  $(\mathfrak{H}, \mathfrak{A}) \in \text{GS}$ , dann gilt für alle  $i \in \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{H})) \cap \text{Dom}(\mathfrak{A})$ :

(i)  $i = \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$

oder

(ii) es gibt ein  $\mathfrak{B}$  mit  $(\mathfrak{H}, \mathfrak{B}) \in \text{GS}$ , so dass

a)  $i = \min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))$  und

b)  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) < \min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) < \max(\text{Dom}(\mathfrak{B})) < \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ .

*Beweis:* Sei  $X = \{(\mathfrak{H}, \mathfrak{A}) \mid \text{Für alle } i \in \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{H})) \cap \text{Dom}(\mathfrak{A}): i = \min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) \text{ oder es gibt ein } \mathfrak{B} \text{ mit } (\mathfrak{H}, \mathfrak{B}) \in \text{GS}, \text{ so dass } i = \min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) \text{ und } \min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) < \min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) < \max(\text{Dom}(\mathfrak{B})) < \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))\} \cap \text{GS}$ . Um das Theorem zu beweisen, reicht es zu zeigen, dass  $X \in \text{GSR}$ , dann folgt die Behauptung mit Theorem 2-39-(ii).

Zunächst ist  $X \subseteq \text{GS} \subseteq (\text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}) \times \{\mathfrak{A} \mid \mathfrak{A} \text{ ist Abschnitt}\}$  und mit Definition 2-16-(i), Definition 2-17-(i), Definition 2-18-(i) und Theorem 2-41 gilt:  $\{(\mathfrak{H}, \mathfrak{A}) \mid \mathfrak{A} \text{ ist ein minimaler SE- oder NE- oder PB-geschlossener Abschnitt in } \mathfrak{H}\} \subseteq X$ .

Nun ist zu zeigen, dass für alle  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$  und  $G \in \text{ANSUMF}(\mathfrak{H})$  mit  $\{\mathfrak{H}\} \times \text{RAN}(G) \subseteq X$  gilt:  $\{\mathfrak{H}\} \times \text{ERZ}(\langle \mathfrak{H}, G \rangle) \subseteq X$ . Sei dazu zunächst  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$  und  $G \in \text{ANSUMF}(\mathfrak{H})$  und  $\{\mathfrak{H}\} \times \text{RAN}(G) \subseteq X$ . Dann ist zunächst  $\{\mathfrak{H}\} \times \text{Ran}(G) \subseteq \text{GS}$ . Sei nun  $(\mathfrak{H}, \mathfrak{A}) \in \{\mathfrak{H}\} \times \text{ERZ}(\langle \mathfrak{H}, G \rangle)$ . Dann ist zunächst  $(\mathfrak{H}, \mathfrak{A}) \in \text{GS}$ . Mit  $\mathfrak{A} \in \text{ERZ}(\langle \mathfrak{H}, G \rangle)$  gibt es sodann ein  $\mathfrak{B} \in \text{ABS}(\mathfrak{H})$ , so dass  $G$  eine ANS-umfassende Abschnittsfolge für  $\mathfrak{B}$  in  $\mathfrak{H}$  ist,  $\text{ANS}(\mathfrak{H}) \cap \mathfrak{B} \neq \emptyset$  und  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) + 1 = \min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))$  und  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{A})) = \max(\text{Dom}(\mathfrak{B})) + 1$  und  $\mathfrak{A}$  ist ein SE- oder NE- oder EA-artiger Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ .

Sei nun  $i \in \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{H})) \cap \text{Dom}(\mathfrak{A})$  und  $i \neq \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ . Dann ergibt sich mit Theorem 2-29:  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) < i < \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ . Dann ist  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) \leq i \leq \max(\text{Dom}(\mathfrak{B}))$ . Dann ist  $i \in \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{H})) \cap \text{Dom}(\mathfrak{B})$ . Nun ist  $G$  eine ANS-umfassende Abschnittsfolge für  $\mathfrak{B}$ . Also gilt mit Definition 2-11 für alle  $r \in \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{H})) \cap \text{Dom}(\mathfrak{B})$ : es gibt ein  $s \in \text{Dom}(G)$ , so dass  $r \in \text{Dom}(G(s))$ . Also gibt es ein entsprechendes  $s$  für  $i$ . Dann ist  $i \in \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{H})) \cap \text{Dom}(G(s))$  und nach Theorem 2-24 ist  $G(s) \subseteq \mathfrak{B} \subseteq \mathfrak{A}$ . Sodann ist nach Annahme  $\{\mathfrak{H}\} \times \text{Ran}(G) \subseteq X$  und somit  $(\mathfrak{H}, G(s)) \in X$ . Also gilt für alle  $r \in \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{H})) \cap \text{Dom}(G(s))$ :  $r = \min(\text{Dom}(G(s)))$  oder es gibt ein  $\mathfrak{C}$  mit  $(\mathfrak{H}, \mathfrak{C}) \in \text{GS}$ , so dass  $r = \min(\text{Dom}(\mathfrak{C}))$  und  $\min(\text{Dom}(G(s))) < \min(\text{Dom}(\mathfrak{C})) < \max(\text{Dom}(\mathfrak{C})) < \max(\text{Dom}(G(s)))$ . Also ist  $i = \min(\text{Dom}(G(s)))$  oder es gibt ein entsprechendes  $\mathfrak{C}$ . Im ersten Fall ist  $G(s)$  selber der gesuchte Abschnitt, denn mit  $(\mathfrak{H}, G(s)) \in X$  gilt auch  $(\mathfrak{H}, G(s)) \in \text{GS}$ . Sodann gilt dann nach Annahme  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) < i = \min(\text{Dom}(G(s)))$  und  $\max(\text{Dom}(G(s))) \leq \max(\text{Dom}(\mathfrak{B})) < \max(\text{Dom}(\mathfrak{B})) + 1 = \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ . Mit Theorem 2-43 gilt zudem  $\min(\text{Dom}(G(s))) < \max(\text{Dom}(G(s)))$ . Sei für den zweiten Fall  $\mathfrak{C}$  wie gefordert. Dann ist  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) < i = \min(\text{Dom}(\mathfrak{C})) < \max(\text{Dom}(\mathfrak{C})) < \max(\text{Dom}(G(s))) \leq \max(\text{Dom}(\mathfrak{B})) < \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$  und somit  $\mathfrak{C}$  der gesuchte Abschnitt.

Also gilt für alle  $i \in \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{H})) \cap \text{Dom}(\mathfrak{A})$ :  $i = \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$  oder es gibt ein  $\mathfrak{B}$  mit  $(\mathfrak{H}, \mathfrak{B}) \in \text{GS}$ , so dass  $i = \min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))$  und  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) < \min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) < \max(\text{Dom}(\mathfrak{B})) < \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ . Somit ist  $(\mathfrak{H}, \mathfrak{A}) \in X$ .  $\square$

**Theorem 2-47.** *Jeder geschlossene Abschnitt ist ein minimaler SE- oder NE- oder PB-geschlossener Abschnitt oder ein SE- oder NE- oder EA-artiger Abschnitt, dessen Annahmesätze am Anfang oder in echten geschlossenen Teilabschnitten liegen*

Wenn  $(\mathfrak{H}, \mathfrak{A}) \in \text{GS}$ , dann:

- (i)  $\mathfrak{A}$  ist ein minimaler SE- oder NE- oder PB-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$
- oder
- (ii)  $\mathfrak{A}$  ist ein SE- oder NE- oder EA-artiger Abschnitt  $\mathfrak{H}$ , wobei für alle  $i \in \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{H})) \cap \text{Dom}(\mathfrak{A})$  mit  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) < i$  gilt: Es gibt ein  $\mathfrak{B}$ , so dass
    - a)  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \mathfrak{B}$ ,
    - b)  $(\mathfrak{H}, \mathfrak{B}) \in \text{GS}$ ,
    - c)  $i = \min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))$  und
    - d)  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) < \min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) < \max(\text{Dom}(\mathfrak{B})) < \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ .

*Beweis:* Sei  $(\mathfrak{H}, \mathfrak{A}) \in \text{GS}$ . Sei nun  $\mathfrak{A}$  kein minimaler SE- oder NE- oder PB-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ . Dann gilt mit Theorem 2-42, dass  $\mathfrak{A}$  ein SE- oder NE- oder EA-artiger Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist und mit Theorem 2-46, dass es für alle  $i \in \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{H})) \cap \text{Dom}(\mathfrak{A})$  mit  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) < i$  ein entsprechendes  $\mathfrak{B}$  gibt.  $\square$

**Theorem 2-48.** *Geschlossene Abschnitte sind ›non-redundant‹, d.h. echte Anfangsabschnitte von geschlossenen Abschnitten sind keine geschlossenen Abschnitte*

Wenn  $(\mathfrak{H}, \mathfrak{A}) \in \text{GS}$ , dann gilt für alle  $i \in \text{Dom}(\mathfrak{A})$ :  $(\mathfrak{H}, \mathfrak{A} \upharpoonright i) \notin \text{GS}$ .

*Beweis:* Sei  $X = \{(\mathfrak{H}, \mathfrak{A}) \mid (\mathfrak{H}, \mathfrak{A}) \in \text{GS} \text{ und für alle } i \in \text{Dom}(\mathfrak{A}) \text{ gilt: } (\mathfrak{H}, \mathfrak{A} \upharpoonright i) \notin \text{GS}\}$ .

Um das Theorem zu beweisen, reicht es zu zeigen, dass  $X \in \text{GSR}$ , dann folgt die Behauptung mit Theorem 2-39-(ii).

Zunächst ist  $X \subseteq \text{GS} \subseteq (\text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}) \times \{\mathfrak{A} \mid \mathfrak{A} \text{ ist Abschnitt}\}$  und mit Definition 2-16-(ii), Definition 2-17-(ii), Definition 2-18-(ii), Theorem 2-41 und Theorem 2-42 gilt:  $\{(\mathfrak{H}, \mathfrak{A}) \mid \mathfrak{A} \text{ ist ein minimaler SE- oder NE- oder PB-geschlossener Abschnitt in } \mathfrak{H}\} \subseteq X$ .

Nun ist zu zeigen, dass für alle  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$  und  $G \in \text{ANSUMF}(\mathfrak{H})$  mit  $\{\mathfrak{H}\} \times \text{RAN}(G) \subseteq X$  gilt:  $\{\mathfrak{H}\} \times \text{ERZ}(\langle \mathfrak{H}, G \rangle) \subseteq X$ . Sei dazu zunächst  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$  und  $G \in \text{ANSUMF}(\mathfrak{H})$  und  $\{\mathfrak{H}\} \times \text{RAN}(G) \subseteq X$ . Dann ist zunächst  $\{\mathfrak{H}\} \times \text{Ran}(G) \subseteq \text{GS}$ . Sei nun  $(\mathfrak{H}, \mathfrak{A}) \in \{\mathfrak{H}\} \times \text{ERZ}(\langle \mathfrak{H}, G \rangle)$ . Dann ist  $\mathfrak{A} \in \text{ERZ}(\langle \mathfrak{H}, G \rangle)$  und damit  $(\mathfrak{H}, \mathfrak{A}) \in \text{GS}$ . Sodann gibt es dann ein  $\mathfrak{B} \in \text{ABS}(\mathfrak{H})$ , so dass  $G$  eine ANS-umfassende Abschnittsfolge für  $\mathfrak{B}$  in  $\mathfrak{H}$  ist und  $\text{ANS}(\mathfrak{H}) \cap \mathfrak{B} \neq \emptyset$  und  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) + 1 = \min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))$  und

$\max(\text{Dom}(\mathfrak{A})) = \max(\text{Dom}(\mathfrak{B})) + 1$  und  $\mathfrak{A}$  ist ein SE- oder NE- oder EA-artiger Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ . Wäre es nun der Fall, dass  $(\mathfrak{H}, \mathfrak{A} \uparrow i) \in \text{GS}$  für ein  $i \in \text{Dom}(\mathfrak{A})$ . Dann ist  $\mathfrak{A} \uparrow i$  ein Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ . Dann gilt zunächst mit Theorem 2-6  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A} \uparrow i)) = \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$  und damit mit Theorem 2-23 insbesondere dass für alle  $j \in \text{Dom}(G)$  gilt:  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A} \uparrow i)) < \min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) \leq \min(\text{Dom}(G(j)))$ .

Sodann ist mit Theorem 2-34  $\mathfrak{A} \uparrow i$  kein minimaler SE-, NE- oder PB-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ . Dann gilt mit Theorem 2-41, dass es ein  $G^* \in \text{ANSUMF}(\mathfrak{H})$  mit  $\{\mathfrak{H}\} \times \text{Ran}(G^*) \subseteq \text{GS}$  und  $\mathfrak{A} \uparrow i \in \text{ERZ}(\langle \mathfrak{H}, G^* \rangle)$  gibt. Dann gilt mit Theorem 2-34, dass es ein  $\mathfrak{B}' \in \text{ABS}(\mathfrak{H})$  gibt, so dass  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) + 1 = \min(\text{Dom}(\mathfrak{A} \uparrow i)) + 1 = \min(\text{Dom}(\mathfrak{B}'))$  und  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{A} \uparrow i)) = i - 1 = \max(\text{Dom}(\mathfrak{B}')) + 1$ .

Dann gilt mit Theorem 2-34, dass es ein  $l \in \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{H})) \cap \text{Dom}(\mathfrak{A} \uparrow i)$  gibt, so dass  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A} \uparrow i)) = \min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) < l$ . Sei nun  $l_0 = \max(\{l \mid l \in \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{H})) \cap \text{Dom}(\mathfrak{A} \uparrow i) \text{ und } \min(\text{Dom}(\mathfrak{A} \uparrow i)) < l\})$ . Dann ergibt sich  $i \leq \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$  und  $\text{Dom}(\mathfrak{A} \uparrow i) \subseteq \text{Dom}(\mathfrak{A})$ , dass  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) = \min(\text{Dom}(\mathfrak{A} \uparrow i)) < l_0 < \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ . Dann ist  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) \leq l_0 \leq \max(\text{Dom}(\mathfrak{B}))$ . Dann ist  $l_0 \in \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{H})) \cap \text{Dom}(\mathfrak{B})$ . Nun ist  $G$  eine ANS-umfassende Abschnittsfolge für  $\mathfrak{B}$ . Also gilt mit Definition 2-11, dass es ein  $s \in \text{Dom}(G)$  gibt, so dass  $l_0 \in \text{Dom}(G(s))$ . Dann ist  $l_0 \in \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{H})) \cap \text{Dom}(G(s))$  und somit wegen  $\{\mathfrak{H}\} \times \text{Ran}(G) \subseteq X \subseteq \text{GS}$  mit Theorem 2-46  $\min(\text{Dom}(G(s))) \leq l_0 < \max(\text{Dom}(G(s)))$ . Sodann ist  $(\mathfrak{H}, \mathfrak{A} \uparrow i) \in \text{GS}$  und damit mit Theorem 2-46  $l_0 < i - 1$ . Damit gilt dann insgesamt, dass  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A} \uparrow i)) < \min(\text{Dom}(G(s))) < i - 1$ .

Sei nun  $k \leq s$ . Weil  $G$  eine ANS-umfassende Abschnittsfolge für  $\mathfrak{B}$  in  $\mathfrak{H}$  ist, gilt dann mit Definition 2-11 und Definition 2-9, dass  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A} \uparrow i)) < \min(\text{Dom}(G(k))) \leq \min(\text{Dom}(G(s))) < i - 1$  und damit  $\min(\text{Dom}(G(k))) \in \text{Dom}(\mathfrak{B}')$ . Da  $\{\mathfrak{H}\} \times \text{Ran}(G) \subseteq X \subseteq \text{GS}$  gilt mit Theorem 2-42 dann  $\min(\text{Dom}(G(k))) \in \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{H})) \cap \text{Dom}(\mathfrak{B}')$ . Da  $G^*$  eine ANS-umfassende Abschnittsfolge für  $\mathfrak{B}'$  in  $\mathfrak{H}$  ist, gibt es dann ein  $r \in \text{Dom}(G^*)$ , so dass  $\min(\text{Dom}(G(k))) \in \text{Dom}(G^*(r))$ . Dann ist  $\min(\text{Dom}(G(k))) \in \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{H})) \cap \text{Dom}(G^*(r))$ . Angenommen  $\min(\text{Dom}(G^*(r))) = \min(\text{Dom}(G(k)))$ . Dann gilt mit  $\{\mathfrak{H}\} \times \text{Ran}(G) \subseteq X$  und  $\{\mathfrak{H}\} \times \text{Ran}(G^*) \subseteq \text{GS}$ , dass  $\max(\text{Dom}(G(k))) \leq \max(\text{Dom}(G^*(r)))$ . Angenommen  $\min(\text{Dom}(G^*(r))) \neq \min(\text{Dom}(G(k)))$ . Dann gilt mit  $\{\mathfrak{H}\} \times \text{Ran}(G^*) \subseteq \text{GS}$  und Theorem 2-46, dass es ein  $\mathfrak{C}$  gibt, so dass  $(\mathfrak{H}, \mathfrak{C}) \in \text{GS}$  und  $\min(\text{Dom}(G(k))) =$

$\min(\text{Dom}(\mathfrak{C}))$  und  $\min(\text{Dom}(G^*(r))) < \min(\text{Dom}(\mathfrak{C})) < \max(\text{Dom}(\mathfrak{C})) < \max(\text{Dom}(G^*(r)))$ . Dann gilt mit  $\{\mathfrak{H}\} \times \text{Ran}(G) \subseteq X$ , dass  $\max(\text{Dom}(G(k))) \leq \max(\text{Dom}(\mathfrak{C}))$ . Damit gilt mit Theorem 2-5-(i) in beiden Fällen  $G(k) \subseteq G^*(r)$ . Also gilt für alle  $k \leq s$ , dass es ein  $r \in \text{Dom}(G^*)$  gibt, so dass  $G(k) \subseteq G^*(r)$ .

Da  $G^*$  eine ANS-umfassende Abschnittsfolge für  $\mathfrak{B}'$  ist und  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{B}')) = i-1$  gilt damit insbesondere auch, dass  $\max(\text{Dom}(G(s))) \leq i-1$ . Nun gilt, falls  $\mathfrak{A} \uparrow i$  ein NE-artiger Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist, dass es  $j \in \text{Dom}(\mathfrak{A} \uparrow i)$  gibt, so dass  $A(\mathfrak{H}_j) = \Gamma$  und  $A(\mathfrak{H}_{i-1}) = \ulcorner \neg \Gamma \urcorner$  oder  $A(\mathfrak{H}_j) = \ulcorner \neg \Gamma \urcorner$  und  $A(\mathfrak{H}_{i-1}) = \Gamma$  und für alle  $r \in \text{Dom}(G^*)$  gilt:  $j < \min(\text{Dom}(G^*(r)))$  oder  $\max(\text{Dom}(G^*(r))) \leq j$ . Gäbe es nun ein  $k \leq s$ , so dass  $\min(\text{Dom}(G(k))) \leq j < \max(\text{Dom}(G(k)))$ , dann gäbe es aber wie gezeigt auch ein  $r \in \text{Dom}(G^*)$ , so dass  $G(k) \subseteq G^*(r)$  und damit  $\min(\text{Dom}(G^*(r))) \leq j < \max(\text{Dom}(G^*(r)))$ . Also gibt es  $j \in \text{Dom}(\mathfrak{A} \uparrow i)$ , so dass  $A(\mathfrak{H}_j) = \Gamma$  und  $A(\mathfrak{H}_{i-1}) = \ulcorner \neg \Gamma \urcorner$  oder  $A(\mathfrak{H}_j) = \ulcorner \neg \Gamma \urcorner$  und  $A(\mathfrak{H}_{i-1}) = \Gamma$  und für alle  $k \leq s$  gilt:  $j < \min(\text{Dom}(G(k)))$  oder  $\max(\text{Dom}(G(k))) \leq j$ . Sodann gilt für alle  $l \in \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{H})) \cap \text{Dom}(\mathfrak{B}')$ , dass es ein  $k \leq s$  gibt, so dass  $l \in \text{Dom}(G(k))$ . Zunächst ist  $\mathfrak{B}' \subseteq \mathfrak{B}$  und damit gibt es für solche  $l$  ein  $k \in \text{Dom}(G)$ , so dass  $l \in \text{Dom}(G(k))$  und so dann würde bei  $s < k$  mit Definition 2-11 und Definition 2-9 gelten, dass  $l_0 < \max(\text{Dom}(G(s))) < \min(\text{Dom}(G(k))) < l$ , während andererseits gelten müsste  $l \leq l_0$ .

Ferner gilt mit Definition 2-11 und Definition 2-9, dass  $G \uparrow (s+1) \in \text{ABSf}(\mathfrak{H})$  und damit gilt insgesamt, dass  $G$  eine ANS-umfassende Abschnittsfolge für  $\mathfrak{B}'$  ist und damit auch  $G \uparrow (s+1) \in \text{ANSUMF}(\mathfrak{H})$  und somit gilt zuletzt, dass  $\mathfrak{A} \uparrow i \in \text{PERZ}(\langle \mathfrak{H}, G \uparrow (s+1) \rangle)$ . Dies widerspricht jedoch Theorem 2-34. Also gibt es kein  $i \in \text{Dom}(\mathfrak{A})$ , so dass  $(\mathfrak{H}, \mathfrak{A} \uparrow i) \in \text{GS}$  und da  $(\mathfrak{H}, \mathfrak{A}) \in \text{GS}$  ist damit insgesamt  $(\mathfrak{H}, \mathfrak{A}) \in X$ .  $\square$

**Theorem 2-49.** *Geschlossene Abschnitte sind durch ihren Anfang eindeutig bestimmt*

Wenn  $\mathfrak{A}, \mathfrak{A}'$  geschlossene Abschnitte in  $\mathfrak{H}$  sind und  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) = \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}'))$ , dann  $\mathfrak{A} = \mathfrak{A}'$ .

*Beweis:* Seien  $\mathfrak{A}, \mathfrak{A}'$  geschlossene Abschnitte in  $\mathfrak{H}$  und  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) = \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}'))$ . Angenommen  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{A})) < \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}'))$ . Dann ist  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}')) = \min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) < \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))+1 \leq \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}'))$ . Da  $\mathfrak{A}'$  ein Abschnitt ist, ist somit  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))+1 \in \text{Dom}(\mathfrak{A}')$  und damit  $\mathfrak{A} \uparrow (\max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))+1) = \mathfrak{A}$  ein geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ , was mit

Theorem 2-48 der Annahme widerspricht, dass  $\mathfrak{A}'$  ein geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist. Ebenso ergibt sich bei  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{A}')) < \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ , dass  $\mathfrak{A}$  kein geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  wäre. Also ist  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{A})) = \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}'))$  und damit  $\mathfrak{A} = \mathfrak{A}'$ .  $\square$

**Theorem 2-50.** *ANS-umfassende Abschnittsfolgen für ein und denselben Abschnitt, deren Werte ausschließlich geschlossene Abschnitte sind, sind identisch.*

Wenn  $\mathfrak{A}$  ein Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  und  $G, G^*$  ANS-umfassende Abschnittsfolgen für  $\mathfrak{A}$  in  $\mathfrak{H}$  sind und  $\{\mathfrak{H}\} \times \text{Ran}(G) \subseteq \text{GS}$  und  $\{\mathfrak{H}\} \times \text{Ran}(G^*) \subseteq \text{GS}$ , dann ist  $G = G^*$ .

*Beweis:* Sei  $\mathfrak{A}$  ein Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  und seien  $G, G^*$  ANS-umfassende Abschnittsfolgen für  $\mathfrak{A}$  in  $\mathfrak{H}$  und  $\{\mathfrak{H}\} \times \text{Ran}(G) \subseteq \text{GS}$  und  $\{\mathfrak{H}\} \times \text{Ran}(G^*) \subseteq \text{GS}$ . Dann gilt zunächst mit Definition 2-11, dass  $G, G^* \in \text{ABSF}(\mathfrak{H})$  und mit Theorem 2-24 gilt für alle  $i \in \text{Dom}(G)$ , dass  $G(i) \subseteq \mathfrak{A}$ , und für alle  $j \in \text{Dom}(G^*)$  gilt, dass  $G^*(j) \subseteq \mathfrak{A}$ . Sodann gilt  $\text{Ran}(G) \subseteq \text{Ran}(G^*)$ . Sei nämlich  $i \in \text{Dom}(G)$ . Dann ist  $(\mathfrak{H}, G(i)) \in \text{GS}$  und damit ist  $\min(\text{Dom}(G(i))) \in \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{H})) \cap \text{Dom}(\mathfrak{A})$ . Damit gibt es dann ein  $j \in \text{Dom}(G^*)$ , so dass  $\min(\text{Dom}(G(i))) \in \text{Dom}(G^*(j))$  und mit  $(\mathfrak{H}, G^*(j)) \in \text{GS}$  und Theorem 2-46 und Theorem 2-48 gilt  $G(i) \subseteq G^*(j)$ . Analog ergibt sich, dass es ein  $i^* \in \text{Dom}(G)$  gibt, so dass  $G^*(j) \subseteq G(i^*)$ . Dann ist  $G(i) \subseteq G(i^*)$  und da mit Theorem 2-40  $G(i) \neq \emptyset$  gilt dann mit Theorem 2-26, dass  $G(i) = G(i^*)$  und damit, dass  $G^*(j) \subseteq G(i)$ , und somit insgesamt, dass  $G^*(j) = G(i)$ . Also ist  $G(i) \in \text{Ran}(G^*)$ . Also ist  $\text{Ran}(G) \subseteq \text{Ran}(G^*)$ . Analog ergibt sich, dass  $\text{Ran}(G^*) \subseteq \text{Ran}(G)$  und damit insgesamt  $\text{Ran}(G) = \text{Ran}(G^*)$ . Damit gilt mit Theorem 2-21-(iii) aber auch, dass  $\text{Dom}(G) = \text{Dom}(G^*)$ .

Nun wird durch Induktion über  $i$  gezeigt, dass für alle  $i \in \text{Dom}(G) = \text{Dom}(G^*)$  gilt, dass  $G(i) = G^*(i)$  und damit auch  $G = G^*$ . Gelte dazu für alle  $l < i$ : Wenn  $l \in \text{Dom}(G)$ , dann  $G(l) = G^*(l)$ . Sei nun  $i \in \text{Dom}(G)$ . Wäre nun  $G(i) \neq G^*(i)$ . Dann wäre mit  $(\mathfrak{H}, G(i)) \in \text{GS}$  und  $(\mathfrak{H}, G^*(i)) \in \text{GS}$  und mit Theorem 2-49  $\min(\text{Dom}(G(i))) \neq \min(\text{Dom}(G^*(i)))$ . Angenommen  $\min(\text{Dom}(G(i))) < \min(\text{Dom}(G^*(i)))$ . Dann gilt mit  $(\mathfrak{H}, G(i)) \in \text{GS}$ , dass  $\min(\text{Dom}(G(i))) \in \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{H})) \cap \text{Dom}(\mathfrak{A})$ . Damit gibt es dann wiederum ein  $j \in \text{Dom}(G^*)$ , so dass  $\min(\text{Dom}(G(i))) \in \text{Dom}(G^*(j))$ . Dann ergibt sich wie oben, dass  $G^*(j) = G(i)$ . Dann ist  $G^*(j) \neq G^*(i)$  und damit  $j \neq i$ . Da  $G, G^* \in \text{ABSF}(\mathfrak{H})$ , gilt dann

mit Definition 2-9 und  $\min(\text{Dom}(G(i))) = \min(\text{Dom}(G^*(j))) < \min(\text{Dom}(G^*(i)))$ , dass  $j < i$ . Nach I.V. gilt dann aber, dass  $G(j) = G^*(j) = G(i)$  und andererseits gilt mit Theorem 2-21-(i) mit  $j < i$ , dass  $G(j) \neq G(i)$ . Widerspruch. Analog ergibt sich mit I.V. ein Widerspruch für  $\min(\text{Dom}(G^*(i))) < \min(\text{Dom}(G(i)))$ . Also gilt  $\min(\text{Dom}(G(i))) = \min(\text{Dom}(G^*(i)))$  und damit mit Theorem 2-49, dass  $G(i) = G^*(i)$ .  $\square$

**Theorem 2-51.** *Liegt der Anfang eines geschlossenen Abschnitts  $\mathfrak{A}'$  in einem geschlossenen Abschnitt  $\mathfrak{A}$ , dann ist  $\mathfrak{A}'$  ein Teilabschnitt von  $\mathfrak{A}$*

Wenn  $\mathfrak{A}, \mathfrak{A}'$  geschlossene Abschnitte in  $\mathfrak{H}$  sind und  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}')) \in \text{Dom}(\mathfrak{A})$ , dann  $\mathfrak{A}' \subseteq \mathfrak{A}$ .

*Beweis:* Seien  $\mathfrak{A}, \mathfrak{A}'$  geschlossene Abschnitte in  $\mathfrak{H}$  und sei  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}')) \in \text{Dom}(\mathfrak{A})$ . Dann ist  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}')) \in \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{H})) \cap \text{Dom}(\mathfrak{A})$ . Dann gibt es mit Theorem 2-46 ein  $\mathfrak{B} \subseteq \mathfrak{A}$ , so dass  $\mathfrak{B}$  ein geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist und  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}')) = \min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))$ . Dann ergibt sich mit Theorem 2-49, dass  $\mathfrak{A}' = \mathfrak{B}$  und also, dass  $\mathfrak{A}' \subseteq \mathfrak{A}$ .  $\square$

**Theorem 2-52.** *Geschlossene Abschnitte sind durch ihre Ende eindeutig bestimmt*

Wenn  $\mathfrak{A}, \mathfrak{A}'$  geschlossene Abschnitte in  $\mathfrak{H}$  sind und  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{A})) = \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}'))$ , dann  $\mathfrak{A} = \mathfrak{A}'$ .

*Beweis:* Seien  $\mathfrak{A}, \mathfrak{A}'$  geschlossene Abschnitte in  $\mathfrak{H}$  und  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{A})) = \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}'))$ . Angenommen  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) < \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}'))$ . Dann ist  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) < \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}')) < \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}')) = \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ . Dann ist  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}')) \in \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{H})) \cap \text{Dom}(\mathfrak{A})$  und damit gibt es mit Theorem 2-47 einen geschlossenen Abschnitt  $\mathfrak{B}$  in  $\mathfrak{H}$ , so dass  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}')) = \min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))$  und  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) < \min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) < \max(\text{Dom}(\mathfrak{B})) < \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ . Dann gilt mit Theorem 2-49:  $\mathfrak{A}' = \mathfrak{B}$ . Dann gilt aber im Widerspruch zur Annahme:  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{A}')) = \max(\text{Dom}(\mathfrak{B})) < \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ . Also ist  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}')) \leq \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ . Umgekehrt ergibt sich für  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}')) < \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ , wiederum im Widerspruch zur Annahme, dass  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{A})) < \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}'))$ . Somit ist insgesamt  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}')) \leq \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$  und  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) \leq \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}'))$  und damit  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) = \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}'))$ . Daraus folgt mit Theorem 2-49  $\mathfrak{A} = \mathfrak{A}'$ .  $\square$

**Theorem 2-53.** *Echte Teilabschnittscharft zwischen geschlossenen Abschnitten*

Wenn  $\mathfrak{A}, \mathfrak{A}'$  geschlossene Abschnitte in  $\mathfrak{H}$  sind, dann:

$$\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}')) \in \text{Dom}(\mathfrak{A}) \setminus \{\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))\}$$

gdw

$$\mathfrak{A}' \subset \mathfrak{A}.$$

*Beweis:* Seien  $\mathfrak{A}, \mathfrak{A}'$  geschlossene Abschnitte in  $\mathfrak{H}$ . (*L-R*): Sei nun  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}')) \in \text{Dom}(\mathfrak{A}) \setminus \{\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))\}$ . Dann ist  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}')) \neq \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$  und also  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) < \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}'))$ . Sodann ergibt sich mit Theorem 2-42 daraus, dass  $(\mathfrak{H}, \mathfrak{A}') \in \text{GS}$ , dass  $(\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}')), \mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}'))}) \in \text{ANS}(\mathfrak{H}) \cap \mathfrak{A}$ . Damit ergibt sich mit Theorem 2-47: Es gibt ein  $\mathfrak{B}$ , so dass  $\mathfrak{B}$  ein geschlossener-Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist,  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}')) = \min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))$  und  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) < \min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) < \max(\text{Dom}(\mathfrak{B})) < \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ . Dann ist  $\mathfrak{B} \subset \mathfrak{A}$  und mit Theorem 2-49 gilt:  $\mathfrak{A}' = \mathfrak{B}$ .

(*R-L*): Sei nun  $\mathfrak{A}' \subset \mathfrak{A}$ . Dann ist  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}')) \in \text{Dom}(\mathfrak{A})$ . Sodann ist  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}')) \neq \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ , denn sonst würde mit Theorem 2-49  $\mathfrak{A}' = \mathfrak{A}$  gelten. Also ist  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}')) \in \text{Dom}(\mathfrak{A}) \setminus \{\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))\}$ .  $\square$

**Theorem 2-54.** *Echte und unechte Teilabschnittscharft zwischen geschlossenen Abschnitten*

Wenn  $\mathfrak{A}, \mathfrak{A}'$  geschlossene Abschnitte in  $\mathfrak{H}$  sind und  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}')) \in \text{Dom}(\mathfrak{A})$ , dann  $\mathfrak{A}' \subset \mathfrak{A}$  oder  $\mathfrak{A}' = \mathfrak{A}$ .

*Beweis:* Seien  $\mathfrak{A}, \mathfrak{A}'$  geschlossene Abschnitte in  $\mathfrak{H}$  und sei  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}')) \in \text{Dom}(\mathfrak{A})$ . Angenommen  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}')) \in \text{Dom}(\mathfrak{A}) \setminus \{\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))\}$ . Dann ist mit Theorem 2-53  $\mathfrak{A}' \subset \mathfrak{A}$ . Angenommen  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) = \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}'))$ . Dann ist mit Theorem 2-49:  $\mathfrak{A}' = \mathfrak{A}$ .  $\square$

**Theorem 2-55.** *Inklusionsverhältnisse zwischen nicht-disjunkten geschlossenen Abschnitten*

Wenn  $\mathfrak{A}, \mathfrak{A}'$  geschlossene Abschnitte in  $\mathfrak{H}$  sind und  $\mathfrak{A} \cap \mathfrak{A}' \neq \emptyset$ , dann:

- (i)  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) < \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}'))$  gdw  $\mathfrak{A}' \subset \mathfrak{A}$ ,
- (ii)  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) = \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}'))$  gdw  $\mathfrak{A}' = \mathfrak{A}$ ,
- (iii)  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) < \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}'))$  gdw  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{A}')) < \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ ,
- (iv)  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) = \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}'))$  gdw  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{A})) = \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}'))$ .

*Beweis:* Seien  $\mathfrak{A}$  und  $\mathfrak{A}'$  geschlossene Abschnitte in  $\mathfrak{H}$  und  $\mathfrak{A} \cap \mathfrak{A}' \neq \emptyset$ .

*Zu (i):* (*L-R*): Sei  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) < \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}'))$ . Da  $\mathfrak{A}$  und  $\mathfrak{A}'$  Abschnitte sind und  $\mathfrak{A} \cap \mathfrak{A}' \neq \emptyset$ , gilt mit Theorem 2-8:  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) \in \text{Dom}(\mathfrak{A}')$  oder  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}')) \in \text{Dom}(\mathfrak{A})$ . Dann gilt mit der Voraussetzung  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}')) \in \text{Dom}(\mathfrak{A}) \setminus \{\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))\}$ . Damit gilt

mit Theorem 2-53:  $\mathfrak{A}' \subset \mathfrak{A}$ . (R-L): Sei umgekehrt  $\mathfrak{A}' \subset \mathfrak{A}$ . Dann gilt mit Theorem 2-53:  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}')) \in \text{Dom}(\mathfrak{A}) \setminus \{\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))\}$  und also:  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) < \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}'))$ .

Zu (ii): Ergibt sich mit Theorem 2-49

Zu (iii): (L-R): Sei  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) < \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}'))$ . Dann gilt mit (i):  $\mathfrak{A}' \subset \mathfrak{A}$ . Dann gilt mit Theorem 2-5-(i):  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{A}')) \leq \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ . Sodann ergibt sich mit  $\mathfrak{A}' \subset \mathfrak{A}$  und Theorem 2-52:  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{A}')) \neq \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$  und somit insgesamt  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{A}')) < \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ . (R-L): Sei  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{A}')) < \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ . Dann gilt mit Theorem 2-5-(i):  $\mathfrak{A} \not\subseteq \mathfrak{A}'$ . Damit gilt mit (i) und (ii): weder  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}')) < \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$  noch  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}')) = \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ . Also ist  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) < \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}'))$ .

Zu (iv): Ergibt sich mit (ii) und Theorem 2-52.  $\square$

**Theorem 2-56.** *Geschlossene Abschnitte sind entweder disjunkt oder einer ist Teilabschnitt des anderen.*

Wenn  $\mathfrak{A}$  und  $\mathfrak{A}'$  geschlossene Abschnitte in  $\mathfrak{H}$  sind, dann:  $\mathfrak{A} \cap \mathfrak{A}' = \emptyset$  oder  $\mathfrak{A} \subseteq \mathfrak{A}'$  oder  $\mathfrak{A}' \subseteq \mathfrak{A}$ .

*Beweis:* Seien  $\mathfrak{A}$  und  $\mathfrak{A}'$  geschlossene Abschnitte in  $\mathfrak{H}$ . Sei  $\mathfrak{A} \cap \mathfrak{A}' \neq \emptyset$ . Dann ist  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}')) \leq \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$  oder  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) \leq \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}'))$ . Damit ergibt sich mit Theorem 2-55-(i) und -(ii):  $\mathfrak{A} \subseteq \mathfrak{A}'$  oder  $\mathfrak{A}' \subseteq \mathfrak{A}$ .  $\square$

**Theorem 2-57.** *Ein minimaler geschlossener Abschnitt  $\mathfrak{A}'$  ist mit einem geschlossenen Abschnitt  $\mathfrak{A}$  elementfremd oder Teilabschnitt von  $\mathfrak{A}$*

Wenn  $\mathfrak{A}$  und  $\mathfrak{A}'$  geschlossene Abschnitte in  $\mathfrak{H}$  sind und  $\mathfrak{A}'$  ein minimaler SE- oder NE- oder PB-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist, dann:  $\mathfrak{A} \cap \mathfrak{A}' = \emptyset$  oder  $\mathfrak{A}' \subseteq \mathfrak{A}$ .

*Beweis:* Seien  $\mathfrak{A}$  und  $\mathfrak{A}'$  geschlossene Abschnitte in  $\mathfrak{H}$  und sei  $\mathfrak{A}'$  ein minimaler SE- oder NE- oder PB-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ . Sei  $\mathfrak{A} \cap \mathfrak{A}' \neq \emptyset$ . Dann ist  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) \leq \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}'))$ . Wäre nämlich  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}')) < \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$  ergäbe sich mit Theorem 2-55-(i):  $\mathfrak{A} \subset \mathfrak{A}'$ . Dann wäre mit Theorem 2-53  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) \in \text{Dom}(\mathfrak{A}') \setminus \{\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}'))\}$ . Damit wäre einerseits  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) \neq \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}'))$ . Da  $\mathfrak{A}$  nach Annahme ein geschlossener Abschnitt ist, wäre andererseits aber auch  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) \in \text{Dom}(\mathfrak{A}') \cap \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{H}))$  und damit müsste nach Definition 2-16, Definition 2-17 und Definition 2-18  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) = \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}'))$ . Widerspruch. Also  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) \leq \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}'))$ . Mit  $\mathfrak{A} \cap \mathfrak{A}' \neq \emptyset$  und Theorem 2-55-(i) und -(ii) ergibt sich dann, dass  $\mathfrak{A}' \subseteq \mathfrak{A}$ .  $\square$

Das nächste Theorem bringt zum Ausdruck, dass es für jeden Abschnitt  $\mathfrak{A}$  in einer beliebigen Sequenz  $\mathfrak{H}$ , der kein reiner Folgerungsabschnitt ist, immer eine ANS-umfassende Abschnittsfolge  $G$  für  $\mathfrak{A}$  gibt, die die größten geschlossenen und voneinander disjunkten Teilabschnitte von  $\mathfrak{A}$  so aufzählt, dass alle geschlossenen Teilabschnitte von  $\mathfrak{A}$  erfasst werden, falls es für jeden Annahmesatz in  $\mathfrak{A}$  auch einen geschlossenen Teilabschnitt gibt, in dem der betreffende Annahmesatz liegt.

Theorem 2-58 spielt später eine zentrale Rolle in den Beweisen von Theorem 2-66, Theorem 2-67, Theorem 2-68, welche mittelbar ein Kernstück im Vollständigkeits- und Korrektheitsnachweis darstellen: Mit diesen Theoremen wird später gezeigt, dass SE, NE und PB und nur SE, NE und PB Annahmen eliminieren können; Theorem 2-58 selbst ist dabei entscheidend für den Nachweis, dass SE, NE und PB Annahmen eliminieren können und mithin entscheidend für den Vollständigkeitsnachweis.

**Theorem 2-58.** *ERZ-Material-Bereitstellungs-Theorem*

Wenn  $\mathfrak{A}$  ein Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist,  $\text{ANS}(\mathfrak{H}) \cap \mathfrak{A} \neq \emptyset$  und es für jedes  $i \in \text{Dom}(\mathfrak{A}) \cap \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{H}))$  einen geschlossenen Abschnitt  $\mathfrak{B}$  in  $\mathfrak{H}$  gibt, so dass  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \mathfrak{B}$  und  $\mathfrak{B} \subseteq \mathfrak{A}$ , dann

gibt es ein  $G \in \text{ANSUMF}(\mathfrak{H})$ , so dass

- (i)  $G$  eine ANS-umfassende Abschnittsfolge für  $\mathfrak{A}$  in  $\mathfrak{H}$  ist,
- (ii)  $\text{URan}(G) = \cup\{\mathfrak{B} \mid \mathfrak{B} \subseteq \mathfrak{A} \text{ ist ein geschlossener Abschnitt in } \mathfrak{H}\}$  und
- (iii)  $\{\mathfrak{H}\} \times \text{Ran}(G) \subseteq \{\mathfrak{H}\} \times \{\mathfrak{B} \mid \mathfrak{B} \subseteq \mathfrak{A} \text{ ist ein geschlossener Abschnitt in } \mathfrak{H}\} \subseteq \text{GS}$ .

*Beweis:* Sei  $\mathfrak{A}$  ein Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ ,  $\text{ANS}(\mathfrak{H}) \cap \mathfrak{A} \neq \emptyset$  und gebe es für jedes  $i \in \text{Dom}(\mathfrak{A}) \cap \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{H}))$  einen geschlossenen Abschnitt  $\mathfrak{B}$  in  $\mathfrak{H}$ , so dass  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \mathfrak{B}$  und  $\mathfrak{B} \subseteq \mathfrak{A}$ . Dann ergibt sich mit Theorem 2-1 zunächst, dass  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$ .

*Beweisplan:* Im ersten Teil des Beweises wird eine Folge  $G_2$  konstruiert, die einige der gewünschten Eigenschaften hat. Das geschieht auf der Basis einer Folge  $g$ , die die Zeilennummern der Annahmesätze in  $\mathfrak{A}$  aufzählt. Sodann kann die Folge  $G_1$  konstruiert werden, die zunächst alle geschlossenen Abschnitte in  $\mathfrak{A}$  aufzählt. Für die Definition von  $G_2$  müssen dann die Abschnitte entfernt werden, die Teil eines anderen größeren Abschnittes sind, der bereits aufgezählt wird. Im zweiten Teil des Beweises werden die Eigenschaften von  $G_2$  bewiesen. Im dritten Teil des Beweises wird die Existenz einer Folge gezeigt, die die im Theorem geforderten Eigenschaften hat.

*Erster Beweisteil:* Mit Theorem 2-9 gibt es eine passende Folge natürlicher Zahlen für  $\text{ANS}(\mathfrak{H}) \cap \mathfrak{A}$ . Dann gilt nach Definition 2-8 für alle  $r \in \text{Dom}(\mathfrak{A}) \cap \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{H}))$ , es gibt ein  $i \in \text{Dom}(g)$ , so dass  $(r, \mathfrak{H}_r) = (g(i), \mathfrak{H}_{g(i)})$ . Sodann gilt nach Voraussetzung für jedes  $i \in \text{Dom}(g)$ , dass  $(g(i), \mathfrak{H}_{g(i)}) \in \mathfrak{B}$  für einen geschlossenen Abschnitt  $\mathfrak{B} \subseteq \mathfrak{A}$  in  $\mathfrak{H}$ . Sodann ist  $g \neq \emptyset$ , weil  $\text{ANS}(\mathfrak{H}) \cap \mathfrak{A} \neq \emptyset$  ist und so zumindest  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}) \cap \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{H}))) \in \text{Ran}(g)$ .

Sei nun  $G_1 = \{(i, \mathfrak{B}) \mid i \in \text{Dom}(g) \text{ und } \mathfrak{B} \subseteq \mathfrak{A} \text{ ist ein geschlossener Abschnitt in } \mathfrak{H} \text{ und } g(i) = \min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))\}$ . Laut Voraussetzung gibt es mit Theorem 2-46 einen solchen Abschnitt  $\mathfrak{B}$  für alle  $i \in \text{Dom}(g)$ . Also ist  $\text{Dom}(g) \subseteq \text{Dom}(G_1)$  und nach Definition von  $G_1$  ist  $\text{Dom}(G_1) \subseteq \text{Dom}(g)$  und somit  $\text{Dom}(G_1) = \text{Dom}(g)$ . Außerdem ist  $G_1$  Funktion. Seien nämlich  $(i, \mathfrak{B}) \in G_1$  und  $(i, \mathfrak{B}') \in G_1$ . Dann sind  $\mathfrak{B}, \mathfrak{B}'$  geschlossene Abschnitte in  $\mathfrak{H}$  und  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) = g(i) = \min(\text{Dom}(\mathfrak{B}'))$ . Damit folgt mit Theorem 2-49  $\mathfrak{B} = \mathfrak{B}'$ . Kurz gesagt ist also  $G_1$  eine Folge mit  $\text{Dom}(G_1) = \text{Dom}(g)$  und  $G_1(i)$  ist identisch mit dem eindeutig bestimmten, geschlossenen Abschnitt  $\mathfrak{B} \subseteq \mathfrak{A}$  in  $\mathfrak{H}$  mit  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) = g(i)$ .

Damit gibt es für alle  $r \in \text{Dom}(\mathfrak{A}) \cap \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{H}))$  ein  $i \in \text{Dom}(g)$ , so dass  $(r, \mathfrak{H}_r) = (g(i), \mathfrak{H}_{g(i)}) = (\min(\text{Dom}(G_1(i))), \mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(G_1(i)))}) \in G_1(i)$ . Sei nämlich  $r \in \text{Dom}(\mathfrak{A}) \cap \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{H}))$ . Dann gibt es ein  $i \in \text{Dom}(g)$ , so dass  $r = g(i)$ . Dann ist  $r = g(i) = \min(\text{Dom}(G_1(i)))$  und damit ergibt sich die Behauptung. Mit der strengen Monotonie von  $g$  gilt sodann: Wenn  $i, j \in \text{Dom}(G_1)$  und  $i < j$ , dann  $\min(\text{Dom}(G_1(i))) < \min(\text{Dom}(G_1(j)))$ .

$G_2$  werde nun rekursiv als eine Folge mit  $\text{Dom}(G_2) = \text{Dom}(G_1) = \text{Dom}(g)$  definiert:  $G_2(0) = G_1(0)$  und  $G_2(i+1) = G_1(i+1)$ , falls  $G_2(i) \cap G_1(i+1) = \emptyset$ , und  $G_2(i+1) = G_2(i)$  sonst. Damit ist  $\text{Ran}(G_2) \subseteq \text{Ran}(G_1)$ .

*Hinweis:*  $G_1$  und  $G_2$  sind nicht notwendig Abschnittsfolgen für  $\mathfrak{H}$ , denn die aufgezählten Abschnitte sind in  $G_1$  nicht unbedingt disjunkt und  $G_2$  ist nicht unbedingt eine Injektion, wie in Definition 2-9 erzwungen wurde. Dieses Manko wird im dritten Beweisabschnitt behoben.

*Zweiter Beweisteil:* Nun gilt für alle  $i \in \text{Dom}(G_2)$ :  $G_2(i) = G_1(j)$  für ein  $j \in \text{Dom}(G_1)$  und damit auch, dass  $G_2(i)$  ein geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist und  $G_2(i) \subseteq \mathfrak{A}$ . Die Behauptung gilt nämlich nach Definition von  $G_2$  für  $i = 0$  und für  $i = l+1$ , falls sie für  $l$  gilt.

Sodann gilt damit für alle  $i \in \text{Dom}(g)$ :  $g(i) \in \text{Dom}(G_2(i))$ . Es ist nämlich  $g(0) = \min(\text{Dom}(G_1(0))) = \min(\text{Dom}(G_2(0)))$ . Gelte die Behauptung nun für  $i$ . Sei  $i+1 \in \text{Dom}(g)$ . Dann ist  $g(i+1) = \min(\text{Dom}(G_1(i+1)))$ . Angenommen  $G_2(i) \cap G_1(i+1) = \emptyset$ . Dann ist  $G_2(i+1) = G_1(i+1)$  und  $g(i+1) = \min(\text{Dom}(G_2(i+1)))$ . Angenommen  $G_2(i) \cap G_1(i+1) \neq \emptyset$ . Dann ist  $G_2(i+1) = G_2(i)$ . Sodann ist nach I.V.  $g(i) \in \text{Dom}(G_2(i))$ . Damit ist  $\min(\text{Dom}(G_2(i))) \leq g(i) < g(i+1) = \min(\text{Dom}(G_1(i+1)))$ . Dann folgt mit Theorem 2-55-(i):  $G_1(i+1) \subset G_2(i) = G_2(i+1)$  und damit  $g(i+1) = \min(\text{Dom}(G_1(i+1))) \in \text{Dom}(G_1(i+1)) \subseteq \text{Dom}(G_2(i+1))$ .

Damit gilt für alle  $r \in \text{Dom}(\mathfrak{A}) \cap \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{H}))$ , es gibt ein  $i \in \text{Dom}(G_2)$ , so dass  $(r, \mathfrak{H}_r) = (g(i), \mathfrak{H}_{g(i)}) \in G_2(i)$ . *Hinweis*: Dieses Zwischenergebnis zielt auf Klausel (i). Erinnerunglich ist  $G_2$  jedoch nicht notwendigerweise eine Abschnittsfolge für  $\mathfrak{H}$ .

Außerdem gilt:  $\text{URan}(G_2) = \cup\{\mathfrak{B} \mid \mathfrak{B} \subseteq \mathfrak{A} \text{ ist ein geschlossener Abschnitt in } \mathfrak{H}\}$ . Zunächst gilt die L-R-Teilmengenschaft:  $\text{URan}(G_2) \subseteq \text{URan}(G_1) \subseteq \cup\{\mathfrak{B} \mid \mathfrak{B} \subseteq \mathfrak{A} \text{ ist ein geschlossener Abschnitt in } \mathfrak{H}\}$ . Sei nun für die R-L-Richtung  $\mathfrak{B} \subseteq \mathfrak{A}$  ein geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  und  $(k, \mathfrak{H}_k) \in \mathfrak{B}$ . Dann ist  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) \in \text{Dom}(\mathfrak{A}) \cap \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{H}))$  und somit gibt es ein  $i \in \text{Dom}(g)$ , so dass  $g(i) = \min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) \in G_2(i)$ . Dann ist  $G_2(i)$  ein geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  und mit Theorem 2-51 folgt:  $\mathfrak{B} \subseteq G_2(i)$  und damit  $(k, \mathfrak{H}_k) \in G_2(i) \subseteq \text{URan}(G_2)$ . Also insgesamt  $\text{URan}(G_2) = \cup\{\mathfrak{B} \mid \mathfrak{B} \subseteq \mathfrak{A} \text{ ist ein geschlossener Abschnitt in } \mathfrak{H}\}$ . *Hinweis*: Dieses Zwischenergebnis zielt auf Klausel (ii). Erinnerunglich ist  $G_2$  jedoch nicht notwendigerweise eine Abschnittsfolge für  $\mathfrak{H}$ .

Ferner gilt für alle  $i, j \in \text{Dom}(G_2)$ : Wenn  $i < j$ , dann ist  $G_2(i) = G_2(j)$  oder  $G_2(i) \cap G_2(j) = \emptyset$ .

*Nebenbeweis*: Für  $j = 0$  gilt die Behauptung trivialerweise. Gelte die Behauptung nun für  $j$  und sei  $i < j+1$ . Dann ist  $i \leq j$ .

*Erster Fall*: Sei zunächst  $i < j$ . Dann ergibt sich wegen der strengen Monotonie von  $g$ , dass  $g(i) < g(j)$ . Sodann ist  $g(i) \in \text{Dom}(G_2(i))$  und  $g(j) \in \text{Dom}(G_2(j))$ . Ferner gilt nach I.V.:  $G_2(i) = G_2(j)$  oder  $G_2(i) \cap G_2(j) = \emptyset$ .

*Erster Unterfall für  $i < j$ :* Sei nun  $G_2(i) = G_2(j)$ . Angenommen  $G_2(j) \cap G_1(j+1) = \emptyset$ . Dann ist  $G_2(j+1) = G_1(j+1)$  und somit wegen  $G_2(i) = G_2(j)$  auch  $G_2(i) \cap G_2(j+1) = \emptyset$ . Angenommen  $G_2(j) \cap G_1(j+1) \neq \emptyset$ . Dann ist  $G_2(j+1) = G_2(j) = G_2(i)$ .

*Zweiter Unterfall für  $i < j$ :* Gelte nun  $G_2(i) \cap G_2(j) = \emptyset$ . Angenommen  $G_2(j) \cap G_1(j+1) = \emptyset$ . Dann ergibt sich aus der Annahme  $G_2(i) \cap G_2(j) = \emptyset$  mit Theorem 2-7:  $\min(\text{Dom}(G_2(i))) < \min(\text{Dom}(G_2(j)))$  und  $\max(\text{Dom}(G_2(i))) < \min(\text{Dom}(G_2(j)))$  oder  $\min(\text{Dom}(G_2(j))) < \min(\text{Dom}(G_2(i)))$  und  $\max(\text{Dom}(G_2(j))) < \min(\text{Dom}(G_2(i)))$ .

Nun gilt mit  $i < j$  auch  $g(i) < g(j)$  und damit wegen  $g(i) \in \text{Dom}(G_2(i))$  und  $g(j) \in \text{Dom}(G_2(j))$ :  $\min(\text{Dom}(G_2(i))) \leq g(i) < g(j) \leq \max(\text{Dom}(G_2(j)))$ . Damit ist der zweite Fall ausgeschlossen und es gilt:  $\min(\text{Dom}(G_2(i))) < \min(\text{Dom}(G_2(j)))$  und  $\max(\text{Dom}(G_2(i))) < \min(\text{Dom}(G_2(j)))$ .

Sodann ergibt sich aus der Unterannahme  $G_2(j) \cap G_1(j+1) = \emptyset$ , dass  $G_2(j+1) = G_1(j+1)$  und also  $G_2(j) \cap G_2(j+1) = \emptyset$ . Dann ergibt sich mit  $g(j) < g(j+1)$ ,  $g(j) \in \text{Dom}(G_2(j))$  und  $g(j+1) \in \text{Dom}(G_2(j+1))$  wiederum:  $\min(\text{Dom}(G_2(j))) < \min(\text{Dom}(G_2(j+1)))$  und  $\max(\text{Dom}(G_2(j))) < \min(\text{Dom}(G_2(j+1)))$ .

Damit ergibt sich dann insgesamt:  $\min(\text{Dom}(G_2(i))) < \min(\text{Dom}(G_2(j+1)))$  und  $\max(\text{Dom}(G_2(i))) < \min(\text{Dom}(G_2(j+1)))$ . Daraus folgt aber mit Theorem 2-7  $G_2(i) \cap G_2(j+1) = \emptyset$ .

Angenommen  $G_2(j) \cap G_1(j+1) \neq \emptyset$ . Dann ist  $G_2(j+1) = G_2(j)$  und damit nach der Annahme, dass  $G_2(i) \cap G_2(j) = \emptyset$ , auch  $G_2(i) \cap G_2(j+1) = \emptyset$ .

*Zweiter Fall:* Sei nun  $i = j$ . Angenommen  $G_2(j) \cap G_2(j+1) = \emptyset$ . Dann folgt sofort  $G_2(i) \cap G_2(j+1) = \emptyset$ . Angenommen  $G_2(j) \cap G_2(j+1) \neq \emptyset$ . Dann ist  $G_2(j+1) = G_2(j) = G_2(i)$ .

Damit gilt für alle  $\mathfrak{B}, \mathfrak{B}' \in \text{Ran}(G_2)$ : Wenn  $\mathfrak{B} \neq \mathfrak{B}'$ , dann  $\mathfrak{B} \cap \mathfrak{B}' = \emptyset$ . Seien nämlich  $\mathfrak{B}, \mathfrak{B}' \in \text{Ran}(G_2)$  und sei  $\mathfrak{B} \neq \mathfrak{B}'$ . Dann gibt es  $i, j \in \text{Dom}(G_2)$ , so dass  $\mathfrak{B} = G_2(i)$  und  $\mathfrak{B}' = G_2(j)$ . Dann ist  $i \neq j$ . Dann ist  $i < j$  oder  $j < i$  und in beiden Fällen ergibt sich mit  $G_2(i) \neq G_2(j)$ , dass  $G_2(i) \cap G_2(j) = \emptyset$ , mithin also, dass  $\mathfrak{B} \cap \mathfrak{B}' = \emptyset$ .

*Hinweis:*  $G_2$  hat nun einige der gewünschten Eigenschaften. Abschließend muss noch gezeigt werden, dass es eine Folge  $G$  gibt, die ebenfalls diese gewünschten Eigenschaften hat, darüber hinaus jedoch auch eine Abschnittsfolge für  $\mathfrak{H}$  ist.

*Dritter Beweisteil:* Da nun  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$  und  $\text{Ran}(G^2) \subseteq \text{ABS}(\mathfrak{H})$  und die Elemente von  $\text{Ran}(G_2)$  disjunkt sind, gibt es mit Theorem 2-16 ein  $G \in \text{ABSF}(\mathfrak{H})$ , so dass  $\text{Ran}(G) = \text{Ran}(G_2)$ . Dann gilt  $\cup \text{Ran}(G) = \cup \text{Ran}(G_2) = \cup \{\mathfrak{B} \mid \mathfrak{B} \subseteq \mathfrak{A} \text{ ist ein geschlossener Abschnitt in } \mathfrak{H}\}$  und somit auch  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) \leq \min(\text{Dom}(G(0)))$  und  $\max(\text{Dom}(G(\max(\text{Dom}(G)))))) \leq \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ . Sodann gilt für alle  $r \in \text{Dom}(\mathfrak{A}) \cap \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{H}))$ , es gibt ein  $i \in \text{Dom}(G_2)$ , so dass  $(r, \mathfrak{H}_r) = (g(i), \mathfrak{H}_{g(i)}) \in G_2(i)$  und  $G_2(i) \in \text{Ran}(G_2) = \text{Ran}(G)$ . Dann gibt es aber auch ein  $j \in \text{Dom}(G)$ , so dass  $(r, \mathfrak{H}_r) \in G(j)$ . Damit ist  $G$  nach Definition 2-11 eine ANS-umfassende Abschnittsfolge für  $\mathfrak{A}$  in  $\mathfrak{H}$  und damit auch  $G \in \text{ANSUMF}(\mathfrak{H})$ . Zuletzt gilt: Wegen  $\text{Ran}(G) = \text{Ran}(G_2) \subseteq \text{Ran}(G_1) \subseteq \{\mathfrak{B} \mid \mathfrak{B} \subseteq \mathfrak{A} \text{ ist ein geschlossener Abschnitt in } \mathfrak{H}\}$  auch  $\{\mathfrak{H}\} \times \text{Ran}(G) \subseteq \{\mathfrak{H}\} \times \{\mathfrak{B} \mid \mathfrak{B} \subseteq \mathfrak{A} \text{ ist ein geschlossener Abschnitt in } \mathfrak{H}\} \subseteq \text{GS}$ .  $\square$

**Theorem 2-59.** *Sind alle Folgenglieder einer ANS-umfassenden Abschnittsfolge für  $\mathfrak{A}$  geschlossene Abschnitte, dann ist jeder geschlossene Teilabschnitt von  $\mathfrak{A}$  Teilabschnitt eines Folgengliedes*

Wenn  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$ ,  $\mathfrak{A} \in \text{ABS}(\mathfrak{H})$  und  $G \in \text{ANSUMF}(\mathfrak{H})$  eine ANS-umfassende Abschnittsfolge für  $\mathfrak{A}$  in  $\mathfrak{H}$  ist und  $\{\mathfrak{H}\} \times \text{Ran}(G) \subseteq \text{GS}$ , dann gilt für alle  $\mathfrak{C}$ : Wenn  $\mathfrak{C} \subseteq \mathfrak{A}$  ein geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist, dann gibt es ein  $i \in \text{Dom}(G)$ , so dass  $\mathfrak{C} \subseteq G(i)$ .

*Beweis:* Sei  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$ ,  $\mathfrak{A} \in \text{ABS}(\mathfrak{H})$  und  $G \in \text{ANSUMF}(\mathfrak{H})$  eine ANS-umfassende Abschnittsfolge für  $\mathfrak{A}$  in  $\mathfrak{H}$  und  $\{\mathfrak{H}\} \times \text{Ran}(G) \subseteq \text{GS}$ . Sei nun  $\mathfrak{C} \subseteq \mathfrak{A}$  ein geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ . Dann ist mit Definition 2-13 bis Definition 2-15 und Theorem 2-42  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{C})) \in \text{ANS}(\mathfrak{H}) \cap \mathfrak{A}$ . Damit gibt es nach Definition 2-11-(iii-c) ein  $i \in \text{Dom}(G)$ , so dass  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{C})) \in \text{Dom}(G(i))$  und nach Voraussetzung ist  $(\mathfrak{H}, G(i)) \in \text{GS}$ . Dann folgt mit Theorem 2-51:  $\mathfrak{C} \subseteq G(i)$ .  $\square$

Nachdem bisher vor allem Theoreme gezeigt wurden, die für alle geschlossenen Abschnitte gelten, liegt das Interesse später auch gerade bei den besonderen Eigenschaften von geschlossenen Abschnitten, insofern diese durch die Anwendung von Subjunktoreinführung (SE-geschlossene), Negatoreinführung (NE-geschlossene) und Partikularquantorbeseitigung (PB-geschlossene) entstehen. Daher werden nun für diese Arten von ge-

geschlossenen Abschnitten eigene Prädikate bereitgestellt, wobei jeder geschlossene Abschnitt einer dieser Arten angehört (Theorem 2-60).

**Definition 2-24.** *SE-geschlossener Abschnitt*

$\mathfrak{A}$  ist ein SE-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$

gdw

$\mathfrak{A}$  ist ein geschlossener Abschnitt und ein SE-artiger Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ .

**Definition 2-25.** *NE-geschlossener Abschnitt*

$\mathfrak{A}$  ist ein NE-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$

gdw

$\mathfrak{A}$  ist ein geschlossener Abschnitt und ein NE-artiger Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ .

**Definition 2-26.** *PB-geschlossener Abschnitt*

$\mathfrak{A}$  ist ein PB-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$

gdw

$\mathfrak{A}$  ist ein geschlossener Abschnitt und ein EA-artiger Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ .

**Theorem 2-60.** *SE-, NE- und PB-geschlossene Abschnitte und nur diese sind geschlossene Abschnitte*

$\mathfrak{A}$  ist ein geschlossener-Abschnitt in  $\mathfrak{H}$

gdw

$\mathfrak{A}$  ist ein SE- oder NE- oder PB-geschlossener-Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ .

*Beweis:* Ergibt sich aus Definition 2-23, Definition 2-24, Definition 2-25, Definition 2-26 und Theorem 2-42.  $\square$

**Theorem 2-61.** *Monotonie der '(F-)geschlossener Abschnitt'-Prädikate*

Wenn  $\mathfrak{H}, \mathfrak{H}' \in \text{SEQ}$  und  $\mathfrak{H} \subseteq \mathfrak{H}'$ , dann:

- (i) Wenn  $\mathfrak{A}$  ein SE-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist, dann ist  $\mathfrak{A}$  ein SE-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}'$ ,
- (ii) Wenn  $\mathfrak{A}$  ein NE-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist, dann ist  $\mathfrak{A}$  ein NE-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}'$ ,
- (iii) Wenn  $\mathfrak{A}$  ein PB-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist, dann ist  $\mathfrak{A}$  ein PB-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}'$
- (iv) Wenn  $\mathfrak{A}$  ein minimaler SE-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist, dann ist  $\mathfrak{A}$  ein minimaler SE-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}'$

- (v) Wenn  $\mathfrak{A}$  ein minimaler NE-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist, dann ist  $\mathfrak{A}$  ein minimaler NE-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}'$ ,
- (vi) Wenn  $\mathfrak{A}$  ein minimaler PB-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist, dann ist  $\mathfrak{A}$  ein minimaler PB-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}'$ ,
- (vii) Wenn  $\mathfrak{A}$  ein geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist, dann ist  $\mathfrak{A}$  ein geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}'$ .

*Beweis:* Siehe Bemerkung 2-1.  $\square$

**Theorem 2-62.** *Geschlossene Abschnitte bleiben in Verkettungen in der Anfangssequenz geschlossen*

Wenn  $\mathfrak{H}', \mathfrak{H} \in \text{SEQ}$ , dann:

- (i) Wenn  $\mathfrak{A}$  ein SE-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist, dann ist  $\mathfrak{A}$  ein SE-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H} \hat{\smile} \mathfrak{H}'$ ,
- (ii) Wenn  $\mathfrak{A}$  ein NE-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist, dann ist  $\mathfrak{A}$  ein NE-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H} \hat{\smile} \mathfrak{H}'$ ,
- (iii) Wenn  $\mathfrak{A}$  ein PB-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist, dann ist  $\mathfrak{A}$  ein PB-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H} \hat{\smile} \mathfrak{H}'$ ,
- (iv) Wenn  $\mathfrak{A}$  ein geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist, dann ist  $\mathfrak{A}$  ein geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H} \hat{\smile} \mathfrak{H}'$ .

*Beweis:* Ergibt sich mit  $\mathfrak{H} \subseteq \mathfrak{H} \hat{\smile} \mathfrak{H}'$  und Theorem 2-61-(i), -(ii), -(iii) und -(vii).  $\square$

**Theorem 2-63.** *(F-)geschlossene Abschnitte in Beschränkungen*

Wenn  $\mathfrak{H}$  eine Sequenz ist, dann:

- (i)  $\mathfrak{A}$  ist genau dann ein SE-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ , wenn  $\mathfrak{A}$  ein SE-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))+1$  ist,
- (ii)  $\mathfrak{A}$  ist genau dann ein NE-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ , wenn  $\mathfrak{A}$  ein NE-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))+1$  ist,
- (iii)  $\mathfrak{A}$  ist genau dann ein PB-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ , wenn  $\mathfrak{A}$  ein PB-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))+1$  ist,
- (iv)  $\mathfrak{A}$  ist genau dann ein minimaler SE-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ , wenn  $\mathfrak{A}$  ein minimaler SE-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))+1$  ist,
- (v)  $\mathfrak{A}$  ist genau dann ein minimaler NE-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ , wenn  $\mathfrak{A}$  ein minimaler NE-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))+1$  ist,

- (vi)  $\mathfrak{A}$  ist genau dann ein minimaler PB-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ , wenn  $\mathfrak{A}$  ein minimaler PB-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathfrak{A})) + 1$  ist,
- (vii)  $\mathfrak{A}$  ist genau dann ein geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ , wenn  $\mathfrak{A}$  ein geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathfrak{A})) + 1$  ist.

*Beweis:* Siehe Bemerkung 2-2.  $\square$

**Theorem 2-64.** *Vorbereitungstheorem für Theorem 2-66, Theorem 2-67 und Theorem 2-68*

Ist  $\mathfrak{A}$  ein Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  und gilt für alle geschlossenen Abschnitte  $\mathfrak{B}$  in  $\mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ , dass  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) < \min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))$  oder  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{B})) \leq \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ , dann gilt für alle  $i \in \text{Dom}(\mathfrak{A})$ :

- (i)  $\mathfrak{A} \upharpoonright i$  ist kein geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  und
- (ii) Es gibt kein  $G \in \text{ANSUMF}(\mathfrak{H})$ , so dass  $\{\mathfrak{H}\} \times \text{Ran}(G) \subseteq \text{GS}$  und  $\mathfrak{A} \upharpoonright i \in \text{PERZ}(\langle \mathfrak{H}, G \rangle)$ .

*Beweis:* Sei  $\mathfrak{A}$  ein Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  und gelte für alle geschlossenen Abschnitte  $\mathfrak{B}$  in  $\mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ , dass  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) < \min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))$  oder  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{B})) \leq \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ . Sei weiter  $i \in \text{Dom}(\mathfrak{A})$ . Zunächst ist  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$ . Zu (i): Wäre nun  $\mathfrak{A} \upharpoonright i$  ein geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ , dann würde mit Theorem 2-63-(vii) gelten:  $\mathfrak{A} \upharpoonright i$  ist ein geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H} \upharpoonright i$ . Ferner ist  $i \leq \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$  und somit  $\mathfrak{H} \upharpoonright i \subseteq \mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$  und damit gilt mit Theorem 2-61-(vii):  $\mathfrak{A} \upharpoonright i$  ist ein geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ . Offenbar gilt mit Theorem 2-6  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A} \upharpoonright i)) = \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$  und somit mit Theorem 2-30 weder  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) < \min(\text{Dom}(\mathfrak{A} \upharpoonright i))$  noch  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{A} \upharpoonright i)) \leq \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ , was der Voraussetzung widerspricht.

Zu (ii): Gäbe es nun ein  $G \in \text{ANSUMF}(\mathfrak{H})$ , so dass  $\{\mathfrak{H}\} \times \text{Ran}(G) \subseteq \text{GS}$  und  $\mathfrak{A} \upharpoonright i \in \text{PERZ}(\langle \mathfrak{H}, G \rangle)$ . Sei nun  $j = \min(\{i \mid i \in \text{Dom}(\mathfrak{A}) \text{ und es gibt } G \in \text{ANSUMF}(\mathfrak{H}), \text{ so dass } \{\mathfrak{H}\} \times \text{Ran}(G) \subseteq \text{GS} \text{ und } \mathfrak{A} \upharpoonright i \in \text{PERZ}(\langle \mathfrak{H}, G \rangle)\})$ . Dann gibt es  $G \in \text{ANSUMF}(\mathfrak{H})$ , so dass  $\{\mathfrak{H}\} \times \text{Ran}(G) \subseteq \text{GS}$  und  $\mathfrak{A} \upharpoonright i \in \text{PERZ}(\langle \mathfrak{H}, G \rangle)$ . Wäre es nun der Fall, dass es ein  $k \in \text{Dom}(\mathfrak{A} \upharpoonright i)$  und ein  $l \in \text{Dom}(G)$  gäbe, so dass  $\mathfrak{A} \upharpoonright k \in \text{PERZ}(\langle \mathfrak{H}, G \upharpoonright (l+1) \rangle)$ . Dann ist nach Theorem 2-22  $G \upharpoonright (l+1)$  eine ANS-umfassende Abschnittsfolge für  $\mathfrak{A} \upharpoonright \max(\text{Dom}(G \upharpoonright (l+1))) + 1$ . Damit ist dann nach Definition 2-12  $G \upharpoonright (l+1) \in \text{ANSUMF}(\mathfrak{H})$  und nach Annahme  $\mathfrak{A} \upharpoonright k \in \text{PERZ}(\langle \mathfrak{H}, G \upharpoonright (l+1) \rangle)$  und andererseits  $k < i$ , was im Widerspruch zur Minimalität von  $i$  steht. Also gibt es kein  $k \in \text{Dom}(\mathfrak{A} \upharpoonright i)$  und kein  $l \in \text{Dom}(G)$ , so dass  $\mathfrak{A} \upharpoonright k \in \text{PERZ}(\langle \mathfrak{H}, G \upharpoonright (l+1) \rangle)$ . Damit ist nach Definition 2-20  $\mathfrak{A} \upharpoonright i \in \text{ERZ}(\langle \mathfrak{H}, G \rangle)$  und damit

mit  $\{\mathfrak{H}\} \times \text{Ran}(G) \subseteq \text{GS}$  und Theorem 2-41  $(\mathfrak{H}, \mathfrak{A}|i) \in \text{GS}$  und also  $\mathfrak{A}|i$  im Widerspruch zu (i) ein geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ .  $\square$

Die folgenden vier Theoreme schließen Kap. 2.2 ab und stellen die Basis für den Nachweis der Korrektheit und der Vollständigkeit des Redehandlungskalküls bereit. Mit diesen Theoremen lässt sich später zeigen, dass SE resp. NE resp. PB und nur diese SE- resp. NE- resp. PB-geschlossene Abschnitte und damit überhaupt geschlossene Abschnitte erzeugen.

**Theorem 2-65.** *Jeder geschlossene Abschnitt ist ein minimaler SE- oder NE- oder PB-geschlossener Abschnitt oder ein SE- oder NE- oder PB-geschlossener Abschnitt, dessen Annahmesätze am Anfang oder in echten geschlossenen Teilabschnitten liegen*

Wenn  $\mathfrak{A}$  ein geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist, dann:

- (i)  $\mathfrak{A}$  ist minimaler SE- oder NE- oder PB-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$
- oder
- (ii)  $\mathfrak{A}$  ist ein SE- oder NE- oder PB-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ , wobei für alle  $i \in \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{H})) \cap \text{Dom}(\mathfrak{A})$  mit  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) < i$  gilt: Es gibt ein  $\mathfrak{B}$ , so dass
    - a)  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \mathfrak{B}$ ,
    - b)  $\mathfrak{B}$  ein geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist,
    - c)  $i = \min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))$  und
    - d)  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) < \min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) < \max(\text{Dom}(\mathfrak{B})) < \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ .

*Beweis:* Ergibt sich aus Definition 2-23, Definition 2-24, Definition 2-25, Definition 2-26 und Theorem 2-47.  $\square$

**Theorem 2-66.** *Vorbereitungstheorem für Theorem 2-90*

$\mathfrak{A}$  ist ein Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  und es gibt  $\Delta, \Gamma \in \text{GFORM}$ , so dass

- (i)  $\mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))} = \ulcorner \text{Sei } \Delta \urcorner$ ,
- (ii) Für alle geschlossenen Abschnitte  $\mathfrak{B}$  in  $\mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$  gilt:  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) < \min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))$  oder  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{B})) \leq \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ ,
- (iii)  $A(\mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\mathfrak{A})) - 1}) = \Gamma$ ,
- (iv) Es für jedes  $r \in \text{Dom}(\mathfrak{A}) \cap \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{H}))$  mit  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) < r \leq \max(\text{Dom}(\mathfrak{A})) - 1$  einen geschlossenen Abschnitt  $\mathfrak{B}$  in  $\mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$  gibt, so dass  $(r, \mathfrak{H}_r) \in \mathfrak{B}$ , und
- (v)  $\mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))} = \ulcorner \text{Also } \Delta \rightarrow \Gamma \urcorner$ ,

gdw

$\mathfrak{A}$  ist ein SE-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ .

*Beweis:* (L-R): Seien die Voraussetzungen für  $\mathfrak{H}$  und  $\mathfrak{A}$  erfüllt und seien  $\Delta$  und  $\Gamma$  wie gefordert. Dann ist zunächst  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$ . Sodann ist mit Definition 2-13  $\mathfrak{A}$  ein SE-artiger Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ . Sodann ergibt sich mit Klausel (ii) der Annahme und Theorem 2-64-(i), dass für alle  $k \in \text{Dom}(\mathfrak{A})$  gilt, dass  $\mathfrak{A} \upharpoonright k$  kein geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist.

Sodann ist  $\text{ANS}(\mathfrak{H}) \cap \mathfrak{A} = \{(\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})), \mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))})\}$  oder es gibt ein  $i \in \text{Dom}(\mathfrak{A}) \cap \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{H}))$  mit  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) < i \leq \max(\text{Dom}(\mathfrak{A})) - 1$ .

Gelte nun  $\text{ANS}(\mathfrak{H}) \cap \mathfrak{A} = \{(\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})), \mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))})\}$ . Dann ergibt sich damit, dass für alle  $k \in \text{Dom}(\mathfrak{A})$  gilt, dass  $\mathfrak{A} \upharpoonright k$  kein geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist, und Theorem 2-31, dass  $\mathfrak{A}$  ein minimaler SE-, NE- oder PB-geschlossener und damit ein geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist. Da  $\mathfrak{A}$  ein SE-artiger Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist, ist  $\mathfrak{A}$  damit ein SE-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ .

Gebe es nun ein  $i \in \text{Dom}(\mathfrak{A}) \cap \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{H}))$  mit  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) < i \leq \max(\text{Dom}(\mathfrak{A})) - 1$ . Sei nun  $\mathfrak{C} = \{(l, \mathfrak{H}_l) \mid \min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) + 1 \leq l \leq \max(\text{Dom}(\mathfrak{A})) - 1\}$ . Dann ist  $i \in \text{Dom}(\mathfrak{C}) \cap \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{H}))$ . Sodann gibt es für jedes  $r \in \text{Dom}(\mathfrak{C}) \cap \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{H}))$  einen geschlossenen Abschnitt  $\mathfrak{B}$  in  $\mathfrak{H}$ , so dass  $(r, \mathfrak{H}_r) \in \mathfrak{B}$  und  $\mathfrak{B} \subseteq \mathfrak{C}$ . Sei nämlich  $r \in \text{Dom}(\mathfrak{C}) \cap \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{H}))$ . Dann ist  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) < r \leq \max(\text{Dom}(\mathfrak{A})) - 1$  und somit gibt es nach Klausel (iv) einen geschlossenen Abschnitt  $\mathfrak{B}$  in  $\mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ , so dass  $(r, \mathfrak{H}_r) \in \mathfrak{B}$ . Dann ist  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{C})) \leq \min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))$ , denn andernfalls wäre  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) \leq \min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) < r \leq \max(\text{Dom}(\mathfrak{B}))$ , was Klausel (ii) widerspricht. Zum anderen ergibt sich daraus, dass  $\mathfrak{B}$  ein Abschnitt in  $\mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$  ist, dass  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{B})) \leq \max(\text{Dom}(\mathfrak{A})) - 1 = \max(\text{Dom}(\mathfrak{C}))$ . Also ist mit Theorem 2-5  $\mathfrak{B} \subseteq \mathfrak{C}$ .

Damit erfüllt  $\mathcal{C}$  die Voraussetzungen von Theorem 2-58. Also gibt es ein  $G \in \text{ANSUMF}(\mathfrak{H})$ , so dass  $G$  eine ANS-umfassende Abschnittsfolge für  $\mathcal{C}$  in  $\mathfrak{H}$  ist und  $\{\mathfrak{H}\} \times \text{Ran}(G) \subseteq \text{GS}$ . Nun gilt nach Definition von  $\mathcal{C}$ , dass  $\mathcal{C} \in \text{ABS}(\mathfrak{H})$  und  $\min(\text{Dom}(\mathcal{A})) + 1 = \min(\text{Dom}(\mathcal{C}))$  und  $\max(\text{Dom}(\mathcal{A})) = \max(\text{Dom}(\mathcal{C})) + 1$  und  $\text{ANS}(\mathfrak{H}) \cap \mathcal{C} \neq \emptyset$ . Sodann ist  $\mathcal{A}$  ein SE-artiger Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ . Damit gilt mit Theorem 2-27 auch, dass  $\mathcal{A}$  kein NE-artiger Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist. Ferner gilt damit, dass für alle  $i \in \text{Dom}(\mathcal{A})$  gilt, dass  $\mathcal{A} \upharpoonright i$  kein geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist, dass auch für alle  $i \in \text{Dom}(\mathcal{A})$  gilt:  $\mathcal{A} \upharpoonright i$  ist kein minimaler SE-, NE- oder PB-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ .

Damit ist gemäß Definition 2-19  $\mathcal{A} \in \text{PERZ}(\langle \mathfrak{H}, G \rangle)$ . Wäre es nun der Fall, dass es ein  $k \in \text{Dom}(\mathcal{A})$  und ein  $l \in \text{Dom}(G)$  gäbe, so dass  $\mathcal{A} \upharpoonright k \in \text{PERZ}(\langle \mathfrak{H}, G \upharpoonright (l+1) \rangle)$ . Dann ist nach Theorem 2-22  $G \upharpoonright (l+1)$  eine ANS-umfassende Abschnittsfolge für  $\mathcal{A} \upharpoonright \max(\text{Dom}(G(l))) + 1$ . Damit ist dann nach Definition 2-12  $G \upharpoonright (l+1) \in \text{ANSUMF}(\mathfrak{H})$  und nach Annahme  $\mathcal{A} \upharpoonright k \in \text{PERZ}(\langle \mathfrak{H}, G \upharpoonright (l+1) \rangle)$  und andererseits  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ}\{\emptyset\}$  und  $\{\mathfrak{H}\} \times \text{Ran}(G \upharpoonright (l+1)) \subseteq \{\mathfrak{H}\} \times \text{Ran}(G) \subseteq \text{GS}$ , was insgesamt im Widerspruch zu Theorem 2-64-(ii) steht. Also gibt es kein  $k \in \text{Dom}(\mathcal{A})$  und kein  $l \in \text{Dom}(G)$ , so dass  $\mathcal{A} \upharpoonright k \in \text{PERZ}(\langle \mathfrak{H}, G \upharpoonright (l+1) \rangle)$ . Damit ist nach Definition 2-20  $\mathcal{A} \in \text{ERZ}(\langle \mathfrak{H}, G \rangle)$  und weil  $\{\mathfrak{H}\} \times \text{Ran}(G) \subseteq \text{GS}$  mit Theorem 2-41 auch  $(\mathfrak{H}, \mathcal{A}) \in \text{GS}$  und  $\mathcal{A}$  damit ein geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  und ein SE-artiger Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  und somit ein SE-geschlossener-Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ .

(R-L): Sei nun  $\mathcal{A}$  ein SE-geschlossener-Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ . Dann ist  $\mathcal{A}$  ein geschlossener Abschnitt und ein SE-artiger Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ . Dann ergibt sich damit, dass  $\mathcal{A}$  ein SE-artiger Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist, dass es  $\Delta, \Gamma \in \text{GFORM}$  gibt, so dass (i), (iii) und (v) erfüllt sind. Sodann gilt mit Theorem 2-47, dass (iv) gilt. (Falls  $\mathcal{A}$  ein minimaler SE-artiger Abschnitt ist, gilt (iv) trivialerweise.)

Sei nun  $\mathfrak{B}$  ein geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathcal{A}))$ . Angenommen  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) \leq \min(\text{Dom}(\mathcal{A}))$  und  $\min(\text{Dom}(\mathcal{A})) < \max(\text{Dom}(\mathfrak{B}))$ . Dann wäre  $\min(\text{Dom}(\mathcal{A})) \in \text{Dom}(\mathfrak{B})$  und somit  $\mathcal{A} \cap \mathfrak{B} \neq \emptyset$  und  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) \leq \min(\text{Dom}(\mathcal{A}))$ . Damit würde mit Theorem 2-55-(i) und -(ii) gelten, dass  $\mathcal{A} \subseteq \mathfrak{B}$ . Damit wäre aber  $\mathcal{A} \subseteq \mathfrak{B} \subseteq \mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathcal{A}))$  und somit  $\max(\text{Dom}(\mathcal{A})) \notin \text{Dom}(\mathcal{A}) \neq \emptyset$ . Widerspruch! Also ist  $\min(\text{Dom}(\mathcal{A})) < \min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))$  oder  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{B})) \leq \min(\text{Dom}(\mathcal{A}))$ . Also gilt auch (iii).

□

**Theorem 2-67.** *Vorbereitungstheorem für Theorem 2-91*

$\mathfrak{A}$  ist ein Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  und es gibt  $\Delta, \Gamma \in \text{GFORM}$  und  $i \in \text{Dom}(\mathfrak{H})$ , so dass

- (i)  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) \leq i < \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ ,
- (ii)  $\mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))} = \ulcorner \text{Sei } \Delta \urcorner$ ,
- (iii) Für alle geschlossenen Abschnitte  $\mathfrak{B}$  in  $\mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$  gilt:  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) < \min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))$  oder  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{B})) \leq \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ ,
- (iv)  $A(\mathfrak{H}_i) = \Gamma$  und  $A(\mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\mathfrak{A})) - 1}) = \ulcorner \neg \Gamma \urcorner$   
oder  
 $A(\mathfrak{H}_i) = \ulcorner \neg \Gamma \urcorner$  und  $A(\mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\mathfrak{A})) - 1}) = \Gamma$ ,
- (v) Für alle geschlossenen Abschnitte  $\mathfrak{B}$  in  $\mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$  gilt:  $i < \min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))$  oder  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{B})) \leq i$ ,
- (vi) Es für jedes  $r \in \text{Dom}(\mathfrak{A}) \cap \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{H}))$  mit  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) < r \leq \max(\text{Dom}(\mathfrak{A})) - 1$  einen geschlossenen-Abschnitt  $\mathfrak{B}$  in  $\mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$  gibt, so dass  $(r, \mathfrak{H}_r) \in \mathfrak{B}$ , und
- (vii)  $\mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))} = \ulcorner \text{Also } \neg \Delta \urcorner$

gdw

$\mathfrak{A}$  ist ein NE-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ .

*Beweis:* (L-R): Seien die Voraussetzungen für  $\mathfrak{H}$  und  $\mathfrak{A}$  erfüllt und seien  $\Delta, \Gamma$  und  $i$  wie gefordert. Dann ist zunächst  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$ . Sodann ist mit Definition 2-14  $\mathfrak{A}$  ein NE-artiger Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ . Sodann ergibt sich mit Klausel (iii) der Annahme und Theorem 2-64, dass für alle  $k \in \text{Dom}(\mathfrak{A})$  gilt, dass  $\mathfrak{A} \upharpoonright k$  kein geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist.

Sodann ist  $\text{ANS}(\mathfrak{H}) \cap \mathfrak{A} = \{(\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})), \mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))})\}$  oder es gibt ein  $i \in \text{Dom}(\mathfrak{A}) \cap \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{H}))$  mit  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) < i \leq \max(\text{Dom}(\mathfrak{A})) - 1$ .

Gelte nun  $\text{ANS}(\mathfrak{H}) \cap \mathfrak{A} = \{(\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})), \mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))})\}$ . Dann ergibt sich damit, dass für alle  $k \in \text{Dom}(\mathfrak{A})$  gilt, dass  $\mathfrak{A} \upharpoonright k$  kein geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist, und Theorem 2-31, dass  $\mathfrak{A}$  ein minimaler SE-, NE- oder PB-geschlossener und damit ein geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist. Da  $\mathfrak{A}$  ein NE-artiger Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist, ist  $\mathfrak{A}$  damit ein NE-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ .

Gebe es nun ein  $s \in \text{Dom}(\mathfrak{A}) \cap \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{H}))$  mit  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) < s \leq \max(\text{Dom}(\mathfrak{A})) - 1$ . Sei nun  $\mathfrak{C} = \{(l, \mathfrak{H}_l) \mid \min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) + 1 \leq l \leq \max(\text{Dom}(\mathfrak{A})) - 1\}$ . Dann ist  $s \in \text{Dom}(\mathfrak{C}) \cap \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{H}))$ . Sodann gibt es für jedes  $r \in \text{Dom}(\mathfrak{C}) \cap \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{H}))$  einen geschlossenen Abschnitt  $\mathfrak{B}$  in  $\mathfrak{H}$ , so dass  $(r, \mathfrak{H}_r) \in \mathfrak{B}$  und  $\mathfrak{B} \subseteq \mathfrak{C}$ . Sei nämlich  $r \in \text{Dom}(\mathfrak{C}) \cap \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{H}))$ . Dann ist  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) < r \leq \max(\text{Dom}(\mathfrak{A})) - 1$  und somit gibt es nach Klausel (vi) einen geschlossenen-Abschnitt  $\mathfrak{B}$  in  $\mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ , so dass  $(r, \mathfrak{H}_r) \in \mathfrak{B}$ . Dann ist  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{C})) \leq \min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))$ , denn andernfalls wäre  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) \leq \min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) < r \leq \max(\text{Dom}(\mathfrak{B}))$ , was Klausel (iii) widerspricht. Zum anderen ergibt

sich daraus, dass  $\mathfrak{B}$  ein Abschnitt in  $\mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$  ist, dass  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{B})) \leq \max(\text{Dom}(\mathfrak{A})) - 1 = \max(\text{Dom}(\mathfrak{C}))$ . Also ist mit Theorem 2-5  $\mathfrak{B} \subseteq \mathfrak{C}$ .

Damit erfüllt  $\mathfrak{C}$  die Voraussetzungen von Theorem 2-58. Also gibt es ein  $G \in \text{ANSUMF}(\mathfrak{H})$ , so dass  $G$  eine ANS-umfassende Abschnittsfolge für  $\mathfrak{C}$  in  $\mathfrak{H}$  ist und  $\{\mathfrak{H}\} \times \text{Ran}(G) \subseteq \{\mathfrak{H}\} \times \{\mathfrak{C}^* \mid \mathfrak{C}^* \subseteq \mathfrak{C} \text{ ist ein geschlossener Abschnitt in } \mathfrak{H}\} \subseteq \{\mathfrak{H}\} \times \{\mathfrak{C}^* \mid \mathfrak{C}^* \subseteq \mathfrak{A} \text{ ist ein geschlossener Abschnitt in } \mathfrak{H}\} \subseteq \text{GS}$ . Nun gilt nach Definition von  $\mathfrak{C}$ , dass  $\mathfrak{C} \in \text{ABS}(\mathfrak{H})$  und  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) + 1 = \min(\text{Dom}(\mathfrak{C}))$  und  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{A})) = \max(\text{Dom}(\mathfrak{C})) + 1$  und  $\mathfrak{A}$  ist ein NE-artiger Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ . Sodann gilt für alle  $r \in \text{Dom}(G)$ :  $i < \min(\text{Dom}(G(r)))$  oder  $\max(\text{Dom}(G(r))) \leq i$ . Sei nämlich  $r \in \text{Dom}(G)$ . Dann ist  $G(r) \subseteq \mathfrak{C}$  ein geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ . Somit gilt nach Klausel (v):  $i < \min(\text{Dom}(G(r)))$  oder  $\max(\text{Dom}(G(r))) \leq i$ . Ferner gilt damit, dass für alle  $i \in \text{Dom}(\mathfrak{A})$  gilt, dass  $\mathfrak{A} \upharpoonright i$  kein geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist, dass auch für alle  $i \in \text{Dom}(\mathfrak{A})$  gilt:  $\mathfrak{A} \upharpoonright i$  ist kein minimaler SE-, NE- oder PB-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ .

Damit ist gemäß Definition 2-19  $\mathfrak{A} \in \text{PERZ}(\langle \mathfrak{H}, G \rangle)$ . Wäre es nun der Fall, dass es ein  $k \in \text{Dom}(\mathfrak{A})$  und ein  $l \in \text{Dom}(G)$  gäbe, so dass  $\mathfrak{A} \upharpoonright k \in \text{PERZ}(\langle \mathfrak{H}, G \upharpoonright (l+1) \rangle)$ . Dann ist nach Theorem 2-22  $G \upharpoonright (l+1)$  eine ANS-umfassende Abschnittsfolge für  $\mathfrak{A} \upharpoonright \max(\text{Dom}(G(l))) + 1$ . Damit ist dann nach Definition 2-12  $G \upharpoonright (l+1) \in \text{ANSUMF}(\mathfrak{H})$  und nach Annahme  $\mathfrak{A} \upharpoonright k \in \text{PERZ}(\langle \mathfrak{H}, G \upharpoonright (l+1) \rangle)$  und andererseits  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ}\{\emptyset\}$  und  $\{\mathfrak{H}\} \times \text{Ran}(G \upharpoonright (l+1)) \subseteq \{\mathfrak{H}\} \times \text{Ran}(G) \subseteq \text{GS}$ , was insgesamt im Widerspruch zu Theorem 2-64-(ii) steht. Also gibt es kein  $k \in \text{Dom}(\mathfrak{A})$  und kein  $l \in \text{Dom}(G)$ , so dass  $\mathfrak{A} \upharpoonright k \in \text{PERZ}(\langle \mathfrak{H}, G \upharpoonright (l+1) \rangle)$ . Damit ist nach Definition 2-20  $\mathfrak{A} \in \text{ERZ}(\langle \mathfrak{H}, G \rangle)$  und damit mit  $\{\mathfrak{H}\} \times \text{Ran}(G) \subseteq \text{GS}$  und Theorem 2-41  $(\mathfrak{H}, \mathfrak{A}) \in \text{GS}$  und  $\mathfrak{A}$  damit ein geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  und ein NE-artiger Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  und somit ein NE-geschlossener-Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ .

(R-L): Sei nun  $\mathfrak{A}$  ein NE-geschlossener-Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ . Dann ist  $\mathfrak{A}$  ein geschlossener Abschnitt und ein NE-artiger Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  und mit Theorem 2-30-(ii) damit  $3 \leq |\mathfrak{A}|$ . Sodann ist  $\text{ANS}(\mathfrak{H}) \cap \mathfrak{A} = \{(\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})), \mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))})\}$  oder es gibt ein  $j \in \text{Dom}(\mathfrak{A}) \cap \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{H}))$  mit  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) < j \leq \max(\text{Dom}(\mathfrak{A})) - 1$ .

*Erster Fall:* Gelte nun  $\text{ANS}(\mathfrak{H}) \cap \mathfrak{A} = \{(\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})), \mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))})\}$ . Dann gilt mit Theorem 2-34 und Theorem 2-41, dass  $\mathfrak{A}$  ein minimaler SE-, NE- oder PB-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  und damit, da  $\mathfrak{A}$  ein NE-artiger Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist, dass  $\mathfrak{A}$  ein minimaler NE-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist. Dann ergibt sich, dass es  $\Delta, \Gamma \in \text{GFORM}$  und  $i \in$

$\text{Dom}(\mathfrak{H})$  gibt, so dass (i), (ii), (iv) und (vii) erfüllt sind. Sodann gilt trivialerweise, dass (vi) gilt. Seien nun  $\Delta, \Gamma$  und  $i$  wie in (i), (ii), (iv) und (vii) gefordert.

Dann gelten auch (iii) und (v). Sei nämlich  $\mathfrak{B}$  ein geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ . Dann gilt, wenn  $l = \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$  oder  $l = i$ , dann  $l < \min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))$  oder  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{B})) \leq l$ . Da  $\mathfrak{A}$  nämlich ein minimaler NE-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist, gilt mit Theorem 2-57:  $\mathfrak{B} \cap \mathfrak{A} = \emptyset$  oder  $\mathfrak{A} \subseteq \mathfrak{B}$ . Da nun aber nach Annahme  $\mathfrak{B} \subseteq \mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$  gilt, folgt  $\{(\max(\text{Dom}(\mathfrak{A})), \mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))})\} \in \mathfrak{A} \setminus \mathfrak{B}$  und somit  $\mathfrak{A} \not\subseteq \mathfrak{B}$  und daher  $\mathfrak{B} \cap \mathfrak{A} = \emptyset$ . Für  $l = \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$  oder  $i = l$  und  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) \leq l < \max(\text{Dom}(\mathfrak{B}))$  wäre andererseits aber  $\mathfrak{B} \cap \mathfrak{A} \neq \emptyset$ .

*Zweiter Fall:* Gebe es nun ein  $j \in \text{Dom}(\mathfrak{A}) \cap \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{H}))$  mit  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) < j \leq \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))-1$ . Dann ist  $\mathfrak{A}$  kein minimaler SE- oder NE oder EA-artiger Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ . Dann gibt es mit Theorem 2-41 ein  $G \in \text{ANSUMF}(\mathfrak{H})$  mit  $\{\mathfrak{H}\} \times \text{Ran}(G) \subseteq \text{GS}$  und  $\mathfrak{A} \in \text{ERZ}((\mathfrak{H}, G))$ . Dann ist  $G$  eine ANS-umfassende Abschnittsfolge für  $\mathcal{C} = \{(l, \mathfrak{H}_i) \mid \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))+1 \leq l \leq \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))-1\}$  in  $\mathfrak{H}$ . Sodann ist  $\mathfrak{A}$  ein NE-artiger-Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  und damit gilt gemäß Definition 2-19 und Definition 2-20:

Es gibt  $\Delta, \Gamma \in \text{GFORM}$  und  $i \in \text{Dom}(\mathfrak{H})$ , so dass

- a)  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) \leq i < \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ ,
- b)  $\mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))} = \ulcorner \text{Sei } \Delta \urcorner$ ,
- c)  $A(\mathfrak{H}_i) = \Gamma$  und  $A(\mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))-1}) = \ulcorner \neg \Gamma \urcorner$   
oder  
 $A(\mathfrak{H}_i) = \ulcorner \neg \Gamma \urcorner$  und  $A(\mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))-1}) = \Gamma$ ,
- d) Für alle  $r \in \text{Dom}(G)$  gilt:  $i < \min(\text{Dom}(G(r)))$  oder  $\max(\text{Dom}(G(r))) \leq i$ ,
- e)  $\mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))} = \ulcorner \text{Also } \neg \Delta \urcorner$

Dann sind (i), (ii), (iv) und (vii) erfüllt. Sodann gilt mit Theorem 2-47 auch (vi).

Sodann gelten auch (iii) und (v). Sei nämlich  $\mathfrak{B}$  ein geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ . Damit gilt:  $\mathfrak{B} \subseteq \mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$  und somit  $\{(\max(\text{Dom}(\mathfrak{A})), \mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))})\} \in \mathfrak{A} \setminus \mathfrak{B}$  und somit  $\mathfrak{A} \not\subseteq \mathfrak{B}$ . Ferner ergibt sich aus der Annahme, dass  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{B})) < \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ . Damit gilt, dass  $\mathfrak{B} \cap \mathfrak{A} = \emptyset$  oder  $\mathfrak{B} \subseteq \mathcal{C}$ . Sei nämlich  $\mathfrak{B} \cap \mathfrak{A} \neq \emptyset$ . Dann gilt wegen  $\mathfrak{A} \not\subseteq \mathfrak{B}$  mit Theorem 2-56  $\mathfrak{B} \subset \mathfrak{A}$  und somit mit Theorem 2-55:  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) < \min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))$ . Damit gilt insgesamt:  $\min(\text{Dom}(\mathcal{C})) = \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))+1 \leq \min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) < \max(\text{Dom}(\mathfrak{B})) \leq \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))-1 = \max(\text{Dom}(\mathcal{C}))$  und somit mit Theorem 2-5  $\mathfrak{B} \subseteq \mathcal{C}$ .

Damit ergibt sich sofort, dass (iii) gilt, also dass  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) < \min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))$  oder  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{B})) \leq \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ . Ferner gilt auch (v), also:  $i < \min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))$  oder  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{B})) \leq i$ . Wäre nämlich  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) \leq i < \max(\text{Dom}(\mathfrak{B}))$ . Dann wäre  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \mathfrak{B}$ . Nun ist  $\mathfrak{B}$  ein geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  und damit gilt mit Theorem 2-59: Es gibt ein  $r \in \text{Dom}(G)$ , so dass  $\mathfrak{B} \subseteq G(r)$ . Dann wäre  $\min(\text{Dom}(G(r))) \leq \min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) \leq i < \max(\text{Dom}(\mathfrak{B})) \leq \max(\text{Dom}(G(r)))$ . Andererseits müsste aber wegen d) gelten:  $i < \min(\text{Dom}(G(r)))$  oder  $\max(\text{Dom}(G(r))) \leq i$ . Widerspruch! Also muss gelten:  $i < \min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))$  oder  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{B})) \leq i$ .  $\square$

**Theorem 2-68.** *Vorbereitungstheorem für Theorem 2-92*

$\mathfrak{A}$  ist ein Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  und es gibt  $\xi \in \text{VAR}$ ,  $\beta \in \text{PAR}$ ,  $\Delta \in \text{FORM}$ , wobei  $\text{FV}(\Delta) \subseteq \{\xi\}$ ,  $\Gamma \in \text{GFORM}$  und  $\mathfrak{B} \in \text{ABS}(\mathfrak{H})$ , so dass

- (i)  $A(\mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))}) = \ulcorner \forall \xi \Delta \urcorner$ ,
- (ii) Für alle geschlossenen Abschnitte  $\mathfrak{C}$  in  $\mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$  gilt:  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) < \min(\text{Dom}(\mathfrak{C}))$  oder  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{C})) \leq \min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))$ ,
- (iii)  $\mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))+1} = \ulcorner \text{Sei } [\beta, \xi, \Delta] \urcorner$ ,
- (iv) Für alle geschlossenen Abschnitte  $\mathfrak{C}$  in  $\mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$  gilt:  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))+1 < \min(\text{Dom}(\mathfrak{C}))$  oder  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{C})) \leq \min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))+1$ ,
- (v)  $A(\mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\mathfrak{B}))-1}) = \Gamma$ ,
- (vi)  $\mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\mathfrak{B}))} = \ulcorner \text{Also } \Gamma \urcorner$ ,
- (vii)  $\beta \notin \text{TTFM}(\{\Delta, \Gamma\})$  und
- (viii) Es kein  $j \leq \min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))$  gibt, so dass  $\beta \in \text{TT}(\mathfrak{H}_j)$ ,
- (ix)  $\mathfrak{A} = \mathfrak{B} \setminus \{(\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})), \mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))})\}$  und
- (x) Es für jedes  $r \in \text{Dom}(\mathfrak{A}) \cap \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{H}))$  mit  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) < r \leq \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))-1$  einen geschlossenen Abschnitt  $\mathfrak{C}$  in  $\mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$  gibt, so dass  $(r, \mathfrak{H}_r) \in \mathfrak{C}$

gdw

$\mathfrak{A}$  ist ein PB-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ .

*Beweis: (L-R):* Sei  $\mathfrak{A}$  ein Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  und seien  $\xi, \beta, \Delta, \Gamma$  und  $\mathfrak{B}$  so wie gefordert. Dann ist zunächst  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$ . Sodann ist mit Definition 2-15  $\mathfrak{A}$  ein EA-artiger Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ , wobei  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) = \min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))+1$ . Sodann ergibt sich mit Klausel (iv) der Annahme und Theorem 2-64, dass für alle  $k \in \text{Dom}(\mathfrak{A})$  gilt, dass  $\mathfrak{A} \upharpoonright k$  kein geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist.

Sodann ist  $\text{ANS}(\mathfrak{H}) \cap \mathfrak{A} = \{(\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})), \mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))})\}$  oder es gibt ein  $i \in \text{Dom}(\mathfrak{A}) \cap \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{H}))$  mit  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) < i \leq \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))-1$ .

Gelte nun  $\text{ANS}(\mathfrak{H}) \cap \mathfrak{A} = \{(\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})), \mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))})\}$ . Dann ergibt sich damit, dass für alle  $k \in \text{Dom}(\mathfrak{A})$  gilt, dass  $\mathfrak{A} \upharpoonright k$  kein geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist, und Theorem 2-31, dass  $\mathfrak{A}$  ein minimaler SE-, NE- oder PB-geschlossener und damit ein geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist. Da  $\mathfrak{A}$  ein EA-artiger Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist, ist  $\mathfrak{A}$  damit ein PB-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ .

Gebe es nun ein  $i \in \text{Dom}(\mathfrak{A}) \cap \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{H}))$  mit  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) < i \leq \max(\text{Dom}(\mathfrak{A})) - 1$ . Sei nun  $\mathfrak{C}^* = \{(l, \mathfrak{H}_l) \mid \min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) + 1 \leq l \leq \max(\text{Dom}(\mathfrak{A})) - 1\}$ . Dann ist  $i \in \text{Dom}(\mathfrak{C}^*) \cap \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{H}))$ . Sodann gibt es für jedes  $r \in \text{Dom}(\mathfrak{C}^*) \cap \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{H}))$  einen geschlossenen Abschnitt  $\mathfrak{C}$  in  $\mathfrak{H}$ , so dass  $(r, \mathfrak{H}_r) \in \mathfrak{C}$  und  $\mathfrak{C} \subseteq \mathfrak{C}^*$ . Sei nämlich  $r \in \text{Dom}(\mathfrak{C}^*) \cap \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{H}))$ . Dann ist  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) < r \leq \max(\text{Dom}(\mathfrak{A})) - 1$  und somit gibt es nach Klausel (x) einen geschlossenen Abschnitt  $\mathfrak{C}$  in  $\mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ , so dass  $(r, \mathfrak{H}_r) \in \mathfrak{C}$ . Dann ist  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{C}^*)) \leq \min(\text{Dom}(\mathfrak{C}))$ , denn andernfalls wäre  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{C})) \leq \min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) < r \leq \max(\text{Dom}(\mathfrak{C}))$ , was Klausel (iv) widerspricht. Zum anderen ergibt sich daraus, dass  $\mathfrak{C}$  ein Abschnitt in  $\mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$  ist, dass  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{C})) \leq \max(\text{Dom}(\mathfrak{A})) - 1 = \max(\text{Dom}(\mathfrak{C}^*))$ . Also ist mit Theorem 2-5  $\mathfrak{C} \subseteq \mathfrak{C}^*$ .

Damit erfüllt  $\mathfrak{C}^*$  die Voraussetzungen von Theorem 2-58. Also gibt es ein  $G \in \text{ANSUMF}(\mathfrak{H})$ , so dass  $G$  eine ANS-umfassende Abschnittsfolge für  $\mathfrak{C}^*$  in  $\mathfrak{H}$  ist und  $\{\mathfrak{H}\} \times \text{Ran}(G) \subseteq \text{GS}$ . Nun gilt nach Definition von  $\mathfrak{C}^*$ , dass  $\mathfrak{C}^* \in \text{ABS}(\mathfrak{H})$  und  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) + 1 = \min(\text{Dom}(\mathfrak{C}^*))$  und  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{A})) = \max(\text{Dom}(\mathfrak{C}^*)) + 1$  und  $\mathfrak{A}$  ist ein EA-artiger Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ . Angenommen,  $\mathfrak{A}$  ist ein NE-artiger Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ . Dann ist  $\Gamma = \lceil \neg[\beta, \xi, \Delta] \rceil$  und  $A(\mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))}) = [\beta, \xi, \Delta]$  und  $A(\mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\mathfrak{A})) - 1}) = \lceil \neg[\beta, \xi, \Delta] \rceil$ . Sodann gilt für alle  $r \in \text{Dom}(G)$ :  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) < \min(\text{Dom}(\mathfrak{C}^*)) \leq \min(\text{Dom}(G(r)))$ . Ferner gilt damit, dass für alle  $i \in \text{Dom}(\mathfrak{A})$  gilt, dass  $\mathfrak{A} \upharpoonright i$  kein geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist, dass auch für alle  $i \in \text{Dom}(\mathfrak{A})$  gilt:  $\mathfrak{A} \upharpoonright i$  ist kein minimaler SE-, NE- oder PB-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ .

Damit ist gemäß Definition 2-19  $\mathfrak{A} \in \text{PERZ}(\langle \mathfrak{H}, G \rangle)$ . Wäre es nun der Fall, dass es ein  $k \in \text{Dom}(\mathfrak{A})$  und ein  $l \in \text{Dom}(G)$  gäbe, so dass  $\mathfrak{A} \upharpoonright k \in \text{PERZ}(\langle \mathfrak{H}, G \upharpoonright (l+1) \rangle)$ . Dann ist nach Theorem 2-22  $G \upharpoonright (l+1)$  eine ANS-umfassende Abschnittsfolge für  $\mathfrak{A} \upharpoonright \max(\text{Dom}(G(l))) + 1$ . Damit ist dann nach Definition 2-12  $G \upharpoonright (l+1) \in \text{ANSUMF}(\mathfrak{H})$  und nach Annahme  $\mathfrak{A} \upharpoonright k \in \text{PERZ}(\langle \mathfrak{H}, G \upharpoonright (l+1) \rangle)$  und andererseits  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$  und  $\{\mathfrak{H}\} \times \text{Ran}(G \upharpoonright (l+1)) \subseteq \{\mathfrak{H}\} \times \text{Ran}(G) \subseteq \text{GS}$ , was insgesamt im Widerspruch zu Theorem 2-64-(ii) steht. Also gibt es

kein  $k \in \text{Dom}(\mathfrak{A})$  und kein  $l \in \text{Dom}(G)$ , so dass  $\mathfrak{A} \upharpoonright k \in \text{PERZ}(\langle \mathfrak{H}, G \upharpoonright (l+1) \rangle)$ . Damit ist nach Definition 2-20  $\mathfrak{A} \in \text{ERZ}(\langle \mathfrak{H}, G \rangle)$  und damit mit  $\{\mathfrak{H}\} \times \text{Ran}(G) \subseteq \text{GS}$  und Theorem 2-41  $(\mathfrak{H}, \mathfrak{A}) \in \text{GS}$  und  $\mathfrak{A}$  damit ein geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  und ein EA-artiger Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  und somit ein PB-geschlossener-Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ .

(R-L): Sei nun  $\mathfrak{A}$  ein PB-geschlossener-Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ . Dann ist  $\mathfrak{A}$  ein geschlossener Abschnitt und ein EA-artiger Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ . Dann ergibt sich damit, dass  $\mathfrak{A}$  ein EA-artiger Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist, dass es  $\xi \in \text{VAR}$ ,  $\beta \in \text{PAR}$ ,  $\Delta \in \text{FORM}$ , wobei  $\text{FV}(\Delta) \subseteq \{\xi\}$ ,  $\Gamma \in \text{GFORM}$  und ein  $\mathfrak{B} \in \text{ABS}(\mathfrak{H})$  gibt, für die die Klauseln (i), (iii), und (v)-(ix) erfüllt sind. Sodann gilt mit Theorem 2-47, dass (x) gilt (falls  $\mathfrak{A}$  ein minimaler PB-geschlossener Abschnitt ist, gilt (x) trivialerweise). Außerdem ist  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) = \min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) + 1$ .

Zu zeigen ist nun noch, dass auch (ii) und (iv) gelten. Dazu wird zuerst (iv) gezeigt. Sei dazu  $\mathfrak{C}$  ein geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ . Angenommen  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{C})) \leq \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$  und  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) < \max(\text{Dom}(\mathfrak{C}))$ . Dann wäre  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) \in \text{Dom}(\mathfrak{C})$  und somit  $\mathfrak{A} \cap \mathfrak{C} \neq \emptyset$ . Sodann würde mit Theorem 2-55 gelten, dass  $\mathfrak{A} \subseteq \mathfrak{C}$ . Damit wäre aber  $\mathfrak{A} \subseteq \mathfrak{C} \subseteq \mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$  und somit  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{A})) \notin \text{Dom}(\mathfrak{A}) \neq \emptyset$ . Also ist  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) < \min(\text{Dom}(\mathfrak{C}))$  oder  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{C})) \leq \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ .

Nun ist noch (ii) zu zeigen. Sei dazu  $\mathfrak{C}$  wieder ein geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ . Angenommen  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{C})) \leq \min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))$  und  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) < \max(\text{Dom}(\mathfrak{C}))$ . Dann wäre  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{C})) < \min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) \leq \max(\text{Dom}(\mathfrak{C}))$ . Nun gilt mit (iv) – wie eben gezeigt –  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) < \min(\text{Dom}(\mathfrak{C}))$  oder  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{C})) \leq \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ . Da der erste Fall ausgeschlossen ist, gilt dann  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{C})) \leq \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$  und damit insgesamt  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{C})) = \min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ . Dann ist  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{C})) \in \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{H}))$ . Andererseits ist  $\mathfrak{C}$  mit Theorem 2-42 ein SE- oder ein NE- oder ein EA-artiger Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  und damit müsste mit Theorem 2-28 gelten:  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{C})) \notin \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{H}))$ . Widerspruch! Damit gilt  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) < \min(\text{Dom}(\mathfrak{C}))$  oder  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{C})) \leq \min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))$ . Also gilt auch (ii).  $\square$

### 2.3 VERS, VANS, VER und VAN

Unter Rückgriff auf Kap. 2.2 wird nun die Verfügbarkeitsrede etabliert. Dabei soll eine Aussage in einer Sequenz  $\mathfrak{S}$  genau dann bei einem  $r \in \text{Dom}(\mathfrak{S})$  verfügbar sein, wenn  $(r, \mathfrak{S}_r)$  in keinem echten Anfangsabschnitt eines geschlossenen Abschnitts in  $\mathfrak{S}$  liegt (Definition 2-27). Von allen Aussagen der Glieder eines geschlossenen Abschnitts  $\mathfrak{A}$  in  $\mathfrak{S}$  ist also höchstens die Aussage des letzten Gliedes von  $\mathfrak{A}$  bei irgendeinem  $r \in \text{Dom}(\mathfrak{A})$ , nämlich gerade bei  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ , in  $\mathfrak{S}$  verfügbar. Die Funktion VERS ordnet sodann einer Sequenz  $\mathfrak{S}$  die Teilmenge von  $\mathfrak{S}$  zu, für deren Elemente  $(i, \mathfrak{S}_i)$  gilt, dass die Aussage von  $\mathfrak{S}_i$  in  $\mathfrak{S}$  bei  $i$  verfügbar ist (Definition 2-29). Die Aussagen der Elemente von  $\text{VERS}(\mathfrak{S})$  lassen sich sodann mit der Funktion VER zu  $\text{VER}(\mathfrak{S})$ , der Menge der in  $\mathfrak{S}$  an irgendeiner Stelle verfügbaren Aussagen zusammenfassen (Definition 2-31). Sodann ordnet die Funktion VANS einer Sequenz  $\mathfrak{S}$  die Teilmenge von  $\mathfrak{S}$  zu, für deren Elemente  $(i, \mathfrak{S}_i)$  gilt, dass  $\mathfrak{S}_i$  ein Annahmesatz ist und dass die Aussage von  $\mathfrak{S}_i$  in  $\mathfrak{S}$  bei  $i$  verfügbar ist (Definition 2-30). Die Aussagen der Elemente von  $\text{VANS}(\mathfrak{S})$  lassen sich sodann wiederum mit der Funktion VAN zu  $\text{VAN}(\mathfrak{S})$ , der Menge der in  $\mathfrak{S}$  an irgendeiner Stelle angenommenen und an dieser Stelle noch verfügbaren Aussagen – kurz: zur Menge der in  $\mathfrak{S}$  verfügbaren Annahmen – zusammenfassen (Definition 2-32). Sodann werden Theoreme bewiesen, die zum einen Zusammenhänge zwischen VERS, VANS, VER und VAN und zum anderen Zusammenhänge zwischen der Fortsetzung einer Sequenz und Veränderungen in den Verfügbarkeitsverhältnissen etablieren. Für das Verständnis des Kalküls und die weitere Entwicklung sind dabei insbesondere Theorem 2-81, Theorem 2-82, Theorem 2-90, Theorem 2-91 und Theorem 2-92 entscheidend. Mit diesem Kapitel sind dann die Vorbereitungen abgeschlossen und im nächsten Kapitel kann der Redehandlungskalkül entwickelt und sodann in den weiteren Kapiteln untersucht werden.

**Definition 2-27.** *Verfügbarkeit einer Aussage in einer Sequenz an einer Stelle*

$\Gamma$  ist in  $\mathfrak{S}$  bei  $r$  verfügbar

gdw

$\Gamma \in \text{GFORM}$  und  $\mathfrak{S} \in \text{SEQ}$  und

- (i)  $r \in \text{Dom}(\mathfrak{S})$ ,
- (ii)  $\Gamma = A(\mathfrak{S}_r)$ ,
- (iii) Es gibt keinen geschlossenen Abschnitt  $\mathfrak{A}$  in  $\mathfrak{S}$ , so dass  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) \leq r < \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ .

**Definition 2-28.** *Verfügbarkeit einer Aussage in einer Sequenz*

$\Gamma$  ist in  $\mathfrak{H}$  verfügbar

gdw

es gibt ein  $i \in \text{Dom}(\mathfrak{H})$ , so dass  $\Gamma$  in  $\mathfrak{H}$  bei  $i$  verfügbar ist.

*Hinweis:* Wenn der Bezug auf die Sequenz klar ist, werden auch kurz die Wendungen ' $\Gamma$  ist bei  $i$  verfügbar' oder ' $\Gamma$  ist verfügbar' gebraucht.

**Definition 2-29.** *Zuordnung der Menge der verfügbaren Sätze (VERS)*

$$\text{VERS} = \{(\mathfrak{H}, X) \mid \mathfrak{H} \in \text{SEQ und } X = \{(i, \mathfrak{H}_i) \mid i \in \text{Dom}(\mathfrak{H}) \text{ und } A(\mathfrak{H}_i) \text{ ist in } \mathfrak{H} \text{ bei } i \text{ verfügbar}\}\}$$

**Definition 2-30.** *Zuordnung der Menge der verfügbaren Annahmesätze (VANS)*

$$\text{VANS} = \{(\mathfrak{H}, X) \mid \mathfrak{H} \in \text{SEQ und } X = \text{VERS}(\mathfrak{H}) \cap \text{ANS}(\mathfrak{H})\}$$

*Hinweis:* Tatsächlich sind die Titel 'Zuordnung der Menge der ... Sätze' insofern irreführend, als dass VERS und VANS Sequenzen keine Mengen von Sätzen zuordnen sondern Teilmengen dieser Sequenzen, also Mengen von geordneten Paaren, deren zweite Projektionen dann die entsprechenden Sätze sind.

**Theorem 2-69.** *Verhältnis von VANS, VERS und jeweiliger Sequenz*

Wenn  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ}$ , dann:

- (i)  $\text{VANS}(\mathfrak{H}) = \text{VERS}(\mathfrak{H}) \cap \text{ANS}(\mathfrak{H})$
- (ii)  $\text{VANS}(\mathfrak{H}) \subseteq \text{VERS}(\mathfrak{H}) \subseteq \mathfrak{H}$ .

*Beweis:* Ergibt sich direkt aus den Definitionen.  $\square$

**Definition 2-31.** *Zuordnung der Menge der verfügbaren Aussagen (VER)*

$$\text{VER} = \{(\mathfrak{H}, X) \mid \mathfrak{H} \in \text{SEQ und } X = \{\Gamma \mid \text{Es gibt ein } i \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H})) \text{ und } \Gamma = A(\mathfrak{H}_i)\}\}$$

**Definition 2-32.** *Zuordnung der Menge der verfügbaren Annahmen (VAN)*

$$\text{VAN} = \{(\mathfrak{H}, X) \mid \mathfrak{H} \in \text{SEQ und } X = \{\Gamma \mid \text{Es gibt ein } i \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H})) \text{ und } \Gamma = A(\mathfrak{H}_i)\}\}$$

**Theorem 2-70.** *Verhältnis von VAN und VER*

Wenn  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ}$ , dann  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \subseteq \text{VER}(\mathfrak{H})$ .

*Beweis:* Ergibt sich mit Theorem 2-69 direkt aus den Definitionen.  $\square$

**Theorem 2-71.** *VERS-Inklusion impliziert VANS-Inklusion*

Wenn  $\mathfrak{H}, \mathfrak{H}' \in \text{SEQ}$  und  $\text{VERS}(\mathfrak{H}) \subseteq \text{VERS}(\mathfrak{H}')$ , dann  $\text{VANS}(\mathfrak{H}) \subseteq \text{VANS}(\mathfrak{H}')$ .

*Beweis:* Seien  $\mathfrak{H}, \mathfrak{H}' \in \text{SEQ}$  und sei  $\text{VERS}(\mathfrak{H}) \subseteq \text{VERS}(\mathfrak{H}')$ . Sei nun  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \text{VANS}(\mathfrak{H})$ . Dann ist  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \text{VERS}(\mathfrak{H}) \cap \text{ANS}(\mathfrak{H})$ . Dann ist  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \text{VERS}(\mathfrak{H})$  und  $\mathfrak{H}_i \in \text{ASATZ}$ . Dann ist nach Voraussetzung  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \text{VERS}(\mathfrak{H}')$  und somit auch  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \mathfrak{H}'$ . Da  $\mathfrak{H}_i \in \text{ASATZ}$ , ist damit  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \text{ANS}(\mathfrak{H}')$  und damit insgesamt  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \text{VERS}(\mathfrak{H}') \cap \text{ANS}(\mathfrak{H}') = \text{VANS}(\mathfrak{H}')$ .  $\square$

**Theorem 2-72.** *VANS-Verringerung impliziert VERS-Verringerung*

Wenn  $\mathfrak{H}, \mathfrak{H}' \in \text{SEQ}$  und  $\text{VANS}(\mathfrak{H}) \setminus \text{VANS}(\mathfrak{H}') \neq \emptyset$ , dann  $\text{VERS}(\mathfrak{H}) \setminus \text{VERS}(\mathfrak{H}') \neq \emptyset$ .

*Beweis:* Seien  $\mathfrak{H}, \mathfrak{H}' \in \text{SEQ}$  und sei  $\text{VANS}(\mathfrak{H}) \setminus \text{VANS}(\mathfrak{H}') \neq \emptyset$ . Dann folgt mit Theorem 2-71 sofort  $\text{VERS}(\mathfrak{H}) \setminus \text{VERS}(\mathfrak{H}') \neq \emptyset$ .  $\square$

**Theorem 2-73.** *VERS-Inklusion impliziert VER-Inklusion*

Wenn  $\mathfrak{H}, \mathfrak{H}' \in \text{SEQ}$  und  $\text{VERS}(\mathfrak{H}) \subseteq \text{VERS}(\mathfrak{H}')$ , dann  $\text{VER}(\mathfrak{H}) \subseteq \text{VER}(\mathfrak{H}')$ .

*Beweis:* Seien  $\mathfrak{H}, \mathfrak{H}' \in \text{SEQ}$  und sei  $\text{VERS}(\mathfrak{H}) \subseteq \text{VERS}(\mathfrak{H}')$ . Sei nun  $\Gamma \in \text{VER}(\mathfrak{H})$ . Dann gibt es ein  $i \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}))$  und  $\Gamma = A(\mathfrak{H}_i)$ . Dann ist  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \text{VERS}(\mathfrak{H})$ . Nach Voraussetzung ist dann  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \text{VERS}(\mathfrak{H}')$ . Nun ist  $\text{VERS}(\mathfrak{H}') \subseteq \mathfrak{H}'$  und somit  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \mathfrak{H}'$  und also  $\mathfrak{H}_i = \mathfrak{H}'_i$ . Somit ist  $\Gamma = A(\mathfrak{H}_i) = A(\mathfrak{H}'_i)$ . Also ist insgesamt  $i \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}'))$  und  $\Gamma = A(\mathfrak{H}'_i)$ . Also ist  $\Gamma \in \text{VER}(\mathfrak{H}')$ .  $\square$

**Theorem 2-74.** *VANS-Inklusion impliziert VAN-Inklusion*

Wenn  $\mathfrak{H}, \mathfrak{H}' \in \text{SEQ}$  und  $\text{VANS}(\mathfrak{H}) \subseteq \text{VANS}(\mathfrak{H}')$ , dann  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H}')$

*Beweis:* Seien  $\mathfrak{H}, \mathfrak{H}' \in \text{SEQ}$  und sei  $\text{VANS}(\mathfrak{H}) \subseteq \text{VANS}(\mathfrak{H}')$ . Sei nun  $\Gamma \in \text{VAN}(\mathfrak{H})$ . Dann gibt es ein  $i \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}))$  und  $\Gamma = A(\mathfrak{H}_i)$ . Dann ist  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \text{VANS}(\mathfrak{H})$ . Nach Voraussetzung ist dann  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \text{VANS}(\mathfrak{H}')$ . Nun ist  $\text{VANS}(\mathfrak{H}') \subseteq \mathfrak{H}'$  und somit  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \mathfrak{H}'$

und also  $\mathfrak{H}_i = \mathfrak{H}'_i$ . Somit ist  $\Gamma = A(\mathfrak{H}_i) = A(\mathfrak{H}'_i)$ . Also ist insgesamt  $i \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}'))$  und  $\Gamma = A(\mathfrak{H}'_i)$ . Also ist  $\Gamma \in \text{VAN}(\mathfrak{H}')$ .  $\square$

**Theorem 2-75.** *VAN ist höchstens so groß wie VANS*

Für alle  $\mathfrak{H}$ :  $|\text{VAN}(\mathfrak{H})| \leq |\text{VANS}(\mathfrak{H})|$ .

*Beweis:* Nach Definition 2-32 ist  $f : \text{VAN}(\mathfrak{H}) \rightarrow \text{VANS}(\mathfrak{H})$ ,  $f(\Gamma) = (\min(\{i \mid i \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H})) \text{ und } A(\mathfrak{H}_i) = \Gamma\}), \mathfrak{H}_{\min(\{i \mid i \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H})) \text{ und } A(\mathfrak{H}_i) = \Gamma\})})$  eine Injektion von  $\text{VAN}(\mathfrak{H})$  in  $\text{VANS}(\mathfrak{H})$ .  $\square$

**Theorem 2-76.** *VAN ist dann und nur dann leer, wenn auch VANS leer ist*

Für alle  $\mathfrak{H}$ :  $|\text{VAN}(\mathfrak{H})| = 0$  gdw  $|\text{VANS}(\mathfrak{H})| = 0$ .

*Beweis:* Sei  $|\text{VAN}(\mathfrak{H})| \neq 0$ . Dann ist mit Theorem 2-75 auch  $|\text{VANS}(\mathfrak{H})| \neq 0$ . Sei nun  $|\text{VANS}(\mathfrak{H})| \neq 0$ . Dann gibt es  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \text{VANS}(\mathfrak{H})$  und mit Definition 2-32 ist dann  $A(\mathfrak{H}_i) \in \text{VAN}(\mathfrak{H})$  und damit  $|\text{VAN}(\mathfrak{H})| \neq 0$ . Damit ist insgesamt  $|\text{VAN}(\mathfrak{H})| \neq 0$  gdw  $|\text{VANS}(\mathfrak{H})| \neq 0$ , woraus sich unmittelbar die Behauptung ergibt.  $\square$

**Theorem 2-77.** *Bei non-redundantem VANS ist jede Annahme an genau einer Stelle als Annahme verfügbar*

Wenn  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ}$  und  $|\text{VAN}(\mathfrak{H})| = |\text{VANS}(\mathfrak{H})|$ , dann gilt für alle  $\Gamma \in \text{VAN}(\mathfrak{H})$ : Es gibt genau ein  $j \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}))$ , so dass  $\Gamma = A(\mathfrak{H}_j)$ .

*Beweis:* Sei  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ}$  und  $|\text{VAN}(\mathfrak{H})| = |\text{VANS}(\mathfrak{H})|$ . Dann gilt nach Theorem 2-69-(ii), dass  $\text{VANS}(\mathfrak{H}) \subseteq \mathfrak{H}$  und damit mit  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ}$  und Definition 1-24 und Definition 1-23, dass  $|\text{VAN}(\mathfrak{H})| = |\text{VANS}(\mathfrak{H})| = k$  für  $k \in \mathbb{N}$ . Sei nun  $\Gamma \in \text{VAN}(\mathfrak{H})$ . Dann ist  $k > 0$ . Sodann gibt es nach Definition 2-32 ein  $j \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}))$ , so dass  $\Gamma = A(\mathfrak{H}_j)$ . Sei nun  $i \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}))$  und  $\Gamma = A(\mathfrak{H}_i)$ . Wäre nun  $i \neq j$ . Dann ist  $|\text{VANS}(\mathfrak{H}) \setminus \{(j, \mathfrak{H}_j)\}| = k-1$  und andererseits ist  $f : \text{VAN}(\mathfrak{H}) \rightarrow \text{VANS}(\mathfrak{H}) \setminus \{(j, \mathfrak{H}_j)\}$ ,  $f(\Gamma) = (\min(\{l \mid l \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}) \setminus \{(j, \mathfrak{H}_j)\}) \text{ und } A(\mathfrak{H}_l) = \Gamma\}), \mathfrak{H}_{\min(\{l \mid l \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}) \setminus \{(j, \mathfrak{H}_j)\}) \text{ und } A(\mathfrak{H}_l) = \Gamma\})})$  eine Injektion von  $\text{VAN}(\mathfrak{H})$  in  $\text{VANS}(\mathfrak{H}) \setminus \{(j, \mathfrak{H}_j)\}$  und somit  $k = |\text{VAN}(\mathfrak{H})| \leq k-1$ . Widerspruch!  $\square$

**Theorem 2-78.** *VERS, VANS, VER und VAN in Verkettungen mit ein-gliedrigen Sequenzen*

Wenn  $\mathfrak{H}, \mathfrak{H}' \in \text{SEQ}$  und  $\text{Dom}(\mathfrak{H}') = 1$ , dann:

- (i)  $\text{VERS}(\mathfrak{H} \hat{\ } \mathfrak{H}') \subseteq \text{VERS}(\mathfrak{H}) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \mathfrak{H}'_0)\}$ ,
- (ii)  $\text{VANS}(\mathfrak{H} \hat{\ } \mathfrak{H}') \subseteq \text{VANS}(\mathfrak{H}) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \mathfrak{H}'_0)\}$ ,
- (iii)  $\text{VER}(\mathfrak{H} \hat{\ } \mathfrak{H}') \subseteq \text{VER}(\mathfrak{H}) \cup \{\text{K}(\mathfrak{H}')\}$ ,
- (iv)  $\text{VAN}(\mathfrak{H} \hat{\ } \mathfrak{H}') \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H}) \cup \{\text{K}(\mathfrak{H}')\}$ .

*Beweis:* Seien  $\mathfrak{H}, \mathfrak{H}' \in \text{SEQ}$  und sei  $\text{Dom}(\mathfrak{H}') = 1$ .

*Zu (i):* Sei  $(i, (\mathfrak{H} \hat{\ } \mathfrak{H}')_i) \in \text{VERS}(\mathfrak{H} \hat{\ } \mathfrak{H}')$ . Dann ist  $i \in \text{Dom}(\mathfrak{H} \hat{\ } \mathfrak{H}')$  und  $A((\mathfrak{H} \hat{\ } \mathfrak{H}')_i)$  ist in  $\mathfrak{H} \hat{\ } \mathfrak{H}'$  bei  $i$  verfügbar. Sodann ist  $i \in \text{Dom}(\mathfrak{H})$  oder  $i = \text{Dom}(\mathfrak{H})$ .

Sei nun  $i \in \text{Dom}(\mathfrak{H})$ . Dann ist  $(\mathfrak{H} \hat{\ } \mathfrak{H}')_i = \mathfrak{H}_i$ . Wäre nun  $A(\mathfrak{H}_i) = A((\mathfrak{H} \hat{\ } \mathfrak{H}')_i)$  in  $\mathfrak{H}$  bei  $i$  nicht verfügbar. Dann gäbe es nach Definition 2-27 ein  $\mathfrak{A}$ , so dass  $\mathfrak{A}$  ein geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist und  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) \leq i < \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ . Mit Theorem 2-61-(vii) wäre dann wegen  $\mathfrak{H} \subseteq \mathfrak{H} \hat{\ } \mathfrak{H}'$  allerdings  $\mathfrak{A}$  auch ein geschlossener-Abschnitt in  $\mathfrak{H} \hat{\ } \mathfrak{H}'$  und  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) \leq i < \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ . Damit wäre  $A((\mathfrak{H} \hat{\ } \mathfrak{H}')_i)$  aber in  $\mathfrak{H} \hat{\ } \mathfrak{H}'$  bei  $i$  nicht verfügbar. Also ist  $i \in \text{Dom}(\mathfrak{H})$  und  $A((\mathfrak{H} \hat{\ } \mathfrak{H}')_i)$  ist in  $\mathfrak{H}$  bei  $i$  verfügbar und somit  $(i, (\mathfrak{H} \hat{\ } \mathfrak{H}')_i) \in \text{VERS}(\mathfrak{H})$ .

Sei nun  $i = \text{Dom}(\mathfrak{H})$ . Dann ist  $(\mathfrak{H} \hat{\ } \mathfrak{H}')_i = (\mathfrak{H} \hat{\ } \mathfrak{H}')_{\text{Dom}(\mathfrak{H})} = \mathfrak{H}'_0$  und damit  $(i, (\mathfrak{H} \hat{\ } \mathfrak{H}')_i) = (\text{Dom}(\mathfrak{H}), \mathfrak{H}'_0) \in \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \mathfrak{H}'_0)\}$ .

*Zu (ii):* Sei  $(i, (\mathfrak{H} \hat{\ } \mathfrak{H}')_i) \in \text{VANS}(\mathfrak{H} \hat{\ } \mathfrak{H}')$ . Dann ist mit Theorem 2-69  $(i, (\mathfrak{H} \hat{\ } \mathfrak{H}')_i) \in \text{VERS}(\mathfrak{H} \hat{\ } \mathfrak{H}')$  und  $(\mathfrak{H} \hat{\ } \mathfrak{H}')_i \in \text{ASATZ}$ . Dann ist mit (i)  $(i, (\mathfrak{H} \hat{\ } \mathfrak{H}')_i) \in \text{VERS}(\mathfrak{H}) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \mathfrak{H}'_0)\}$ . Sei  $(i, (\mathfrak{H} \hat{\ } \mathfrak{H}')_i) \in \text{VERS}(\mathfrak{H})$ . Dann ist  $(i, (\mathfrak{H} \hat{\ } \mathfrak{H}')_i) \in \text{VERS}(\mathfrak{H})$  und  $(\mathfrak{H} \hat{\ } \mathfrak{H}')_i \in \text{ASATZ}$  und damit ist  $(i, (\mathfrak{H} \hat{\ } \mathfrak{H}')_i) \in \text{VANS}(\mathfrak{H})$ . Ist dagegen  $(i, (\mathfrak{H} \hat{\ } \mathfrak{H}')_i) \in \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \mathfrak{H}'_0)\}$ , dann ist  $(i, (\mathfrak{H} \hat{\ } \mathfrak{H}')_i) \in \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \mathfrak{H}'_0)\}$ .

*Zu (iii):* Sei  $\Gamma \in \text{VER}(\mathfrak{H} \hat{\ } \mathfrak{H}')$ . Dann gibt es ein  $i \in \text{Dom}(\mathfrak{H} \hat{\ } \mathfrak{H}')$ , so dass  $\Gamma$  in  $\mathfrak{H} \hat{\ } \mathfrak{H}'$  bei  $i$  verfügbar ist. Dann ist  $\Gamma = A((\mathfrak{H} \hat{\ } \mathfrak{H}')_i)$  und  $(i, (\mathfrak{H} \hat{\ } \mathfrak{H}')_i) \in \text{VERS}(\mathfrak{H} \hat{\ } \mathfrak{H}')$ . Damit ist mit (i)  $(i, (\mathfrak{H} \hat{\ } \mathfrak{H}')_i) \in \text{VERS}(\mathfrak{H}) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \mathfrak{H}'_0)\}$ . Sei nun  $(i, (\mathfrak{H} \hat{\ } \mathfrak{H}')_i) \in \text{VERS}(\mathfrak{H})$ . Dann ist  $i \in \text{Dom}(\mathfrak{H})$  und  $\Gamma$  ist in  $\mathfrak{H}$  bei  $i$  verfügbar. Damit ist dann  $\Gamma \in \text{VER}(\mathfrak{H})$ . Sei nun  $(i, (\mathfrak{H} \hat{\ } \mathfrak{H}')_i) \in \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \mathfrak{H}'_0)\}$ . Dann ist  $i = \text{Dom}(\mathfrak{H})$  und  $(\mathfrak{H} \hat{\ } \mathfrak{H}')_i = \mathfrak{H}'_0$  und somit  $\Gamma = A(\mathfrak{H}'_0) = \text{K}(\mathfrak{H}') \in \{\text{K}(\mathfrak{H}')\}$ .

*Zu (iv):* Sei  $\Gamma \in \text{VAN}(\mathfrak{H} \hat{\ } \mathfrak{H}')$ . Dann gibt es ein  $i \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \hat{\ } \mathfrak{H}'))$  und  $\Gamma = A((\mathfrak{H} \hat{\ } \mathfrak{H}')_i)$ . Dann ist  $(i, (\mathfrak{H} \hat{\ } \mathfrak{H}')_i) \in \text{VANS}(\mathfrak{H} \hat{\ } \mathfrak{H}')$  und mit (ii) ist  $(i, (\mathfrak{H} \hat{\ } \mathfrak{H}')_i) \in \text{VANS}(\mathfrak{H}) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \mathfrak{H}'_0)\}$ . Sei nun  $(i, (\mathfrak{H} \hat{\ } \mathfrak{H}')_i) \in \text{VANS}(\mathfrak{H})$ . Dann ist  $i \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}))$  und

$\mathfrak{H}_i = (\mathfrak{H} \hat{\ } \mathfrak{H}')_i$  und somit  $\Gamma = A(\mathfrak{H}_i) \in \text{VAN}(\mathfrak{H})$ . Sei nun  $(i, (\mathfrak{H} \hat{\ } \mathfrak{H}')_i) \in \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \mathfrak{H}'_0)\}$ . Dann ist  $i = \text{Dom}(\mathfrak{H})$  und  $(\mathfrak{H} \hat{\ } \mathfrak{H}')_i = \mathfrak{H}'_0$  und somit  $\Gamma = A(\mathfrak{H}'_0) = K(\mathfrak{H}') \in \{K(\mathfrak{H}')\}$ .  $\square$

**Theorem 2-79.** *VERS, VANS, VER und VAN in Verkettungen mit beliebigen Sequenzen*

Wenn  $\mathfrak{H}, \mathfrak{H}' \in \text{SEQ}$ , dann:

- (i)  $\text{VERS}(\mathfrak{H} \hat{\ } \mathfrak{H}') \subseteq \text{VERS}(\mathfrak{H}) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})+i, \mathfrak{H}'_i) \mid i \in \text{Dom}(\mathfrak{H}')\}$ ,
- (ii)  $\text{VANS}(\mathfrak{H} \hat{\ } \mathfrak{H}') \subseteq \text{VANS}(\mathfrak{H}) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})+i, \mathfrak{H}'_i) \mid i \in \text{Dom}(\mathfrak{H}')\}$ .

*Beweis:* Beweis per Induktion über  $\text{Dom}(\mathfrak{H}')$ . Für  $\text{Dom}(\mathfrak{H}') = 0$  folgt die Induktionsbasis mit  $\mathfrak{H} \hat{\ } \mathfrak{H}' = \mathfrak{H}$ . Angenommen, für alle  $\mathfrak{H}^*$  mit  $\text{Dom}(\mathfrak{H}^*) = j$  gilt das Theorem. Zu (i) gilt also  $\text{VERS}(\mathfrak{H} \hat{\ } \mathfrak{H}^*) \subseteq \text{VERS}(\mathfrak{H}) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})+i, \mathfrak{H}^*_i) \mid i \in \text{Dom}(\mathfrak{H}^*)\}$  für alle  $\mathfrak{H}^*$  mit  $\text{Dom}(\mathfrak{H}^*) = j$ . Sei nun  $\text{Dom}(\mathfrak{H}') = j+1$ . Dann ist  $\text{Dom}(\mathfrak{H}' \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1) = j$ . Also ist nach I.V.  $\text{VERS}(\mathfrak{H} \hat{\ } (\mathfrak{H}' \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1)) \subseteq \text{VERS}(\mathfrak{H}) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})+i, (\mathfrak{H}' \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1)_i) \mid i \in \text{Dom}(\mathfrak{H}' \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1)\} = \text{VERS}(\mathfrak{H}) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})+i, \mathfrak{H}'_i) \mid i \in \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1\}$ . Nun ist  $\text{VERS}(\mathfrak{H} \hat{\ } \mathfrak{H}') = \text{VERS}(\mathfrak{H} \hat{\ } (\mathfrak{H}' \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1) \hat{\ } \{(0, \mathfrak{H}'_{\text{Dom}(\mathfrak{H}')-1})\})$ . Nach Theorem 2-78 ist aber  $\text{VERS}(\mathfrak{H} \hat{\ } (\mathfrak{H}' \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1) \hat{\ } \{(0, \mathfrak{H}'_{\text{Dom}(\mathfrak{H}')-1})\}) \subseteq \text{VERS}(\mathfrak{H} \hat{\ } (\mathfrak{H}' \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1)) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H} \hat{\ } (\mathfrak{H}' \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1)), \mathfrak{H}'_{\text{Dom}(\mathfrak{H}')-1})\} = \text{VERS}(\mathfrak{H} \hat{\ } (\mathfrak{H}' \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1)) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})+(\text{Dom}(\mathfrak{H}')-1), \mathfrak{H}'_{\text{Dom}(\mathfrak{H}')-1})\}$ . Also insgesamt  $\text{VERS}(\mathfrak{H} \hat{\ } \mathfrak{H}') \subseteq \text{VERS}(\mathfrak{H}) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})+i, \mathfrak{H}'_i) \mid i \in \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1\} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})+(\text{Dom}(\mathfrak{H}')-1), \mathfrak{H}'_{\text{Dom}(\mathfrak{H}')-1})\}$  und damit  $\text{VERS}(\mathfrak{H} \hat{\ } \mathfrak{H}') \subseteq \text{VERS}(\mathfrak{H}) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})+i, \mathfrak{H}'_i) \mid i \in \text{Dom}(\mathfrak{H}')\}$ . Der Beweis zu (ii) verläuft analog.

**Theorem 2-80.** *VERS, VANS, VER und VAN in Beschränkungen auf  $\text{Dom}(\mathfrak{H})-1$*

Wenn  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{0\}$ , dann:

- (i)  $\text{VERS}(\mathfrak{H}) \subseteq \text{VERS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})-1, \mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-1})\}$ ,
- (ii)  $\text{VANS}(\mathfrak{H}) \subseteq \text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})-1, \mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-1})\}$ ,
- (iii)  $\text{VER}(\mathfrak{H}) \subseteq \text{VER}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \cup \{A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-1})\}$ ,
- (iv)  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \cup \{A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-1})\}$ .

*Beweis:* Sei  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{0\}$ . Dann ist  $\mathfrak{H} = (\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \hat{\ } \{(0, \mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-1})\}$  und die Behauptung ergibt sich mit Theorem 2-78.  $\square$

**Theorem 2-81.** *Die Konklusion ist immer verfügbar*

Wenn  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$ , dann ist  $K(\mathfrak{H})$  in  $\mathfrak{H}$  bei  $\text{Dom}(\mathfrak{H})-1$  verfügbar.

*Beweis:* Sei  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$ . Dann gilt für alle geschlossenen Abschnitte  $\mathfrak{A}$  in  $\mathfrak{H}$ :  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{A})) \leq \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$  und also gibt es keinen geschlossenen Abschnitt  $\mathfrak{A}$  in  $\mathfrak{H}$ , so dass  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) \leq \text{Dom}(\mathfrak{H})-1 < \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ . Also ist  $A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-1}) = K(\mathfrak{H})$  in  $\mathfrak{H}$  bei  $\text{Dom}(\mathfrak{H})-1$  verfügbar.  $\square$

**Theorem 2-82.** *Zusammenhang von Nichtverfügbarkeit und der Entstehung eines geschlossenen Abschnitts beim Übergang von  $\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$  auf  $\mathfrak{H}$*

Wenn  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$  und  $\text{VERS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \setminus \text{VERS}(\mathfrak{H}) \neq \emptyset$ , dann:

Es gibt ein  $\mathfrak{B}$ , so dass  $\mathfrak{B}$  ein geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist und

- (i)  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) \leq \text{Dom}(\mathfrak{H})-2$  und  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{B})) = \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$ ,
- (ii) Für alle geschlossenen Abschnitte  $\mathfrak{C}$  in  $\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$  gilt:  $\mathfrak{B} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1 \cap \mathfrak{C} = \emptyset$  oder  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) < \min(\text{Dom}(\mathfrak{C}))$  und  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{C})) < \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$ ,
- (iii) Für alle geschlossenen Abschnitte  $\mathfrak{C}^*$  in  $\mathfrak{H}$  gilt: Wenn  $\mathfrak{C}^*$  kein geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$  ist, dann ist  $\mathfrak{C}^* = \mathfrak{B}$ ,
- (iv)  $\text{VERS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \setminus \text{VERS}(\mathfrak{H}) \subseteq \{(j, \mathfrak{H}_j) \mid \min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) \leq j < \text{Dom}(\mathfrak{H})-1\}$ ,
- (v)  $\text{VERS}(\mathfrak{H}) = (\text{VERS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \setminus \{(j, \mathfrak{H}_j) \mid \min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) \leq j < \text{Dom}(\mathfrak{H})-1\}) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})-1, \mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-1})\}$ ,
- (vi)  $\text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \setminus \text{VANS}(\mathfrak{H}) = \{(\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})), \mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))})\}$ ,
- (vii)  $\text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) = \text{VANS}(\mathfrak{H}) \cup \{(\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})), \mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))})\}$ ,
- (viii)  $\text{VER}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \setminus \text{VER}(\mathfrak{H}) \subseteq \{A(\mathfrak{H}_j) \mid \min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) \leq j < \text{Dom}(\mathfrak{H})-1\}$ ,
- (ix)  $\text{VER}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \subseteq \{A(\mathfrak{H}_j) \mid j \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}) \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)\} \cup \{A(\mathfrak{H}_j) \mid \min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) \leq j < \text{Dom}(\mathfrak{H})-1\}$ ,
- (x)  $\text{VAN}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \setminus \text{VAN}(\mathfrak{H}) \subseteq \{A(\mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))})\}$  und
- (xi)  $\text{VAN}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) = \text{VAN}(\mathfrak{H}) \cup \{A(\mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))})\}$ .

*Beweis:* Sei  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$  und sei  $\text{VERS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \setminus \text{VERS}(\mathfrak{H}) \neq \emptyset$ . Dann gibt es ein  $i \in \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$ , so dass  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \text{VERS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \setminus \text{VERS}(\mathfrak{H})$ .

Dann gilt nach Definition 2-29 und Definition 2-27, dass es kein  $\mathfrak{B}'$  gibt, so dass  $\mathfrak{B}'$  ein geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$  ist und  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{B}') \leq i < \max(\text{Dom}(\mathfrak{B}'))$  und dass es ein  $\mathfrak{B}$  gibt, so dass  $\mathfrak{B}$  ein geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist und  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) \leq i < \max(\text{Dom}(\mathfrak{B}))$ .

Zu (i): Es ist zunächst  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{B})) \leq \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$ . Wäre nun  $\text{Dom}(\mathfrak{H})-2 < \min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))$ . Dann wäre mit Theorem 2-43  $\text{Dom}(\mathfrak{H})-1 \leq \min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) < \max(\text{Dom}(\mathfrak{B})) \leq \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$ . Widerspruch! Also ist  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) \leq \text{Dom}(\mathfrak{H})-2$ . Wäre

nun  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{B})) < \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$ . Dann wäre  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) < \max(\text{Dom}(\mathfrak{B})) < \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$  und mit Theorem 2-63-(vii) und Theorem 2-61-(vii)  $\mathfrak{B}$  ein geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$  und es wäre  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) \leq i < \max(\text{Dom}(\mathfrak{B}))$ . Damit wäre aber  $(i, \mathfrak{H}_i) \notin \text{VERS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ . Also gilt, dass  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{B})) = \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$  und damit insgesamt, dass  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) \leq \text{Dom}(\mathfrak{H})-2$  und  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{B})) = \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$ .

*Zu (ii):* Sei  $\mathfrak{C}$  ein geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$ . Sei nun  $\mathfrak{B} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1 \cap \mathfrak{C} \neq \emptyset$ . Dann ist  $\mathfrak{B} \cap \mathfrak{C} \neq \emptyset$ . Dann gilt mit Theorem 2-56:  $\mathfrak{B} \subseteq \mathfrak{C}$  oder  $\mathfrak{C} \subseteq \mathfrak{B}$ . Da aber  $\mathfrak{C} \subseteq \mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$  und  $(\text{Dom}(\mathfrak{H})-1, \mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-1}) \in \mathfrak{B}$ , gilt  $\mathfrak{B} \not\subseteq \mathfrak{C}$ . Damit gilt  $\mathfrak{C} \subset \mathfrak{B}$ . Damit gilt mit Theorem 2-55:  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) < \min(\text{Dom}(\mathfrak{C}))$  und  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{C})) < \max(\text{Dom}(\mathfrak{B})) = \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$ .

*Zu (iii):* Sei  $\mathfrak{C}^*$  ein geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ , aber kein geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$ . Dann ist  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{C}^*)) = \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$ . Es gilt nämlich:  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{C}^*)) \leq \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$ . Wäre nun  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{C}^*)) < \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$ , dann wäre mit Theorem 2-63-(vii) und Theorem 2-61-(vii)  $\mathfrak{C}^*$  entgegen der Voraussetzung ein geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$ . Also gilt  $\text{Dom}(\mathfrak{H})-1 \leq \max(\text{Dom}(\mathfrak{C}^*))$  und somit insgesamt  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{C}^*)) = \text{Dom}(\mathfrak{H})-1 = \max(\text{Dom}(\mathfrak{B}))$ . Damit ergibt sich mit Theorem 2-52, dass  $\mathfrak{C}^* = \mathfrak{B}$ .

*Zu (iv):* Sei  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \text{VERS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \setminus \text{VERS}(\mathfrak{H})$ . Dann gibt es einen geschlossenen Abschnitt  $\mathfrak{C}$  in  $\mathfrak{H}$ , so dass  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{C})) \leq i < \max(\text{Dom}(\mathfrak{C}))$  und  $\mathfrak{C}$  kein geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$  ist. Dann gilt mit (iii):  $\mathfrak{C} = \mathfrak{B}$  und somit  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) \leq i < \max(\text{Dom}(\mathfrak{B})) = \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$ . Damit gilt dann  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \{(j, \mathfrak{H}_j) \mid \min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) \leq j < \text{Dom}(\mathfrak{H})-1\}$ .

*Zu (v):* Sei zunächst  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \text{VERS}(\mathfrak{H})$ . Dann gilt zunächst mit Theorem 2-80-(i):  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \text{VERS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})-1, \mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-1})\}$ . Sodann gilt, dass es keinen geschlossenen Abschnitt  $\mathfrak{C}$  in  $\mathfrak{H}$  gibt, so dass  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{C})) \leq i < \max(\text{Dom}(\mathfrak{C}))$ . Da  $\mathfrak{B}$  nun ein geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist, gilt dann:  $(i, \mathfrak{H}_i) \notin \{(j, \mathfrak{H}_j) \mid \min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) \leq j < \text{Dom}(\mathfrak{H})-1\}$ . Damit ergibt sich dann:  $(i, \mathfrak{H}_i) \in (\text{VERS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \setminus \{(j, \mathfrak{H}_j) \mid \min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) \leq j < \text{Dom}(\mathfrak{H})-1\}) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})-1, \mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-1})\}$ .

Sei nun umgekehrt  $(i, \mathfrak{H}_i) \in (\text{VERS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \setminus \{(j, \mathfrak{H}_j) \mid \min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) \leq j < \text{Dom}(\mathfrak{H})-1\}) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})-1, \mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-1})\}$ . Sei zunächst  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \text{VERS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \setminus \{(j, \mathfrak{H}_j) \mid \min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) \leq j < \text{Dom}(\mathfrak{H})-1\}$ . Wäre nun  $(i, \mathfrak{H}_i) \notin \text{VERS}(\mathfrak{H})$ . Dann wäre  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \text{VERS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \setminus \text{VERS}(\mathfrak{H})$  und  $(i, \mathfrak{H}_i) \notin \{(j, \mathfrak{H}_j) \mid \min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) \leq j < \text{Dom}(\mathfrak{H})-1\}$ , was im Widerspruch zu (iv) steht. Also ist im ersten Fall  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \text{VERS}(\mathfrak{H})$ . Sei nun  $(i,$

$\mathfrak{H}_i) \in \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})-1, \mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-1})\}$ . Dann ist  $i = \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$  und  $A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-1}) = K(\mathfrak{H})$  und damit gilt mit Theorem 2-81 auch im zweiten Fall:  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \text{VERS}(\mathfrak{H})$ .

Zu (vi): Sei zunächst  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \setminus \text{VANS}(\mathfrak{H})$ . Dann ist  $(i, \mathfrak{H}_i) \in (\text{VERS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \cap \text{ANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)) \setminus (\text{VERS}(\mathfrak{H}) \cap \text{ANS}(\mathfrak{H}))$ . Da  $\text{ANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \subseteq \text{ANS}(\mathfrak{H})$  ist  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \text{ANS}(\mathfrak{H})$  und somit  $(i, \mathfrak{H}_i) \notin \text{VERS}(\mathfrak{H})$  und insgesamt  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \text{VERS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \setminus \text{VERS}(\mathfrak{H})$ . Somit gilt mit (iv):  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \mathfrak{B}$ . Dann ist  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \text{ANS}(\mathfrak{H}) \cap \mathfrak{B}$  und somit gibt es mit Theorem 2-46 ein  $\mathfrak{C} \subseteq \mathfrak{B}$ , so dass  $\mathfrak{C}$  ein geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist und  $i = \min(\text{Dom}(\mathfrak{C}))$ . Sei  $\mathfrak{C}$  so. Wegen  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \text{VERS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  ist  $\mathfrak{C}$  dann kein geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$  und daher mit (iii)  $\mathfrak{C} = \mathfrak{B}$  und daher  $i = \min(\text{Dom}(\mathfrak{C})) = \min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))$ . Dann ist  $(i, \mathfrak{H}_i) = (\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})), \mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))})$ .

Nun zum Nachweis von  $\{(\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})), \mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))})\} \subseteq \text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \setminus \text{VANS}(\mathfrak{H})$ . Zunächst ist  $(\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})), \mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))}) \in \text{ANS}(\mathfrak{H})$ . Angenommen, es gäbe einen geschlossenen Abschnitt  $\mathfrak{C}$  in  $\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$ , so dass  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{C})) \leq \min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) < \max(\text{Dom}(\mathfrak{C}))$ . Dann ist  $\mathfrak{C} \cap \mathfrak{B} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1 \neq \emptyset$ . Damit würde aber mit (ii) gelten:  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) < \min(\text{Dom}(\mathfrak{C}))$ . Widerspruch! Also gibt es keinen entsprechenden geschlossenen Abschnitt  $\mathfrak{C}$  in  $\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$  und somit ist  $(\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})), \mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))}) \in \text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ . Sodann gibt es mit  $\mathfrak{B}$  selbst einen geschlossenen Abschnitt  $\mathfrak{B}'$  in  $\mathfrak{H}$ , so dass  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{B}')) \leq \min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) < \max(\text{Dom}(\mathfrak{B}'))$  und somit ist  $(\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})), \mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))}) \notin \text{VANS}(\mathfrak{H})$  und daher insgesamt  $(\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})), \mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))}) \in \text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \setminus \text{VANS}(\mathfrak{H})$ .

Zu (vii): Sei zunächst  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ . Dann ist  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \text{VANS}(\mathfrak{H})$  oder  $(i, \mathfrak{H}_i) \notin \text{VANS}(\mathfrak{H})$ . Sei nun  $(i, \mathfrak{H}_i) \notin \text{VANS}(\mathfrak{H})$ . Dann ist  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \setminus \text{VANS}(\mathfrak{H})$  und damit mit (vi):  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \{(\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})), \mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))})\}$ . Also gilt in beiden Fällen:  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \text{VANS}(\mathfrak{H}) \cup \{(\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})), \mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))})\}$ .

Sei nun umgekehrt  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \text{VANS}(\mathfrak{H}) \cup \{(\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})), \mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))})\}$ . Sei nun zunächst  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \text{VANS}(\mathfrak{H})$ . Dann ist  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \text{ANS}(\mathfrak{H})$ . Sodann gilt mit Theorem 2-80-(ii):  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})-1, \mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-1})\}$ . Nun gilt aber mit (i)  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{B})) = \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$  und da  $\mathfrak{B}$  ein geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  und damit ein SE- oder NE- oder EA-artiger Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist, ist damit mit Theorem 2-28  $(\text{Dom}(\mathfrak{H})-1, \mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-1}) \notin \text{ANS}(\mathfrak{H})$  und somit ist  $(i, \mathfrak{H}_i) \notin \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})-1, \mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-1})\}$ . Damit ist dann  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ . Sei nun  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \{(\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})), \mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))})\}$ . Dann gilt mit (vi) ebenfalls  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ .

Zu (viii): Sei  $\Gamma \in \text{VER}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \setminus \text{VER}(\mathfrak{H})$ . Dann gibt es ein  $i \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1))$  und  $\Gamma = A(\mathfrak{H}_i)$ . Dann ist  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \text{VERS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  und  $(i, \mathfrak{H}_i) \notin \text{VERS}(\mathfrak{H})$ , denn sonst wäre  $\Gamma \in \text{VER}(\mathfrak{H})$ . Dann gilt mit (iv):  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \{(j, \mathfrak{H}_j) \mid \min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) \leq j < \text{Dom}(\mathfrak{H})-1\}$ . Dann ist  $\Gamma \in \{A(\mathfrak{H}_j) \mid \min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) \leq j < \text{Dom}(\mathfrak{H})-1\}$ .

Zu (ix): Sei  $\Gamma \in \text{VER}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ . Dann gibt es ein  $i \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1))$  und  $\Gamma = A(\mathfrak{H}_i)$ . Dann ist  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \text{VERS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  und damit auch  $i < \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$ . Sodann ist  $\Gamma \in \{A(\mathfrak{H}_j) \mid \min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) \leq j < \text{Dom}(\mathfrak{H})-1\}$  oder  $\Gamma \notin \{A(\mathfrak{H}_j) \mid \min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) \leq j < \text{Dom}(\mathfrak{H})-1\}$ . Sei nun  $\Gamma \notin \{A(\mathfrak{H}_j) \mid \min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) \leq j < \text{Dom}(\mathfrak{H})-1\}$ . Damit ist dann auch  $(i, \mathfrak{H}_i) \notin \{(j, \mathfrak{H}_j) \mid \min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) \leq j < \text{Dom}(\mathfrak{H})-1\}$  und somit insgesamt  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \text{VERS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \setminus \{(j, \mathfrak{H}_j) \mid \min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) \leq j < \text{Dom}(\mathfrak{H})-1\}$ . Mit (v) ist dann  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \text{VERS}(\mathfrak{H})$  und mit  $i < \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$  gilt  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \text{VERS}(\mathfrak{H}) \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$ . Also ist  $i \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}) \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  und damit  $\Gamma \in \{A(\mathfrak{H}_j) \mid j \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}) \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)\}$ . Also gilt in beiden Fällen:  $\Gamma \in \{A(\mathfrak{H}_j) \mid j \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}) \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)\} \cup \{A(\mathfrak{H}_j) \mid \min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) \leq j < \text{Dom}(\mathfrak{H})-1\}$ .

Zu (x): Sei  $\Gamma \in \text{VAN}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \setminus \text{VAN}(\mathfrak{H})$ . Dann gibt es ein  $i \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1))$  und  $\Gamma = A(\mathfrak{H}_i)$ . Dann ist  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  und  $(i, \mathfrak{H}_i) \notin \text{VANS}(\mathfrak{H})$ , denn sonst wäre  $\Gamma \in \text{VAN}(\mathfrak{H})$ . Dann ergibt sich mit (vi):  $(i, \mathfrak{H}_i) = (\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})), \mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))})$ . Dann ist  $\Gamma = A(\mathfrak{H}_i) = A(\mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))}) \in \{A(\mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))})\}$ .

Und zuletzt zu (xi): Mit (vii) gilt:  $\text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) = \text{VANS}(\mathfrak{H}) \cup \{(\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})), \mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))})\}$ . Damit gilt:  $\Gamma \in \text{VAN}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  gdw es gibt ein  $i \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1))$  und  $\Gamma = A(\mathfrak{H}_i)$  gdw es gibt ein  $i \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H})) \cup \{\min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))\}$  und  $\Gamma = A(\mathfrak{H}_i)$  gdw  $\Gamma \in \text{VAN}(\mathfrak{H}) \cup \{A(\mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))})\}$ . Also gilt  $\text{VAN}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) = \text{VAN}(\mathfrak{H}) \cup \{A(\mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))})\}$ .  $\square$

**Theorem 2-83.** *VERS-Verringerung beim Übergang von  $\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$  zu  $\mathfrak{H}$  dann und nur dann, wenn dabei ein neuer geschlossener Abschnitt erzeugt wird*

Wenn  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$ , dann:

$\text{VERS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \setminus \text{VERS}(\mathfrak{H}) \neq \emptyset$

gdw

Es gibt ein  $\mathfrak{B}$ , so dass

- (i)  $\mathfrak{B}$  ein geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist und
- (ii)  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) \leq \text{Dom}(\mathfrak{H})-2$  und  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{B})) = \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$ .

*Beweis:* Sei  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$ . Die Links-Rechts-Richtung ergibt sich unmittelbar mit Theorem 2-82. Gebe es nun für die Rechts-Links-Richtung ein  $\mathfrak{B}$ , so dass  $\mathfrak{B}$  ein ge-

geschlossenem Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist und  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) \leq \text{Dom}(\mathfrak{H})-2$  und  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{B})) = \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$  und sei  $\mathfrak{B}$  so. Dann gilt:  $(\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})), \mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))}) \in \text{VERS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \setminus \text{VERS}(\mathfrak{H})$ . Zunächst ist  $(\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})), \mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))}) \notin \text{VERS}(\mathfrak{H})$ , da es mit  $\mathfrak{B}$  selbst einen geschlossenen Abschnitt  $\mathfrak{B}'$  in  $\mathfrak{H}$  gibt, so dass  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{B}')) \leq \min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) < \max(\text{Dom}(\mathfrak{B}'))$ .

Sei nun  $\mathfrak{C}$  ein geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$ . Dann gilt wegen  $\mathfrak{C} \subseteq \mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$  und  $(\text{Dom}(\mathfrak{H})-1, \mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-1}) \in \mathfrak{B}$ , dass  $\mathfrak{B} \not\subseteq \mathfrak{C}$ . Damit gilt aber mit Theorem 2-51:  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) \notin \text{Dom}(\mathfrak{C})$ . Somit gibt es keinen geschlossenen Abschnitt  $\mathfrak{C}$  in  $\mathfrak{H}$ , so dass  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{C})) \leq \min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) < \max(\text{Dom}(\mathfrak{C}))$  und daher gilt:  $(\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})), \mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))}) \in \text{VERS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  und insgesamt:  $(\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})), \mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))}) \in \text{VERS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \setminus \text{VERS}(\mathfrak{H})$ .  $\square$

**Theorem 2-84.** *VANS-Verringerung beim Übergang von  $\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$  zu  $\mathfrak{H}$  dann und nur dann, wenn dabei ein neuer geschlossener Abschnitt erzeugt wird, dessen erstes Glied gerade der nun unverfügbare Annahmesatz und das maximale Glied in  $\text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  ist*

Wenn  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$ , dann:

$$\text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \setminus \text{VANS}(\mathfrak{H}) \neq \emptyset$$

gdw

Es gibt ein  $\mathfrak{B}$ , so dass

- (i)  $\mathfrak{B}$  ein geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist,
- (ii)  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) \leq \text{Dom}(\mathfrak{H})-2$  und  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{B})) = \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$  und
- (iii)  $\text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \setminus \text{VANS}(\mathfrak{H}) = \{(\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})), \mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))})\} = \{(\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1))), \mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1))})\}$ .

*Beweis:* Sei  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$ . (L-R): Sei  $\text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \setminus \text{VANS}(\mathfrak{H}) \neq \emptyset$ . Dann gibt es ein  $i \in \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$ , so dass  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \setminus \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}))$ . Dann gilt:  $(i, \mathfrak{H}_i) \in (\text{VERS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \cap \text{ANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)) \setminus (\text{VERS}(\mathfrak{H}) \cap \text{ANS}(\mathfrak{H}))$ . Da  $\text{ANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \subseteq \text{ANS}(\mathfrak{H})$ , ist  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \text{ANS}(\mathfrak{H})$  und somit  $(i, \mathfrak{H}_i) \notin \text{VERS}(\mathfrak{H})$  und insgesamt  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \text{VERS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \setminus \text{VERS}(\mathfrak{H})$ . Damit gibt es mit Theorem 2-82 ein  $\mathfrak{B}$ , so dass  $\mathfrak{B}$  ein geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist und  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) \leq \text{Dom}(\mathfrak{H})-2$  und  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{B})) = \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$  und  $\text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \setminus \text{VANS}(\mathfrak{H}) = \{(\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})), \mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))})\}$ . Dann ist zunächst  $(\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})), \mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))}) \in \text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  und damit  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1))$ .

Sodann ist auch  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) = \max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)))$ . Sei nämlich  $k \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1))$  und sei  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) \leq k$ . Dann ist  $(k, \mathfrak{H}_k) \in$

VANS( $\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$ ) und damit  $(k, \mathfrak{H}_k) \in \text{ANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  und damit auch  $(k, \mathfrak{H}_k) \in \text{ANS}(\mathfrak{H})$ . Sodann ist dann  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) \leq k < \text{Dom}(\mathfrak{H})-1 = \max(\text{Dom}(\mathfrak{B}))$ . Damit ist dann  $k \in \text{Dom}(\mathfrak{B}) \cap \text{ANS}(\mathfrak{H})$ . Mit Theorem 2-65 ist dann  $k = \min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))$  oder es gibt ein  $\mathfrak{C}$ , so dass  $k = \min(\text{Dom}(\mathfrak{C}))$  und  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) < \min(\text{Dom}(\mathfrak{C})) < \max(\text{Dom}(\mathfrak{C})) < \max(\text{Dom}(\mathfrak{B})) = \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$ . Der zweite Fall ist allerdings ausgeschlossen, da es sonst mit Theorem 2-63-(vii) und Theorem 2-61-(vii) einen geschlossenen Abschnitt  $\mathfrak{C}$  mit  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{C})) \leq k < \max(\text{Dom}(\mathfrak{C}))$  in  $\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$  gäbe und damit  $(k, \mathfrak{H}_k) \notin \text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  gelten würde. Also ist  $k = \min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))$ . Damit ist gezeigt, dass  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) = \max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)))$  und damit gilt  $\{(\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})), \mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))})\} = \{(\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1))), \mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1))})\}$ .

(R-L): Gibt es umgekehrt einen geschlossenen Abschnitt  $\mathfrak{B}$  in  $\mathfrak{H}$ , für den  $\text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \setminus \text{VANS}(\mathfrak{H}) = \{(\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})), \mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))})\}$ , dann ist  $\text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \setminus \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H})) \neq \emptyset$ .  $\square$

**Theorem 2-85.** *Ist das letzte Glied eines geschlossenen Abschnitts  $\mathfrak{B}$  in  $\mathfrak{H}$  mit dem letzten Glied von  $\mathfrak{H}$  identisch, dann ist das erste Glied von  $\mathfrak{B}$  das maximale Glied von  $\text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  und in  $\mathfrak{H}$  nicht mehr verfügbar*

Wenn  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$  und  $\mathfrak{B}$  ein geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist und  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{B})) = \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$ , dann gilt:  $\text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \setminus \text{VANS}(\mathfrak{H}) = \{(\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})), \mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))})\} = \{(\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1))), \mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1))})\}$ .

*Beweis:* Sei  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$  und sei  $\mathfrak{B}$  ein geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  und  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{B})) = \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$ . Dann ist  $\mathfrak{B}$  ein SE- oder NE- oder EA-artiger Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  und damit gilt mit Theorem 2-30:  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) < \max(\text{Dom}(\mathfrak{B})) = \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$  und somit  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) \leq \text{Dom}(\mathfrak{H})-2$ . Damit ergibt sich mit Theorem 2-83, dass  $\text{VERS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})) \setminus \text{VERS}(\mathfrak{H}) \neq \emptyset$  ist. Daraus ergibt sich wiederum mit Theorem 2-82-(vi), dass es ein  $\mathfrak{C}$  gibt, so dass  $\mathfrak{C}$  ein geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist und  $\text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \setminus \text{VANS}(\mathfrak{H}) = \{(\min(\text{Dom}(\mathfrak{C})), \mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{C}))})\}$ . Nun ist  $\mathfrak{B}$  ein geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  und mit  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{B})) = \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$  ist  $\mathfrak{B}$  kein Abschnitt und damit auch kein geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$ . Damit gilt mit Theorem 2-82-(iii):  $\mathfrak{B} = \mathfrak{C}$  und damit  $\text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \setminus \text{VANS}(\mathfrak{H}) = \{(\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})), \mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))})\}$ . Damit ergibt sich dann mit Theorem 2-84 unschwer, dass  $\text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \setminus \text{VANS}(\mathfrak{H}) = \{(\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})), \mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))})\} = \{(\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1))), \mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1))})\}$ .  $\square$

**Theorem 2-86.** *Beim Übergang von  $\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$  zu  $\mathfrak{H}$  verringert sich die Anzahl der verfügbaren Annahmesätze maximal um eins.*

Wenn  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$ , dann  $|\text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \setminus \text{VANS}(\mathfrak{H})| \leq 1$ .

*Beweis:* Sei  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$ . Dann ist  $\text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \setminus \text{VANS}(\mathfrak{H}) = \emptyset$  oder  $\text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \setminus \text{VANS}(\mathfrak{H}) \neq \emptyset$ . Im ersten Fall ist  $|\text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \setminus \text{VANS}(\mathfrak{H})| = 0$ . Sei nun  $\text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \setminus \text{VANS}(\mathfrak{H}) \neq \emptyset$ . Dann gibt es mit Theorem 2-83 einen geschlossenen Abschnitt  $\mathfrak{B}$  in  $\mathfrak{H}$ , so dass  $\text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \setminus \text{VANS}(\mathfrak{H}) = \{(\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})), \mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))})\}$ . Dann ist  $|\text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \setminus \text{VANS}(\mathfrak{H})| = 1$ .  $\square$

**Theorem 2-87.** *Beim Übergang von  $\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$  zu  $\mathfrak{H}$  impliziert echte VAN-Inklusion echte VANS-Inklusion*

Wenn  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$  und  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \subset \text{VAN}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ , dann  $\text{VANS}(\mathfrak{H}) \subset \text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ .

*Beweis:* Sei  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$  und sei  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \subset \text{VAN}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ . Dann gibt es ein  $\Gamma \in \text{GFORM}$ , so dass  $\Gamma \in \text{VAN}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \setminus \text{VAN}(\mathfrak{H})$ . Dann gibt es ein  $i \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1))$ , so dass  $\Gamma = A(\mathfrak{H}_i)$ . Dann ist  $i \notin \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}))$ , denn sonst wäre  $\Gamma \in \text{VAN}(\mathfrak{H})$ . Damit ist  $\text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \setminus \text{VANS}(\mathfrak{H}) \neq \emptyset$  und mit Theorem 2-84 gibt es einen geschlossenen Abschnitt  $\mathfrak{B}$  in  $\mathfrak{H}$ , so dass  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{B})) = \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$ . Dann ist  $\mathfrak{B}$  ein SE- oder NE- oder EA-artiger Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ . Dann ergibt sich mit Theorem 2-28, dass  $(\text{Dom}(\mathfrak{H})-1, \mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-1}) \notin \text{ANS}(\mathfrak{H})$  und damit  $(\text{Dom}(\mathfrak{H})-1, \mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-1}) \notin \text{VANS}(\mathfrak{H})$ . Mit Theorem 2-80 gilt nun:  $\text{VANS}(\mathfrak{H}) \subseteq \text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})-1, \mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-1})\}$ , so dass sich zunächst einmal  $\text{VANS}(\mathfrak{H}) \subseteq \text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  ergibt und mit  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \setminus \text{VANS}(\mathfrak{H})$  ergibt sich:  $\text{VANS}(\mathfrak{H}) \subset \text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ .  $\square$

**Theorem 2-88.** *Vorbereitungstheorem (a) für Theorem 2-90, Theorem 2-91 und Theorem 2-92*

Wenn  $\mathfrak{A}$  ein Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist und  $l \in \text{Dom}(\mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathfrak{A})))$ , dann:

$$(l, \mathfrak{H}_l) \in \text{VERS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathfrak{A})))$$

gdw

Für alle geschlossenen Abschnitte  $\mathfrak{C}$  in  $\mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$  gilt:  $l < \min(\text{Dom}(\mathfrak{C}))$  oder  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{C})) \leq l$ .

*Beweis:* Sei  $\mathfrak{A}$  ein Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  und  $l \in \text{Dom}(\mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathfrak{A})))$ . (L-R): Sei nun zunächst  $(l, \mathfrak{H}_l) \in \text{VERS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathfrak{A})))$ . Sei nun  $\mathfrak{C}$  ein geschlossener Abschnitt in

$\mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ . Wäre dann  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{C})) \leq l < \max(\text{Dom}(\mathfrak{C}))$ , dann wäre damit  $(l, \mathfrak{H}_l) \notin \text{VERS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathfrak{A})))$ , was der Annahme widerspricht. Also ist  $l < \min(\text{Dom}(\mathfrak{C}))$  oder  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{C})) \leq l$ . (R-L): Gelte nun für alle geschlossenen Abschnitte  $\mathfrak{C}$  in  $\mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ :  $l < \min(\text{Dom}(\mathfrak{C}))$  oder  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{C})) \leq l$ . Dann gilt für alle geschlossenen Abschnitte  $\mathfrak{C}$  in  $\mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ , dass es nicht der Fall ist, dass  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{C})) \leq l < \max(\text{Dom}(\mathfrak{C}))$ . Sodann ist nach Voraussetzung  $l \in \text{Dom}(\mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathfrak{A})))$  und damit ist  $A(\mathfrak{H}_l)$  in  $\mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$  bei  $l$  verfügbar. Also gilt:  $(l, \mathfrak{H}_l) \in \text{VERS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathfrak{A})))$ .  $\square$

**Theorem 2-89.** *Vorbereitungstheorem (b) für Theorem 2-90, Theorem 2-91 und Theorem 2-92*

Wenn  $\mathfrak{A}$  ein Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist und  $l \in \text{Dom}(\mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathfrak{A})))$ , dann:

$$(l, \mathfrak{H}_l) \in \text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathfrak{A})))$$

gdw

$$(l, \mathfrak{H}_l) \in \text{ANS}(\mathfrak{H}) \text{ und für alle geschlossenen Abschnitte } \mathfrak{C} \text{ in } \mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathfrak{A})) \text{ gilt: } l < \min(\text{Dom}(\mathfrak{C})) \text{ oder } \max(\text{Dom}(\mathfrak{C})) \leq l.$$

*Beweis:* Sei  $\mathfrak{A}$  ein Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  und  $l \in \text{Dom}(\mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathfrak{A})))$ . (L-R): Sei nun zunächst  $(l, \mathfrak{H}_l) \in \text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathfrak{A})))$ . Dann ist  $(l, \mathfrak{H}_l) \in \text{VERS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))) \cap \text{ANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathfrak{A})))$  und da  $\text{ANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))) \subseteq \text{ANS}(\mathfrak{H})$  ist damit  $(l, \mathfrak{H}_l) \in \text{ANS}(\mathfrak{H})$ . Sodann ergibt sich mit  $(l, \mathfrak{H}_l) \in \text{VERS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathfrak{A})))$  und Theorem 2-88, dass für alle geschlossenen Abschnitte  $\mathfrak{C}$  in  $\mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$  gilt:  $l < \min(\text{Dom}(\mathfrak{C}))$  oder  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{C})) \leq l$ . (R-L): Sei nun  $(l, \mathfrak{H}_l) \in \text{ANS}(\mathfrak{H})$  und gelte für alle geschlossenen Abschnitte  $\mathfrak{C}$  in  $\mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ :  $l < \min(\text{Dom}(\mathfrak{C}))$  oder  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{C})) \leq l$ . Nach Voraussetzung gilt, dass  $l \in \text{Dom}(\mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathfrak{A})))$  und damit, dass  $(l, \mathfrak{H}_l) \in \text{ANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathfrak{A})))$ . Sodann ergibt sich mit Theorem 2-88, dass  $(l, \mathfrak{H}_l) \in \text{VERS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathfrak{A})))$  und damit insgesamt, dass  $(l, \mathfrak{H}_l) \in \text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathfrak{A})))$ .  $\square$

**Theorem 2-90. SE-Schließt!-Theorem**

$\mathfrak{A}$  ist ein Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  und es gibt  $\Delta, \Gamma \in \text{GFORM}$  so dass

- (i)  $A(\mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))}) = \Delta$  und  $(\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})), \mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))}) \in \text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathfrak{A})))$ ,
- (ii)  $A(\mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))-1}) = \Gamma$ ,
- (iii) Es kein  $r$  mit  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) < r \leq \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))-1$  gibt, so dass  $(r, \mathfrak{H}_r) \in \text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathfrak{A})))$  und
- (iv)  $\mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))} = \ulcorner \text{Also } \Delta \rightarrow \Gamma \urcorner$

gdw

$\mathfrak{A}$  ist ein SE-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ .

*Beweis:* Ergibt sich direkt aus Theorem 2-66, Theorem 2-88 und Theorem 2-89.  $\square$

**Theorem 2-91. NE-Schließt!-Theorem**

$\mathfrak{A}$  ist ein Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  und es gibt  $\Delta, \Gamma \in \text{GFORM}$  und  $i \in \text{Dom}(\mathfrak{H})$ , so dass

- (i)  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) \leq i < \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ ,
- (ii)  $A(\mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))}) = \Delta$  und  $(\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})), \mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))}) \in \text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathfrak{A})))$ ,
- (iii)  $A(\mathfrak{H}_i) = \Gamma$  und  $A(\mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))-1}) = \ulcorner \neg \Gamma \urcorner$   
oder  
 $A(\mathfrak{H}_i) = \ulcorner \neg \Gamma \urcorner$  und  $A(\mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))-1}) = \Gamma$ ,
- (iv)  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \text{VERS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathfrak{A})))$ ,
- (v) Es kein  $r$  mit  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) < r \leq \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))-1$  gibt, so dass  $(r, \mathfrak{H}_r) \in \text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathfrak{A})))$  und
- (vi)  $\mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))} = \ulcorner \text{Also } \neg \Delta \urcorner$

gdw

$\mathfrak{A}$  ist ein NE-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ .

*Beweis:* Ergibt sich direkt aus Theorem 2-67, Theorem 2-88 und Theorem 2-89.  $\square$

**Theorem 2-92. PB-Schließt!-Theorem**

$\mathcal{A}$  ist ein Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  und es gibt  $\xi \in \text{VAR}$ ,  $\beta \in \text{PAR}$ ,  $\Delta \in \text{FORM}$ , wobei  $\text{FV}(\Delta) \subseteq \{\xi\}$ ,  $\Gamma \in \text{GFORM}$  und  $\mathfrak{B} \in \text{ABS}(\mathfrak{H})$ , so dass

- (i)  $A(\mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))}) = \ulcorner \forall \xi \Delta \urcorner$  und  $(\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})), \mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))}) \in \text{VERS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathcal{A})))$ ,
- (ii)  $A(\mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))+1}) = [\beta, \xi, \Delta]$  und  $(\min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))+1, \mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))+1}) \in \text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathcal{A})))$ ,
- (iii)  $A(\mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\mathfrak{B}))-1}) = \Gamma$ ,
- (iv)  $\mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\mathfrak{B}))} = \ulcorner \text{Also } \Gamma \urcorner$ ,
- (v)  $\beta \notin \text{TTFM}(\{\Delta, \Gamma\})$ ,
- (vi) Es kein  $j \leq \min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))$  gibt, so dass  $\beta \in \text{TT}(\mathfrak{H}_j)$ ,
- (vii)  $\mathcal{A} = \mathfrak{B} \setminus \{(\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})), \mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))})\}$  und
- (viii) Es kein  $r$  mit  $\min(\text{Dom}(\mathcal{A})) < r \leq \max(\text{Dom}(\mathcal{A}))-1$  gibt, so dass  $(r, \mathfrak{H}_r) \in \text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathcal{A})))$

gdw

$\mathcal{A}$  ist ein PB-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ .

*Beweis:* Ergibt sich direkt aus Theorem 2-68, Theorem 2-88 und Theorem 2-89.  $\square$



### 3 Der Redehandlungskalkül

Die Metatheorie des Kalküls ist nun hinreichend entwickelt, damit dieser etabliert werden kann (3.1). Sodann wird für diesen Kalkül ein Ableitungs- und ein Konsequenzbegriff etabliert (3.2). Den Abschluss des Kapitels bildet der Beweis von Theoremen, die die Arbeitsweise des Kalküls beschreiben und im weiteren Fortgang nützlich sind (3.3).

#### 3.1 Der Kalkül

Mit dem Redehandlungskalkül werden nun Regeln für das Annehmen und das Folgern etabliert, die letztendlich das Ableiten von Aussagen aus Aussagenmengen anleiten. Dazu ist vorbereitend zu bemerken: Ein Autor nimmt eine Aussage  $\Gamma$  an, indem er den Satz 'Sei  $\Gamma$ ' äußert, und ein Autor folgert eine Aussage  $\Gamma$ , indem er den Satz 'Also  $\Gamma$ ' äußert. Ein Autor äußert die leere Sequenz, indem er nichts äußert. Ein Autor äußert eine nicht-leere Sequenz  $\mathfrak{H}$ , indem er nacheinander für jedes  $i \in \text{Dom}(\mathfrak{H})$   $\mathfrak{H}_i$  äußert. Ein Autor setzt eine Sequenz  $\mathfrak{H}$  zu einer Sequenz  $\mathfrak{H}^*$  fort, wenn er  $\mathfrak{H}$  geäußert hat und nun eine Sequenz  $\mathfrak{H}'$  äußert, so dass  $\mathfrak{H}^* = \mathfrak{H} \hat{\ } \mathfrak{H}'$ . Ein Autor setzt also eine von ihm geäußerte Sequenz  $\mathfrak{H}$  zu der Sequenz  $\mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \text{'Sei } \Gamma)\}$  fort, indem er  $\Gamma$  annimmt, d.h., indem er 'Sei  $\Gamma$ ' äußert, und ein Autor setzt eine von ihm geäußerte Sequenz  $\mathfrak{H}$  zu der Sequenz  $\mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \text{'Also } \Gamma)\}$  fort, indem er  $\Gamma$  folgert, d.h., indem er 'Also  $\Gamma$ ' äußert.<sup>11</sup>

Die Regeln des Kalküls – und nur diese – sollen es erlauben, eine bereits geäußerte Sequenz  $\mathfrak{H}$  zu einer Sequenz  $\mathfrak{H}'$  mit  $\text{Dom}(\mathfrak{H}') = \text{Dom}(\mathfrak{H})+1$  fortzusetzen. Im Anschluss an das Reglement kann dann ein Ableitungs- und ein Konsequenzbegriff etabliert werden, wobei Ableitungen genau die nicht-leeren Sequenzen sein sollen, die sich nach den Regeln des Kalküls äußern lassen ( $\uparrow$  3.2).

Wie für pragmatisierte Kalküle des natürlichen Schließens üblich gibt es eine Annahmeregel (Handlungsanleitung 3-1) und 16 Folgerungsregeln (Handlungsanleitung 3-2 bis Handlungsanleitung 3-17). Zusätzlich enthält der Kalkül eine Interdiktionärklausel (IDK, Handlungsanleitung 3-18), die alle Fortsetzungen verbietet, die nicht durch

---

<sup>11</sup> Zum Zusammenhang des Vollzugs von Redehandlungen bzw. Redehandlungssequenzen und der Äußerung von Sätzen bzw. Satzsequenzen siehe HINST, P.: *Logischer Grundkurs*, S. 58–71, SIEGWART, G.: *Vorfragen*, S. 25–32, *Denkwerkzeuge*, S. 39–52, und *Alethic Acts*. Offenbar setzt die hier gepflegte Äußerungsrede voraus, dass die mit Postulat 1-1 und Postulat 1-2 geforderten Zeichen und Zeichenverkettungen äußerbare Gebilde sind.

Handlungsanleitung 3-1 bis Handlungsanleitung 3-17 erlaubt sind. Unter den Folgerungsregeln regulieren jeweils zwei einen der Junktoren, Quant(ifikat)oren oder den Identitätsprädikator. Mit einer der beiden Regeln wird der Operator ›eingeführt‹, mit der anderen ›beseitigt‹.

Zum besseren Verständnis sei hier noch einmal die Verfügbarkeitsrede in Steniform wiederholt: Ist  $\mathfrak{H}$  eine Sequenz, dann ist  $(i, \mathfrak{H}_i)$  genau dann in  $\text{VERS}(\mathfrak{H})$ , wenn die Aussage von  $\mathfrak{H}_i$  in  $\mathfrak{H}$  bei  $i$  verfügbar ist. Ferner ist  $(i, \mathfrak{H}_i)$  genau dann in  $\text{VANS}(\mathfrak{H})$ , wenn die Aussage von  $\mathfrak{H}_i$  in  $\mathfrak{H}$  bei  $i$  verfügbar und  $\mathfrak{H}_i$  ein Annahmesatz ist. Sodann ist  $\Gamma$  genau dann Element von  $\text{VER}(\mathfrak{H})$ , wenn es  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \text{VERS}(\mathfrak{H})$  gibt, so dass  $\Gamma$  die Aussage von  $\mathfrak{H}_i$  ist und  $\Gamma$  ist genau dann Element von  $\text{VAN}(\mathfrak{H})$ , wenn es  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \text{VANS}(\mathfrak{H})$  gibt, so dass  $\Gamma$  die Aussage von  $\mathfrak{H}_i$  ist.

Um vorbereitend eine intuitiv eingängige Kurzfassung des Reglements zu geben, sei vereinbart: Wenn man eine Sequenz  $\mathfrak{H}$  geäußert hat und  $\Gamma$  in  $\mathfrak{H}$  bei  $i$  verfügbar ist, dann hat man  $\Gamma$  in  $\mathfrak{H}$  bei  $i$  gewonnen. Wenn  $\Delta$  die letzte bei der Äußerung von  $\mathfrak{H}$  gemachte Annahme ist, die noch verfügbar ist, und man  $\Gamma$  in  $\mathfrak{H}$  nach bzw. mit der Annahme von  $\Delta$  gewonnen hat, dann hat man  $\Gamma$  in  $\mathfrak{H}$  im Ausgang von der Annahme von  $\Delta$  gewonnen. Setzt man  $\mathfrak{H}$  zu  $\mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \Sigma)\}$  fort und ist  $\Delta = A(\mathfrak{H}_i)$  eine in  $\mathfrak{H}$  bei  $i$  verfügbare Annahme, die in  $\mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \Sigma)\}$  bei  $i$  nicht mehr verfügbar ist, dann hat man sich von der Annahme von  $\Delta$  bei  $i$  befreit.

Nun die *Kurzform des Reglements* unter Vernachlässigung von Sequenz- und Stellenbezug: Man darf jede Aussage  $\Gamma$  annehmen (AR); hat man als letztes  $\Gamma$  im Ausgang von der Annahme von  $\Delta$  gewonnen, dann darf man  $\ulcorner \Delta \rightarrow \Gamma \urcorner$  folgern und sich so von der Annahme von  $\Delta$  befreien (SE); hat man  $\Delta$  und  $\ulcorner \Delta \rightarrow \Gamma \urcorner$  gewonnen, dann darf man  $\Gamma$  folgern (SB); hat man  $\Delta$  und  $\Gamma$  gewonnen, dann darf man  $\ulcorner \Delta \wedge \Gamma \urcorner$  folgern (KE); hat man  $\ulcorner \Delta \wedge \Gamma \urcorner$  oder  $\ulcorner \Gamma \wedge \Delta \urcorner$  gewonnen, dann darf man  $\Gamma$  folgern (KB); hat man  $\ulcorner \Delta \rightarrow \Gamma \urcorner$  und  $\ulcorner \Gamma \rightarrow \Delta \urcorner$  gewonnen, dann darf man  $\ulcorner \Delta \leftrightarrow \Gamma \urcorner$  folgern (BE); hat man  $\Delta$  und  $\ulcorner \Delta \leftrightarrow \Gamma \urcorner$  oder  $\Delta$  und  $\ulcorner \Gamma \leftrightarrow \Delta \urcorner$  gewonnen, dann darf man  $\Gamma$  folgern (BB); hat man  $\Gamma$  oder  $\Delta$  gewonnen, dann darf man  $\ulcorner \Delta \vee \Gamma \urcorner$  folgern (AE); hat man  $\ulcorner B \vee \Delta \urcorner$ ,  $\ulcorner B \rightarrow \Gamma \urcorner$  und  $\ulcorner \Delta \rightarrow \Gamma \urcorner$  gewonnen, dann darf man  $\Gamma$  folgern (AB); hat man im Ausgang von der Annahme von  $\Delta$  entweder  $\Gamma$  und als letztes  $\ulcorner \neg \Gamma \urcorner$  oder  $\ulcorner \neg \Gamma \urcorner$  und als letztes  $\Gamma$  gewonnen, dann darf man  $\ulcorner \neg \Delta \urcorner$  folgern und sich so von der Annahme von  $\Delta$  befreien (NE); hat man  $\ulcorner \neg \neg \Gamma \urcorner$  gewonnen, dann darf

man  $\Gamma$  folgern (NB); hat man  $[\beta, \xi, \Delta]$  gewonnen, wobei  $\beta$  kein Teilterm von  $\Delta$  oder von einer verfügbaren Annahme ist, dann darf man  $\lceil \wedge \xi \Delta \rceil$  folgern (UE), hat man  $\lceil \wedge \xi \Delta \rceil$  gewonnen, dann darf man  $[\theta, \xi, \Delta]$  folgern (UB); hat man  $[\theta, \xi, \Delta]$  gewonnen, dann darf man  $\lceil \forall \xi \Delta \rceil$  folgern (PE); hat man  $\lceil \forall \xi \Delta \rceil$  gewonnen, als nächstes  $[\beta, \xi, \Delta]$  angenommen, wobei  $\beta$  ein neuer Parameter und kein Teilterm von  $\Delta$  ist, und dann im Ausgang von der Annahme von  $[\beta, \xi, \Delta]$  als letztes  $\Gamma$  gewonnen, wobei  $\beta$  kein Teilterm von  $\Gamma$  ist, dann darf man  $\Gamma$  folgern und sich so von der Annahme von  $[\beta, \xi, \Delta]$  befreien (PB); man darf  $\lceil \theta = \theta \rceil$  folgern (IE); hat man  $\lceil \theta_0 = \theta_1 \rceil$  und  $[\theta_0, \xi, \Delta]$  gewonnen, dann darf man  $[\theta_1, \xi, \Delta]$  folgern (IB); das ist alles, was man darf (IDK).

Es folgen nun die Regeln des Redehandlungskalküls in ihrer verbindlichen Formulierung:

**Handlungsanleitung 3-1. Annahmeregeln (AR)**

Wenn man  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ}$  geäußert hat und  $\Gamma \in \text{GFORM}$ , dann darf man  $\mathfrak{H}$  zu  $\mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \lceil \text{Sei } \Gamma \rceil)\}$  fortsetzen.

**Handlungsanleitung 3-2. Subjunktoreinführungsregel (SE)**

Wenn man  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ}$  geäußert hat,  $\Delta, \Gamma \in \text{GFORM}$  und  $i \in \text{Dom}(\mathfrak{H})$  und

- (i)  $A(\mathfrak{H}_i) = \Delta$  und  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \text{VANS}(\mathfrak{H})$ ,
- (ii)  $A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-1}) = \Gamma$  und
- (iii) Es kein  $l$  mit  $i < l \leq \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$  gibt, so dass  $(l, \mathfrak{H}_l) \in \text{VANS}(\mathfrak{H})$ ,

dann darf man  $\mathfrak{H}$  zu  $\mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \lceil \text{Also } \Delta \rightarrow \Gamma \rceil)\}$  fortsetzen.

Man beachte, dass die Anwendung der Subjunktoreinführungsregel SE-geschlossene Abschnitte gemäß Definition 2-24 erzeugt (vgl. Theorem 2-90). Setzt man  $\mathfrak{H}$  mittels SE zu  $\mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \lceil \text{Also } \Delta \rightarrow \Gamma \rceil)\}$  fort, so ist daher in  $\mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \lceil \text{Also } \Delta \rightarrow \Gamma \rceil)\}$  keine der bei der Äußerung von  $\mathfrak{H}$  ab (*einschließlich*) dem  $i$ -ten Glied gefolgerten oder angenommenen Aussagen verfügbar, es sei denn, die Aussage war in  $\mathfrak{H}$  schon vor dem  $i$ -ten Glied verfügbar (vgl. Definition 2-27). Davon ist natürlich die neuerdings verfügbare Subjunktion  $\lceil \Delta \rightarrow \Gamma \rceil$  ausgenommen, die sie ja die Aussage des neuen letzten Gliedes bildet und damit in jedem Fall in der nun insgesamt geäußerten Sequenz verfügbar ist (vgl. Theorem 2-81). Da die Aussage des letzten Gliedes einer Sequenz  $\mathfrak{H}$  in  $\mathfrak{H}$  immer bei  $\text{Dom}(\mathfrak{H})-1$  verfügbar ist, reicht es auch, in Klausel (ii) der Regel zu fordern, dass das Sukzedens der zu folgernden Subjunktion die Aussage des letzten Gliedes von  $\mathfrak{H}$  ist, ohne

zusätzlich zu fordern, dass diese Aussage dort auch verfügbar ist. Analoges betrifft Handlungsanleitung 3-10 (NE) und Handlungsanleitung 3-15 (PB).

**Handlungsanleitung 3-3. Subjunktorbeseitigungsregel (SB)**

Wenn man  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ}$  geäußert hat,  $\Delta, \Gamma \in \text{GFORM}$  und  $\{\Delta, \ulcorner \Delta \rightarrow \Gamma \urcorner\} \subseteq \text{VER}(\mathfrak{H})$ , dann darf man  $\mathfrak{H}$  zu  $\mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \text{Also } \Gamma \urcorner)\}$  fortsetzen.

**Handlungsanleitung 3-4. Konjunktoreinführungsregel (KE)**

Wenn man  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ}$  geäußert hat und  $\Delta, \Gamma \in \text{VER}(\mathfrak{H})$ , dann darf man  $\mathfrak{H}$  zu  $\mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \text{Also } \Delta \wedge \Gamma \urcorner)\}$  fortsetzen.

**Handlungsanleitung 3-5. Konjunktorbeseitigungsregel (KB)**

Wenn man  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ}$  geäußert hat,  $\Delta, \Gamma \in \text{GFORM}$  und  $\{\ulcorner \Delta \wedge \Gamma \urcorner, \ulcorner \Gamma \wedge \Delta \urcorner\} \cap \text{VER}(\mathfrak{H}) \neq \emptyset$ , dann darf man  $\mathfrak{H}$  zu  $\mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \text{Also } \Gamma \urcorner)\}$  fortsetzen.

**Handlungsanleitung 3-6. Bisubjunktoreinführungsregel (BE)**

Wenn man  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ}$  geäußert hat,  $\Delta, \Gamma \in \text{GFORM}$  und  $\{\ulcorner \Delta \rightarrow \Gamma \urcorner, \ulcorner \Gamma \rightarrow \Delta \urcorner\} \subseteq \text{VER}(\mathfrak{H})$ , dann darf man  $\mathfrak{H}$  zu  $\mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \text{Also } \Delta \leftrightarrow \Gamma \urcorner)\}$  fortsetzen.

Hier wird die metalogische *Separiertheitsmaxime*, nach der jede Regel genau einen Operator regulieren soll, verletzt. Im Regelantezedens wird gefordert, dass bestimmte Subjunktionen bereits verfügbar sind. Die Bisubjunktoreinführungsregel ist damit zugleich eine Subjunktorbeseitigungsregel für Subjunktionen in bestimmten Kontexten.

**Handlungsanleitung 3-7. Bisubjunktorbeseitigungsregel (BB)**

Wenn man  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ}$  geäußert hat,  $\Delta \in \text{VER}(\mathfrak{H})$ ,  $\Gamma \in \text{GFORM}$ , und  $\{\ulcorner \Delta \leftrightarrow \Gamma \urcorner, \ulcorner \Gamma \leftrightarrow \Delta \urcorner\} \cap \text{VER}(\mathfrak{H}) \neq \emptyset$ , dann darf man  $\mathfrak{H}$  zu  $\mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \text{Also } \Gamma \urcorner)\}$  fortsetzen.

**Handlungsanleitung 3-8. Adjunktoreinführungsregel (AE)**

Wenn man  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ}$  geäußert hat,  $\Delta, \Gamma \in \text{GFORM}$  und  $\{\Delta, \Gamma\} \cap \text{VER}(\mathfrak{H}) \neq \emptyset$ , dann darf man  $\mathfrak{H}$  zu  $\mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \text{Also } \Delta \vee \Gamma \urcorner)\}$  fortsetzen.

**Handlungsanleitung 3-9. Adjunktorbeseitigungsregel (AB)**

Wenn man  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ}$  geäußert hat,  $B, \Delta, \Gamma \in \text{GFORM}$  und  $\{\ulcorner B \vee \Delta \urcorner, \ulcorner B \rightarrow \Gamma \urcorner, \ulcorner \Delta \rightarrow \Gamma \urcorner\} \subseteq \text{VER}(\mathfrak{H})$ , dann darf man  $\mathfrak{H}$  zu  $\mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \text{Also } \Gamma \urcorner)\}$  fortsetzen.

Hier wird die metalogische Separiertheitsmaxime ein zweites Mal verletzt. Im Regelantezeden wird gefordert, dass bestimmte Subjunktionen bereits verfügbar sind. Die Adjunktorbeseitigungsregel ist damit zugleich eine Subjunktorbeseitigungsregel für Subjunktionen in bestimmten Kontexten.

**Handlungsanleitung 3-10. Negatoreinführungsregel (NE)**

Wenn man  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ}$  geäußert hat,  $\Delta, \Gamma \in \text{GFORM}$  und  $i, j \in \text{Dom}(\mathfrak{H})$  und

- (i)  $i \leq j$ ,
- (ii)  $A(\mathfrak{H}_i) = \Delta$  und  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \text{VANS}(\mathfrak{H})$ ,
- (iii)  $A(\mathfrak{H}_j) = \Gamma$  und  $A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-1}) = \ulcorner \neg \Gamma \urcorner$   
oder  
 $A(\mathfrak{H}_j) = \ulcorner \neg \Gamma \urcorner$  und  $A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-1}) = \Gamma$ ,
- (iv)  $(j, \mathfrak{H}_j) \in \text{VERS}(\mathfrak{H})$ ,
- (v) Es kein  $l$  mit  $i < l \leq \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$  gibt, so dass  $(l, \mathfrak{H}_l) \in \text{VANS}(\mathfrak{H})$ ,

dann darf man  $\mathfrak{H}$  zu  $\mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \text{Also } \neg \Delta \urcorner)\}$  fortsetzen.

Die Anwendung der Negatoreinführungsregel erzeugt NE-geschlossene Abschnitte gemäß Definition 2-25 (vgl. Theorem 2-91). Setzt man  $\mathfrak{H}$  mittels NE zu  $\mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \text{Also } \neg \Delta \urcorner)\}$  fort, so ist dementsprechend in  $\mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \text{Also } \neg \Delta \urcorner)\}$  keine der bei der Äußerung von  $\mathfrak{H}$  ab (*einschließlich*) dem  $i$ -ten Glied gefolgerten oder angenommenen Aussagen verfügbar, es sei denn, die Aussage war in  $\mathfrak{H}$  schon vor dem  $i$ -ten Glied verfügbar (vgl. Definition 2-27). Davon ist natürlich die neuerdings verfügbare Negation  $\ulcorner \neg \Delta \urcorner$  ausgenommen. Da die Aussage des letzten Gliedes einer Sequenz  $\mathfrak{H}$  in  $\mathfrak{H}$  immer bei  $\text{Dom}(\mathfrak{H})-1$  verfügbar ist (vgl. Theorem 2-81), reicht es ferner, in Klausel (ii) der Regel nur zu fordern, dass eines der Widerspruchsglieder bei  $j$  verfügbar ist und das andere Widerspruchsglied die Aussage des letzten Gliedes von  $\mathfrak{H}$  ist.

**Handlungsanleitung 3-11. Negatorbeseitigungsregel (NB)**

Wenn man  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ}$  geäußert hat,  $\Gamma \in \text{GFORM}$  und  $\ulcorner \neg \neg \Gamma \urcorner \in \text{VER}(\mathfrak{H})$ , dann darf man  $\mathfrak{H}$  zu  $\mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \text{Also } \Gamma \urcorner)\}$  fortsetzen.

**Handlungsanleitung 3-12. Universalquantoreinführungsregel (UE)**

Wenn man  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ}$  geäußert hat,  $\beta \in \text{PAR}$ ,  $\xi \in \text{VAR}$ ,  $\Delta \in \text{FORM}$ , wobei  $\text{FV}(\Delta) \subseteq \{\xi\}$ ,  $[\beta, \xi, \Delta] \in \text{VER}(\mathfrak{H})$  und  $\beta \notin \text{TTFM}(\{\Delta\} \cup \text{VAN}(\mathfrak{H}))$ , dann darf man  $\mathfrak{H}$  zu  $\mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \text{Also } \Delta \urcorner)\}$  fortsetzen.

**Handlungsanleitung 3-13. Universalquantorbeseitigungsregel (UB)**

Wenn man  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ}$  geäußert hat,  $\theta \in \text{GTERM}$ ,  $\xi \in \text{VAR}$ ,  $\Delta \in \text{FORM}$ , wobei  $\text{FV}(\Delta) \subseteq \{\xi\}$ , und  $\ulcorner \Delta \urcorner \in \text{VER}(\mathfrak{H})$ , dann darf man  $\mathfrak{H}$  zu  $\mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \text{Also } [\theta, \xi, \Delta] \urcorner)\}$  fortsetzen.

**Handlungsanleitung 3-14. Partikularquantoreinführungsregel (PE)**

Wenn man  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ}$  geäußert hat,  $\theta \in \text{GTERM}$ ,  $\xi \in \text{VAR}$ ,  $\Delta \in \text{FORM}$ , wobei  $\text{FV}(\Delta) \subseteq \{\xi\}$ , und  $[\theta, \xi, \Delta] \in \text{VER}(\mathfrak{H})$ , dann darf man  $\mathfrak{H}$  zu  $\mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \text{Also } \Delta \urcorner)\}$  fortsetzen.

**Handlungsanleitung 3-15. Partikularquantorbeseitigungsregel (PB)**

Wenn man  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ}$  geäußert hat,  $\beta \in \text{PAR}$ ,  $\xi \in \text{VAR}$ ,  $\Delta \in \text{FORM}$ , wobei  $\text{FV}(\Delta) \subseteq \{\xi\}$ ,  $\Gamma \in \text{GFORM}$  und  $i \in \text{Dom}(\mathfrak{H})$ , und

- (i)  $A(\mathfrak{H}_i) = \ulcorner \forall \xi \Delta \urcorner$  und  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \text{VERS}(\mathfrak{H})$ ,
- (ii)  $A(\mathfrak{H}_{i+1}) = [\beta, \xi, \Delta]$  und  $(i+1, \mathfrak{H}_{i+1}) \in \text{VANS}(\mathfrak{H})$ ,
- (iii)  $A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-1}) = \Gamma$ ,
- (iv)  $\beta \notin \text{TTFM}(\{\Delta, \Gamma\})$ ,
- (v) Es kein  $j \leq i$  gibt, so dass  $\beta \in \text{TT}(\mathfrak{H}_j)$ ,
- (vi) Es kein  $m$  mit  $i+1 < m \leq \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$  gibt, so dass  $(m, \mathfrak{H}_m) \in \text{VANS}(\mathfrak{H})$ ,

dann darf man  $\mathfrak{H}$  zu  $\mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \text{Also } \Gamma \urcorner)\}$  fortsetzen.

Die Anwendung der Partikularquantorbeseitigungsregel erzeugt PB-geschlossene Abschnitte gemäß Definition 2-26 (vgl. Theorem 2-92). Setzt man also  $\mathfrak{H}$  mittels PB zu  $\mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \text{Also } \Gamma \urcorner)\}$  fort, so ist in  $\mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \text{Also } \Gamma \urcorner)\}$  keine der bei der Äußerung von  $\mathfrak{H}$  nach dem  $i$ -ten Glied gefolgerten oder angenommenen Aussagen verfügbar, es sei denn, die Aussage war in  $\mathfrak{H}$  schon vor dem  $i+1$ -ten Glied verfügbar (vgl. Definition 2-27). Davon ist natürlich die zuletzt gefolgerte Aussage  $\Gamma$  ausgenommen, die in der nun insgesamt geäußerten Sequenz in jedem Fall verfügbar ist. Da die Aussage des letzten Gliedes einer Sequenz  $\mathfrak{H}$  in  $\mathfrak{H}$  immer bei  $\text{Dom}(\mathfrak{H})-1$  verfügbar ist (vgl. Theorem 2-81), reicht es auch, in Klausel (iii) der Regel nur zu fordern, dass  $\Gamma$  die Aussage des letzten Gliedes von  $\mathfrak{H}$  ist.

**Handlungsanleitung 3-16. Identitätseinführungsregel (IE)**

Wenn man  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ}$  geäußert hat und  $\theta \in \text{GTERM}$ , dann darf man  $\mathfrak{H}$  zu  $\mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \text{«Also } \theta = \theta^\top\text{»})\}$  fortsetzen.

**Handlungsanleitung 3-17. Identitätsbeseitigungsregel (IB)**

Wenn man  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ}$  geäußert hat,  $\xi \in \text{VAR}$ ,  $\Delta \in \text{FORM}$ , wobei  $\text{FV}(\Delta) \subseteq \{\xi\}$ ,  $\theta_0, \theta_1 \in \text{GTERM}$  und  $\{\text{«}\theta_0 = \theta_1^\top\text{», } [\theta_0, \xi, \Delta]\} \subseteq \text{VER}(\mathfrak{H})$ , dann darf man  $\mathfrak{H}$  zu  $\mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \text{«Also } [\theta_1, \xi, \Delta]^\top\text{»})\}$  fortsetzen.

Zuletzt wird ein Verbot gesetzt, das den interdiktionalen Status des Reglements explizit macht. Dazu werden für die Fortsetzung von  $\mathfrak{H}$  zu  $\mathfrak{H}'$  alle 17 Regelantecedentia als unerfüllt vorausgesetzt. Dieser Zustand ist dann hinreichend dafür, dass man  $\mathfrak{H}$  nicht zu  $\mathfrak{H}'$  fortsetzen darf.

**Handlungsanleitung 3-18. Interdiktionalärklausel (IDK)**

Wenn  $\mathfrak{H} \notin \text{SEQ}$  oder wenn man  $\mathfrak{H}$  nicht geäußert hat oder wenn es keine  $B, \Gamma, \Delta \in \text{GFORM}$  und  $\theta_0, \theta_1 \in \text{GTERM}$  und  $\beta \in \text{PAR}$  und  $\xi \in \text{VAR}$  und  $\Delta' \in \text{FORM}$ , wobei  $\text{FV}(\Delta') \subseteq \{\xi\}$ , und  $i, j \in \text{Dom}(\mathfrak{H})$  gibt, so dass

- (i)  $\mathfrak{H}' = \mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \text{«Sei } \Gamma^\top\text{»})\}$  oder
- (ii)  $A(\mathfrak{H}_i) = \Delta$ ,  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \text{VANS}(\mathfrak{H})$ ,  $A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-1}) = \Gamma$ , es kein  $l$  mit  $i < l \leq \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$  gibt, so dass  $(l, \mathfrak{H}_l) \in \text{VANS}(\mathfrak{H})$  und  $\mathfrak{H}' = \mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \text{«Also } \Delta \rightarrow \Gamma^\top\text{»})\}$  oder
- (iii)  $\{\Delta, \text{«}\Delta \rightarrow \Gamma^\top\text{»}\} \subseteq \text{VER}(\mathfrak{H})$  und  $\mathfrak{H}' = \mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \text{«Also } \Gamma^\top\text{»})\}$  oder
- (iv)  $\{\Delta, \Gamma\} \subseteq \text{VER}(\mathfrak{H})$  und  $\mathfrak{H}' = \mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \text{«Also } \Delta \wedge \Gamma^\top\text{»})\}$  oder
- (v)  $\{\text{«}\Delta \wedge \Gamma^\top\text{», } \text{«}\Gamma \wedge \Delta^\top\text{»}\} \cap \text{VER}(\mathfrak{H}) \neq \emptyset$  und  $\mathfrak{H}' = \mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \text{«Also } \Gamma^\top\text{»})\}$  oder
- (vi)  $\{\text{«}\Delta \rightarrow \Gamma^\top\text{», } \text{«}\Gamma \rightarrow \Delta^\top\text{»}\} \subseteq \text{VER}(\mathfrak{H})$  und  $\mathfrak{H}' = \mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \text{«Also } \Delta \leftrightarrow \Gamma^\top\text{»})\}$  oder
- (vii)  $\Delta \in \text{VER}(\mathfrak{H})$ ,  $\{\text{«}\Delta \leftrightarrow \Gamma^\top\text{», } \text{«}\Gamma \leftrightarrow \Delta^\top\text{»}\} \cap \text{VER}(\mathfrak{H}) \neq \emptyset$  und  $\mathfrak{H}' = \mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \text{«Also } \Gamma^\top\text{»})\}$  oder
- (viii)  $\{\Delta, \Gamma\} \cap \text{VER}(\mathfrak{H}) \neq \emptyset$  und  $\mathfrak{H}' = \mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \text{«Also } \Delta \vee \Gamma^\top\text{»})\}$  oder
- (ix)  $\{\text{«}B \vee \Delta^\top\text{», } \text{«}B \rightarrow \Gamma^\top\text{», } \text{«}\Delta \rightarrow \Gamma^\top\text{»}\} \subseteq \text{VER}(\mathfrak{H})$  und  $\mathfrak{H}' = \mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \text{«Also } \Gamma^\top\text{»})\}$  oder
- (x)  $i \leq j$ ,  $A(\mathfrak{H}_i) = \Delta$ ,  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \text{VANS}(\mathfrak{H})$ ,  $A(\mathfrak{H}_j) = \Gamma$  und  $A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-1}) = \text{«}\neg\Gamma^\top\text{»}$  oder  $A(\mathfrak{H}_j) = \text{«}\neg\Gamma^\top\text{»}$  und  $A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-1}) = \Gamma$ ,  $(j, \mathfrak{H}_j) \in \text{VERS}(\mathfrak{H})$ , es kein  $l$  mit  $i < l \leq \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$  gibt, so dass  $(l, \mathfrak{H}_l) \in \text{VANS}(\mathfrak{H})$ , und  $\mathfrak{H}' = \mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \text{«Also } \neg\Delta^\top\text{»})\}$  oder
- (xi)  $\text{«}\neg\neg\Gamma^\top\text{»} \in \text{VER}(\mathfrak{H})$  und  $\mathfrak{H}' = \mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \text{«Also } \Gamma^\top\text{»})\}$  oder
- (xii)  $[\beta, \xi, \Delta'] \in \text{VER}(\mathfrak{H})$ ,  $\beta \notin \text{TTFM}(\{\Delta'\} \cup \text{VAN}(\mathfrak{H}))$  und  $\mathfrak{H}' = \mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \text{«Also } \wedge\xi\Delta'^\top\text{»})\}$  oder
- (xiii)  $\text{«}\wedge\xi\Delta'^\top\text{»} \in \text{VER}(\mathfrak{H})$  und  $\mathfrak{H}' = \mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \text{«Also } [\theta_0, \xi, \Delta']^\top\text{»})\}$  oder
- (xiv)  $[\theta_0, \xi, \Delta'] \in \text{VER}(\mathfrak{H})$  und  $\mathfrak{H}' = \mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \text{«Also } \vee\xi\Delta'^\top\text{»})\}$  oder

- (xv)  $A(\mathfrak{H}_i) = \ulcorner \forall \xi \Delta \urcorner$ ,  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \text{VERS}(\mathfrak{H})$ ,  $A(\mathfrak{H}_{i+1}) = [\beta, \xi, \Delta]$ ,  $(i+1, \mathfrak{H}_{i+1}) \in \text{VANS}(\mathfrak{H})$ ,  $A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-1}) = \Gamma$ ,  $\beta \notin \text{TTFM}(\{\Delta', \Gamma\})$ , es kein  $l \leq i$  gibt, so dass  $\beta \in \text{TT}(\mathfrak{H}_l)$ , es kein  $m$  mit  $i+1 < m \leq \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$  gibt, so dass  $(m, \mathfrak{H}_m) \in \text{VANS}(\mathfrak{H})$  und  $\mathfrak{H}' = \mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \text{Also } \Gamma \urcorner)\}$  oder
- (xvi)  $\mathfrak{H}' = \mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \text{Also } \theta_0 = \theta_0 \urcorner)\}$  oder
- (xvii)  $\{\ulcorner \theta_0 = \theta_1 \urcorner, [\theta_0, \xi, \Delta]\} \subseteq \text{VER}(\mathfrak{H})$  und  $\mathfrak{H}' = \mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \text{Also } [\theta_1, \xi, \Delta] \urcorner)\}$ ,
- dann darf man  $\mathfrak{H}$  nicht zu  $\mathfrak{H}'$  fortsetzen.

Handlungsanleitung 3-18 besagt informell: Wenn keine der Regeln Handlungsanleitung 3-1 bis Handlungsanleitung 3-17 die Fortsetzung von  $\mathfrak{H}$  zu  $\mathfrak{H}'$  erlaubt, dann darf man  $\mathfrak{H}$  nicht zu  $\mathfrak{H}'$  fortsetzen.

Mit der Setzung der 18 Regeln wurde der Kalkül etabliert. Er kann nun im vollen Umfang eingesetzt werden. Will man dem Kalkül später weitere Regeln hinzufügen – zum Beispiel für das Anziehen, das Konstatieren oder das axiomatische und definatorische Setzen – so ist Handlungsanleitung 3-18 zu revidieren (vgl. Kap. 7). Im nächsten Abschnitt wird nun ein Ableitungs- und Konsequenzbegriff für den Kalkül etabliert (3.2) und sodann ein Beweis von Theoremen erbracht, die die Funktionsweise des Kalküls deutlich machen (3.3).

### 3.2 Ableitungsbegriff und deduktive Konsequenzschaft

Mit der Etablierung des Kalküls bleibt nun noch die Aufgabe, einen entsprechenden Ableitungs- und Konsequenzbegriff zu etablieren und dessen Adäquatheit zu zeigen. Da Ableitungs- und Konsequenzschaft nicht an die tatsächliche Äußerung von Sequenzen, sondern nur an deren Äußerbarkeit gemäß den Regeln gebunden sein sollen, ist der Ableitungsbegriff dabei nicht unter Rückgriff auf die vollen Regeln des Kalküls – die ja jeweils die Äußerung einer Sequenz verlangen –, sondern unter alleinigem Rückgriff auf deren jeweiligen sequenzspezifischen und äußerungsunabhängigen Anteil zu etablieren.

Dazu wird zunächst für jede Regel des Kalküls eine Funktion definiert, die einer Sequenz  $\mathfrak{S}$  jeweils die Menge der Sequenzen zuordnet, zu denen ein Autor, der  $\mathfrak{S}$  geäußert hat,  $\mathfrak{S}$  nach der entsprechenden Regel fortsetzen darf (Definition 3-1 bis Definition 3-17). Im Ausgang von diesen Funktionen wird dann die Funktion HAB etabliert, die einer Sequenz  $\mathfrak{S}$  die Menge der Sequenzen zuordnet, zu denen ein Autor, der  $\mathfrak{S}$  geäußert hat,  $\mathfrak{S}$  nach einer der Regeln des Kalküls fortsetzen darf (Definition 3-18). Darauf aufbauend wird dann die Menge der Ableitungen, HL, als die Menge der Sequenzen definiert, von denen jede ihrer nichtleeren Beschränkungen eine regeltreue Fortsetzung der nächst kleineren Beschränkung ist (Definition 3-19). Eine Ableitung einer Aussage  $\Gamma$  aus einer Aussagenmenge  $X$  wird dann ein nicht-leeres HL-Element sein, für das gilt:  $K(\mathfrak{S}) = \Gamma$  und  $VAN(\mathfrak{S}) = X$  (Definition 3-20). Sodann erfolgt die Einführung des deduktiven Konsequenzbegriffs und umgebender Begrifflichkeiten für den Kalkül, wobei eine Aussage  $\Gamma$  genau dann deduktive Konsequenz einer Aussagenmenge  $X$  sein wird, wenn es eine Ableitung von  $\Gamma$  aus einem  $Y \subseteq X$  gibt (Definition 3-21).

Wie angekündigt, werden nun zunächst zu den Regeln in 3.1 analoge Funktionen definiert:

**Definition 3-1.** *Annahmefunktion (AF)*

$$AF = \{(\mathfrak{S}, X) \mid \mathfrak{S} \in SEQ \text{ und } X = \{\mathfrak{S}' \mid \text{Es gibt } \Gamma \in GFORM \\ \text{und } \mathfrak{S}' = \mathfrak{S} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{S}), \text{''Sei } \Gamma\text{'})\}\}\}$$

Vgl. Handlungsanleitung 3-1. Da die Menge der geschlossenen Formeln nicht leer ist, ergibt sich als Korollar, dass auch  $AF(\mathfrak{S})$  für keine Sequenz  $\mathfrak{S}$  leer ist.

**Definition 3-2.** *Subjunktoreinführungsfunktion (SEF)*

$SEF = \{(\mathfrak{H}, X) \mid \mathfrak{H} \in \text{SEQ} \text{ und } X = \{\mathfrak{H}' \mid \text{Es gibt } \Delta, \Gamma \in \text{GFORM} \text{ und } i \in \text{Dom}(\mathfrak{H}), \text{ so dass}$

- (i)  $A(\mathfrak{H}_i) = \Delta$  und  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \text{VANS}(\mathfrak{H})$ ,
- (ii)  $A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-1}) = \Gamma$ ,
- (iii) Es kein  $l$  mit  $i < l \leq \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$  gibt, so dass  $(l, \mathfrak{H}_l) \in \text{VANS}(\mathfrak{H})$ , und
- (iv)  $\mathfrak{H}' = \mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \text{Also } \Delta \rightarrow \Gamma \urcorner)\}$

Vgl. Handlungsanleitung 3-2.

**Definition 3-3.** *Subjunktorbeseitigungsfunktion (SBF)*

$SBF = \{(\mathfrak{H}, X) \mid \mathfrak{H} \in \text{SEQ} \text{ und } X = \{\mathfrak{H}' \mid \text{Es gibt } \Delta, \Gamma \in \text{GFORM}, \text{ so dass } \{\Delta, \ulcorner \Delta \rightarrow \Gamma \urcorner\} \subseteq \text{VER}(\mathfrak{H}), \text{ und } \mathfrak{H}' = \mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \text{Also } \Gamma \urcorner)\}\}$

Vgl. Handlungsanleitung 3-3.

**Definition 3-4.** *Konjunktoreinführungsfunktion (KEF)*

$KEF = \{(\mathfrak{H}, X) \mid \mathfrak{H} \in \text{SEQ} \text{ und } X = \{\mathfrak{H}' \mid \text{Es gibt } \Delta, \Gamma \in \text{VER}(\mathfrak{H}) \text{ und } \mathfrak{H}' = \mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \text{Also } \Delta \wedge \Gamma \urcorner)\}\}$

Vgl. Handlungsanleitung 3-4.

**Definition 3-5.** *Konjunktorbeseitigungsfunktion (KBF)*

$KBF = \{(\mathfrak{H}, X) \mid \mathfrak{H} \in \text{SEQ} \text{ und } X = \{\mathfrak{H}' \mid \text{Es gibt } \Delta, \Gamma \in \text{GFORM}, \text{ so dass } \{\ulcorner \Delta \wedge \Gamma \urcorner, \ulcorner \Gamma \wedge \Delta \urcorner\} \cap \text{VER}(\mathfrak{H}) \neq \emptyset \text{ und } \mathfrak{H}' = \mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \text{Also } \Gamma \urcorner)\}\}$

Vgl. Handlungsanleitung 3-5.

**Definition 3-6.** *Bisubjunktoreinführungsfunktion (BEF)*

$BEF = \{(\mathfrak{H}, X) \mid \mathfrak{H} \in \text{SEQ} \text{ und } X = \{\mathfrak{H}' \mid \text{Es gibt } \Delta, \Gamma \in \text{GFORM}, \text{ so dass } \{\ulcorner \Delta \rightarrow \Gamma \urcorner, \ulcorner \Gamma \rightarrow \Delta \urcorner\} \subseteq \text{VER}(\mathfrak{H}) \text{ und } \mathfrak{H}' = \mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \text{Also } \Delta \leftrightarrow \Gamma \urcorner)\}\}$

Vgl. Handlungsanleitung 3-6.

**Definition 3-7.** *Bisubjunktorbeseitigungsfunktion (BBF)*

$BBF = \{(\mathfrak{H}, X) \mid \mathfrak{H} \in \text{SEQ} \text{ und } X = \{\mathfrak{H}' \mid \text{Es gibt } \Delta \in \text{VER}(\mathfrak{H}) \text{ und } \Gamma \in \text{GFORM}, \text{ so dass } \{\ulcorner \Delta \leftrightarrow \Gamma \urcorner, \ulcorner \Gamma \leftrightarrow \Delta \urcorner\} \cap \text{VER}(\mathfrak{H}) \neq \emptyset, \text{ und } \mathfrak{H}' = \mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \text{Also } \Gamma \urcorner)\}\}$

Vgl. Handlungsanleitung 3-7.

**Definition 3-8.** *Adjunktoreinführungsfunktion (AEF)*

$$\text{AEF} = \{(\mathfrak{H}, X) \mid \mathfrak{H} \in \text{SEQ und } X = \{\mathfrak{H}' \mid \text{Es gibt } \Delta, \Gamma \in \text{GFORM, so dass} \\ \{\Delta, \Gamma\} \cap \text{VER}(\mathfrak{H}) \neq \emptyset, \text{ und } \mathfrak{H}' = \mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \text{Also } \Delta \vee \Gamma \urcorner)\}\}\}$$

Vgl. Handlungsanleitung 3-8.

**Definition 3-9.** *Adjunktorbeseitigungsfunktion (ABF)*

$$\text{ABF} = \{(\mathfrak{H}, X) \mid \mathfrak{H} \in \text{SEQ und } X = \{\mathfrak{H}' \mid \text{Es gibt } B, \Delta, \Gamma \in \text{GFORM, so dass } \{\ulcorner B \vee \Delta \urcorner, \\ \ulcorner B \rightarrow \Gamma \urcorner, \ulcorner \Delta \rightarrow \Gamma \urcorner\} \subseteq \text{VER}(\mathfrak{H}), \text{ und } \mathfrak{H}' = \mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \text{Also } \Gamma \urcorner)\}\}\}$$

Vgl. Handlungsanleitung 3-9.

**Definition 3-10.** *Negatoreinführungsfunktion (NEF)*

$$\text{NEF} = \{(\mathfrak{H}, X) \mid \mathfrak{H} \in \text{SEQ und } X = \{\mathfrak{H}' \mid \text{Es gibt } \Delta, \Gamma \in \text{GFORM und } i, j \in \text{Dom}(\mathfrak{H}), \text{ so dass}$$

- (i)  $i \leq j$ ,
- (ii)  $A(\mathfrak{H}_i) = \Delta$  und  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \text{VANS}(\mathfrak{H})$ ,
- (iii)  $A(\mathfrak{H}_j) = \Gamma$  und  $A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-1}) = \ulcorner \neg \Gamma \urcorner$   
oder  
 $A(\mathfrak{H}_j) = \ulcorner \neg \Gamma \urcorner$  und  $A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-1}) = \Gamma$ ,
- (iv)  $(j, \mathfrak{H}_j) \in \text{VERS}(\mathfrak{H})$ ,
- (v) Es kein  $l$  mit  $i < l \leq \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$  gibt, so dass  $(l, \mathfrak{H}_l) \in \text{VANS}(\mathfrak{H})$  und
- (vi)  $\mathfrak{H}' = \mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \text{Also } \neg \Delta \urcorner)\}\}$

Vgl. Handlungsanleitung 3-10.

**Definition 3-11.** *Negatorbeseitigungsfunktion (NBF)*

$$\text{NBF} = \{(\mathfrak{H}, X) \mid \mathfrak{H} \in \text{SEQ und } X = \{\mathfrak{H}' \mid \text{Es gibt } \Gamma \in \text{GFORM, so dass } \ulcorner \neg \neg \Gamma \urcorner \in \text{VER}(\mathfrak{H}), \text{ und} \\ \mathfrak{H}' = \mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \text{Also } \Gamma \urcorner)\}\}$$

Vgl. Handlungsanleitung 3-11.

**Definition 3-12.** *Universalquantoreinführungsfunktion (UEF)*

$$\text{UEF} = \{(\mathfrak{H}, X) \mid \mathfrak{H} \in \text{SEQ und } X = \{\mathfrak{H}' \mid \text{Es gibt } \beta \in \text{PAR}, \xi \in \text{VAR und } \Delta \in \text{FORM, wobei} \\ \text{FV}(\Delta) \subseteq \{\xi\}, \text{ so dass}$$

- (i)  $[\beta, \xi, \Delta] \in \text{VER}(\mathfrak{H})$ ,
- (ii)  $\beta \notin \text{TTFM}(\{\Delta\} \cup \text{VAN}(\mathfrak{H}))$  und
- (iii)  $\mathfrak{H}' = \mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \text{Also } \wedge \xi \Delta \urcorner)\}\}$

Vgl. Handlungsanleitung 3-12.

**Definition 3-13.** *Universalquantorbeseitigungsfunktion (UBF)*

UBF =  $\{(\mathfrak{H}, X) \mid \mathfrak{H} \in \text{SEQ} \text{ und } X = \{\mathfrak{H}' \mid \text{Es gibt } \theta \in \text{GTERM}, \xi \in \text{VAR}, \Delta \in \text{FORM}, \text{ wobei } \text{FV}(\Delta) \subseteq \{\xi\}, \text{ so dass } \ulcorner \wedge \xi \Delta \urcorner \in \text{VER}(\mathfrak{H}), \text{ und } \mathfrak{H}' = \mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \text{Also } [\theta, \xi, \Delta] \urcorner)\}\}\}$

Vgl. Handlungsanleitung 3-13.

**Definition 3-14.** *Partikularquantoreinführungsfunktion (PEF)*

PEF =  $\{(\mathfrak{H}, X) \mid \mathfrak{H} \in \text{SEQ} \text{ und } X = \{\mathfrak{H}' \mid \text{Es gibt } \xi \in \text{VAR}, \Delta \in \text{FORM}, \text{ wobei } \text{FV}(\Delta) \subseteq \{\xi\} \text{ und } \theta \in \text{GTERM}, \text{ so dass } [\theta, \xi, \Delta] \in \text{VER}(\mathfrak{H}), \text{ und } \mathfrak{H}' = \mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \text{Also } \vee \xi \Delta \urcorner)\}\}\}$

Vgl. Handlungsanleitung 3-14.

**Definition 3-15.** *Partikularquantorbeseitigungsfunktion (PBF)*

PBF =  $\{(\mathfrak{H}, X) \mid \mathfrak{H} \in \text{SEQ} \text{ und } X = \{\mathfrak{H}' \mid \text{Es gibt } \beta \in \text{PAR}, \xi \in \text{VAR}, \Delta \in \text{FORM}, \text{ wobei } \text{FV}(\Delta) \subseteq \{\xi\}, \Gamma \in \text{GFORM} \text{ und } i \in \text{Dom}(\mathfrak{H}), \text{ so dass}$

- (i)  $A(\mathfrak{H}_i) = \ulcorner \forall \xi \Delta \urcorner$  und  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \text{VERS}(\mathfrak{H})$ ,
- (ii)  $A(\mathfrak{H}_{i+1}) = [\beta, \xi, \Delta]$  und  $(i+1, \mathfrak{H}_{i+1}) \in \text{VANS}(\mathfrak{H})$ ,
- (iii)  $A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-1}) = \Gamma$ ,
- (iv)  $\beta \notin \text{TTFM}(\{\Delta, \Gamma\})$ ,
- (v) Es kein  $j \leq i$  gibt, so dass  $\beta \in \text{TT}(\mathfrak{H}_j)$ ,
- (vi) Es kein  $m$  mit  $i+1 < m \leq \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$  gibt, so dass  $(m, \mathfrak{H}_m) \in \text{VANS}(\mathfrak{H})$ , und
- (vii)  $\mathfrak{H}' = \mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \text{Also } \Gamma \urcorner)\}$

Vgl. Handlungsanleitung 3-15.

**Definition 3-16.** *Identitätseinführungsfunktion (IEF)*

IEF =  $\{(\mathfrak{H}, X) \mid \mathfrak{H} \in \text{SEQ} \text{ und } X = \{\mathfrak{H}' \mid \text{Es gibt ein } \theta \in \text{GTERM}, \text{ so dass } \mathfrak{H}' = \mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \text{Also } \theta = \theta \urcorner)\}\}$

Vgl. Handlungsanleitung 3-16. Da die Menge der geschlossenen Terme nicht leer ist, ergibt sich als Korollar, dass wie  $\text{AF}(\mathfrak{H})$  auch  $\text{IEF}(\mathfrak{H})$  für keine Sequenz  $\mathfrak{H}$  leer ist. Diese Sachverhalt schlägt sich weiter unten in Theorem 3-2 nieder.

**Definition 3-17.** *Identitätsbeseitigungsfunktion (IBF)*

$$\text{IBF} = \{(\mathfrak{H}, X) \mid \mathfrak{H} \in \text{SEQ und } X = \{\mathfrak{H}' \mid \text{Es gibt } \theta_0, \theta_1 \in \text{GTERM, } \xi \in \text{VAR und } \Delta \in \text{FORM,} \\ \text{wobei } \text{FV}(\Delta) \subseteq \{\xi\}, \text{ so dass } \{\ulcorner \theta_0 = \theta_1 \urcorner, [\theta_0, \xi, \Delta]\} \subseteq \text{VER}(\mathfrak{H}), \text{ und} \\ \mathfrak{H}' = \mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \text{Also } [\theta_1, \xi, \Delta] \urcorner)\}\}\}$$

Vgl. Handlungsanleitung 3-17.

Im Folgenden wird nun die Menge der Ableitungen, HL (Definition 3-19), und dann das Ableitungsprädikat: ' $\vdash$  ist eine Ableitung von  $\Delta$  aus  $\Gamma$ ' (Definition 3-20) definiert. Dabei soll HL neben der leeren Sequenz alle und nur die Sequenzen enthalten, zu denen sich die leere Sequenz nach den Regeln des Kalküls fortsetzen lässt. Unter Rückgriff auf die soeben definierten Annahmefunktion und die soeben definierten Einführungs- und Beseitigungsfunktionen wird dementsprechend HL so definiert, dass HL die Menge der Sequenzen ist, von denen jede ihrer nichtleeren Beschränkungen eine regeltreue Fortsetzung der nächst kleineren Beschränkung ist. Dazu wird zunächst die Funktion HAB definiert:

**Definition 3-18.** *Zuordnung der Menge der Annahme- und Folgerungsfortsetzungen einer Sequenz (HAB)*

$$\text{HAB} = \{(\mathfrak{H}, X) \mid \mathfrak{H} \in \text{SEQ und } X = \cup\{\text{AF}(\mathfrak{H}), \text{SEF}(\mathfrak{H}), \text{SBF}(\mathfrak{H}), \text{KEF}(\mathfrak{H}), \text{KBF}(\mathfrak{H}), \text{BEF}(\mathfrak{H}), \\ \text{BBF}(\mathfrak{H}), \text{AEF}(\mathfrak{H}), \text{ABF}(\mathfrak{H}), \text{NEF}(\mathfrak{H}), \text{NBF}(\mathfrak{H}), \text{UEF}(\mathfrak{H}), \text{UBF}(\mathfrak{H}), \text{PEF}(\mathfrak{H}), \\ \text{PBF}(\mathfrak{H}), \text{IEF}(\mathfrak{H}), \text{IBF}(\mathfrak{H})\}\}$$

HAB ist also so definiert, dass ein Autor, der  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ}$  geäußert hat,  $\mathfrak{H}$  genau dann zu  $\mathfrak{H}'$  fortsetzen darf, wenn  $\mathfrak{H}' \in \text{HAB}(\mathfrak{H})$ . Vor der Definition der Menge der Ableitungen, HL, werden nun zunächst einige Theoreme zu HAB bewiesen.

**Theorem 3-1.** *HAB-Fortsetzungen von Sequenzen sind Sequenzen*

Wenn  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ}$ , dann ist  $\text{HAB}(\mathfrak{H}) \subseteq \text{SEQ}$ .

*Beweis:* Sei  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ}$ . Sei  $\mathfrak{H}' \in \text{HAB}(\mathfrak{H})$ . Dann gilt  $\mathfrak{H}' \in \text{AF}(\mathfrak{H})$  oder  $\mathfrak{H}' \in \text{SEF}(\mathfrak{H})$  oder  $\mathfrak{H}' \in \text{SBF}(\mathfrak{H})$  oder  $\mathfrak{H}' \in \text{KEF}(\mathfrak{H})$  oder  $\mathfrak{H}' \in \text{KBF}(\mathfrak{H})$  oder  $\mathfrak{H}' \in \text{BEF}(\mathfrak{H})$  oder  $\mathfrak{H}' \in \text{BBF}(\mathfrak{H})$  oder  $\mathfrak{H}' \in \text{AEF}(\mathfrak{H})$  oder  $\mathfrak{H}' \in \text{ABF}(\mathfrak{H})$  oder  $\mathfrak{H}' \in \text{NEF}(\mathfrak{H})$  oder  $\mathfrak{H}' \in \text{NBF}(\mathfrak{H})$  oder  $\mathfrak{H}' \in \text{UEF}(\mathfrak{H})$  oder  $\mathfrak{H}' \in \text{UBF}(\mathfrak{H})$  oder  $\mathfrak{H}' \in \text{PEF}(\mathfrak{H})$  oder  $\mathfrak{H}' \in \text{PBF}(\mathfrak{H})$  oder  $\mathfrak{H}' \in \text{IEF}(\mathfrak{H})$  oder  $\mathfrak{H}' \in \text{IBF}(\mathfrak{H})$ . Dann ergibt sich aus Definition 3-1 bis Definition 3-17, dass  $\mathfrak{H}' = \mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \Sigma)\}$  für ein  $\Sigma \in \text{SATZ}$ . In allen Fällen gilt mit Definition 1-23 und Definition 1-24  $\mathfrak{H}' \in \text{SEQ}$ .  $\square$

Als nächstes soll gezeigt werden, dass  $HAB(\mathfrak{H})$  für keine Sequenz  $\mathfrak{H}$  leer ist, dass also jede Sequenz irgendwie verlängert werden kann.

**Theorem 3-2.** *HAB ist für keine Sequenz leer*

Wenn  $\mathfrak{H} \in SEQ$ , dann ist  $HAB(\mathfrak{H}) \neq \emptyset$ .

*Beweis:* Sei  $\mathfrak{H} \in SEQ$ . Nun gilt, dass  $\ulcorner x_0 \urcorner \in GTERM$ . Also ist nach Definition 3-16  $\mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \text{Also } x_0 = x_0 \urcorner)\} \in IEF(\mathfrak{H})$ . Also ist  $\mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \text{Also } x_0 = x_0 \urcorner)\} \in HAB(\mathfrak{H}) \neq \emptyset$ .  $\square$

**Theorem 3-3.** *Die Elemente von  $HAB(\mathfrak{H})$  sind Fortsetzungen von  $\mathfrak{H}$  um genau einen Satz*

Wenn  $\mathfrak{H} \in SEQ$  und  $\mathfrak{H}' \in HAB(\mathfrak{H})$ , dann gibt es  $\Xi \in PERF$  und  $\Gamma \in GFORM$ , so dass  $\mathfrak{H}' = \mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \Xi \Gamma \urcorner)\}$ .

*Beweis:* Sei  $\mathfrak{H} \in SEQ$  und  $\mathfrak{H}' \in HAB(\mathfrak{H})$ . Dann ist  $\mathfrak{H}' \in AF(\mathfrak{H})$  oder  $\mathfrak{H}' \in SEF(\mathfrak{H})$  oder  $\mathfrak{H}' \in SBF(\mathfrak{H})$  oder  $\mathfrak{H}' \in KEF(\mathfrak{H})$  oder  $\mathfrak{H}' \in KBF(\mathfrak{H})$  oder  $\mathfrak{H}' \in BEF(\mathfrak{H})$  oder  $\mathfrak{H}' \in BBF(\mathfrak{H})$  oder  $\mathfrak{H}' \in AEF(\mathfrak{H})$  oder  $\mathfrak{H}' \in ABF(\mathfrak{H})$  oder  $\mathfrak{H}' \in NEF(\mathfrak{H})$  oder  $\mathfrak{H}' \in NBF(\mathfrak{H})$  oder  $\mathfrak{H}' \in UEF(\mathfrak{H})$  oder  $\mathfrak{H}' \in UBF(\mathfrak{H})$  oder  $\mathfrak{H}' \in PEF(\mathfrak{H})$  oder  $\mathfrak{H}' \in PBF(\mathfrak{H})$  oder  $\mathfrak{H}' \in IEF(\mathfrak{H})$  oder  $\mathfrak{H}' \in IBF(\mathfrak{H})$ .

Sei  $\mathfrak{H}' \in AF(\mathfrak{H})$ . Dann gibt es gemäß Definition 3-1  $\Gamma \in GFORM$ , so dass  $\mathfrak{H}' = \mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \text{Sei } \Gamma \urcorner)\}$ . Dann ist  $\mathfrak{H}'_{\text{Dom}(\mathfrak{H})} = \ulcorner \text{Sei } \Gamma \urcorner$  und damit gibt es  $\Xi \in PERF$  und  $\Gamma \in GFORM$ , so dass  $\mathfrak{H}' = \mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \Xi \Gamma \urcorner)\}$ .

Sei  $\mathfrak{H}' \in SEF(\mathfrak{H})$  oder  $\mathfrak{H}' \in SBF(\mathfrak{H})$  oder  $\mathfrak{H}' \in KEF(\mathfrak{H})$  oder  $\mathfrak{H}' \in KBF(\mathfrak{H})$  oder  $\mathfrak{H}' \in BEF(\mathfrak{H})$  oder  $\mathfrak{H}' \in BBF(\mathfrak{H})$  oder  $\mathfrak{H}' \in AEF(\mathfrak{H})$  oder  $\mathfrak{H}' \in ABF(\mathfrak{H})$  oder  $\mathfrak{H}' \in NEF(\mathfrak{H})$  oder  $\mathfrak{H}' \in NBF(\mathfrak{H})$  oder  $\mathfrak{H}' \in UEF(\mathfrak{H})$  oder  $\mathfrak{H}' \in UBF(\mathfrak{H})$  oder  $\mathfrak{H}' \in PEF(\mathfrak{H})$  oder  $\mathfrak{H}' \in PBF(\mathfrak{H})$  oder  $\mathfrak{H}' \in IEF(\mathfrak{H})$  oder  $\mathfrak{H}' \in IBF(\mathfrak{H})$ . Dann gibt es gemäß Definition 3-2 bis Definition 3-17 jeweils  $\Gamma \in GFORM$ , so dass  $\mathfrak{H}' = \mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \text{Also } \Gamma \urcorner)\}$ . Dann ist  $\mathfrak{H}'_{\text{Dom}(\mathfrak{H})} = \ulcorner \text{Also } \Gamma \urcorner$  und damit gibt es abermals  $\Xi \in PERF$  und  $\Gamma \in GFORM$ , so dass  $\mathfrak{H}' = \mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \Xi \Gamma \urcorner)\}$ .  $\square$

**Theorem 3-4.** *HAB-Fortsetzungen von Sequenzen sind genau um eins mächtiger als die Ausgangssequenz*

Wenn  $\mathfrak{H} \in SEQ$  und  $\mathfrak{H}' \in HAB(\mathfrak{H})$ , dann  $\text{Dom}(\mathfrak{H}') = \text{Dom}(\mathfrak{H})+1$ .

*Beweis:* Sei  $\mathfrak{H} \in SEQ$  und  $\mathfrak{H}' \in HAB(\mathfrak{H})$ . Dann gibt es mit Theorem 3-3  $\Xi \in PERF$  und  $\Gamma \in GFORM$ , so dass  $\mathfrak{H}' = \mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \Xi \Gamma \urcorner)\}$  und damit  $\text{Dom}(\mathfrak{H}') = \text{Dom}(\mathfrak{H})+1$ .  $\square$

**Theorem 3-5.** *Eindeutige HAB-Vorgänger*

Wenn  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ}$  und  $\mathfrak{H}' \in \text{HAB}(\mathfrak{H})$ , dann  $\mathfrak{H}' \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1 = \mathfrak{H}$ .

*Beweis:* Ergibt sich unmittelbar aus Theorem 3-3 und Theorem 3-4.  $\square$

**Definition 3-19.** *Die Menge der Ableitungen (HL)*

$\text{HL} = \{\mathfrak{H} \mid \mathfrak{H} \in \text{SEQ} \text{ und f\"ur alle } j < \text{Dom}(\mathfrak{H}) \text{ gilt: } \mathfrak{H} \upharpoonright j+1 \in \text{HAB}(\mathfrak{H} \upharpoonright j)\}$

**Theorem 3-6.** *Eine Sequenz  $\mathfrak{H}$  ist genau dann in HL, wenn sie leer oder HAB-Fortsetzung von  $\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$  und  $\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$  ein HL-Element ist*

$\mathfrak{H} \in \text{HL}$

gdw

$\mathfrak{H} = \emptyset$  oder  $\mathfrak{H} \in \text{HAB}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  und  $\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1 \in \text{HL}$ .

*Beweis: (L-R):* Sei  $\mathfrak{H} \in \text{HL}$  und  $\mathfrak{H} \neq \emptyset$ . Dann ist zun\"achst  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$ . Sodann ist  $\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1 \in \text{SEQ}$ . Au\"aerdem ist  $\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1 \subseteq \mathfrak{H}$  und f\"ur alle  $j < \text{Dom}(\mathfrak{H})$  gilt  $(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \upharpoonright j = \mathfrak{H} \upharpoonright j$ . Wegen  $\mathfrak{H} \in \text{HL}$  gilt sodann f\"ur alle  $j < \text{Dom}(\mathfrak{H})$  nach Definition 3-19  $\mathfrak{H} \upharpoonright j+1 \in \text{HAB}(\mathfrak{H} \upharpoonright j)$ . Damit gilt zweierlei: Zum einen ist  $\mathfrak{H} = \mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1+1 \in \text{HAB}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ . Zum anderen gilt dann f\"ur alle  $j < \text{Dom}(\mathfrak{H})-1 = \text{Dom}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  ebenfalls  $(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \upharpoonright j+1 = \mathfrak{H} \upharpoonright j+1 \in \text{HAB}(\mathfrak{H} \upharpoonright j) = \text{HAB}((\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \upharpoonright j)$ . Also ist nach Definition 3-19  $\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1 \in \text{HL}$ .

*(R-L):* Sei  $\mathfrak{H} = \emptyset$  oder  $\mathfrak{H} \in \text{HAB}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  und  $\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1 \in \text{HL}$ . Wenn  $\mathfrak{H} = \emptyset$ , dann ist  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ}$  und es gilt trivial, dass  $\mathfrak{H} \upharpoonright j+1 \in \text{HAB}(\mathfrak{H} \upharpoonright j)$  f\"ur alle  $j < \text{Dom}(\mathfrak{H})$ . Sei nun  $\mathfrak{H} \neq \emptyset$  und  $\mathfrak{H} \in \text{HAB}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  und  $\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1 \in \text{HL}$ . Also gilt nach Definition 3-19  $\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1 \in \text{SEQ}$  und  $(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \upharpoonright j+1 \in \text{HAB}((\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \upharpoonright j)$  f\"ur alle  $j < \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$  und dar\"uber hinaus  $\mathfrak{H} \in \text{HAB}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ . Nach Theorem 3-1 und Theorem 3-4 ist dann  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ}$  und es gilt f\"ur alle  $j < \text{Dom}(\mathfrak{H})$   $\mathfrak{H} \upharpoonright j = (\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \upharpoonright j$  und damit  $\mathfrak{H} \upharpoonright j+1 = (\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \upharpoonright j+1 \in \text{HAB}((\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \upharpoonright j) = \text{HAB}(\mathfrak{H} \upharpoonright j)$  f\"ur alle  $j < \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$ . Wenn aber  $j = \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$ , dann ist  $\mathfrak{H} \upharpoonright j+1 = \mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1+1 = \mathfrak{H} \in \text{HAB}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) = \text{HAB}(\mathfrak{H} \upharpoonright j)$ . Also gilt insgesamt f\"ur alle  $j < \text{Dom}(\mathfrak{H})$ , dass  $\mathfrak{H} \upharpoonright j+1 \in \text{HAB}(\mathfrak{H} \upharpoonright j)$  und damit  $\mathfrak{H} \in \text{HL}$ .  $\square$

Das folgende Theorem wird in den weiteren Kapiteln h\"aufig genutzt, ohne jedes Mal explizit angezogen zu werden:

**Theorem 3-7.** *Die regelgemäÙe Fortsetzung eines HL-Elements führt zu einem nicht-leeren HL-Element*

Wenn  $\mathfrak{H} \in \text{HL}$  und  $\mathfrak{H}' \in \text{AF}(\mathfrak{H}) \cup \text{SEF}(\mathfrak{H}) \cup \text{SBF}(\mathfrak{H}) \cup \text{KEF}(\mathfrak{H}) \cup \text{KBF}(\mathfrak{H}) \cup \text{BEF}(\mathfrak{H}) \cup \text{BBF}(\mathfrak{H}) \cup \text{AEF}(\mathfrak{H}) \cup \text{ABF}(\mathfrak{H}) \cup \text{NEF}(\mathfrak{H}) \cup \text{NBF}(\mathfrak{H}) \cup \text{UEF}(\mathfrak{H}) \cup \text{UBF}(\mathfrak{H}) \cup \text{PEF}(\mathfrak{H}) \cup \text{PBF}(\mathfrak{H}) \cup \text{IEF}(\mathfrak{H}) \cup \text{IBF}(\mathfrak{H})$ , dann ist  $\mathfrak{H}' \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ .

*Beweis:* Sei  $\mathfrak{H} \in \text{HL}$  und  $\mathfrak{H}' \in \text{AF}(\mathfrak{H}) \cup \text{SEF}(\mathfrak{H}) \cup \text{SBF}(\mathfrak{H}) \cup \text{KEF}(\mathfrak{H}) \cup \text{KBF}(\mathfrak{H}) \cup \text{BEF}(\mathfrak{H}) \cup \text{BBF}(\mathfrak{H}) \cup \text{AEF}(\mathfrak{H}) \cup \text{ABF}(\mathfrak{H}) \cup \text{NEF}(\mathfrak{H}) \cup \text{NBF}(\mathfrak{H}) \cup \text{UEF}(\mathfrak{H}) \cup \text{UBF}(\mathfrak{H}) \cup \text{PEF}(\mathfrak{H}) \cup \text{PBF}(\mathfrak{H}) \cup \text{IEF}(\mathfrak{H}) \cup \text{IBF}(\mathfrak{H})$ . Dann ist nach Definition 3-18  $\mathfrak{H}' \in \text{HAB}(\mathfrak{H})$  und damit wegen  $\mathfrak{H} \in \text{HL}$  mit Theorem 3-6  $\mathfrak{H}' \in \text{HL}$ . Mit Theorem 3-3 ist sodann  $\mathfrak{H}' \neq \emptyset$  und damit  $\mathfrak{H}' \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ .  $\square$

**Theorem 3-8.** *Nicht-leere Sequenzen sind genau dann HL-Elemente, wenn es auch alle ihre nicht-leeren Anfangsabschnitte sind*

Wenn  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$ , dann:  $\mathfrak{H} \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$  gdw für alle  $i \in \text{Dom}(\mathfrak{H})$ :  $\mathfrak{H} \upharpoonright_{i+1} \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ .

*Beweis:* Sei  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$ . (L-R): Sei  $\mathfrak{H} \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ . Dann gilt nach Definition 3-19 für alle  $i \in \text{Dom}(\mathfrak{H})$ , dass  $\mathfrak{H} \upharpoonright_{(i+1)} \in \text{HAB}(\mathfrak{H} \upharpoonright_i)$ . Nun ist wegen  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$  auf alle Fälle  $0 \in \text{Dom}(\mathfrak{H})$ . Dann ist also  $\mathfrak{H} \upharpoonright_1 \in \text{HAB}(\mathfrak{H} \upharpoonright_0) = \text{HAB}(\emptyset)$ . Nun gilt mit Theorem 3-6  $\emptyset \in \text{HL}$  und damit ergibt sich mit  $\mathfrak{H} \upharpoonright_1 \in \text{HAB}(\emptyset)$  wiederum mit Theorem 3-6, dass  $\mathfrak{H} \upharpoonright_1 \in \text{HL}$  und mit  $0 \in \text{Dom}(\mathfrak{H})$  dann auch  $\mathfrak{H} \upharpoonright_1 \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ . Gelte nun für  $i$ : wenn  $i \in \text{Dom}(\mathfrak{H})$ , dann  $\mathfrak{H} \upharpoonright_{i+1} \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ . Sei nun  $i+1 \in \text{Dom}(\mathfrak{H})$ . Dann ist  $i \in \text{Dom}(\mathfrak{H})$  und damit nach I.V. auch  $\mathfrak{H} \upharpoonright_{i+1} \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ . Nun ist aber  $\mathfrak{H} \upharpoonright_{(i+2)} \in \text{HAB}(\mathfrak{H} \upharpoonright_{i+1})$ . Wegen  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$  und  $i+1 \in \text{Dom}(\mathfrak{H})$  ist  $\mathfrak{H} \upharpoonright_{i+1} = (\mathfrak{H} \upharpoonright_{(i+2)}) \upharpoonright_{\text{Dom}(\mathfrak{H} \upharpoonright_{(i+2)})-1}$ . Mit Theorem 3-6 ist dann  $\mathfrak{H} \upharpoonright_{i+2} \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ .

(R-L): Gelte nun umgekehrt für alle  $i \in \text{Dom}(\mathfrak{H})$ :  $\mathfrak{H} \upharpoonright_{i+1} \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ . Dann ist mit  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$   $\text{Dom}(\mathfrak{H})-1 \in \text{Dom}(\mathfrak{H})$  und somit  $\mathfrak{H} \upharpoonright_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-1+1} = \mathfrak{H} \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ .  $\square$

Unter Rückgriff auf Definition 3-19 wird nun ein Ableitungsbegriff eingeführt. Darauf aufbauend wird dann, nach einigen Theoremen und einer Beispielbetrachtung zum Ableitungskonzept, ein entsprechender Konsequenzbegriff etabliert.

**Definition 3-20.** *Ableitung*

$\mathfrak{H}$  ist eine Ableitung von  $\Gamma$  aus  $X$

gdw

- (i)  $\mathfrak{H} \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ ,
- (ii)  $\Gamma = \text{K}(\mathfrak{H})$  und
- (iii)  $X = \text{VAN}(\mathfrak{H})$ .

Mit Blick auf Definition 3-19 sind jetzt genau diejenigen nicht-leeren Sequenzen Ableitungen einer Aussage aus einer Aussagenmenge, die sich sukzessiv jeweils unter Anwendung der Regeln des Redehandlungskalküls äußern lassen.

**Theorem 3-9.** *Eigenschaften von Ableitungen*

Wenn  $\mathfrak{H}$  eine Ableitung von  $\Gamma$  aus  $X$  ist, dann:

- (i)  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$ ,
- (ii)  $\Gamma \in \text{GFORM}$  und
- (iii)  $X \subseteq \text{GFORM}$  und  $|X| \in \mathbb{N}$ .

*Beweis:* Sei  $\mathfrak{H}$  eine Ableitung von  $\Gamma$  aus  $X$ . Dann ist  $\mathfrak{H} \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$  und  $\text{K}(\mathfrak{H}) = \Gamma$  und  $X = \text{VAN}(\mathfrak{H})$ . Mit Definition 3-19 ist  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$ . Nach Definition 1-25, Definition 1-24, Definition 1-23, Definition 1-18 und Definition 1-16 ist  $\text{K}(\mathfrak{H}) = \Gamma \in \text{GFORM}$ . Darüber hinaus ist nach Definition 1-23  $\text{Dom}(\mathfrak{H}) \in \mathbb{N}$ . Mit Definition 2-32, Definition 2-30 und Definition 2-29 ist damit auch  $X \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H}) \subseteq \text{GFORM}$  und  $|\text{VAN}(\mathfrak{H})| = |X| \in \mathbb{N}$ .  $\square$

**Theorem 3-10.** *In nicht-leeren HL-Elementen, sind alle nicht-leeren Anfangsabschnitte - Ableitungen ihrer Konklusion*

Wenn  $\mathfrak{H} \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ , dann gilt für alle  $i \in \text{Dom}(\mathfrak{H})$ :  $\mathfrak{H} \upharpoonright_{i+1}$  ist eine Ableitung von  $\text{A}(\mathfrak{H}_i)$  aus  $\text{VAN}(\mathfrak{H} \upharpoonright_{i+1})$ .

*Beweis:* Sei  $\mathfrak{H} \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ . Dann gilt mit Theorem 3-8 für alle  $i \in \text{Dom}(\mathfrak{H})$ :  $\mathfrak{H} \upharpoonright_{i+1} \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ . Ferner ist für alle  $i \in \text{Dom}(\mathfrak{H})$ :  $\text{A}(\mathfrak{H}_i) = \text{K}(\mathfrak{H} \upharpoonright_{i+1})$  und  $\text{VAN}(\mathfrak{H} \upharpoonright_{i+1}) = \text{VAN}(\mathfrak{H} \upharpoonright_{i+1})$ .  $\square$

**Theorem 3-11.** *Eindeutigkeitssatz für den Redehandlungskalkül*<sup>12</sup>

Wenn  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ}$ , dann:

- (i) Es gibt kein  $\Gamma$  und kein  $X$ , so dass  $\mathfrak{H}$  eine Ableitung von  $\Gamma$  aus  $X$  ist  
oder  
(ii) Es gibt genau ein  $\Gamma$  und genau ein  $X$ , so dass  $\mathfrak{H}$  eine Ableitung von  $\Gamma$  aus  $X$  ist.

*Beweis:* Sei  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ}$ . Dann gibt es kein  $\Gamma$  und kein  $X$ , so dass  $\mathfrak{H}$  eine Ableitung von  $\Gamma$  aus  $X$  ist oder es gibt ein  $\Gamma$  und ein  $X$ , so dass  $\mathfrak{H}$  eine Ableitung von  $\Gamma$  aus  $X$  ist. Im ersten Fall gilt die Behauptung. Gebe es nun für den zweiten Fall ein  $\Gamma$  und ein  $X$ , so dass  $\mathfrak{H}$  eine Ableitung von  $\Gamma$  aus  $X$  ist. Dann ist nach Definition 3-20  $\mathfrak{H} \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ ,  $\Gamma = \text{K}(\mathfrak{H})$  und  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) = X$ . Nun ist noch die Eindeutigkeit zu zeigen, damit die Einzigkeit folgt. Seien dazu  $\Gamma'$  und  $X'$  so, dass  $\mathfrak{H}$  eine Ableitung von  $\Gamma'$  aus  $X'$  ist. Dann ist  $\Gamma' = \text{K}(\mathfrak{H}) = \Gamma$  und  $X' = \text{VAN}(\mathfrak{H}) = X$ .  $\square$

Dieses Ergebnis sei zunächst illustriert. Sei dazu  $\xi \in \text{VAR}$ ,  $\Delta \in \text{FORM}$ , wobei  $\text{FV}(\Delta) \subseteq \{\xi\}$ , und sei  $\beta \in \text{PARTT}(\Delta)$ . Sei nun  $\mathfrak{H}^{[3.1]}$  die folgende Sequenz:

**Beispiel [3.1]**

- |   |      |                                                  |
|---|------|--------------------------------------------------|
| 0 | Sei  | $\wedge \xi \neg \Delta$                         |
| 1 | Sei  | $\forall \xi \Delta$                             |
| 2 | Sei  | $[\beta, \xi, \Delta]$                           |
| 3 | Sei  | $\forall \xi \Delta$                             |
| 4 | Also | $\forall \xi \Delta \wedge [\beta, \xi, \Delta]$ |
| 5 | Also | $[\beta, \xi, \Delta]$                           |
| 6 | Also | $\neg [\beta, \xi, \Delta]$                      |
| 7 | Also | $\neg \forall \xi \Delta$                        |
| 8 | Also | $\neg \forall \xi \Delta$                        |
| 9 | Also | $\neg \forall \xi \Delta$                        |

*Kommentar:* Nach Theorem 3-11 sollte sich nun eindeutig ein  $\Gamma$  und ein  $X$  finden lassen, so dass  $\mathfrak{H}^{[3.1]}$  eine Ableitung von  $\Gamma$  aus  $X$  ist. Dies ist tatsächlich der Fall, denn  $\mathfrak{H}$  ist eine

---

<sup>12</sup> Zur Formulierung eines entsprechenden Theorems für eine Regulierung des Prädikats '.. ist eine Ableitung von .. aus ..' bei der die an dritter Stelle genannte Aussagenmenge nicht mit der Menge der in der an erster Stelle genannten Sequenz verfügbaren Annahmen identisch, sondern nur eine Obermenge derselben sein muss, siehe Fußnote 3.

Ableitung von  $\ulcorner \neg \forall \xi \Delta \urcorner$  aus  $\{ \ulcorner \wedge \xi \neg \Delta \urcorner \}$ . Das lässt sich durch eine informelle Betrachtung plausibilisieren. Dazu sei die Sequenz zunächst mit einem Kommentar versehen, der anschließend erläutert wird.

<b>Beispiel [3.2]</b>			verfg.
0	Sei $\wedge \xi \neg \Delta$	(AR)	0
1	Sei $\forall \xi \Delta$	(AR)	0, 1
2	Sei $[\beta, \xi, \Delta]$	(AR)	0, 1, 2
3	Sei $\forall \xi \Delta$	(AR)	0, 1, 2, 3
4	Also $\forall \xi \Delta \wedge [\beta, \xi, \Delta]$	(KE); 2, 3	0, 1, 2, 3, 4
5	Also $[\beta, \xi, \Delta]$	(KB); 4	0, 1, 2, 3, 4, 5
6	Also $\neg [\beta, \xi, \Delta]$	(UB); 1	0, 1, 2, 3, 4, 5, 6
7	Also $\neg \forall \xi \Delta$	(NE); 5, 6	0, 1, 2, 7
8	Also $\neg \forall \xi \Delta$	(PB); 1, 7	0, 1, 8
9	Also $\neg \forall \xi \Delta$	(NE); 1, 8	0, 9

*Kommentar:* In der zweiten Spalte von rechts sind wie üblich die Regeln (vgl. Abschnitt 3.1), nach denen der bereits geäußerte Anfangsabschnitt der Sequenz fortgesetzt werden darf, sowie die jeweiligen Prämissenzeilen vermerkt. Ganz rechts außen stehen jeweils die Zeilennummern der Zeilen, deren Aussagen in der Beschränkung von  $\mathfrak{H}^{[3.1]}$  auf den Nachfolger der aktuellen Zeilennummer verfügbar sind. Man beachte, dass dabei die in  $\mathfrak{H}^{[3.1]} \upharpoonright i$  ( $1 \leq i \leq 10$ ) jeweils verfügbaren Aussagen und Annahmen eindeutig bestimmt sind.

Sodann gilt, dass etwa die Folgerung in Zeile 8 nur nach PB und die Folgerung in Zeile 9 nur nach NE korrekt ist, wobei die Prämissenzeilen eindeutig bestimmt sind. In Zeile 8 ist NE deswegen ausgeschlossen, weil einerseits die in Zeile 2 angenommene Aussage in  $\mathfrak{H}^{[3.1]} \upharpoonright 8$  noch verfügbar ist, so dass 1 als ›Eröffnungsannahme‹ für NE ausfällt, während andererseits 3 als Eröffnungsannahme für NE ausfällt, weil die dort angenommene Aussage in  $\mathfrak{H} \upharpoonright 8$  an dieser Stelle nicht verfügbar ist. Umgekehrt ist in 9 PB ausgeschlossen (und NE möglich), weil die Ersatzannahme in Zeile 2 in  $\mathfrak{H}^{[3.1]} \upharpoonright 9$  an dieser Stelle (und überhaupt) nicht mehr verfügbar ist.

Überprüft man auch alle anderen Zeilen, so überzeugt man sich leicht davon, dass  $\mathfrak{H}^{[3.1]} \in \text{HL}$ . Die Menge der insgesamt in  $\mathfrak{H}^{[3.1]}$  verfügbaren Annahmen ist eindeutig bestimmt, da man nach Definition 2-27, Definition 2-29, Definition 2-30 und Definition 2-32 für

jede angenommene Aussage  $A$  in  $\mathfrak{S}$  feststellen kann, ob  $A \in \text{VAN}(\mathfrak{S}^{[3.1]})$ . Wie gewünscht zeigt sich, dass  $\text{VAN}(\mathfrak{S}^{[3.1]}) = \{ \ulcorner \wedge \xi \neg \Delta \urcorner \}$ . Unproblematisch lässt sich  $\mathfrak{S}_{\text{Dom}(\mathfrak{S}^{[3.1]})-1} = \ulcorner \text{Also } \neg \forall \xi \Delta \urcorner$  ablesen, so dass sich Theorem 3-11 bestätigt.

Der Kommentar dient dabei *nicht* zur Disambiguierung, aus welcher Aussagenklasse die Aussage in der letzten Zeile abgeleitet wurde, sondern zur leichteren Nachvollziehbarkeit. Dabei ist zu bemerken, dass der Regelkommentar in  $\mathfrak{S}^{[3.1]}$  zufälligerweise eindeutig bestimmt ist, dass sich für andere Sequenzen jedoch unter Umständen verschiedene Regelkommentare angeben lassen: Unter Umständen kann nämlich ein Übergang durchaus nach verschiedenen Regeln, etwa UB und PB, korrekt sein. Es ist jedoch ausgeschlossen, dass die Möglichkeit alternativer Regelkommentare Auswirkungen auf die Eindeutigkeit des Verfügbarkeitskommentars hat. Die Feststellung der verfügbaren Aussagen bzw. Zeilen erfolgt nämlich nicht über den Regelkommentar, sondern nach der Definition der Verfügbarkeit und damit letztendlich nach der Definition der geschlossenen Abschnitte. Die gesonderte Definition der Verfügbarkeit schließt es nun aus, dass sich bei einem Übergang, der nach mehreren Regeln korrekt ist, je nach unterstellter Regelanwendung unterschiedliche Verfügbarkeiten ergeben. Damit bleibt immer eindeutig, ob es sich bei einer gegebenen Sequenz um die Ableitung einer bestimmten Aussage aus einer bestimmten Aussagenklasse handelt.

Geschlossene Abschnitte entstehen dann und nur dann, wenn sich SE, NE oder PB anwenden lassen (vgl. Theorem 3-23 und Theorem 3-24). Ist ein Übergang also etwa nach UB und PB korrekt, dann verändern sich die Verfügbarkeiten wie beim Übergang nach PB. Damit ist man als Benutzer des Redehandlungskalküls beim Vollzug von bestimmten Folgerungen eingeschränkt: Es steht einem etwa nicht offen, eine annahmeeliminiierende Folgerung nach PB als nicht annahmeeliminiierende Folgerung nach UB zu vollziehen. Man mag dies als Nachteil für die Handlichkeit im Gebrauch empfinden, allerdings geht dieser Nachteil, so es denn einer ist, mit dem Vorteil einher, dass sich für jede Äußerung einer Sequenz durch einen Autor eindeutig feststellen lässt, ob damit eine Ableitung einer bestimmten Aussage aus einer bestimmten Aussagenmenge geäußert wurde: Die Möglichkeit, die teilweise in anderen Kalkülen besteht, die Äußerung ein und derselben Sequenz unterschiedlich zu beschreiben und damit etwa die Äußerung einer Sequenz  $\mathfrak{S}$  einmal als Äußerung einer Ableitung von  $\Gamma$  aus  $X$  und einmal als Äußerung einer Se-

quenz, die keine Ableitung von  $\Gamma$  aus  $X$  ist, zu beschreiben, ist im Rahmen des Redehandlungskalküls nicht vorgesehen. Beim Ableiten im Redehandlungskalkül ist man weder auf graphische Mittel zur Markierung von Unterableitungen noch auf metasprachliche Kommentare in der Form von Regel- oder Abhängigkeitsanzeigern angewiesen: Im Rahmen des Redehandlungskalküls sind Äußerungen von Satzsequenzen nicht deutungsbedürftig.

Nun folgt die Einführung eines deduktiven Konsequenzbegriffs und einiger handelsüblicher metalogischer Begrifflichkeiten. In Kap. 4 werden dann einige Eigenschaften der deduktiven Konsequenzschaft, wie etwa Reflexivität, Transitivität und Abgeschlossenheit unter Einführung und Beseitigung gezeigt. Daraufhin wird dann in Kap. 6 ein Adäquatheitsbeweis des Kalküls bezüglich der modelltheoretischen Konsequenzschaft vorgelegt. Diese selbst wird in Kap. 5 zur Verfügung gestellt. Nun zur Definition der Konsequenzschaft:

**Definition 3-21.** *Deduktive Konsequenzschaft*

$X \vdash \Gamma$

gdw

$X \subseteq \text{GFORM}$  und es gibt ein  $\mathfrak{H}$ , so dass

- (i)  $\mathfrak{H}$  eine Ableitung von  $\Gamma$  aus  $\text{VAN}(\mathfrak{H})$  ist und
- (ii)  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \subseteq X$ .

Mit Theorem 3-9 gilt dann also wie üblich, dass für  $X \subseteq \text{GFORM}$ :  $X \vdash \Gamma$  genau dann, wenn es endliches  $Y \subseteq X$  gibt, so dass  $Y \vdash \Gamma$ . Daraus ergibt sich dann mit Definition 3-23, dass  $X$  genau dann konsistent ist, wenn alle endlichen  $Y \subseteq X$  konsistent sind, und mit Definition 3-24, dass  $X \subseteq \text{GFORM}$  genau dann inkonsistent ist, wenn es endliches  $Y \subseteq X$  gibt, so dass  $Y$  inkonsistent ist. Das folgende Theorem ist unter Definition 3-20 äquivalent zu Definition 3-21:

**Theorem 3-12.**  $\Gamma$  ist genau dann deduktive Konsequenz aus einer Aussagenmenge  $X$ , wenn es ein nicht-leeres  $\mathfrak{H}$  aus HL gibt, so dass  $\Gamma$  die Konklusion von  $\mathfrak{H}$  und  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \subseteq X$  ist  
 $X \vdash \Gamma$  gdw  $X \subseteq \text{GFORM}$  und es gibt  $\mathfrak{H} \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ , so dass  $\Gamma = \text{K}(\mathfrak{H})$  und  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \subseteq X$ .

*Beweis:* Ergibt sich direkt aus Definition 3-20 und Definition 3-21.  $\square$

**Definition 3-22. Beweisbarkeit**

$\vdash \Gamma$  gdw  $\emptyset \vdash \Gamma$ .

**Definition 3-23. Konsistenz**

$X$  ist konsistent

gdw

$X \subseteq \text{GFORM}$  und es gibt kein  $\Gamma \in \text{GFORM}$ , so dass  $X \vdash \Gamma$  und  $X \vdash \ulcorner \neg \Gamma \urcorner$ .

**Definition 3-24. Inkonsistenz**

$X$  ist inkonsistent

gdw

$X \subseteq \text{GFORM}$  und es gibt ein  $\Gamma \in \text{GFORM}$ , so dass  $X \vdash \Gamma$  und  $X \vdash \ulcorner \neg \Gamma \urcorner$ .

**Theorem 3-13. Aussagenmengen sind genau dann inkonsistent, wenn sie nicht konsistent sind**

Wenn  $X \subseteq \text{GFORM}$ , dann:  $X$  ist inkonsistent gdw  $X$  ist nicht konsistent.

*Beweis:* Ergibt sich direkt aus Definition 3-23 und Definition 3-24.  $\square$

**Definition 3-25. Deduktive Konsequenz für Mengen**

$X \vDash Y$  gdw  $X \cup Y \subseteq \text{GFORM}$  und für alle  $\Delta \in Y$  gilt:  $X \vdash \Delta$ .

**Definition 3-26. Beweisbarkeit für Mengen**

$\vDash X$  gdw  $\vDash X$ .

**Definition 3-27. Der Abschluss einer Aussagenklasse unter deduktiver Konsequenz**

$X^+ = \{\Delta \mid \Delta \in \text{GFORM} \text{ und } X \vdash \Delta\}$

Bevor in Kap. 4 und 6 die üblichen Eigenschaften für den hier etablierten deduktiven Konsequenzbegriff bewiesen werden, folgt nun mit Kap. 3.3 zunächst noch ein Abschnitt zur Funktionsweise des Kalküls.

### 3.3 VERS, VANS, VER und VAN in Ableitungen und bei einzelnen Übergängen

Nun werden Theoreme zu den einzelnen Regeln (vgl. Kap. 3.1) beziehungsweise Operationen (vgl. Kap. 3.2) etabliert, die gewissermaßen die Arbeitsweise des Redehandlungskalküls beschreiben. Genauer werden Theoreme bewiesen, die die Zusammenhänge zwischen der Änderung der Verfügbarkeiten (VERS, VANS, VER, VAN) beim regeltreuen Fortsetzen eine Sequenz  $\mathfrak{H}$  zu einer Sequenz  $\mathfrak{H}'$  einerseits und der dabei verwendeten Regel oder Operation andererseits darstellen. Gleichzeitig bilden diese Theoreme die Basis für die in den folgenden Kapiteln bewiesenen Theoreme zur deduktiven Konsequenzschaft (Kap. 4) und zum Nachweis der Korrektheit und der Vollständigkeit des Redehandlungskalküls (Kap. 6). Am Abschluss des Kapitels bietet Theorem 3-30 einen Überblick über die Gestalt von und die Verfügbarkeitsverhältnisse in Ableitungen im Redehandlungskalkül.

#### **Theorem 3-14.** *VERS, VANS, VER und VAN in HAB*

Wenn  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ}$  und  $\mathfrak{H}' \in \text{HAB}(\mathfrak{H})$ , dann:

- (i)  $\text{VERS}(\mathfrak{H}') \subseteq \text{VERS}(\mathfrak{H}) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \mathfrak{H}'_{\text{Dom}(\mathfrak{H})})\}$ ,
- (ii)  $\text{VANS}(\mathfrak{H}') \subseteq \text{VANS}(\mathfrak{H}) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \mathfrak{H}'_{\text{Dom}(\mathfrak{H})})\}$ ,
- (iii)  $\text{VER}(\mathfrak{H}') \subseteq \text{VER}(\mathfrak{H}) \cup \{\mathbf{K}(\mathfrak{H}')\}$  und
- (iv)  $\text{VAN}(\mathfrak{H}') \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H}) \cup \{\mathbf{K}(\mathfrak{H}')\}$ .

*Beweis:* Sei  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ}$  und  $\mathfrak{H}' \in \text{HAB}(\mathfrak{H})$ . Dann gibt es mit Theorem 3-3  $\Xi \in \text{PERF}$  und  $\Gamma \in \text{GFORM}$ , so dass  $\mathfrak{H}' = \mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \Xi \Gamma \urcorner)\} = \mathfrak{H} \hat{\cup} \{(0, \ulcorner \Xi \Gamma \urcorner)\}$  und die Behauptung folgt mit Theorem 2-78.  $\square$

#### **Theorem 3-15.** *VERS, VANS, VER und VAN bei AR*

Wenn  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ}$  und  $\mathfrak{H}' \in \text{AF}(\mathfrak{H})$ , dann:

- (i)  $\text{VERS}(\mathfrak{H}') \setminus \text{VERS}(\mathfrak{H}) = \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \mathfrak{H}'_{\text{Dom}(\mathfrak{H})})\}$ ,
- (ii)  $\text{VERS}(\mathfrak{H}') = \text{VERS}(\mathfrak{H}) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \mathfrak{H}'_{\text{Dom}(\mathfrak{H})})\}$ ,
- (iii)  $\text{VANS}(\mathfrak{H}') \setminus \text{VANS}(\mathfrak{H}) = \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \mathfrak{H}'_{\text{Dom}(\mathfrak{H})})\}$ ,
- (iv)  $\text{VANS}(\mathfrak{H}') = \text{VANS}(\mathfrak{H}) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \mathfrak{H}'_{\text{Dom}(\mathfrak{H})})\}$ ,
- (v)  $\text{VER}(\mathfrak{H}') \setminus \text{VER}(\mathfrak{H}) \subseteq \{\mathbf{K}(\mathfrak{H}')\}$ ,
- (vi)  $\text{VER}(\mathfrak{H}') = \text{VER}(\mathfrak{H}) \cup \{\mathbf{K}(\mathfrak{H}')\}$ ,

- (vii)  $\text{VAN}(\mathfrak{H}') \setminus \text{VAN}(\mathfrak{H}) \subseteq \{\text{K}(\mathfrak{H}')\}$  und  
(viii)  $\text{VAN}(\mathfrak{H}') = \text{VAN}(\mathfrak{H}) \cup \{\text{K}(\mathfrak{H}')\}$ .

*Beweis:* Sei  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ}$  und  $\mathfrak{H}' \in \text{AF}(\mathfrak{H})$ . Dann gilt mit Definition 3-18  $\mathfrak{H}' \in \text{HAB}(\mathfrak{H})$ . Sodann gilt mit Definition 3-1, dass es  $\Gamma \in \text{GFORM}$  gibt, so dass  $\mathfrak{H}' = \mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \text{Sei } \Gamma \urcorner)\}$ .

*Zu (i):* Sei  $(i, \mathfrak{H}'_i) \in \text{VERS}(\mathfrak{H}') \setminus \text{VERS}(\mathfrak{H})$ . Dann folgt mit Theorem 3-14-(i):  $(i, \mathfrak{H}'_i) \in \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \mathfrak{H}'_{\text{Dom}(\mathfrak{H})})\}$ . Sodann gilt mit Theorem 2-81:  $(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \mathfrak{H}'_{\text{Dom}(\mathfrak{H})}) \in \text{VERS}(\mathfrak{H}')$  und es gilt  $(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \mathfrak{H}'_{\text{Dom}(\mathfrak{H})}) \notin \text{VERS}(\mathfrak{H}) \subseteq \mathfrak{H}$ . Also  $(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \mathfrak{H}'_{\text{Dom}(\mathfrak{H})}) \in \text{VERS}(\mathfrak{H}') \setminus \text{VERS}(\mathfrak{H})$ .

*Zu (ii):* Mit Theorem 3-14-(i) gilt:  $\text{VERS}(\mathfrak{H}') \subseteq \text{VERS}(\mathfrak{H}) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \mathfrak{H}'_{\text{Dom}(\mathfrak{H})})\}$ . Sodann gilt, dass  $(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \mathfrak{H}'_{\text{Dom}(\mathfrak{H})}) = (\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \text{Sei } \Gamma \urcorner) \in \text{ANS}(\mathfrak{H}')$ . Damit gilt mit Theorem 2-29, dass es keinen SE- oder NE- oder EA-artigen und damit auch keinen geschlossenen Abschnitt  $\mathfrak{B}$  in  $\mathfrak{H}'$  gibt, so dass  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) \leq \text{Dom}(\mathfrak{H})-1 = \text{Dom}(\mathfrak{H}')-2$  und  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{B})) = \text{Dom}(\mathfrak{H}) = \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1$ . Dann gilt mit Theorem 2-83  $\text{VERS}(\mathfrak{H}) \setminus \text{VERS}(\mathfrak{H}') = \emptyset$  und damit  $\text{VERS}(\mathfrak{H}) \subseteq \text{VERS}(\mathfrak{H}')$ . Mit (i) gilt  $(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \mathfrak{H}'_{\text{Dom}(\mathfrak{H})}) \in \text{VERS}(\mathfrak{H}')$  und mithin  $\text{VERS}(\mathfrak{H}) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \mathfrak{H}'_{\text{Dom}(\mathfrak{H})})\} \subseteq \text{VERS}(\mathfrak{H}')$ .

*Zu (iii):* Sei  $(i, \mathfrak{H}'_i) \in \text{VANS}(\mathfrak{H}') \setminus \text{VANS}(\mathfrak{H})$ . Dann folgt mit Theorem 3-14-(ii):  $(i, \mathfrak{H}'_i) \in \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \mathfrak{H}'_{\text{Dom}(\mathfrak{H})})\}$ . Sodann gilt mit (i):  $(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \mathfrak{H}'_{\text{Dom}(\mathfrak{H})}) \in \text{VERS}(\mathfrak{H}')$  und es gilt sodann  $(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \mathfrak{H}'_{\text{Dom}(\mathfrak{H})}) = (\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \text{Sei } \Gamma \urcorner) \in \text{ANS}(\mathfrak{H}')$  und damit  $(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \mathfrak{H}'_{\text{Dom}(\mathfrak{H})}) \in \text{VANS}(\mathfrak{H}')$  und  $(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \mathfrak{H}'_{\text{Dom}(\mathfrak{H})}) \notin \text{VANS}(\mathfrak{H}) \subseteq \mathfrak{H}$ .

*Zu (iv):* Mit (iii) gilt, dass  $(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \mathfrak{H}'_{\text{Dom}(\mathfrak{H})}) \in \text{VANS}(\mathfrak{H}') = \text{VERS}(\mathfrak{H}') \cap \text{ANS}(\mathfrak{H}')$ . Damit gilt mit (ii):  $\text{VANS}(\mathfrak{H}) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \mathfrak{H}'_{\text{Dom}(\mathfrak{H})})\} = (\text{VERS}(\mathfrak{H}) \cap \text{ANS}(\mathfrak{H})) \cup (\{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \mathfrak{H}'_{\text{Dom}(\mathfrak{H})})\} \cap \text{ANS}(\mathfrak{H}')) = (\text{VERS}(\mathfrak{H}) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \mathfrak{H}'_{\text{Dom}(\mathfrak{H})})\}) \cap \text{ANS}(\mathfrak{H}') = \text{VERS}(\mathfrak{H}') \cap \text{ANS}(\mathfrak{H}') = \text{VANS}(\mathfrak{H}')$ .

*Zu (v), (vi), (vii), (viii):* (v) ergibt sich mit Theorem 3-14-(iii) und (vii) ergibt sich mit Theorem 3-14-(iv). (vi) ergibt sich mit (ii) und (viii) ergibt sich mit (iv).  $\square$

**Theorem 3-16.** *VANS-Vermehrung nur bei AR*

Wenn  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ}$  und  $\mathfrak{H}' \in \text{HAB}(\mathfrak{H})$ , dann:

- (i) Wenn  $\text{VANS}(\mathfrak{H}) \subset \text{VANS}(\mathfrak{H}')$ , dann  $\mathfrak{H}' \in \text{AF}(\mathfrak{H})$  und
- (ii) Wenn  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \subset \text{VAN}(\mathfrak{H}')$ , dann  $\mathfrak{H}' \in \text{AF}(\mathfrak{H})$ .

*Beweis:* Sei  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ}$  und  $\mathfrak{H}' \in \text{HAB}(\mathfrak{H})$ . Zu (i): Sei  $\text{VANS}(\mathfrak{H}) \subset \text{VANS}(\mathfrak{H}')$ . Dann gibt es  $(i, \mathfrak{H}'_i) \in \text{VANS}(\mathfrak{H}') \setminus \text{VANS}(\mathfrak{H})$ . Dann ist  $(i, \mathfrak{H}'_i) \in \text{ANS}(\mathfrak{H})$ . Sodann gilt mit Theorem 3-14-(ii):  $(i, \mathfrak{H}'_i) = (\text{Dom}(\mathfrak{H}), \mathfrak{H}'_{\text{Dom}(\mathfrak{H})})$  und somit  $(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \mathfrak{H}'_{\text{Dom}(\mathfrak{H})}) \in \text{ANS}(\mathfrak{H}')$ . Dann ist mit Definition 3-1  $\mathfrak{H}' \in \text{AF}(\mathfrak{H})$ . Zu (ii): Sei  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \subset \text{VAN}(\mathfrak{H}')$ . Dann ist mit Theorem 2-74  $\text{VANS}(\mathfrak{H}') \not\subseteq \text{VANS}(\mathfrak{H})$  und es gibt  $(i, \mathfrak{H}'_i) \in \text{VANS}(\mathfrak{H}') \setminus \text{VANS}(\mathfrak{H})$ . Damit ergibt sich die Behauptung wie zu (i).  $\square$

**Theorem 3-17.** *VERS, VANS, VER und VAN bei Übergängen ohne AR*

Wenn  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ}$  und  $\mathfrak{H}' \in \text{HAB}(\mathfrak{H}) \setminus \text{AF}(\mathfrak{H})$ , dann:

- (i)  $\text{VERS}(\mathfrak{H}') \subseteq \text{VERS}(\mathfrak{H}) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \mathfrak{H}'_{\text{Dom}(\mathfrak{H})})\}$ ,
- (ii)  $\text{VANS}(\mathfrak{H}') \subseteq \text{VANS}(\mathfrak{H})$ ,
- (iii)  $\text{VER}(\mathfrak{H}') \subseteq \text{VER}(\mathfrak{H}) \cup \{\text{K}(\mathfrak{H}')\}$  und
- (iv)  $\text{VAN}(\mathfrak{H}') \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H})$ .

*Beweis:* Sei  $\mathfrak{H}' \in \text{HAB}(\mathfrak{H}) \setminus \text{AF}(\mathfrak{H})$ . (i) und (iii) folgen mit Theorem 3-14-(i) und -(iii). So dann gilt mit  $\mathfrak{H}' \in \text{HAB}(\mathfrak{H}) \setminus \text{AF}(\mathfrak{H})$  und Definition 3-1 bis Definition 3-18, dass  $(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \mathfrak{H}'_{\text{Dom}(\mathfrak{H})}) = (\text{Dom}(\mathfrak{H}), \lceil \text{Also } A(\mathfrak{H}'_{\text{Dom}(\mathfrak{H})}) \rceil) \notin \text{ANS}(\mathfrak{H}')$  und somit  $(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \mathfrak{H}'_{\text{Dom}(\mathfrak{H})}) \notin \text{VANS}(\mathfrak{H}')$ . Damit ist mit Theorem 3-14-(ii)  $\text{VANS}(\mathfrak{H}') \subseteq \text{VANS}(\mathfrak{H})$ . Mit Theorem 2-74 ergibt sich (iv) aus (ii).  $\square$

**Theorem 3-18.** *Nicht-leeres VANS ist hinreichend für SE*

Wenn  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ}$  und  $\text{VANS}(\mathfrak{H}) \neq \emptyset$ , dann ist  $\mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \lceil \text{Also } A(\mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H})))}) \rceil \rightarrow \text{K}(\mathfrak{H}) \rceil)\} \in \text{SEF}(\mathfrak{H})$ .

*Beweis:* Sei  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ}$  und  $\text{VANS}(\mathfrak{H}) \neq \emptyset$ . Dann ist  $(\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}))), \mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H})))}) \in \text{VANS}(\mathfrak{H})$  und es ist  $A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-1}) = \text{K}(\mathfrak{H})$  und es gibt kein  $l$  mit  $\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}))) < l \leq \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$ , so dass  $(l, \mathfrak{H}_l) \in \text{VANS}(\mathfrak{H})$ . Damit ist mit Definition 3-2  $\mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \lceil \text{Also } A(\mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H})))}) \rceil \rightarrow \text{K}(\mathfrak{H}) \rceil)\} \in \text{SEF}(\mathfrak{H})$ .  $\square$

**Theorem 3-19.** *VERS, VANS, VER und VAN bei SE*

Wenn  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ}$  und  $\mathfrak{H}' \in \text{SEF}(\mathfrak{H})$ , dann:

- (i)  $\{(j, \mathfrak{H}'_j) \mid \max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}))) \leq j \leq \text{Dom}(\mathfrak{H})\}$  ist ein SE-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}'$ ,
- (ii)  $\text{VERS}(\mathfrak{H}) \setminus \text{VERS}(\mathfrak{H}') \subseteq \{(j, \mathfrak{H}'_j) \mid \max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}))) \leq j < \text{Dom}(\mathfrak{H})\}$ ,
- (iii)  $\text{VERS}(\mathfrak{H}') = (\text{VERS}(\mathfrak{H}) \setminus \{(j, \mathfrak{H}'_j) \mid \max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}))) \leq j < \text{Dom}(\mathfrak{H})\}) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \mathfrak{H}'_{\text{Dom}(\mathfrak{H})})\}$ ,
- (iv)  $\text{VANS}(\mathfrak{H}) \setminus \text{VANS}(\mathfrak{H}') = \{(\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}))), \mathfrak{H}'_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H})))})\}$ ,
- (v)  $\text{VANS}(\mathfrak{H}) = \text{VANS}(\mathfrak{H}') \cup \{(\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}))), \mathfrak{H}'_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H})))})\}$ ,
- (vi)  $\text{VER}(\mathfrak{H}) \setminus \text{VER}(\mathfrak{H}') \subseteq \{A(\mathfrak{H}'_j) \mid \max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}))) \leq j < \text{Dom}(\mathfrak{H})\}$ ,
- (vii)  $\text{VER}(\mathfrak{H}) \subseteq \{A(\mathfrak{H}'_j) \mid j \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}') \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}))\} \cup \{A(\mathfrak{H}'_j) \mid \max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}))) \leq j < \text{Dom}(\mathfrak{H})\}$ ,
- (viii)  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \setminus \text{VAN}(\mathfrak{H}') \subseteq \{A(\mathfrak{H}'_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H})))})\}$ ,
- (ix)  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) = \text{VAN}(\mathfrak{H}') \cup \{A(\mathfrak{H}'_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H})))})\}$  und
- (x)  $\text{K}(\mathfrak{H}') = \ulcorner A(\mathfrak{H}'_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H})))}) \rightarrow \text{K}(\mathfrak{H}) \urcorner$ .

*Beweis:* Sei  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ}$  und  $\mathfrak{H}' \in \text{SEF}(\mathfrak{H})$ . Dann gilt mit Definition 3-18  $\mathfrak{H}' \in \text{HAB}(\mathfrak{H})$ . Sodann gilt mit Definition 3-2: Es gibt  $\Delta, \Gamma \in \text{GFORM}$  und  $i \in \text{Dom}(\mathfrak{H})$ , so dass  $A(\mathfrak{H}_i) = \Delta$  und  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \text{VANS}(\mathfrak{H})$  und  $A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-1}) = \Gamma$  und es kein  $l$  mit  $i < l \leq \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$  gibt, so dass  $(l, \mathfrak{H}_l) \in \text{VANS}(\mathfrak{H})$  und  $\mathfrak{H}' = \mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \text{Also } \Delta \rightarrow \Gamma \urcorner)\}$  und somit  $\mathfrak{H}' \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$  und  $\mathfrak{H} = \mathfrak{H}' \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})$ .

Sodann ist  $\mathfrak{B} = \{(j, \mathfrak{H}'_j) \mid i \leq j \leq \text{Dom}(\mathfrak{H})\}$  ein Abschnitt in  $\mathfrak{H}'$  und  $A(\mathfrak{H}'_i) = \Delta$  und  $(i, \mathfrak{H}'_i) \in \text{VANS}(\mathfrak{H}' \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}))$  und  $A(\mathfrak{H}'_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-1}) = \Gamma$  und es gibt kein  $l$  mit  $i < l \leq \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$ , so dass  $(l, \mathfrak{H}'_l) \in \text{VANS}(\mathfrak{H}' \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}))$  und  $A(\mathfrak{H}'_{\text{Dom}(\mathfrak{H})}) = \ulcorner \Delta \rightarrow \Gamma \urcorner$ . Damit gilt mit Theorem 2-90, dass  $\mathfrak{B}$  ein SE-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}'$  ist.

Da sodann  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{B})) = \text{Dom}(\mathfrak{H}) = \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1$  ergibt sich mit Theorem 2-85  $\text{VANS}(\mathfrak{H}' \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1) \setminus \text{VANS}(\mathfrak{H}') = \{(\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})), \mathfrak{H}'_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))})\} = \{(\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}' \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1))), \mathfrak{H}'_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}' \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1)))}\}$ . Da  $\mathfrak{H} = \mathfrak{H}' \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1$  folgt daraus:  $\text{VANS}(\mathfrak{H}) \setminus \text{VANS}(\mathfrak{H}') = \{(\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})), \mathfrak{H}'_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))})\} = \{(\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}))), \mathfrak{H}'_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H})))}\}$ . Damit ist  $i = \min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) = \max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H})))$  und es gilt:  $\mathfrak{B} = \{(j, \mathfrak{H}'_j) \mid \max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}))) \leq j \leq \text{Dom}(\mathfrak{H})\}$ . Damit gilt dann (i). Sodann gilt dann  $A(\mathfrak{H}'_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H})))}) = A(\mathfrak{H}_i) = \Delta$  und da  $\text{K}(\mathfrak{H}) = \Gamma$  und  $\text{K}(\mathfrak{H}') = \ulcorner \Delta \rightarrow \Gamma \urcorner$  gilt dann (x). Sodann ergibt sich mit  $\text{VANS}(\mathfrak{H}) \setminus \text{VANS}(\mathfrak{H}') \neq \emptyset$  und Theorem 2-72 auch  $\text{VERS}(\mathfrak{H}) \setminus \text{VERS}(\mathfrak{H}') \neq \emptyset$ . Damit und mit  $\mathfrak{H} = \mathfrak{H}' \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1$  und  $\mathfrak{B} = \{(j, \mathfrak{H}'_j) \mid \max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}))) \leq j \leq \text{Dom}(\mathfrak{H})\}$  ergeben sich dann mit Theorem 2-82 und

mit der Eindeutigkeit geschlossener Abschnitte mit demselben Endglied (Theorem 2-52) die restlichen Klauseln.  $\square$

**Theorem 3-20.** *VERS, VANS, VER und VAN bei NE*

Wenn  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ}$  und  $\mathfrak{H}' \in \text{NEF}(\mathfrak{H})$ , dann:

- (i)  $\{(j, \mathfrak{H}'_j) \mid \max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}))) \leq j \leq \text{Dom}(\mathfrak{H})\}$  ist ein NE-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}'$ ,
- (ii)  $\text{VERS}(\mathfrak{H}) \setminus \text{VERS}(\mathfrak{H}') \subseteq \{(j, \mathfrak{H}'_j) \mid \max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}))) \leq j < \text{Dom}(\mathfrak{H})\}$ ;
- (iii)  $\text{VERS}(\mathfrak{H}') = (\text{VERS}(\mathfrak{H}) \setminus \{(j, \mathfrak{H}'_j) \mid \max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}))) \leq j < \text{Dom}(\mathfrak{H})\}) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \mathfrak{H}'_{\text{Dom}(\mathfrak{H})})\}$ ,
- (iv)  $\text{VANS}(\mathfrak{H}) \setminus \text{VANS}(\mathfrak{H}') = \{(\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}))), \mathfrak{H}'_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H})))})\}$ ,
- (v)  $\text{VANS}(\mathfrak{H}) = \text{VANS}(\mathfrak{H}') \cup \{(\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}))), \mathfrak{H}'_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H})))})\}$ ,
- (vi)  $\text{VER}(\mathfrak{H}) \setminus \text{VER}(\mathfrak{H}') \subseteq \{A(\mathfrak{H}'_j) \mid \max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}))) \leq j < \text{Dom}(\mathfrak{H})\}$ ,
- (vii)  $\text{VER}(\mathfrak{H}) \subseteq \{A(\mathfrak{H}'_j) \mid j \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}') \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}))\} \cup \{A(\mathfrak{H}'_j) \mid \max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}))) \leq j < \text{Dom}(\mathfrak{H})\}$ ,
- (viii)  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \setminus \text{VAN}(\mathfrak{H}') \subseteq \{A(\mathfrak{H}'_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H})))})\}$ ,
- (ix)  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) = \text{VAN}(\mathfrak{H}') \cup \{A(\mathfrak{H}'_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H})))})\}$  und
- (x)  $\text{K}(\mathfrak{H}') = \ulcorner \neg A(\mathfrak{H}'_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H})))}) \urcorner$ .

*Beweis:* Sei  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ}$  und  $\mathfrak{H}' \in \text{NEF}(\mathfrak{H})$ . Dann gilt mit Definition 3-18  $\mathfrak{H}' \in \text{HAB}(\mathfrak{H})$ . Sodann gilt mit Definition 3-10: Es gibt  $\Delta, \Gamma \in \text{GFORM}$  und  $i, j \in \text{Dom}(\mathfrak{H})$ , so dass  $i \leq j$ ,  $A(\mathfrak{H}_i) = \Delta$  und  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \text{VANS}(\mathfrak{H})$ ,  $A(\mathfrak{H}_j) = \Gamma$  und  $A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-1}) = \ulcorner \neg \Gamma \urcorner$  oder  $A(\mathfrak{H}_j) = \ulcorner \neg \Gamma \urcorner$  und  $A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-1}) = \Gamma$  und  $(j, \mathfrak{H}_j) \in \text{VERS}(\mathfrak{H})$  und es gibt kein  $l$  mit  $i < l \leq \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$ , so dass  $(l, \mathfrak{H}_l) \in \text{VANS}(\mathfrak{H})$ , und  $\mathfrak{H}' = \mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \text{Also } \neg \Delta \urcorner)\}$  und somit  $\mathfrak{H}' \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$  und  $\mathfrak{H} = \mathfrak{H}' \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})$ .

Sodann ist  $\mathfrak{B} = \{(j, \mathfrak{H}'_j) \mid i \leq j \leq \text{Dom}(\mathfrak{H})\}$  ein Abschnitt in  $\mathfrak{H}'$  und  $A(\mathfrak{H}'_i) = \Delta$  und  $(i, \mathfrak{H}'_i) \in \text{VANS}(\mathfrak{H}' \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}))$  und  $A(\mathfrak{H}'_j) = \Gamma$  und  $A(\mathfrak{H}'_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-1}) = \ulcorner \neg \Gamma \urcorner$  oder  $A(\mathfrak{H}'_j) = \ulcorner \neg \Gamma \urcorner$  und  $A(\mathfrak{H}'_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-1}) = \Gamma$  und  $(j, \mathfrak{H}'_j) \in \text{VERS}(\mathfrak{H}' \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}))$  und es gibt kein  $l$  mit  $i < l \leq \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$ , so dass  $(l, \mathfrak{H}'_l) \in \text{VANS}(\mathfrak{H}' \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}))$  und  $A(\mathfrak{H}'_{\text{Dom}(\mathfrak{H})}) = \ulcorner \neg \Delta \urcorner$ . Damit gilt mit Theorem 2-91, dass  $\mathfrak{B}$  ein NE-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}'$  ist.

Da sodann  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{B})) = \text{Dom}(\mathfrak{H}) = \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1$  ergibt sich mit Theorem 2-85  $\text{VANS}(\mathfrak{H}' \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1) \setminus \text{VANS}(\mathfrak{H}') = \{(\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})), \mathfrak{H}'_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))})\} = \{(\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}' \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1))), \mathfrak{H}'_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}' \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1))})\}$ . Da  $\mathfrak{H} = \mathfrak{H}' \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1$  folgt daraus:  $\text{VANS}(\mathfrak{H}) \setminus \text{VANS}(\mathfrak{H}') = \{(\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})), \mathfrak{H}'_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))})\} = \{(\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}))), \mathfrak{H}'_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H})))})\}$ . Damit ist  $i = \min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) = \max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H})))$  und es gilt:  $\mathfrak{B} = \{(j, \mathfrak{H}'_j) \mid \max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}))) \leq j \leq \text{Dom}(\mathfrak{H})\}$ .

Damit gilt dann (i). Sodann gilt dann  $A(\mathfrak{H}'_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H})))}) = A(\mathfrak{H}_i) = \Delta$  und da  $K(\mathfrak{H}') = \lceil \neg \Delta \rceil$  gilt dann (x). Sodann ergibt sich mit  $\text{VANS}(\mathfrak{H}) \setminus \text{VANS}(\mathfrak{H}') \neq \emptyset$  und Theorem 2-72 auch  $\text{VERS}(\mathfrak{H}) \setminus \text{VERS}(\mathfrak{H}') \neq \emptyset$ . Damit und mit  $\mathfrak{H} = \mathfrak{H}' \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}') - 1$  und  $\mathfrak{B} = \{(j, \mathfrak{H}'_j) \mid \max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}))) \leq j \leq \text{Dom}(\mathfrak{H}')\}$  ergeben sich dann mit Theorem 2-82 und mit der Eindeutigkeit geschlossener Abschnitte mit demselben Endglied (Theorem 2-52) die restlichen Klauseln.  $\square$

**Theorem 3-21.** *VERS, VANS, VER und VAN bei PB*

Wenn  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ}$  und  $\mathfrak{H}' \in \text{PBF}(\mathfrak{H})$ , dann:

- (i)  $\{(j, \mathfrak{H}'_j) \mid \max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}))) \leq j \leq \text{Dom}(\mathfrak{H}')\}$  ist ein PB-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}'$ ,
- (ii)  $\text{VERS}(\mathfrak{H}) \setminus \text{VERS}(\mathfrak{H}') \subseteq \{(j, \mathfrak{H}'_j) \mid \max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}))) \leq j < \text{Dom}(\mathfrak{H}')\}$ ,
- (iii)  $\text{VERS}(\mathfrak{H}') = \text{VERS}(\mathfrak{H}) \setminus \{(j, \mathfrak{H}'_j) \mid \max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}))) \leq j < \text{Dom}(\mathfrak{H}')\} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}'), \mathfrak{H}'_{\text{Dom}(\mathfrak{H}')})\}$ ,
- (iv)  $\text{VANS}(\mathfrak{H}) \setminus \text{VANS}(\mathfrak{H}') = \{(\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}))), \mathfrak{H}'_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H})))})\}$ ,
- (v)  $\text{VANS}(\mathfrak{H}) = \text{VANS}(\mathfrak{H}') \cup \{(\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}))), \mathfrak{H}'_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H})))})\}$ ,
- (vi)  $\text{VER}(\mathfrak{H}) \setminus \text{VER}(\mathfrak{H}') \subseteq \{A(\mathfrak{H}'_j) \mid \max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}))) \leq j < \text{Dom}(\mathfrak{H}')\}$ ,
- (vii)  $\text{VER}(\mathfrak{H}') \subseteq \{A(\mathfrak{H}'_j) \mid j \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}') \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}'))\} \cup \{A(\mathfrak{H}'_j) \mid \max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}))) \leq j < \text{Dom}(\mathfrak{H}')\}$ ,
- (viii)  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \setminus \text{VAN}(\mathfrak{H}') \subseteq \{A(\mathfrak{H}'_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H})))})\}$ ,
- (ix)  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) = \text{VAN}(\mathfrak{H}') \cup \{A(\mathfrak{H}'_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H})))})\}$  und
- (x)  $K(\mathfrak{H}') = K(\mathfrak{H})$ .

*Beweis:* Sei  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ}$  und  $\mathfrak{H}' \in \text{PBF}(\mathfrak{H})$ . Dann gilt mit Definition 3-18  $\mathfrak{H}' \in \text{HAB}(\mathfrak{H})$ . Sodann gilt mit Definition 3-15: Es gibt  $\beta \in \text{PAR}$ ,  $\xi \in \text{VAR}$ ,  $\Delta \in \text{FORM}$ , wobei  $\text{FV}(\Delta) \subseteq \{\xi\}$ ,  $\Gamma \in \text{GFORM}$  und  $i \in \text{Dom}(\mathfrak{H})$ , so dass  $A(\mathfrak{H}_i) = \lceil \forall \xi \Delta \rceil$  und  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \text{VERS}(\mathfrak{H})$ ,  $A(\mathfrak{H}_{i+1}) = [\beta, \xi, \Delta]$  und  $(i+1, \mathfrak{H}_{i+1}) \in \text{VANS}(\mathfrak{H})$ , und  $A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-1}) = \Gamma$ , wobei  $\beta \notin \text{TTFM}(\{\Delta, \Gamma\})$ , und es kein  $j \leq i$  gibt, so dass  $\beta \in \text{TT}(\mathfrak{H}_j)$ , und es kein  $m$  mit  $i+1 < m \leq \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$  gibt, so dass  $(m, \mathfrak{H}_m) \in \text{VANS}(\mathfrak{H})$ , und  $\mathfrak{H}' = \mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}'), \lceil \text{Also } \Gamma \rceil)\}$  und somit  $\mathfrak{H}' \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$  und  $\mathfrak{H} = \mathfrak{H}' \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})$ .

Sodann ist  $\mathfrak{B} = \{(j, \mathfrak{H}'_j) \mid i+1 \leq j \leq \text{Dom}(\mathfrak{H}')\}$  ein Abschnitt in  $\mathfrak{H}'$  und  $\beta \in \text{PAR}$ ,  $\xi \in \text{VAR}$ ,  $\Delta \in \text{FORM}$ , wobei  $\text{FV}(\Delta) \subseteq \{\xi\}$ ,  $\Gamma \in \text{GFORM}$  und  $A(\mathfrak{H}'_i) = \lceil \forall \xi \Delta \rceil$  und  $(i, \mathfrak{H}'_i) \in \text{VERS}(\mathfrak{H}' \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}'))$ ,  $A(\mathfrak{H}'_{i+1}) = [\beta, \xi, \Delta]$  und  $(i+1, \mathfrak{H}'_{i+1}) \in \text{VANS}(\mathfrak{H}' \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}') - 1)$ , und  $A(\mathfrak{H}'_{\text{Dom}(\mathfrak{H}')-1}) = \Gamma$ , wobei  $\beta \notin \text{TTFM}(\{\Delta, \Gamma\})$ , und es gibt kein  $j \leq i$ , so dass  $\beta \in \text{TT}(\mathfrak{H}'_j)$ , und es gibt kein  $m$  mit  $i+1 < m \leq \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1$ , so dass  $(m, \mathfrak{H}'_m) \in \text{VANS}(\mathfrak{H}' \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}'))$ , und

$A(\mathfrak{H}'_{\text{Dom}(\mathfrak{H})}) = \Gamma$ . Damit gilt mit Theorem 2-92, dass  $\mathfrak{B}$  ein PB-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}'$  ist.

Da sodann  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{B})) = \text{Dom}(\mathfrak{H}) = \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1$  ergibt sich mit Theorem 2-85

$$\text{VANS}(\mathfrak{H}' \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1) \setminus \text{VANS}(\mathfrak{H}') = \{(\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})), \mathfrak{H}'_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))})\} =$$

$$\{(\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}' \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1))), \mathfrak{H}'_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}' \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1)))}\}. \text{ Da } \mathfrak{H} = \mathfrak{H}' \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1$$

folgt daraus:  $\text{VANS}(\mathfrak{H}) \setminus \text{VANS}(\mathfrak{H}') = \{(\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})), \mathfrak{H}'_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))})\} =$

$$\{(\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}))), \mathfrak{H}'_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H})))}\}. \text{ Damit ist } i = \min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) =$$

$$\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}))) \text{ und es gilt: } \mathfrak{B} = \{(j, \mathfrak{H}'_j) \mid \max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}))) \leq j \leq \text{Dom}(\mathfrak{H})\}.$$

Damit gilt dann (i). Sodann gilt dann  $K(\mathfrak{H}) = A(\mathfrak{H}'_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-1}) = \Gamma = K(\mathfrak{H}')$  und somit gilt (x). Sodann ergibt sich mit  $\text{VANS}(\mathfrak{H}) \setminus \text{VANS}(\mathfrak{H}') \neq \emptyset$  und Theorem 2-72 auch  $\text{VERS}(\mathfrak{H}) \setminus \text{VERS}(\mathfrak{H}') \neq \emptyset$ . Damit und mit  $\mathfrak{H} = \mathfrak{H}' \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1$  und  $\mathfrak{B} = \{(j, \mathfrak{H}'_j) \mid \max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}))) \leq j \leq \text{Dom}(\mathfrak{H})\}$  ergeben sich dann mit Theorem 2-82 und mit der Eindeutigkeit geschlossener Abschnitte mit demselben Endglied (Theorem 2-52) die restlichen Klauseln.  $\square$

**Theorem 3-22.** *Ist die zuletzt angenommene Aussage nur einmal als Annahme verfügbar, dann wird sie bei SE, NE und PB eliminiert*

Wenn  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ}$ ,  $\Delta \in \text{GFORM}$  und für alle  $i \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}))$  gilt: Wenn  $A(\mathfrak{H}_i) = \Delta$ , dann  $i = \max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H})))$ , dann gilt für alle  $\mathfrak{H}' \in \text{SEF}(\mathfrak{H}) \cup \text{NEF}(\mathfrak{H}) \cup \text{PBF}(\mathfrak{H})$ :  $\text{VAN}(\mathfrak{H}') \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H}) \setminus \{\Delta\}$ .

*Beweis:* Sei  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ}$ ,  $\Delta \in \text{GFORM}$  und gelte für alle  $i \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}))$ : Wenn  $A(\mathfrak{H}_i) = \Delta$ , dann  $i = \max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H})))$ . Sei nun  $\mathfrak{H}' \in \text{SEF}(\mathfrak{H}) \cup \text{NEF}(\mathfrak{H}) \cup \text{PBF}(\mathfrak{H})$ . Dann gilt mit Theorem 3-19-(iv), -(v), Theorem 3-20-(iv), -(v) und Theorem 3-21-(iv), -(v), dass  $\text{VANS}(\mathfrak{H}) \setminus \text{VANS}(\mathfrak{H}') = \{(\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}))), \mathfrak{H}'_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H})))})\}$  und  $\text{VANS}(\mathfrak{H}') \subseteq \text{VANS}(\mathfrak{H})$ . Mit Theorem 2-74 gilt  $\text{VAN}(\mathfrak{H}') \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H})$ .

Damit gilt:  $\Delta \notin \text{VAN}(\mathfrak{H}')$ . Wäre nämlich  $\Delta \in \text{VAN}(\mathfrak{H}')$ . Dann gäbe es nach Definition 2-32  $i \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}'))$ , so dass  $\Delta = A(\mathfrak{H}'_i)$ . Dann gilt mit  $\text{VANS}(\mathfrak{H}') \subseteq \text{VANS}(\mathfrak{H})$ , dass  $i \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}))$  und es ist  $\Delta = A(\mathfrak{H}_i)$ . Da nun für alle  $i \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}))$  gilt: Wenn  $A(\mathfrak{H}_i) = \Delta$ , dann  $i = \max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H})))$  wäre damit  $\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}))) = i \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}'))$ . Mit  $\text{VANS}(\mathfrak{H}) \setminus \text{VANS}(\mathfrak{H}') = \{(\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}))), \mathfrak{H}'_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H})))})\}$  gilt nun jedoch  $\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}))) \notin \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}'))$ . Widerspruch! Also ist  $\Delta \notin \text{VAN}(\mathfrak{H}')$  und damit  $\text{VAN}(\mathfrak{H}') \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H}) \setminus \{\Delta\}$ .  $\square$

**Theorem 3-23.** *VANS-Verringerung bei und nur bei SE, NE und PB*

Wenn  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ}$  und  $\mathfrak{H}' \in \text{HAB}(\mathfrak{H})$ , dann:

$$\text{VANS}(\mathfrak{H}') \subset \text{VANS}(\mathfrak{H})$$

gdw

$$\text{VANS}(\mathfrak{H}) \setminus \text{VANS}(\mathfrak{H}') = \{(\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}))), \mathfrak{H}'_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H})))})\} \text{ und } \mathfrak{H}' \in \text{SEF}(\mathfrak{H}) \cup \text{NEF}(\mathfrak{H}) \cup \text{PBF}(\mathfrak{H}).$$

*Beweis:* Sei  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ}$  und  $\mathfrak{H}' \in \text{HAB}(\mathfrak{H})$ . Die Rechts-Links-Richtung ergibt sich jeweils mit den Klauseln (iv) und (v) von Theorem 3-19, Theorem 3-20 und Theorem 3-21.

Sei nun für die Links-Rechts-Richtung  $\text{VANS}(\mathfrak{H}') \subset \text{VANS}(\mathfrak{H})$ . Zunächst ist mit  $\mathfrak{H}' \in \text{HAB}(\mathfrak{H})$  und mit Theorem 3-3  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$ . Mit Theorem 3-5 ist dann  $\mathfrak{H}' \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}') - 1 = \mathfrak{H}$  und damit  $\text{Dom}(\mathfrak{H}) = \text{Dom}(\mathfrak{H}') - 1$ . Damit gilt wegen  $\text{VANS}(\mathfrak{H}') \subset \text{VANS}(\mathfrak{H})$  mit Theorem 2-84, dass es einen geschlossenen Abschnitt  $\mathfrak{A}$  in  $\mathfrak{H}'$  gibt, so dass  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) \leq \text{Dom}(\mathfrak{H}') - 2 = \text{Dom}(\mathfrak{H}) - 1$  und  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{A})) = \text{Dom}(\mathfrak{H}') - 1 = \text{Dom}(\mathfrak{H})$  und  $\text{VANS}(\mathfrak{H}) \setminus \text{VANS}(\mathfrak{H}') = \{(\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})), \mathfrak{H}'_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))})\} = \{(\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}))), \mathfrak{H}'_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H})))})\}$ . Zu zeigen ist nun noch, dass  $\mathfrak{H}' \in \text{SEF}(\mathfrak{H}) \cup \text{NEF}(\mathfrak{H}) \cup \text{PBF}(\mathfrak{H})$ . Nun gilt:

$$\text{VANS}(\mathfrak{H}' \upharpoonright \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))) = \text{VANS}(\mathfrak{H}' \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})) = \text{VANS}(\mathfrak{H}).$$

Ferner gilt mit Theorem 2-60, dass  $\mathfrak{A}$  ein SE- oder NE- oder PB-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}'$  ist. Sei nun  $\mathfrak{A}$  ein SE-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}'$ . Dann gilt mit Theorem 2-90:

- $(\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})), \mathfrak{H}'_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))}) = (\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})), \mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))}) \in \text{VANS}(\mathfrak{H})$ ,
- $\text{A}(\mathfrak{H}'_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-1}) = \text{A}(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-1}) = \text{K}(\mathfrak{H})$ ,
- Es gibt kein  $r$  mit  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) < r \leq \text{Dom}(\mathfrak{H}) - 1$ , so dass  $(r, \mathfrak{H}'_r) = (r, \mathfrak{H}_r) \in \text{VANS}(\mathfrak{H})$  und
- $\mathfrak{H}'_{\text{Dom}(\mathfrak{H})} = \ulcorner \text{Also } \text{A}(\mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))}) \rightarrow \text{K}(\mathfrak{H}) \urcorner$ .

Damit ist nach Definition 3-2  $\mathfrak{H}' \in \text{SEF}(\mathfrak{H})$ . Sei nun  $\mathfrak{A}$  ein NE-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}'$ . Dann gilt mit Theorem 2-91, dass es ein  $i \in \text{Dom}(\mathfrak{H}')$  und  $\Gamma \in \text{GFORM}$  gibt, so dass:

- $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) \leq i < \text{Dom}(\mathfrak{H})$ ,
- $(\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})), \mathfrak{H}'_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))}) = (\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})), \mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))}) \in \text{VANS}(\mathfrak{H})$ ,
- $\text{A}(\mathfrak{H}'_i) = \text{A}(\mathfrak{H}_i) = \Gamma$  und  $\text{A}(\mathfrak{H}'_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-1}) = \text{A}(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-1}) = \ulcorner \neg \Gamma \urcorner$   
oder  
 $\text{A}(\mathfrak{H}'_i) = \text{A}(\mathfrak{H}_i) = \ulcorner \neg \Gamma \urcorner$  und  $\text{A}(\mathfrak{H}'_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-1}) = \text{A}(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-1}) = \Gamma$ ,

- d)  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \text{VERS}(\mathfrak{H})$ ,
- e) Es kein  $r$  mit  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) < r \leq \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$  gibt, so dass  $(r, \mathfrak{H}'_r) = (r, \mathfrak{H}_r) \in \text{VANS}(\mathfrak{H})$  und
- f)  $\mathfrak{H}'_{\text{Dom}(\mathfrak{H})} = \ulcorner \text{Also } \neg A(\mathfrak{H}'_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))}) \urcorner = \ulcorner \text{Also } \neg A(\mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{A}))}) \urcorner$ .

Dann ist nach Definition 3-10  $\mathfrak{H}' \in \text{NEF}(\mathfrak{H})$ . Sei nun  $\mathfrak{A}$  ein PB-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}'$ . Dann gilt mit Theorem 2-92, dass es  $\xi \in \text{VAR}$ ,  $\beta \in \text{PAR}$ ,  $\Delta \in \text{FORM}$ , wobei  $\text{FV}(\Delta) \subseteq \{\xi\}$ ,  $\Gamma \in \text{GFORM}$  und  $\mathfrak{B} \in \text{ABS}(\mathfrak{H}')$  gibt, so dass:

- a)  $A(\mathfrak{H}'_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))}) = \ulcorner \forall \xi \Delta \urcorner$  und  $(\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})), \mathfrak{H}'_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))}) \in \text{VERS}(\mathfrak{H})$ ,
- b)  $A(\mathfrak{H}'_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))+1}) = [\beta, \xi, \Delta]$  und  $(\min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))+1, \mathfrak{H}'_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))+1}) \in \text{VANS}(\mathfrak{H})$ ,
- c)  $A(\mathfrak{H}'_{\max(\text{Dom}(\mathfrak{B}))-1}) = \Gamma$ ,
- d)  $\mathfrak{H}'_{\max(\text{Dom}(\mathfrak{B}))} = \ulcorner \text{Also } \Gamma \urcorner$ ,
- e)  $\beta \notin \text{TTFM}(\{\Delta, \Gamma\})$ ,
- f) es kein  $j \leq \min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))$  gibt, so dass  $\beta \in \text{TT}(\mathfrak{H}'_j)$ ,
- g)  $\mathfrak{A} = \mathfrak{B} \setminus \{(\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})), \mathfrak{H}'_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))})\}$  und
- h) es kein  $r$  mit  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) < r \leq \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$  gibt, so dass  $(r, \mathfrak{H}'_r) \in \text{VANS}(\mathfrak{H})$ .

Dann gilt mit g):  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) = \min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))+1$  und  $\text{Dom}(\mathfrak{H}) = \max(\text{Dom}(\mathfrak{A})) = \max(\text{Dom}(\mathfrak{B}))$ . Damit gilt dann  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) < \min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) \leq \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$  und also insgesamt  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})), \min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))+1 \in \text{Dom}(\mathfrak{H})$  und  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{B}))-1 = \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$ .  
1. Damit gilt dann:

- i)  $A(\mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))}) = \ulcorner \forall \xi \Delta \urcorner$  und  $(\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})), \mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))}) \in \text{VERS}(\mathfrak{H})$ ,
- j)  $A(\mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))+1}) = [\beta, \xi, \Delta]$  und  $(\min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))+1, \mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))+1}) \in \text{VANS}(\mathfrak{H})$ ,
- k)  $A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-1}) = \Gamma$ ,
- l)  $\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})} = \ulcorner \text{Also } \Gamma \urcorner$ ,
- m)  $\beta \notin \text{TTFM}(\{\Delta, \Gamma\})$ ,
- n) Es gibt kein  $j \leq \min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))$ , so dass  $\beta \in \text{TT}(\mathfrak{H}_j)$ ,
- o) Es gibt kein  $r$  mit  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))+1 < r \leq \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$ , so dass  $(r, \mathfrak{H}_r) \in \text{VANS}(\mathfrak{H})$ .

Dann ist nach Definition 3-15  $\mathfrak{H}' \in \text{PBF}(\mathfrak{H})$ . Also ist  $\mathfrak{H}' \in \text{SEF}(\mathfrak{H}) \cup \text{NEF}(\mathfrak{H}) \cup \text{PBF}(\mathfrak{H})$ .

□

**Theorem 3-24.** *VERS-Verringerung bei und nur bei SE, NE und PB*

Wenn  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ}$  und  $\mathfrak{H}' \in \text{HAB}(\mathfrak{H})$ , dann:

$\text{VERS}(\mathfrak{H}) \not\subseteq \text{VERS}(\mathfrak{H}')$

gdw

$\{(j, \mathfrak{H}'_j) \mid \max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H})) \leq j \leq \text{Dom}(\mathfrak{H}))\}$  ist ein SE- oder NE- oder PB-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}'$  und  $\mathfrak{H}' \in \text{SEF}(\mathfrak{H}) \cup \text{NEF}(\mathfrak{H}) \cup \text{PBF}(\mathfrak{H})$ .

*Beweis:* Sei  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ}$  und  $\mathfrak{H}' \in \text{HAB}(\mathfrak{H})$ . Die Rechts-Links-Richtung ergibt sich mit den Klauseln (iii) und (iv) von Theorem 3-19, Theorem 3-20 und Theorem 3-21 sowie Theorem 2-69. Sei nun für die Links-Rechts-Richtung  $\text{VERS}(\mathfrak{H}) \not\subseteq \text{VERS}(\mathfrak{H}')$ . Dann ist  $\text{VERS}(\mathfrak{H}) \setminus \text{VERS}(\mathfrak{H}') \neq \emptyset$ . Sodann ist mit  $\mathfrak{H}' \in \text{HAB}(\mathfrak{H})$  und Theorem 3-3  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ} \setminus \{\emptyset\}$  und mit Theorem 3-5 ist  $\mathfrak{H}' \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}') - 1 = \mathfrak{H}$ . Mit Theorem 2-82-(vi) und -(vii) gilt dann  $\text{VANS}(\mathfrak{H}') \subset \text{VANS}(\mathfrak{H})$ . Mit Theorem 3-23 gilt:  $\mathfrak{H}' \in \text{SEF}(\mathfrak{H}) \cup \text{NEF}(\mathfrak{H}) \cup \text{PBF}(\mathfrak{H})$ . Damit ergibt sich mit Theorem 3-19-(i), Theorem 3-20-(i) und Theorem 3-21-(i), dass  $\{(j, \mathfrak{H}'_j) \mid \max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}))) \leq j \leq \text{Dom}(\mathfrak{H})\}$  ein SE- oder NE- oder PB-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}'$  ist.  $\square$

**Theorem 3-25.** *VERS unter Ausschluss von SE, NE und PB*

Wenn  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ}$  und  $\mathfrak{H}' \in \text{HAB}(\mathfrak{H}) \setminus (\text{SEF}(\mathfrak{H}) \cup \text{NEF}(\mathfrak{H}) \cup \text{PBF}(\mathfrak{H}))$ , dann:

$\text{VERS}(\mathfrak{H}') = \text{VERS}(\mathfrak{H}) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \mathfrak{H}'_{\text{Dom}(\mathfrak{H})})\}$ .

*Beweis:* Seien  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ}$  und  $\mathfrak{H}' \in \text{HAB}(\mathfrak{H}) \setminus (\text{SEF}(\mathfrak{H}) \cup \text{NEF}(\mathfrak{H}) \cup \text{PBF}(\mathfrak{H}))$ . Wegen Theorem 3-14-(i) ist  $\text{VERS}(\mathfrak{H}') \subseteq \text{VERS}(\mathfrak{H}) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \mathfrak{H}'_{\text{Dom}(\mathfrak{H})})\}$ . Mit Theorem 2-81 ist  $\text{K}(\mathfrak{H}') = \text{A}(\mathfrak{H}'_{\text{Dom}(\mathfrak{H})})$  in  $\mathfrak{H}'$  bei  $\text{Dom}(\mathfrak{H}') - 1$  verfügbar. Mit Theorem 3-4 ist  $\text{Dom}(\mathfrak{H}') - 1 = \text{Dom}(\mathfrak{H})$ . Also  $(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \mathfrak{H}'_{\text{Dom}(\mathfrak{H})}) \in \text{VERS}(\mathfrak{H}')$ . Wäre  $\text{VERS}(\mathfrak{H}) \not\subseteq \text{VERS}(\mathfrak{H}')$ , so wäre mit Theorem 3-24 entgegen der Voraussetzung  $\mathfrak{H}' \in \text{SEF}(\mathfrak{H}) \cup \text{NEF}(\mathfrak{H}) \cup \text{PBF}(\mathfrak{H})$ . Also  $\text{VERS}(\mathfrak{H}) \subseteq \text{VERS}(\mathfrak{H}')$ . Also  $\text{VERS}(\mathfrak{H}) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \mathfrak{H}'_{\text{Dom}(\mathfrak{H})})\} \subseteq \text{VERS}(\mathfrak{H}')$ .  $\square$

**Theorem 3-26.** *VERS, VANS, VER und VAN bei KE, BE, AE, UE, PE, IE*

Wenn  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ}$  und  $\mathfrak{H}' \in \text{KEF}(\mathfrak{H}) \cup \text{BEF}(\mathfrak{H}) \cup \text{AEF}(\mathfrak{H}) \cup \text{UEF}(\mathfrak{H}) \cup \text{PEF}(\mathfrak{H}) \cup \text{IEF}(\mathfrak{H})$ , dann:

- (i)  $\text{VERS}(\mathfrak{H}') \subseteq \text{VERS}(\mathfrak{H}) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \mathfrak{H}'_{\text{Dom}(\mathfrak{H})})\}$ ,
- (ii)  $\text{VANS}(\mathfrak{H}') \subseteq \text{VANS}(\mathfrak{H})$ ,
- (iii) Wenn  $\text{VANS}(\mathfrak{H}') \subset \text{VANS}(\mathfrak{H})$ , dann ist  $\mathfrak{H}' \in \text{PBF}(\mathfrak{H})$ ,
- (iv)  $\text{VER}(\mathfrak{H}') \subseteq \text{VER}(\mathfrak{H}) \cup \{\text{K}(\mathfrak{H}')\}$ ,

- (v)  $\text{VAN}(\mathfrak{H}') \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H})$  und
- (vi) Wenn  $\text{VAN}(\mathfrak{H}') \subset \text{VAN}(\mathfrak{H})$ , dann ist  $\mathfrak{H}' \in \text{PBF}(\mathfrak{H})$ .

*Beweis:* Sei  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ}$  und  $\mathfrak{H}' \in \text{KEF}(\mathfrak{H}) \cup \text{BEF}(\mathfrak{H}) \cup \text{AEF}(\mathfrak{H}) \cup \text{UEF}(\mathfrak{H}) \cup \text{PEF}(\mathfrak{H}) \cup \text{IEF}(\mathfrak{H})$ . Dann gilt mit Definition 3-18  $\mathfrak{H}' \in \text{HAB}(\mathfrak{H})$ . Sodann gilt mit Definition 3-4, Definition 3-6, Definition 3-8, Definition 3-12, Definition 3-14 und Definition 3-16: Es gibt  $A, B \in \text{GFORM}$  und  $\theta \in \text{GTERM}$  und  $\beta \in \text{PAR}$  und  $\xi \in \text{VAR}$  und  $\Delta \in \text{FORM}$ , wobei  $\text{FV}(\Delta) \subseteq \{\xi\}$ , so dass  $\mathfrak{H}' = \mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \lceil \text{Also } A \wedge B \rceil)\}$  oder  $\mathfrak{H}' = \mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \lceil \text{Also } A \leftrightarrow B \rceil)\}$  oder  $\mathfrak{H}' = \mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \lceil \text{Also } A \vee B \rceil)\}$  oder  $\mathfrak{H}' = \mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \lceil \text{Also } \wedge \xi \Delta \rceil)\}$  oder  $\mathfrak{H}' = \mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \lceil \text{Also } \vee \xi \Delta \rceil)\}$  oder  $\mathfrak{H}' = \mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \lceil \text{Also } \theta = \theta \rceil)\}$ . Dann ist mit eindeutiger Lesbarkeit (Theorem 1-5, Theorem 1-6 und Theorem 1-7)  $(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \mathfrak{H}'_{\text{Dom}(\mathfrak{H})}) \notin \text{ANS}(\mathfrak{H}')$  und damit  $(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \mathfrak{H}'_{\text{Dom}(\mathfrak{H})}) \notin \text{VANS}(\mathfrak{H}')$  und damit nach Definition 3-1  $\mathfrak{H}' \notin \text{AF}(\mathfrak{H})$ . Dann ergeben sich (i), (ii) und (iv) mit Theorem 3-14-(i), -(ii) und -(iii). Sodann ergibt sich mit Theorem 3-19-(x), Theorem 3-20-(x) und eindeutiger Lesbarkeit, dass  $\mathfrak{H}' \notin \text{SEF}(\mathfrak{H}) \cup \text{NEF}(\mathfrak{H})$ . Damit gilt mit Theorem 3-23: Wenn  $\text{VANS}(\mathfrak{H}') \subset \text{VANS}(\mathfrak{H})$ , dann  $\mathfrak{H}' \in \text{PBF}(\mathfrak{H})$  und somit (iii). (v) ergibt sich mit (ii) und Theorem 2-74. Sei nun für (vi):  $\text{VAN}(\mathfrak{H}') \subset \text{VAN}(\mathfrak{H})$ . Dann gilt  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \not\subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H}')$  und damit mit Theorem 2-74.  $\text{VANS}(\mathfrak{H}) \not\subseteq \text{VANS}(\mathfrak{H}')$ . Damit gilt mit (ii):  $\text{VANS}(\mathfrak{H}') \subset \text{VANS}(\mathfrak{H})$  und damit mit (iii), dass  $\mathfrak{H}' \in \text{PBF}(\mathfrak{H})$ .  $\square$

**Theorem 3-27.** *VERS, VANS, VER und VAN bei SB, KB, BB, AB, NB, UB, IB*

Wenn  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ}$  und  $\mathfrak{H}' \in \text{SBF}(\mathfrak{H}) \cup \text{KBF}(\mathfrak{H}) \cup \text{BBF}(\mathfrak{H}) \cup \text{ABF}(\mathfrak{H}) \cup \text{NBF}(\mathfrak{H}) \cup \text{UBF}(\mathfrak{H}) \cup \text{IBF}(\mathfrak{H})$ , dann:

- (i)  $\text{VERS}(\mathfrak{H}') \subseteq \text{VERS}(\mathfrak{H}) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \mathfrak{H}'_{\text{Dom}(\mathfrak{H})})\}$ ,
- (ii)  $\text{VANS}(\mathfrak{H}') \subseteq \text{VANS}(\mathfrak{H})$ ,
- (iii) Wenn  $\text{VANS}(\mathfrak{H}') \subset \text{VANS}(\mathfrak{H})$ , dann ist  $\mathfrak{H}' \in \text{SEF}(\mathfrak{H}) \cup \text{NEF}(\mathfrak{H}) \cup \text{PBF}(\mathfrak{H})$ ,
- (iv)  $\text{VER}(\mathfrak{H}') \subseteq \text{VER}(\mathfrak{H}) \cup \{\text{K}(\mathfrak{H}')\}$ ,
- (v)  $\text{VAN}(\mathfrak{H}') \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H})$  und
- (vi) Wenn  $\text{VAN}(\mathfrak{H}') \subset \text{VAN}(\mathfrak{H})$ , dann ist  $\mathfrak{H}' \in \text{SEF}(\mathfrak{H}) \cup \text{NEF}(\mathfrak{H}) \cup \text{PBF}(\mathfrak{H})$ .

*Beweis:* Sei  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ}$  und  $\mathfrak{H}' \in \text{SBF}(\mathfrak{H}) \cup \text{KBF}(\mathfrak{H}) \cup \text{BBF}(\mathfrak{H}) \cup \text{ABF}(\mathfrak{H}) \cup \text{NBF}(\mathfrak{H}) \cup \text{UBF}(\mathfrak{H}) \cup \text{IBF}(\mathfrak{H})$ . Dann gilt mit Definition 3-18  $\mathfrak{H}' \in \text{HAB}(\mathfrak{H})$ . Sodann gilt mit Definition 3-3, Definition 3-5, Definition 3-7, Definition 3-9, Definition 3-11, Definition 3-13 und Definition 3-17:  $\mathfrak{H}' = \mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \lceil \text{Also } A(\mathfrak{H}'_{\text{Dom}(\mathfrak{H})}) \rceil)\}$ . Dann ist  $(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \mathfrak{H}'_{\text{Dom}(\mathfrak{H})}) \notin \text{ANS}(\mathfrak{H}')$  und damit  $(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \mathfrak{H}'_{\text{Dom}(\mathfrak{H})}) \notin \text{VANS}(\mathfrak{H}')$  und  $\mathfrak{H}' \notin \text{AF}(\mathfrak{H})$ . Dann

ergeben sich (i), (ii) und (iv) mit Theorem 3-14-(i), -(ii) und -(iii). Sodann ergibt sich (iii) mit Theorem 3-23. (v) ergibt sich mit (ii) und Theorem 2-74. Sei nun für (vi)  $\text{VAN}(\mathfrak{H}') \subset \text{VAN}(\mathfrak{H})$ . Dann gilt  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \not\subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H}')$  und damit mit Theorem 2-74  $\text{VANS}(\mathfrak{H}) \not\subseteq \text{VANS}(\mathfrak{H}')$ . Damit gilt mit (ii):  $\text{VANS}(\mathfrak{H}') \subset \text{VANS}(\mathfrak{H})$  und damit mit (iii), dass  $\mathfrak{H}' \in \text{SEF}(\mathfrak{H}) \cup \text{NEF}(\mathfrak{H}) \cup \text{PBF}(\mathfrak{H})$ .  $\square$

**Theorem 3-28.** *Ohne AR, SE, NE oder PB gibt es keine VAN-Veränderung*

Wenn  $\mathfrak{H} \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$  und  $\mathfrak{H} \notin \text{AF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \cup \text{SEF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \cup \text{NEF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \cup \text{PBF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ , dann  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) = \text{VAN}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ .

*Beweis:* Sei  $\mathfrak{H} \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$  und  $\mathfrak{H} \notin \text{AF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \cup \text{SEF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \cup \text{NEF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \cup \text{PBF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ . Nach Theorem 3-6 und Definition 3-18 gilt dann *erstens*  $\mathfrak{H} \in \text{KEF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  oder  $\mathfrak{H} \in \text{BEF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  oder  $\mathfrak{H} \in \text{AEF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  oder  $\mathfrak{H} \in \text{UEF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  oder  $\mathfrak{H} \in \text{PEF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  oder  $\mathfrak{H} \in \text{IEF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  oder *zweitens*  $\mathfrak{H} \in \text{SBF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  oder  $\mathfrak{H} \in \text{KBF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  oder  $\mathfrak{H} \in \text{BBF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  oder  $\mathfrak{H} \in \text{ABF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  oder  $\mathfrak{H} \in \text{NBF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  oder  $\mathfrak{H} \in \text{UBF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  oder  $\mathfrak{H} \in \text{IBF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ . In den *ersten* sechs Fällen folgt  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) = \text{VAN}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  aus Theorem 3-26-(v) und -(vi). In den *restlichen* Fällen folgt  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) = \text{VAN}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  aus Theorem 3-27-(v) und -(vi).  $\square$

**Theorem 3-29.** *VAN und VANS bleiben aus Beschränkungen, deren Konklusion verfügbar bleibt, in der unbeschränkten Sequenz erhalten.*

Wenn  $\mathfrak{H} \in \text{HL}$  und  $\Gamma$  in  $\mathfrak{H}$  bei  $i$  verfügbar ist, dann:

- (i)  $\text{VERS}(\mathfrak{H} \upharpoonright_{i+1}) \subseteq \text{VERS}(\mathfrak{H})$ ,
- (ii)  $\text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright_{i+1}) \subseteq \text{VANS}(\mathfrak{H})$ ,
- (iii)  $\text{VER}(\mathfrak{H} \upharpoonright_{i+1}) \subseteq \text{VER}(\mathfrak{H})$  und
- (iv)  $\text{VAN}(\mathfrak{H} \upharpoonright_{i+1}) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H})$ .

*Beweis:* Sei  $\mathfrak{H} \in \text{HL}$  und  $\Gamma$  in  $\mathfrak{H}$  bei  $i$  verfügbar. Dann gilt nach Definition 2-27:  $i \in \text{Dom}(\mathfrak{H})$  und  $\Gamma = A(\mathfrak{H}_i)$  und es gibt keinen geschlossenen Abschnitt  $\mathfrak{A}$  in  $\mathfrak{H}$ , so dass  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) \leq i < \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ .

*Zu (i):* Sei zum Nachweis von  $\text{VERS}(\mathfrak{H} \upharpoonright_{i+1}) \subseteq \text{VERS}(\mathfrak{H})$   $(j, \Sigma) \in \text{VERS}(\mathfrak{H} \upharpoonright_{i+1})$ . Also mit Definition 2-29:  $j \in \text{Dom}(\mathfrak{H} \upharpoonright_{i+1})$  und  $(\mathfrak{H} \upharpoonright_{i+1})_j = \Sigma$  und  $A(\Sigma)$  ist in  $\mathfrak{H} \upharpoonright_{i+1}$  bei  $j$  verfügbar. Damit gibt es nach Definition 2-27 keinen geschlossenen Abschnitt  $\mathfrak{A}$  in  $\mathfrak{H} \upharpoonright_{i+1}$ , so dass  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) \leq j < \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ . Wäre nun  $(j, \Sigma) \notin \text{VERS}(\mathfrak{H})$ , dann wäre  $j \notin$

$\text{Dom}(\mathfrak{H})$  oder  $\mathfrak{H}_j \neq \Sigma$  oder  $A(\Sigma)$  ist in  $\mathfrak{H}$  bei  $j$  nicht verfügbar. Da  $\mathfrak{H} \upharpoonright^{i+1}$  eine Beschränkung von  $\mathfrak{H}$  ist und  $j \in \text{Dom}(\mathfrak{H} \upharpoonright^{i+1})$ , kann nur letzteres zutreffen. Es gilt also  $j \in \text{Dom}(\mathfrak{H})$  und  $\mathfrak{H}_j = \Sigma$  und  $A(\Sigma)$  ist in  $\mathfrak{H}$  bei  $j$  nicht verfügbar. Damit gibt es nach Definition 2-27 einen geschlossenen Abschnitt  $\mathfrak{A}$  in  $\mathfrak{H}$ , so dass  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) \leq j < \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ . Nach Theorem 2-63-(vii) ist  $\mathfrak{A}$  auch ein geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H} \upharpoonright^{\max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))+1}$ . Wäre nun  $i < \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ , so wäre wegen  $j \in \text{Dom}(\mathfrak{H} \upharpoonright^{i+1})$  und damit  $j \leq i$  auch  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) \leq i < \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ . Damit wäre entgegen der Annahme  $A(\mathfrak{H}_i) = \Gamma$  nicht in  $\mathfrak{H}$  bei  $i$  verfügbar. Also  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{A})) \leq i$  und damit  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{A})) + 1 \leq i + 1$ . Also  $\mathfrak{H} \upharpoonright^{\max(\text{Dom}(\mathfrak{A})) + 1} \subseteq \mathfrak{H} \upharpoonright^{i+1}$ . Mit Theorem 2-61-(vii) ist  $\mathfrak{A}$  dann auch ein geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H} \upharpoonright^{i+1}$ . Also gibt es einen geschlossenen Abschnitt  $\mathfrak{A}$  in  $\mathfrak{H} \upharpoonright^{i+1}$ , so dass  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) \leq j < \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ . Widerspruch! Also  $(j, \Sigma) \in \text{VERS}(\mathfrak{H})$ .

Zu (ii), (iii) und (iv): Mit Theorem 2-71 ergibt sich (ii) aus (i). Mit Theorem 2-73 ergibt sich (iii) aus (i) Mit Theorem 2-74 ergibt sich (iv) aus (ii).  $\square$

**Theorem 3-30.** *VERS, VANS, VER und VAN in Ableitungen*

Wenn  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ}$ , dann:

$\mathfrak{H} \in \text{HL}$

gdw

für alle  $i \in \text{Dom}(\mathfrak{H})$ :

- (i)  $\mathfrak{H} \upharpoonright^{i+1} \in \text{AF}(\mathfrak{H} \upharpoonright^i)$  und
  - a)  $\text{VERS}(\mathfrak{H} \upharpoonright^{i+1}) \setminus \text{VERS}(\mathfrak{H} \upharpoonright^i) = \{(i, \mathfrak{H}_i)\}$ ,
  - b)  $\text{VERS}(\mathfrak{H} \upharpoonright^{i+1}) = \text{VERS}(\mathfrak{H} \upharpoonright^i) \cup \{(i, \mathfrak{H}_i)\}$ ,
  - c)  $\text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright^{i+1}) \setminus \text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright^i) = \{(i, \mathfrak{H}_i)\}$ ,
  - d)  $\text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright^{i+1}) = \text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright^i) \cup \{(i, \mathfrak{H}_i)\}$ ,
  - e)  $\text{VER}(\mathfrak{H} \upharpoonright^{i+1}) \setminus \text{VER}(\mathfrak{H} \upharpoonright^i) \subseteq \{A(\mathfrak{H}_i)\}$ ,
  - f)  $\text{VER}(\mathfrak{H} \upharpoonright^{i+1}) = \text{VER}(\mathfrak{H} \upharpoonright^i) \cup \{A(\mathfrak{H}_i)\}$ ,
  - g)  $\text{VAN}(\mathfrak{H} \upharpoonright^{i+1}) \setminus \text{VAN}(\mathfrak{H} \upharpoonright^i) \subseteq \{A(\mathfrak{H}_i)\}$  und
  - h)  $\text{VAN}(\mathfrak{H} \upharpoonright^{i+1}) = \text{VAN}(\mathfrak{H} \upharpoonright^i) \cup \{A(\mathfrak{H}_i)\}$

oder

- (ii)  $\mathfrak{H} \upharpoonright^{i+1} \in \text{SEF}(\mathfrak{H} \upharpoonright^i)$  und
  - a)  $\{(j, \mathfrak{H}_j) \mid \max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright^i))) \leq j \leq i\}$  ist ein SE-geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H} \upharpoonright^{i+1}$ ,
  - b)  $\text{VERS}(\mathfrak{H} \upharpoonright^i) \setminus \text{VERS}(\mathfrak{H} \upharpoonright^{i+1}) \subseteq \{(j, \mathfrak{H}_j) \mid \max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright^i))) \leq j < i\}$ ,
  - c)  $\text{VERS}(\mathfrak{H} \upharpoonright^{i+1}) = (\text{VERS}(\mathfrak{H} \upharpoonright^i) \setminus \{(j, \mathfrak{H}_j) \mid \max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright^i))) \leq j < i\}) \cup \{(i, \mathfrak{H}_i)\}$ ,
  - d)  $\text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright^i) \setminus \text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright^{i+1}) = \{(\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright^i))), \mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright^i))})\}$ ,

- e)  $\text{VANS}(\mathfrak{H} \uparrow i) =$   
 $\text{VANS}(\mathfrak{H} \uparrow i+1) \cup \{(\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \uparrow i))), \mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \uparrow i)))}\},$
- f)  $\text{VER}(\mathfrak{H} \uparrow i) \setminus \text{VER}(\mathfrak{H} \uparrow i+1) \subseteq \{A(\mathfrak{H}_j) \mid \max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \uparrow i))) \leq j < i\},$
- g)  $\text{VER}(\mathfrak{H} \uparrow i) \subseteq \{A(\mathfrak{H}_j) \mid j \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H} \uparrow i+1) \uparrow i)\} \cup \{A(\mathfrak{H}_j) \mid$   
 $\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \uparrow i))) \leq j < i\}$
- h)  $\text{VAN}(\mathfrak{H} \uparrow i) \setminus \text{VAN}(\mathfrak{H} \uparrow i+1) \subseteq \{A(\mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \uparrow i)))}\},$
- i)  $\text{VAN}(\mathfrak{H} \uparrow i) = \text{VAN}(\mathfrak{H} \uparrow i+1) \cup \{A(\mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \uparrow i)))}\}$  und
- j)  $A(\mathfrak{H}_i) = \ulcorner A(\mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \uparrow i)))} \rightarrow A(\mathfrak{H}_{i-1}) \urcorner$

oder

(iii)  $\mathfrak{H} \uparrow i+1 \in \text{NEF}(\mathfrak{H} \uparrow i)$  und

- a)  $\{(j, \mathfrak{H}_j) \mid \max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \uparrow i))) \leq j \leq i\}$  ist ein NE-geschlossener Abschnitt  
in  $\mathfrak{H} \uparrow i+1$ ,
- b)  $\text{VERS}(\mathfrak{H} \uparrow i) \setminus \text{VERS}(\mathfrak{H} \uparrow i+1) \subseteq \{(j, \mathfrak{H}_j) \mid \max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \uparrow i))) \leq j < i\},$
- c)  $\text{VERS}(\mathfrak{H} \uparrow i+1) =$   
 $(\text{VERS}(\mathfrak{H} \uparrow i) \setminus \{(j, \mathfrak{H}_j) \mid \max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \uparrow i))) \leq j < i\}) \cup \{(i, \mathfrak{H}_i)\},$
- d)  $\text{VANS}(\mathfrak{H} \uparrow i) \setminus \text{VANS}(\mathfrak{H} \uparrow i+1) = \{(\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \uparrow i))), \mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \uparrow i)))}\},$
- e)  $\text{VANS}(\mathfrak{H} \uparrow i) =$   
 $\text{VANS}(\mathfrak{H} \uparrow i+1) \cup \{(\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \uparrow i))), \mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \uparrow i)))}\},$
- f)  $\text{VER}(\mathfrak{H} \uparrow i) \setminus \text{VER}(\mathfrak{H} \uparrow i+1) \subseteq \{A(\mathfrak{H}_j) \mid \max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \uparrow i))) \leq j < i\},$
- g)  $\text{VER}(\mathfrak{H} \uparrow i) \subseteq \{A(\mathfrak{H}_j) \mid j \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H} \uparrow i+1) \uparrow i)\} \cup \{A(\mathfrak{H}_j) \mid$   
 $\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \uparrow i))) \leq j < i\}$
- h)  $\text{VAN}(\mathfrak{H} \uparrow i) \setminus \text{VAN}(\mathfrak{H} \uparrow i+1) \subseteq \{A(\mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \uparrow i)))}\},$
- i)  $\text{VAN}(\mathfrak{H} \uparrow i) = \text{VAN}(\mathfrak{H} \uparrow i+1) \cup \{A(\mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \uparrow i)))}\}$  und
- j)  $A(\mathfrak{H}_i) = \ulcorner \neg A(\mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \uparrow i)))} \urcorner$

oder

(iv)  $\mathfrak{H} \uparrow i+1 \in \text{PBF}(\mathfrak{H} \uparrow i)$  und

- a)  $\{(j, \mathfrak{H}_j) \mid \max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \uparrow i))) \leq j \leq i\}$  ist ein PB-geschlossener Abschnitt  
in  $\mathfrak{H} \uparrow i+1$ ,
- b)  $\text{VERS}(\mathfrak{H} \uparrow i) \setminus \text{VERS}(\mathfrak{H} \uparrow i+1) \subseteq \{(j, \mathfrak{H}_j) \mid \max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \uparrow i))) \leq j < i\},$
- c)  $\text{VERS}(\mathfrak{H} \uparrow i+1) =$   
 $(\text{VERS}(\mathfrak{H} \uparrow i) \setminus \{(j, \mathfrak{H}_j) \mid \max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \uparrow i))) \leq j < i\}) \cup \{(i, \mathfrak{H}_i)\},$
- d)  $\text{VANS}(\mathfrak{H} \uparrow i) \setminus \text{VANS}(\mathfrak{H} \uparrow i+1) = \{(\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \uparrow i))), \mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \uparrow i)))}\},$
- e)  $\text{VANS}(\mathfrak{H} \uparrow i) =$   
 $\text{VANS}(\mathfrak{H} \uparrow i+1) \cup \{(\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \uparrow i))), \mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \uparrow i)))}\},$
- f)  $\text{VER}(\mathfrak{H} \uparrow i) \setminus \text{VER}(\mathfrak{H} \uparrow i+1) \subseteq \{A(\mathfrak{H}_j) \mid \max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \uparrow i))) \leq j < i\},$
- g)  $\text{VER}(\mathfrak{H} \uparrow i) \subseteq \{A(\mathfrak{H}_j) \mid j \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H} \uparrow i+1) \uparrow i)\} \cup \{A(\mathfrak{H}_j) \mid$   
 $\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \uparrow i))) \leq j < i\}$
- h)  $\text{VAN}(\mathfrak{H} \uparrow i) \setminus \text{VAN}(\mathfrak{H} \uparrow i+1) \subseteq \{A(\mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \uparrow i)))}\},$

- i)  $\text{VAN}(\mathfrak{H} \uparrow i) = \text{VAN}(\mathfrak{H} \uparrow i+1) \cup \{A(\mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \uparrow i)))})\}$  und
- j)  $A(\mathfrak{H}_i) = \lceil A(\mathfrak{H}_{i-1}) \rceil$

oder

- (v)  $\mathfrak{H} \uparrow i+1 \in \text{KEF}(\mathfrak{H} \uparrow i) \cup \text{BEF}(\mathfrak{H} \uparrow i) \cup \text{AEF}(\mathfrak{H} \uparrow i) \cup \text{UEF}(\mathfrak{H} \uparrow i) \cup \text{PEF}(\mathfrak{H} \uparrow i) \cup \text{IEF}(\mathfrak{H} \uparrow i)$  und
  - a)  $\text{VERS}(\mathfrak{H} \uparrow i+1) \subseteq \text{VERS}(\mathfrak{H} \uparrow i) \cup \{(i, \mathfrak{H}_i)\}$ ,
  - b)  $\text{VANS}(\mathfrak{H} \uparrow i+1) \subseteq \text{VANS}(\mathfrak{H} \uparrow i)$ ,
  - c) Wenn  $\text{VANS}(\mathfrak{H} \uparrow i+1) \subset \text{VANS}(\mathfrak{H} \uparrow i)$ , dann ist  $\mathfrak{H} \uparrow i+1 \in \text{PBF}(\mathfrak{H} \uparrow i)$ ,
  - d)  $\text{VER}(\mathfrak{H} \uparrow i+1) \subseteq \text{VER}(\mathfrak{H} \uparrow i) \cup \{A(\mathfrak{H}_i)\}$ ,
  - e)  $\text{VAN}(\mathfrak{H} \uparrow i+1) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H} \uparrow i)$  und
  - f) Wenn  $\text{VAN}(\mathfrak{H} \uparrow i+1) \subset \text{VAN}(\mathfrak{H} \uparrow i)$ , dann ist  $\mathfrak{H} \uparrow i+1 \in \text{PBF}(\mathfrak{H} \uparrow i)$

oder

- (vi)  $\mathfrak{H} \uparrow i+1 \in \text{SBF}(\mathfrak{H} \uparrow i) \cup \text{KBF}(\mathfrak{H} \uparrow i) \cup \text{BBF}(\mathfrak{H} \uparrow i) \cup \text{ABF}(\mathfrak{H} \uparrow i) \cup \text{NBF}(\mathfrak{H} \uparrow i) \cup \text{UBF}(\mathfrak{H} \uparrow i) \cup \text{IBF}(\mathfrak{H} \uparrow i)$  und
  - a)  $\text{VERS}(\mathfrak{H} \uparrow i+1) \subseteq \text{VERS}(\mathfrak{H} \uparrow i) \cup \{(i, \mathfrak{H}_i)\}$ ,
  - b)  $\text{VANS}(\mathfrak{H} \uparrow i+1) \subseteq \text{VANS}(\mathfrak{H} \uparrow i)$ ,
  - c) Wenn  $\text{VANS}(\mathfrak{H} \uparrow i+1) \subset \text{VANS}(\mathfrak{H} \uparrow i)$ , dann ist  $\mathfrak{H} \uparrow i+1 \in \text{SEF}(\mathfrak{H} \uparrow i) \cup \text{NEF}(\mathfrak{H} \uparrow i) \cup \text{PBF}(\mathfrak{H} \uparrow i)$ ,
  - d)  $\text{VER}(\mathfrak{H} \uparrow i+1) \subseteq \text{VER}(\mathfrak{H} \uparrow i) \cup \{A(\mathfrak{H}_i)\}$ ,
  - e)  $\text{VAN}(\mathfrak{H} \uparrow i+1) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H} \uparrow i)$  und
  - f) Wenn  $\text{VAN}(\mathfrak{H} \uparrow i+1) \subset \text{VAN}(\mathfrak{H} \uparrow i)$ , dann ist  $\mathfrak{H} \uparrow i+1 \in \text{SEF}(\mathfrak{H} \uparrow i) \cup \text{NEF}(\mathfrak{H} \uparrow i) \cup \text{PBF}(\mathfrak{H} \uparrow i)$ .

*Beweis:* Sei  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ}$ . (*L-R*): Sei nun  $\mathfrak{H} \in \text{HL}$ . Dann gilt mit Definition 3-19 für alle  $i \in \text{Dom}(\mathfrak{H})$ :  $\mathfrak{H} \uparrow i+1 \in \text{HAB}(\mathfrak{H} \uparrow i)$ . Dann gilt mit Definition 3-18 für alle  $i \in \text{Dom}(\mathfrak{H})$ :  $\mathfrak{H} \uparrow i+1 \in \text{AF}(\mathfrak{H} \uparrow i) \cup \text{SEF}(\mathfrak{H} \uparrow i) \cup \text{NEF}(\mathfrak{H} \uparrow i) \cup \text{PBF}(\mathfrak{H} \uparrow i) \cup \text{KEF}(\mathfrak{H} \uparrow i) \cup \text{BEF}(\mathfrak{H} \uparrow i) \cup \text{AEF}(\mathfrak{H} \uparrow i) \cup \text{UEF}(\mathfrak{H} \uparrow i) \cup \text{PEF}(\mathfrak{H} \uparrow i) \cup \text{IEF}(\mathfrak{H} \uparrow i) \cup \text{SBF}(\mathfrak{H} \uparrow i) \cup \text{KBF}(\mathfrak{H} \uparrow i) \cup \text{BBF}(\mathfrak{H} \uparrow i) \cup \text{ABF}(\mathfrak{H} \uparrow i) \cup \text{NBF}(\mathfrak{H} \uparrow i) \cup \text{UBF}(\mathfrak{H} \uparrow i) \cup \text{IBF}(\mathfrak{H} \uparrow i)$ . Dann ergibt sich für  $\mathfrak{H} \uparrow i+1 \in \text{AF}(\mathfrak{H} \uparrow i)$  mit Theorem 3-15, dass (i) gilt, für  $\mathfrak{H} \uparrow i+1 \in \text{SEF}(\mathfrak{H} \uparrow i)$  mit Theorem 3-19, dass (ii) gilt, für  $\mathfrak{H} \uparrow i+1 \in \text{NEF}(\mathfrak{H} \uparrow i)$  mit Theorem 3-20, dass (iii) gilt, für  $\mathfrak{H} \uparrow i+1 \in \text{PBF}(\mathfrak{H} \uparrow i)$  mit Theorem 3-21, dass (iv) gilt, für  $\mathfrak{H} \uparrow i+1 \in \text{KEF}(\mathfrak{H} \uparrow i) \cup \text{BEF}(\mathfrak{H} \uparrow i) \cup \text{AEF}(\mathfrak{H} \uparrow i) \cup \text{UEF}(\mathfrak{H} \uparrow i) \cup \text{PEF}(\mathfrak{H} \uparrow i) \cup \text{IEF}(\mathfrak{H} \uparrow i)$  mit Theorem 3-26, dass (v) gilt und zuletzt für  $\mathfrak{H} \uparrow i+1 \in \text{SBF}(\mathfrak{H} \uparrow i) \cup \text{KBF}(\mathfrak{H} \uparrow i) \cup \text{BBF}(\mathfrak{H} \uparrow i) \cup \text{ABF}(\mathfrak{H} \uparrow i) \cup \text{NBF}(\mathfrak{H} \uparrow i) \cup \text{UBF}(\mathfrak{H} \uparrow i) \cup \text{IBF}(\mathfrak{H} \uparrow i)$  mit Theorem 3-27, dass (v) gilt.

(*R-L*): Gelte nun für alle  $i \in \text{Dom}(\mathfrak{H})$  einer der Fälle (i) bis (vi). Dann gilt mit Definition 3-18 für alle  $i \in \text{Dom}(\mathfrak{H})$ :  $\mathfrak{H} \uparrow i+1 \in \text{HAB}(\mathfrak{H} \uparrow i)$ . Mit Definition 3-19 ist  $\mathfrak{H} \in \text{HL}$ .  $\square$



## 4 Theoreme zur deduktiven Konsequenzschaft

Im Folgenden werden Theoreme zur deduktiven Konsequenzschaft bewiesen, die zum einen aufzeigen, dass übliche Eigenschaften wie etwa Reflexivität, Monotonie, die Abgeschlossenheit unter Einführung und Beseitigung der logischen Operatoren und Transitivität für diese gelten und die zum anderen als Vorbereitung auf den Nachweis der Vollständigkeit in Kap. 6.2 dienen. Dazu sind zunächst einige Vorbereitungen zu erbringen (4.1). Sodann werden die gewünschten Eigenschaften der deduktiven Konsequenzrelation gezeigt (4.2).

### 4.1 Vorbereitungen

Zunächst werden Vorbereitungen getroffen, um zeigen zu können, dass die deduktive Konsequenzschaft unter SE abgeschlossen ist. Dazu wird zunächst gezeigt, dass es zu jeder Ableitung  $\mathfrak{H}$  eine Ableitung  $\mathfrak{H}^*$  mit  $\text{VAN}(\mathfrak{H}^*) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H})$  und  $\text{K}(\mathfrak{H}^*) = \text{K}(\mathfrak{H})$  gibt, in der keine der angenommenen Aussagen an zwei Stellen verfügbar ist (Theorem 4-1). Theorem 4-2 zeigt dann, dass es zu jeder Ableitung  $\mathfrak{H}$  und jedem  $\Gamma \in \text{GFORM}$  eine Ableitung  $\mathfrak{H}^*$  mit  $\text{VAN}(\mathfrak{H}^*) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H})$  und  $\text{K}(\mathfrak{H}^*) = \text{K}(\mathfrak{H})$  gibt, so dass  $\Gamma$  wenn überhaupt nur als letzte Annahme verfügbar ist. Dieses Theorem bildet die Basis für die Abgeschlossenheit unter SE.

Die restlichen Theoreme zielen auf die Abgeschlossenheit unter Einführungen und Beseitigungen ab, bei denen die Antezedentia der Abgeschlossenheitsklauseln (vgl. Theorem 4-18) die Form  $X_0 \vdash A_0, \dots, X_{n-1} \vdash A_{n-1}$  haben. Hier ist es nicht einfach möglich, beliebige Ableitungen einfach zu verketteten, da es unter Umständen durch die Entstehung geschlossener Abschnitte oder durch Verletzung von Parameterbedingungen zu Problemen kommen kann. Daher muss gezeigt werden, dass sich Ableitungen durch die Hinzufügung von blockierenden Gliedern, die Substitution von Parametern und die mehrfache Anwendung von UE und UB so umformen lassen, dass die gewünschten Verkettungen möglich sind.

Hierzu wird zunächst gezeigt, dass sich parameterfremde Ableitungen unter Einschub einer die Entstehung von geschlossenen Abschnitten blockierenden Annahme (Theorem 4-3) miteinander verbinden lassen (Theorem 4-4), wobei die blockierende Annahme wieder entfernt werden kann (Theorem 4-7). Sodann wird gezeigt, dass die einfache Substitution eines neuen Parameter für einen möglicherweise bereits verwendeten Parameter HL-

treu ist (Theorem 4-8). Der dazu gehörige Beweis dient als Vorlage für den Beweis des Folgetheorems (Theorem 4-9), das seinerseits das Generalisierungstheorem (Theorem 4-24) vorbereitet. Zudem wird gezeigt, dass die simultane Substitution mehrerer neuer und paarweise verschiedener Parameter für paarweise verschiedene Parameter HL-treu ist (Theorem 4-10). Sodann werden Eigenschaften von UE- und UB-Fortsetzungen von Ableitungen etabliert, bis dann schlussendlich mit Theorem 4-14 gezeigt werden kann, dass sich je zwei beliebige Ableitungen so verbinden lassen, dass einerseits die verfügbaren Annahmen insgesamt nicht mehr werden und andererseits die Konklusionen beider Ableitung noch verfügbar sind.

**Theorem 4-1.** *Non-redundantes VANS*

Wenn  $\mathfrak{H} \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$  dann gibt es ein  $\mathfrak{H}^* \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ , so dass:

- (i)  $\text{VAN}(\mathfrak{H}^*) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H})$
- (ii)  $\text{K}(\mathfrak{H}^*) = \text{K}(\mathfrak{H})$  und
- (iii)  $|\text{VANS}(\mathfrak{H}^*)| = |\text{VAN}(\mathfrak{H}^*)|$ .

*Beweis:* Sei  $\mathfrak{H} \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ . Der Beweis wird mittels Induktion über  $|\text{VANS}(\mathfrak{H})|$  geführt. Sei  $|\text{VANS}(\mathfrak{H})| = 0$ . Offenbar gilt  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H})$  und  $\text{K}(\mathfrak{H}) = \text{K}(\mathfrak{H})$  und mit Theorem 2-76 folgt auch  $|\text{VAN}(\mathfrak{H})| = 0$ .

Sei nun  $|\text{VANS}(\mathfrak{H})| = k \neq 0$ . Gelte die Behauptung für alle  $\mathfrak{H}' \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$  mit  $|\text{VANS}(\mathfrak{H}')| < k$ . Dann ist mit Theorem 2-75  $|\text{VAN}(\mathfrak{H})| \leq |\text{VANS}(\mathfrak{H})|$ . Sei nun  $|\text{VAN}(\mathfrak{H})| \neq |\text{VANS}(\mathfrak{H})|$ . Dann ist  $|\text{VAN}(\mathfrak{H})| < |\text{VANS}(\mathfrak{H})|$ . Sodann ist  $\text{VANS}(\mathfrak{H}) \neq \emptyset$ . Damit ist mit Theorem 3-18  $\mathfrak{H}^1 = \mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \text{Also } A(\mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H})))}) \rightarrow \text{K}(\mathfrak{H}) \urcorner})\} \in \text{SEF}(\mathfrak{H})$ . Dann ist mit Theorem 3-19-(ix)  $\text{VAN}(\mathfrak{H}^1) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H})$  und mit Theorem 3-19-(iv) und (v) ergibt sich  $|\text{VANS}(\mathfrak{H}^1)| < k$ . Dann gibt es nach I.V.  $\mathfrak{H}^2 \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ , so dass  $\text{VAN}(\mathfrak{H}^2) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H}^1)$ ,  $\text{K}(\mathfrak{H}^2) = \text{K}(\mathfrak{H}^1)$  und  $|\text{VANS}(\mathfrak{H}^2)| = |\text{VAN}(\mathfrak{H}^2)|$ . Dann ist  $\text{VAN}(\mathfrak{H}^2) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H}^1) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H})$  und  $\text{K}(\mathfrak{H}^2) = \text{K}(\mathfrak{H}^1) = \ulcorner A(\mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H})))}) \rightarrow \text{K}(\mathfrak{H}) \urcorner$ . Nun ist  $A(\mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H})))}) \in \text{VAN}(\mathfrak{H}^2)$  oder  $A(\mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H})))}) \notin \text{VAN}(\mathfrak{H}^2)$ .

Sei  $A(\mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H})))}) \in \text{VAN}(\mathfrak{H}^2)$ . Dann ist  $\mathfrak{H}^3 = \mathfrak{H}^2 \setminus \{(0, \ulcorner \text{Also } \text{K}(\mathfrak{H}) \urcorner)\} \in \text{SBF}(\mathfrak{H}^2)$  und mit Theorem 3-27-(v)  $\text{VAN}(\mathfrak{H}^3) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H}^2) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H}^1) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H})$  und es ist  $\text{K}(\mathfrak{H}^3) = \text{K}(\mathfrak{H})$  und  $|\text{VANS}(\mathfrak{H}^3)| = |\text{VAN}(\mathfrak{H}^3)|$ . Letzteres ergibt sich wie folgt:

Wäre  $|\text{VANS}(\mathfrak{H}^3)| > |\text{VAN}(\mathfrak{H}^3)|$ . Dann gäbe es  $i, j \in \text{Dom}(\mathfrak{H}^3)$  mit  $i \neq j$  und  $A \in \text{GFORM}$ , so dass  $(i, \ulcorner \text{Sei } A \urcorner) \in \text{VANS}(\mathfrak{H}^3)$  und  $(j, \ulcorner \text{Sei } A \urcorner) \in \text{VANS}(\mathfrak{H}^3)$ . Da mit

Theorem 3-27-(ii)  $\text{VANS}(\mathfrak{H}^3) \subseteq \text{VANS}(\mathfrak{H}^2)$  gäbe es damit  $i, j \in \text{Dom}(\mathfrak{H}^2)$  mit  $i \neq j$  und  $A \in \text{GFORM}$ , so dass  $(i, \ulcorner \text{Sei } A \urcorner) \in \text{VANS}(\mathfrak{H}^2)$  und  $(j, \ulcorner \text{Sei } A \urcorner) \in \text{VANS}(\mathfrak{H}^2)$ . Dann wäre jedoch auch  $|\text{VANS}(\mathfrak{H}^2)| > |\text{VAN}(\mathfrak{H}^2)|$ . Also ist  $|\text{VANS}(\mathfrak{H}^3)| \leq |\text{VAN}(\mathfrak{H}^3)|$  und damit mit Theorem 2-75 insgesamt  $|\text{VANS}(\mathfrak{H}^3)| = |\text{VAN}(\mathfrak{H}^3)|$ .

Sei  $A(\mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H})))}) \notin \text{VAN}(\mathfrak{H}^2)$ . Sei nun  $\mathfrak{H}^4 = \mathfrak{H}^2 \hat{\ } \{(0, \ulcorner \text{Sei } A(\mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H})))}) \urcorner)\}$ . Dann ist  $\mathfrak{H}^4 \in \text{AF}(\mathfrak{H}^2)$ . Dann ist mit Theorem 3-15-(viii)  $\text{VAN}(\mathfrak{H}^4) = \text{VAN}(\mathfrak{H}^2) \cup \{A(\mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H})))})\} \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H})$  und es ist  $\text{K}(\mathfrak{H}^4) = A(\mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H})))})$  und  $|\text{VANS}(\mathfrak{H}^4)| = |\text{VAN}(\mathfrak{H}^4)|$ .

Zunächst ist nämlich  $|\text{VAN}(\mathfrak{H}^2)| = |\text{VANS}(\mathfrak{H}^2)|$  und  $|\{A(\mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H})))})\}| = |\{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^2), \ulcorner \text{Sei } A(\mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H})))}) \urcorner)\}|$ . Ferner ist  $\text{VANS}(\mathfrak{H}^2) \cap \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^2), \ulcorner \text{Sei } A(\mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H})))}) \urcorner)\} = \emptyset$  und  $\text{VAN}(\mathfrak{H}^2) \cap \{A(\mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H})))})\} = \emptyset$ . Damit ist dann mit Theorem 3-15-(iv) und -(viii):

$$\begin{aligned} |\text{VANS}(\mathfrak{H}^4)| &= |\text{VANS}(\mathfrak{H}^2) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^2), \ulcorner \text{Sei } A(\mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H})))}) \urcorner)\}| \\ &= |\text{VANS}(\mathfrak{H}^2)| + |\{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^2), \ulcorner \text{Sei } A(\mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H})))}) \urcorner)\}| \\ &= |\text{VAN}(\mathfrak{H}^2)| + |\{A(\mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H})))})\}| \\ &= |\text{VAN}(\mathfrak{H}^2) \cup \{A(\mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H})))})\}| \\ &= |\text{VAN}(\mathfrak{H}^4)|. \end{aligned}$$

Sodann gilt mit Theorem 3-15-(vi), dass  $\{A(\mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H})))}), \ulcorner A(\mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H})))}) \urcorner\} \rightarrow \text{K}(\mathfrak{H}) \urcorner \subseteq \text{VER}(\mathfrak{H}^4)$ . Damit ist  $\mathfrak{H}^5 = \mathfrak{H}^4 \hat{\ } \{(0, \ulcorner \text{Also } \text{K}(\mathfrak{H}) \urcorner)\} \in \text{SBF}(\mathfrak{H}^4)$  und mit Theorem 3-27-(v)  $\text{VAN}(\mathfrak{H}^5) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H}^4) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H})$  und  $\text{K}(\mathfrak{H}^5) = \text{K}(\mathfrak{H})$  und  $|\text{VANS}(\mathfrak{H}^5)| = |\text{VAN}(\mathfrak{H}^5)|$ . Letzteres ergibt sich wie oben für  $|\text{VANS}(\mathfrak{H}^3)| = |\text{VAN}(\mathfrak{H}^3)|$  unter Rückgriff auf  $|\text{VANS}(\mathfrak{H}^4)| = |\text{VAN}(\mathfrak{H}^4)|$ .  $\square$

Das folgende Theorem dient insbesondere der Vorbereitung der Abgeschlossenheit unter SE (Theorem 4-18-(i)).

**Theorem 4-2. SE-Vorbereitungstheorem**

Wenn  $\mathfrak{H} \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$  und  $\Gamma \in \text{GFORM}$ , dann gibt es ein  $\mathfrak{H}^* \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ , so dass:

- (i)  $\text{VAN}(\mathfrak{H}^*) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H})$
- (ii)  $\text{K}(\mathfrak{H}^*) = \text{K}(\mathfrak{H})$  und
- (iii) Für alle  $i \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^*))$ : Wenn  $A(\mathfrak{H}^*_i) = \Gamma$ , dann  $i = \max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^*)))$ .

*Beweis:* Sei  $\mathfrak{H} \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$  und  $\Gamma \in \text{GFORM}$ . Dann ist  $\Gamma \notin \text{VAN}(\mathfrak{H})$  oder  $\Gamma \in \text{VAN}(\mathfrak{H})$ . Sei  $\Gamma \notin \text{VAN}(\mathfrak{H})$ , dann ist  $\mathfrak{H}$  selbst ein solches  $\mathfrak{H}^* \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ , so dass (i), (ii) und trivialerweise (iii) gelten. Sei nun  $\Gamma \in \text{VAN}(\mathfrak{H})$ . Der Beweis wird mittels Induktion über  $|\text{VANS}(\mathfrak{H})|$  geführt. Sei  $|\text{VANS}(\mathfrak{H})| = 0$ . Mit Theorem 2-76 folgt entgegen der Annahme  $|\text{VAN}(\mathfrak{H})| = 0$ , womit die Behauptung trivial gilt.

Sei nun  $|\text{VANS}(\mathfrak{H})| = k \neq 0$ . Gelte die Behauptung für alle  $\mathfrak{H}' \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$  mit  $|\text{VANS}(\mathfrak{H}')| < k$ . Dann gibt es mit Theorem 4-1 ein  $\mathfrak{H}^1 \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ , so dass  $\text{VAN}(\mathfrak{H}^1) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H})$ ,  $\text{K}(\mathfrak{H}^1) = \text{K}(\mathfrak{H})$  und  $|\text{VANS}(\mathfrak{H}^1)| = |\text{VAN}(\mathfrak{H}^1)| \leq |\text{VAN}(\mathfrak{H})| \leq |\text{VANS}(\mathfrak{H})|$ . Dann ist  $\text{VAN}(\mathfrak{H}^1) = \emptyset$  oder  $\text{VAN}(\mathfrak{H}^1) \neq \emptyset$ . Wenn  $\text{VAN}(\mathfrak{H}^1) = \emptyset$ , dann gilt die Behauptung für  $\mathfrak{H}^1$  wiederum trivialerweise und  $\mathfrak{H}^1$  ist das gesuchte Element von  $\text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ . Sei nun  $\text{VAN}(\mathfrak{H}^1) \neq \emptyset$ . Dann ist auch  $\text{VANS}(\mathfrak{H}^1) \neq \emptyset$ . Sodann gilt mit  $|\text{VANS}(\mathfrak{H}^1)| = |\text{VAN}(\mathfrak{H}^1)|$  für alle  $B \in \text{VAN}(\mathfrak{H}^1)$ : Es gibt genau ein  $i \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^1))$ , so dass  $B = A(\mathfrak{H}^1_i)$ . Angenommen, für alle  $i \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^1))$ : Wenn  $A(\mathfrak{H}^1_i) = \Gamma$ , dann  $i = \max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^1)))$ . Dann ist  $\mathfrak{H}^1$  das gesuchte Element von  $\text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ .

Gelte nun nicht für alle  $i \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^1))$ : Wenn  $A(\mathfrak{H}^1_i) = \Gamma$ , dann  $i = \max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^1)))$ . Dann gibt es ein  $i \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^1))$ , so dass  $A(\mathfrak{H}^1_i) = \Gamma$  und  $i \neq \max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^1)))$ . Dann ist zum einen  $\Gamma \in \text{VAN}(\mathfrak{H}^1)$  und es gilt für alle  $j \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^1))$ : Wenn  $A(\mathfrak{H}^1_j) = \Gamma$ , dann  $j = i$  und damit auch  $j \neq \max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^1)))$ . Damit ist  $A(\mathfrak{H}^1_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^1)))}) \neq \Gamma$ . Sodann gilt mit  $\text{VANS}(\mathfrak{H}^1) \neq \emptyset$  und Theorem 3-18:  $\mathfrak{H}^2 = \mathfrak{H}^1 \setminus \{(0, \ulcorner \text{Also } A(\mathfrak{H}^1_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^1)))}) \urcorner \rightarrow \text{K}(\mathfrak{H}^1) \urcorner)\} \in \text{SEF}(\mathfrak{H}^1)$ . (Man beachte, dass  $\text{K}(\mathfrak{H}^1) = \text{K}(\mathfrak{H})$ .) Dann gilt mit Theorem 3-22, dass  $\text{VAN}(\mathfrak{H}^2) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H}^1) \setminus \{A(\mathfrak{H}^1_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^1)))})\} \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H})$ . Mit Theorem 3-19-(iv) und (v) gilt sodann  $|\text{VANS}(\mathfrak{H}^2)| < |\text{VANS}(\mathfrak{H}^1)| \leq |\text{VANS}(\mathfrak{H})|$  und es gilt:  $|\text{VANS}(\mathfrak{H}^2)| = |\text{VAN}(\mathfrak{H}^2)|$ . Letzteres ergibt sich wie folgt:

Wäre  $|\text{VANS}(\mathfrak{H}^2)| > |\text{VAN}(\mathfrak{H}^2)|$ . Dann gäbe es  $i, j \in \text{Dom}(\mathfrak{H}^2)$  mit  $i \neq j$  und  $A \in \text{GFORM}$ , so dass  $(i, \ulcorner \text{Sei } A \urcorner) \in \text{VANS}(\mathfrak{H}^2)$  und  $(j, \ulcorner \text{Sei } A \urcorner) \in \text{VANS}(\mathfrak{H}^2)$ . Da mit Theorem 3-19-(v)  $\text{VANS}(\mathfrak{H}^2) \subseteq \text{VANS}(\mathfrak{H}^1)$  gäbe es damit  $i, j \in \text{Dom}(\mathfrak{H}^1)$  mit  $i \neq j$  und  $A$

$\in \text{GFORM}$ , so dass  $(i, \ulcorner \text{Sei } A \urcorner) \in \text{VANS}(\mathfrak{H}^1)$  und  $(j, \ulcorner \text{Sei } A \urcorner) \in \text{VANS}(\mathfrak{H}^1)$ . Dann wäre jedoch auch  $|\text{VANS}(\mathfrak{H}^1)| > |\text{VAN}(\mathfrak{H}^1)|$ . Also ist  $|\text{VANS}(\mathfrak{H}^2)| \leq |\text{VAN}(\mathfrak{H}^2)|$  und damit mit Theorem 2-75 insgesamt  $|\text{VANS}(\mathfrak{H}^2)| = |\text{VAN}(\mathfrak{H}^2)|$ .

Angenommen  $\Gamma \notin \text{VAN}(\mathfrak{H}^2)$ . Nun ist mit Theorem 3-19-(ix)  $\text{VAN}(\mathfrak{H}^1) = \text{VAN}(\mathfrak{H}^2) \cup \{A(\mathfrak{H}^1_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^1)))})\}$ . Wegen  $A(\mathfrak{H}^1_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^1)))}) \neq \Gamma$  würde damit auch  $\Gamma \notin \text{VAN}(\mathfrak{H}^1)$  gelten. Also  $\Gamma \in \text{VAN}(\mathfrak{H}^2)$ . Nun ist  $|\text{VANS}(\mathfrak{H}^2)| < |\text{VANS}(\mathfrak{H}^1)| \leq |\text{VANS}(\mathfrak{H})| = k$ . Damit gibt es nach I.V. ein  $\mathfrak{H}^3 \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ , so dass  $\text{VAN}(\mathfrak{H}^3) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H}^2)$  und  $\text{K}(\mathfrak{H}^3) = \text{K}(\mathfrak{H}^2)$  und  $|\text{VANS}(\mathfrak{H}^3)| = |\text{VAN}(\mathfrak{H}^3)|$  und für alle  $i \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^3))$ : Wenn  $A(\mathfrak{H}^3_i) = \Gamma$ , dann  $i = \max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^3)))$ . Dann ist  $\text{VAN}(\mathfrak{H}^3) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H}^2) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H}^1) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H})$ ,  $A(\mathfrak{H}^1_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^1)))}) \notin \text{VAN}(\mathfrak{H}^3)$  und  $\text{K}(\mathfrak{H}^3) = \ulcorner A(\mathfrak{H}^1_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^1)))}) \urcorner \rightarrow \text{K}(\mathfrak{H})^\ulcorner$ . Dann lassen sich mit  $\Gamma \in \text{VAN}(\mathfrak{H}^3)$  oder  $\Gamma \notin \text{VAN}(\mathfrak{H}^3)$  zwei Fälle unterscheiden:

*Erster Fall:*  $\Gamma \in \text{VAN}(\mathfrak{H}^3)$ . Dann ist  $\Gamma = A(\mathfrak{H}^3_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^3)))})$  und für alle  $i \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^3))$ : Wenn  $\Gamma = A(\mathfrak{H}^3_i)$ , dann  $i = \max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^3)))$ . Dann ist mit Theorem 3-18  $\mathfrak{H}^4 = \mathfrak{H}^3 \frown \{(0, \ulcorner \text{Also } \Gamma \rightarrow (A(\mathfrak{H}^1_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^1)))}) \rightarrow \text{K}(\mathfrak{H})^\ulcorner)\} \in \text{SEF}(\mathfrak{H}^3)$ . Dann ergibt sich mit Theorem 3-22, dass  $\Gamma \notin \text{VAN}(\mathfrak{H}^4)$  und damit, dass für alle  $i \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^4))$ :  $A(\mathfrak{H}^4_i) \neq \Gamma$ . Ferner ist mit Theorem 3-19-(ix)  $\text{VAN}(\mathfrak{H}^4) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H}^3) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H})$ .

Sei nun  $\mathfrak{H}^5 = \mathfrak{H}^4 \frown \{(0, \ulcorner \text{Sei } A(\mathfrak{H}^1_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^1)))}) \urcorner), (1, \ulcorner \text{Sei } \Gamma \urcorner)\}$ . Dann ist zunächst  $\mathfrak{H}^5 \in \text{AF}(\mathfrak{H}^4 \frown \{(0, \ulcorner \text{Sei } A(\mathfrak{H}^1_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^1)))}) \urcorner)\})$  und  $\mathfrak{H}^4 \frown \{(0, \ulcorner \text{Sei } A(\mathfrak{H}^1_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^1)))}) \urcorner)\} \in \text{AF}(\mathfrak{H}^4)$ . Sodann gilt wegen  $A(\mathfrak{H}^4_i) \neq \Gamma$  für alle  $i \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^4))$  und  $\Gamma \neq A(\mathfrak{H}^1_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^1)))})$  mit Theorem 3-15-(iv) für alle  $i \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^5))$ :  $A(\mathfrak{H}^5_i) = \Gamma$  gdw  $i = \max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^5)))$ . Sodann ist mit Theorem 3-15-(viii)  $\text{VAN}(\mathfrak{H}^5) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H}^4) \cup \{\Gamma, A(\mathfrak{H}^1_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^1)))})\} \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H})$ . Ferner ist mit Theorem 3-15-(vi)  $\{\Gamma, A(\mathfrak{H}^1_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^1)))}), \ulcorner \Gamma \rightarrow (A(\mathfrak{H}^1_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^1)))}) \rightarrow \text{K}(\mathfrak{H})^\ulcorner)\} \subseteq \text{VER}(\mathfrak{H}^5)$ .

Dann ist  $\mathfrak{H}^6 = \mathfrak{H}^5 \frown \{(0, \ulcorner \text{Also } A(\mathfrak{H}^1_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^1)))}) \rightarrow \text{K}(\mathfrak{H})^\ulcorner)\} \in \text{SBF}(\mathfrak{H}^5)$  und mit Theorem 3-27-(v) gilt  $\text{VAN}(\mathfrak{H}^6) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H}^5) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H})$ . Sodann gilt für alle  $i \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^6))$ : Wenn  $A(\mathfrak{H}^6_i) = \Gamma$ , dann  $i = \max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^6)))$ .

Gäbe es nämlich ein  $i \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^6))$ , so dass  $A(\mathfrak{H}^6_i) = \Gamma$  und  $i \neq \max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^6)))$ . Mit Theorem 3-27-(ii) gilt dann  $i \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^5))$ . Dann ist  $i = \max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^5))) = \text{Dom}(\mathfrak{H}^4)+1$ . Nach Konstruktion von  $\mathfrak{H}^6$  ist jedoch  $\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^6))) \leq \text{Dom}(\mathfrak{H}^4)+1 = i$  und also mit  $i \neq \max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^6)))$  insge-

samt  $\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^6))) < i$ . Andererseits ist mit  $i \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^6))$  jedoch  $i \leq \max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^6)))$ . Widerspruch!

Sodann ist  $\ulcorner A(\mathfrak{H}^1_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^1)))}) \rightarrow K(\mathfrak{H})^\top = K(\mathfrak{H}^6) \in \text{VER}(\mathfrak{H}^6)$ . Wäre nun  $A(\mathfrak{H}^1_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^1)))}) \notin \text{VER}(\mathfrak{H}^6)$ . Dann wäre  $(\text{Dom}(\mathfrak{H}^4), \ulcorner \text{Sei } A(\mathfrak{H}^1_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^1)))})^\top \rceil) \notin \text{VANS}(\mathfrak{H}^6)$  und damit  $(\text{Dom}(\mathfrak{H}^4), \ulcorner \text{Sei } A(\mathfrak{H}^1_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^1)))})^\top \rceil) \in \text{VANS}(\mathfrak{H}^5) \setminus \text{VANS}(\mathfrak{H}^6)$ . Mit Theorem 2-84 wäre dann allerdings  $\text{VANS}(\mathfrak{H}^5) \setminus \text{VANS}(\mathfrak{H}^6) = \{(\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^5))), \mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^5)))})\} = \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^4)+1, \ulcorner \text{Sei } \Gamma^\top \rceil)\}$  und also  $\text{Dom}(\mathfrak{H}^4) = \text{Dom}(\mathfrak{H}^4)+1$ . Widerspruch!

Daher ist  $\mathfrak{H}^7 = \mathfrak{H}^6 \frown \{(0, \ulcorner \text{Also } K(\mathfrak{H})^\top \rceil)\} \in \text{SBF}(\mathfrak{H}^6)$  und mit Theorem 3-27-(v) gilt  $\text{VAN}(\mathfrak{H}^7) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H}^6) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H})$ . Ferner gilt mit Theorem 3-27-(ii) für alle  $i \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^7))$ : Wenn  $A(\mathfrak{H}^7_i) = \Gamma$ , dann  $i = \max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^7)))$ . Damit ist  $\mathfrak{H}^7$  das gesuchte Element von  $\text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ .

*Zweiter Fall:*  $\Gamma \notin \text{VAN}(\mathfrak{H}^3)$ . Sei nun  $\mathfrak{H}^8 = \mathfrak{H}^3 \frown \{(0, \ulcorner \text{Sei } A(\mathfrak{H}^1_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^1)))})^\top \rceil)\}$ . Dann ist zunächst  $\mathfrak{H}^8 \in \text{AF}(\mathfrak{H}^3)$ . Sodann ist mit Theorem 3-15-(viii)  $\text{VAN}(\mathfrak{H}^8) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H}^3) \cup \{A(\mathfrak{H}^1_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^1)))})\} \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H})$ . Ferner ist mit Theorem 3-15-(vi)  $\{A(\mathfrak{H}^1_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^1)))}), \ulcorner A(\mathfrak{H}^1_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^1)))}) \rightarrow K(\mathfrak{H})^\top \rceil\} \subseteq \text{VER}(\mathfrak{H}^8)$ . Sodann gilt mit  $\Gamma \notin \text{VAN}(\mathfrak{H}^3)$  und  $A(\mathfrak{H}^1_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^1)))}) \neq \Gamma$  auch  $\Gamma \notin \text{VAN}(\mathfrak{H}^8)$  und damit für alle  $i \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^8))$ :  $A(\mathfrak{H}^8_i) \neq \Gamma$ . Dann gilt trivialerweise für alle  $i \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^8))$ : Wenn  $A(\mathfrak{H}^8_i) = \Gamma$ , dann  $i = \max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^8)))$ . Dann ist  $\mathfrak{H}^9 = \mathfrak{H}^8 \frown \{(0, \ulcorner \text{Also } K(\mathfrak{H})^\top \rceil)\} \in \text{SBF}(\mathfrak{H}^8)$  und mit Theorem 3-27-(v) gilt  $\text{VAN}(\mathfrak{H}^9) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H}^8) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H})$ . Ferner gilt für alle  $i \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^9))$  wiederum trivialerweise: Wenn  $A(\mathfrak{H}^9_i) = \Gamma$ , dann  $i = \max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^9)))$ . Damit ist  $\mathfrak{H}^9$  das gesuchte Element von  $\text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ .  $\square$

### Theorem 4-3. Blockierende Annahmen

Wenn  $\mathfrak{A}$  ein geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$  ist,  $i \in \text{Dom}(\mathfrak{A}) \cap \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{H}))$ ,  $\Delta = A(\mathfrak{H}_i)$  und  $\text{PAR} \cap \text{TT}(\Delta) = \emptyset$ , dann gibt es ein  $j \in \text{Dom}(\mathfrak{H})$ , so dass  $i \neq j$  und  $\Delta \in \text{TA}(\mathfrak{H}_j)$ .

*Beweis:* Sei  $\mathfrak{A}$  ein geschlossener Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ ,  $i \in \text{Dom}(\mathfrak{A}) \cap \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{H}))$ ,  $\Delta = A(\mathfrak{H}_i)$  und  $\text{PAR} \cap \text{TT}(\Delta) = \emptyset$ . Mit Theorem 2-46 gilt dann, dass es einen geschlossenen Abschnitt  $\mathfrak{B}$  in  $\mathfrak{H}$  mit  $\mathfrak{B} \subseteq \mathfrak{A}$  gibt, so dass  $i = \min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))$ . Mit Theorem 2-42 ist  $\mathfrak{B}$  dann ein SE- oder ein NE- oder ein EA-artiger Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ . Sei  $\mathfrak{B}$  ein SE- oder ein NE-artiger Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ . Dann gilt mit Definition 2-13 und Definition 2-14, dass  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{B})) \in \text{Dom}(\mathfrak{H})$ ,  $\max(\text{Dom}(\mathfrak{B})) \neq i$  und  $\Delta \in \text{TA}(\mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\mathfrak{B}))})$ . Sei nun  $\mathfrak{B}$  ein

EA-artiger Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ . Dann gilt mit Definition 2-15:  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) - 1 \in \text{Dom}(\mathfrak{H})$  und  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) - 1 \neq i$ . Sodann gibt es  $\xi \in \text{VAR}$ ,  $\Delta^+ \in \text{FORM}$ , wobei  $\text{FV}(\Delta^+) \subseteq \{\xi\}$  und  $\beta \in \text{PAR}$ , so dass  $A(\mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) - 1}) = \ulcorner \forall \xi \Delta^+ \urcorner$  und  $\Delta = A(\mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{B}))}) = [\beta, \xi, \Delta^+]$ . Da nun nach Annahme  $\text{PAR} \cap \text{TT}(\Delta) = \emptyset$ , ist dann  $\beta \notin \text{TT}([\beta, \xi, \Delta^+])$  und mit Theorem 1-9-  
(ii)  $\Delta = [\beta, \xi, \Delta^+] = \Delta^+$ . Damit ist dann  $A(\mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) - 1}) = \ulcorner \forall \xi \Delta \urcorner$  und somit  $\Delta \in \text{TA}(\mathfrak{H}_{\min(\text{Dom}(\mathfrak{B})) - 1})$  und die Behauptung gilt.  $\square$

**Theorem 4-4.** *Verkettung parameterfremder HL-Elemente mit eingeschobener blockierender Annahme*

Wenn  $\mathfrak{H}, \mathfrak{H}' \in \text{HL}$ ,  $\text{PAR} \cap \text{TTSEQ}(\mathfrak{H}) \cap \text{TTSEQ}(\mathfrak{H}') = \emptyset$  und  $\alpha \in \text{KONST} \setminus (\text{TTSEQ}(\mathfrak{H}) \cup \text{TTSEQ}(\mathfrak{H}'))$ , dann gibt es ein  $\mathfrak{H}^* \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ , so dass

- (i)  $\text{Dom}(\mathfrak{H}^*) = \text{Dom}(\mathfrak{H}) + 1 + \text{Dom}(\mathfrak{H}')$ ,
- (ii)  $\mathfrak{H}^* \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}) = \mathfrak{H}$ ,
- (iii)  $\mathfrak{H}^*_{\text{Dom}(\mathfrak{H})} = \ulcorner \text{Sei } \alpha = \alpha \urcorner$ ,
- (iv) Für alle  $i \in \text{Dom}(\mathfrak{H}')$  ist  $\mathfrak{H}'_i = \mathfrak{H}^*_{\text{Dom}(\mathfrak{H}) + 1 + i}$ ,
- (v)  $\text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}^*)) = \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H})) \cup \{\text{Dom}(\mathfrak{H})\} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}) + 1 + l \mid l \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}')))\}$ ,
- (vi)  $\text{VER}(\mathfrak{H}^*) = \text{VER}(\mathfrak{H}) \cup \{\ulcorner \alpha = \alpha \urcorner\} \cup \text{VER}(\mathfrak{H}')$  und
- (vii)  $\text{VAN}(\mathfrak{H}^*) = \text{VAN}(\mathfrak{H}) \cup \{\ulcorner \alpha = \alpha \urcorner\} \cup \text{VAN}(\mathfrak{H}')$ .

*Beweis:* Durch Induktion über  $\text{Dom}(\mathfrak{H}')$  wird gezeigt, dass es unter den entsprechenden Voraussetzungen immer ein  $\mathfrak{H}^*$  gibt, dass (i) bis (v) erfüllt. (vi) und (vii) ergeben sich aus den vorhergehenden Klauseln. Mit (i) bis (v) gilt nämlich mit Definition 2-31:

$$B \in \text{VER}(\mathfrak{H}^*)$$

gdw

$$\text{es gibt ein } i \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}^*)), \text{ so dass } B = A(\mathfrak{H}^*_i)$$

gdw

$$\text{es gibt ein } i \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H})) \cup \{\text{Dom}(\mathfrak{H})\} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}) + 1 + l \mid l \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}')))\},$$

$$\text{so dass } B = A(\mathfrak{H}^*_i)$$

gdw

$$B \in \text{VER}(\mathfrak{H}) \cup \{\ulcorner \alpha = \alpha \urcorner\} \cup \text{VER}(\mathfrak{H}').$$

Sodann ergibt sich (vii) aus (i) bis (v) mit Definition 2-32 wie folgt:

$$B \in \text{VAN}(\mathfrak{H}^*)$$

gdw

es gibt ein  $i \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^*))$ , so dass  $B = A(\mathfrak{H}^*_i)$

gdw

es gibt ein  $i \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}^*)) \cap \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{H}^*))$ , so dass  $B = A(\mathfrak{H}^*_i)$

gdw

es gibt ein  $i \in (\text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H})) \cup \{\text{Dom}(\mathfrak{H})\} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})+1+l \mid l \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}')))\}) \cap \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{H}^*))$ , so dass  $B = A(\mathfrak{H}^*_i)$

gdw

es gibt ein  $i \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H})) \cap \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{H}^*)) \cup (\{\text{Dom}(\mathfrak{H})\} \cap \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{H}^*))) \cup (\{(\text{Dom}(\mathfrak{H})+1+l \mid l \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}'))\} \cap \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{H}^*)))$ , so dass  $B = A(\mathfrak{H}^*_i)$

gdw

es gibt ein  $i \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H})) \cap \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{H})) \cup (\{\text{Dom}(\mathfrak{H})\} \cap \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{H}^*))) \cup (\text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}')) \cap \text{Dom}(\text{ANS}(\mathfrak{H}')))$ , so dass  $B = A(\mathfrak{H}^*_i)$

gdw

es gibt ein  $i \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H})) \cup \{\text{Dom}(\mathfrak{H})\} \cup \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}'))$ , so dass  $B = A(\mathfrak{H}^*_i)$

gdw

$B \in \text{VAN}(\mathfrak{H}) \cup \{\ulcorner \alpha = \alpha \urcorner\} \cup \text{VAN}(\mathfrak{H}')$ .

*Nun zum Induktionsbeweis:* Gelte die Behauptung für  $k < \text{Dom}(\mathfrak{H}')$  und seien  $\mathfrak{H}, \mathfrak{H}'$  wie gefordert und sei  $\alpha \in \text{KONST} \setminus (\text{TT}(\mathfrak{H}) \cup \text{TT}(\mathfrak{H}'))$ . Angenommen  $\text{Dom}(\mathfrak{H}') = 0$ . Dann ist  $\mathfrak{H}' = \emptyset$  und mit  $\mathfrak{H}^* = \mathfrak{H} \hat{\ } \{(0, \ulcorner \text{Sei } \alpha = \alpha \urcorner)\}$  gilt die Behauptung. Sei nun  $\text{Dom}(\mathfrak{H}') > 0$ . Dann ist  $\mathfrak{H}' \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ . Dann ist mit Theorem 3-6  $\mathfrak{H}' \in \text{HAB}(\mathfrak{H}' \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1)$  und  $\mathfrak{H}' \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1 \in \text{HL}$ . Sodann ist mit  $\text{PAR} \cap \text{TTSEQ}(\mathfrak{H}) \cap \text{TTSEQ}(\mathfrak{H}') = \emptyset$  auch  $\text{PAR} \cap \text{TTSEQ}(\mathfrak{H}) \cap \text{TTSEQ}(\mathfrak{H}' \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1) = \emptyset$  und mit  $\alpha \in \text{KONST} \setminus (\text{TT}(\mathfrak{H}) \cup \text{TT}(\mathfrak{H}'))$  ist auch  $\alpha \in \text{KONST} \setminus (\text{TT}(\mathfrak{H}) \cup \text{TT}(\mathfrak{H}' \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1))$ . Dann gibt es nach I.V. für  $\mathfrak{H}, \mathfrak{H}' \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1$  und  $\alpha$  ein  $\mathfrak{H}^* \in \text{HL}$ , für das i) bis v) gelten. Dann gilt:

i)  $\text{Dom}(\mathfrak{H}^*) = \text{Dom}(\mathfrak{H})+1+\text{Dom}(\mathfrak{H}')-1 = \text{Dom}(\mathfrak{H})+\text{Dom}(\mathfrak{H}')$ ,

ii)  $\mathfrak{H}^* \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}) = \mathfrak{H}$ ,

iii)  $\mathfrak{H}^*_{\text{Dom}(\mathfrak{H})} = \ulcorner \text{Sei } \alpha = \alpha \urcorner$ ,

iv) Für alle  $i \in \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1$  ist  $\mathfrak{H}'_i = \mathfrak{H}^*_{\text{Dom}(\mathfrak{H})+1+i}$ ,

v)  $\text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}^*)) = \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H})) \cup \{\text{Dom}(\mathfrak{H})\} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})+1+l \mid l \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}' \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1))\}$ .

Sodann ergibt sich aus  $\mathfrak{H}' \in \text{HAB}(\mathfrak{H}' \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  mit Definition 3-18, dass  $\mathfrak{H}' \in \text{AF}(\mathfrak{H}' \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1)$  oder  $\mathfrak{H}' \in \text{SEF}(\mathfrak{H}' \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1)$  oder  $\mathfrak{H}' \in \text{SBF}(\mathfrak{H}' \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1)$  oder  $\mathfrak{H}' \in \text{KEF}(\mathfrak{H}' \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1)$  oder  $\mathfrak{H}' \in \text{KBF}(\mathfrak{H}' \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1)$  oder  $\mathfrak{H}' \in \text{BEF}(\mathfrak{H}' \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1)$  oder  $\mathfrak{H}' \in \text{BBF}(\mathfrak{H}' \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1)$  oder  $\mathfrak{H}' \in \text{AEF}(\mathfrak{H}' \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1)$  oder  $\mathfrak{H}' \in \text{ABF}(\mathfrak{H}' \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1)$  oder  $\mathfrak{H}' \in \text{NEF}(\mathfrak{H}' \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1)$  oder  $\mathfrak{H}' \in \text{NBF}(\mathfrak{H}' \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1)$  oder  $\mathfrak{H}' \in \text{UEF}(\mathfrak{H}' \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1)$  oder  $\mathfrak{H}' \in \text{UBF}(\mathfrak{H}' \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1)$  oder  $\mathfrak{H}' \in \text{PEF}(\mathfrak{H}' \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1)$  oder  $\mathfrak{H}' \in \text{PBF}(\mathfrak{H}' \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1)$  oder  $\mathfrak{H}' \in \text{IEF}(\mathfrak{H}' \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1)$  oder  $\mathfrak{H}' \in \text{IBF}(\mathfrak{H}' \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1)$ . Nun sei vereinbart:

$$\text{vi) } \mathfrak{H}^+ = \mathfrak{H}^* \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})+1+\text{Dom}(\mathfrak{H}')-1, \mathfrak{H}'_{\text{Dom}(\mathfrak{H}')-1})\}.$$

Dann gilt für  $\mathfrak{H}^+$  bereits  $\mathfrak{H}^+ \neq \emptyset$  und i) bis iv). Nun wird gezeigt, dass sich für die einzelnen Fälle AF ... IBF jeweils ergibt, dass  $\mathfrak{H}^+ \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$  und auch v) gilt, womit  $\mathfrak{H}^+$  dann jeweils das gesuchte HL-Element ist. Zunächst ist zu bemerken, dass wegen  $\alpha \in \text{KONST} \setminus (\text{TT}(\mathfrak{H}) \cup \text{TT}(\mathfrak{H}'))$  gilt, dass es kein  $l \in \text{Dom}(\mathfrak{H}^+)$  gibt, so dass  $l \neq \text{Dom}(\mathfrak{H})$  und  $\ulcorner \alpha = \alpha \urcorner \in \text{TA}(\mathfrak{H}^+)$ . Damit gilt mit  $\mathfrak{H}^*_{\text{Dom}(\mathfrak{H})} = \mathfrak{H}^+_{\text{Dom}(\mathfrak{H})} = \ulcorner \text{Sei } \alpha = \alpha \urcorner$  und Theorem 4-3:

vii) Es gibt keinen geschlossenen Abschnitt  $\mathfrak{A}$  in  $\mathfrak{H}^+$  und es gibt keinen geschlossenen Abschnitt  $\mathfrak{A}$  in  $\mathfrak{H}^*$ , so dass  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) \leq \text{Dom}(\mathfrak{H}) < \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ .

Damit gilt dann auch:

viii)  $\text{Dom}(\mathfrak{H}) \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^+))$ ,  $\text{Dom}(\mathfrak{H}) \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^*))$  und  $\text{Dom}(\mathfrak{H}) \leq \max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^*)))$ .

Um Sonderbetrachtungen bei SBF, KEF, KBF, BEF, BBF, AEF, ABF, NBF, UEF, UBF, PEF, IEF und IBF zu vereinfachen wird nun noch vorbereitend gezeigt:

ix) Wenn  $\mathfrak{H}^+ \in \text{SEF}(\mathfrak{H}^*) \cup \text{NEF}(\mathfrak{H}^*) \cup \text{PBF}(\mathfrak{H}^*)$ , dann  $\mathfrak{H}' \in \text{SEF}(\mathfrak{H}' \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1) \cup \text{NEF}(\mathfrak{H}' \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1) \cup \text{PBF}(\mathfrak{H}' \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1)$ .

*Vorbereitungsteil:* Sei zunächst  $\mathfrak{H}^+ \in \text{SEF}(\mathfrak{H}^*)$ . Dann gibt es nach Definition 3-2, Theorem 3-19-(i) und vii) und viii)  $\text{Dom}(\mathfrak{H})+1+i \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^*))$ , so dass mit i) und iv)  $\text{A}(\mathfrak{H}^*_{\text{Dom}(\mathfrak{H})+1+i}) = \text{A}(\mathfrak{H}'_i)$  und  $\text{K}(\mathfrak{H}^*) = \text{A}(\mathfrak{H}^*_{\text{Dom}(\mathfrak{H})+1+\text{Dom}(\mathfrak{H}')-2}) = \text{A}(\mathfrak{H}'_{\text{Dom}(\mathfrak{H}')-2}) = \text{K}(\mathfrak{H}' \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1)$  und es kein  $l$  mit  $\text{Dom}(\mathfrak{H})+1+i < l \leq \text{Dom}(\mathfrak{H})+1+\text{Dom}(\mathfrak{H}')-2$  gibt, so

dass  $l \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^*))$  und  $\mathfrak{H}^+ = \mathfrak{H}^* \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})+1+\text{Dom}(\mathfrak{H}')-1, \ulcorner \text{Also } A(\mathfrak{H}^*_{\text{Dom}(\mathfrak{H})+1+i}) \rightarrow K(\mathfrak{H}^*) \urcorner})\} = \mathfrak{H}^* \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})+1+\text{Dom}(\mathfrak{H}')-1, \ulcorner \text{Also } A(\mathfrak{H}'_i) \rightarrow K(\mathfrak{H}' \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1) \urcorner})\}$ . Dann gilt mit i'), iv') und v'):  $i \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}' \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1))$  und es gibt kein  $l$  mit  $i < l \leq \text{Dom}(\mathfrak{H}')-2$ , so dass  $l \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}' \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1))$ . Damit gilt  $\mathfrak{H}' = \mathfrak{H}' \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1 \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}')-1, \ulcorner \text{Also } A(\mathfrak{H}'_i) \rightarrow K(\mathfrak{H}' \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1) \urcorner})\}$  und damit ist dann insgesamt  $\mathfrak{H}' \in \text{SEF}(\mathfrak{H}' \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1)$ . Für den Fall, dass  $\mathfrak{H}^+ \in \text{NEF}(\mathfrak{H}^*)$ , zeigt man analog, dass dann auch  $\mathfrak{H}' \in \text{NEF}(\mathfrak{H}' \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1)$ .

Sei nun  $\mathfrak{H}^+ \in \text{PBF}(\mathfrak{H}^*)$ . Dann gibt es nach Definition 3-15, Theorem 3-21-(i),  $A(\mathfrak{H}^+_{\text{Dom}(\mathfrak{H})}) = \ulcorner \alpha = \alpha \urcorner$  und vii'), viii')  $\beta \in \text{PAR}$ ,  $\xi \in \text{VAR}$ ,  $\Delta \in \text{FORM}$ , wobei  $\text{FV}(\Delta) \subseteq \{\xi\}$ , und  $\text{Dom}(\mathfrak{H})+1+i \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}^*))$ , so dass mit i') und iv')  $\ulcorner \forall \xi \Delta \urcorner = A(\mathfrak{H}^*_{\text{Dom}(\mathfrak{H})+1+i}) = A(\mathfrak{H}'_i)$  und  $[\beta, \xi, \Delta] = A(\mathfrak{H}^*_{\text{Dom}(\mathfrak{H})+2+i}) = A(\mathfrak{H}'_{i+1})$ , wobei  $\text{Dom}(\mathfrak{H})+2+i \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^*))$  und  $K(\mathfrak{H}^*) = A(\mathfrak{H}^*_{\text{Dom}(\mathfrak{H})+1+\text{Dom}(\mathfrak{H}')-2}) = A(\mathfrak{H}'_{\text{Dom}(\mathfrak{H}')-2}) = K(\mathfrak{H}' \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1)$  und  $\mathfrak{H}^+ = \mathfrak{H}^* \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})+1+\text{Dom}(\mathfrak{H}')-1, \ulcorner \text{Also } K(\mathfrak{H}^*) \urcorner})\} = \mathfrak{H}^* \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})+1+\text{Dom}(\mathfrak{H}')-1, \ulcorner \text{Also } K(\mathfrak{H}' \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1) \urcorner})\}$  und  $\beta \notin \text{TTFM}(\{\Delta, K(\mathfrak{H}^*)\})$  und es kein  $j \leq \text{Dom}(\mathfrak{H})+1+i$  gibt, so dass  $\beta \in \text{TT}(\mathfrak{H}^*_j)$  und es kein  $l$  mit  $\text{Dom}(\mathfrak{H})+2+i < l \leq \text{Dom}(\mathfrak{H})+1+\text{Dom}(\mathfrak{H}')-2$  gibt, so dass  $l \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^*))$ . Dann gilt mit i'), iv') und v'):  $i \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}' \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1))$  und  $i+1 \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}' \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1))$  und  $\beta \notin \text{TTFM}(\{\Delta, K(\mathfrak{H}' \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1)\})$  und es gibt kein  $j \leq i$ , so dass  $\beta \in \text{TT}(\mathfrak{H}'_j)$ , und es gibt kein  $l$  mit  $i+1 < l \leq \text{Dom}(\mathfrak{H}')-2$ , so dass  $l \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}' \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1))$ . Damit gilt  $\mathfrak{H}' = \mathfrak{H}' \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1 \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}')-1, \ulcorner \text{Also } K(\mathfrak{H}' \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1) \urcorner})\}$  und damit ist dann insgesamt  $\mathfrak{H}' \in \text{PBF}(\mathfrak{H}' \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1)$ .

*Hauptteil:* Nun zum Nachweis, dass sich für die einzelnen Fälle AF ... IBF jeweils ergibt, dass  $\mathfrak{H}^+ \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$  und v) gilt:

(AF): Sei nun  $\mathfrak{H}' \in \text{AF}(\mathfrak{H}' \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1)$ . Dann ist nach Definition 3-1  $\mathfrak{H}' = \mathfrak{H}' \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1 \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}')-1, \ulcorner \text{Sei } A(\mathfrak{H}'_{\text{Dom}(\mathfrak{H}')-1}) \urcorner})\}$  und mit vi')  $\mathfrak{H}^+ = \mathfrak{H}^* \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})+1+\text{Dom}(\mathfrak{H}')-1, \ulcorner \text{Sei } A(\mathfrak{H}'_{\text{Dom}(\mathfrak{H}')-1}) \urcorner})\} \in \text{AF}(\mathfrak{H}^*) \subseteq \mathfrak{H}^+ \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ . Sodann ergibt sich mit Theorem 3-15-(ii), dass  $\text{VERS}(\mathfrak{H}') = \text{VERS}(\mathfrak{H}' \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}')-1, \ulcorner \text{Sei } A(\mathfrak{H}'_{\text{Dom}(\mathfrak{H}')-1}) \urcorner})\}$  und  $\text{VERS}(\mathfrak{H}^+) = \text{VERS}(\mathfrak{H}^*) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})+1+\text{Dom}(\mathfrak{H}')-1, \ulcorner \text{Sei } A(\mathfrak{H}'_{\text{Dom}(\mathfrak{H}')-1}) \urcorner})\}$ . Mit  $\text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}^*)) = \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H})) \cup \{\text{Dom}(\mathfrak{H})\} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})+1+l \mid l \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}' \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1)))\}$  ergibt sich dann:

$$i \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}^+))$$

gdw

$$i \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}^*)) \cup \{\text{Dom}(\mathfrak{H})+1+\text{Dom}(\mathfrak{H}')-1\}$$

gdw

$$i \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H})) \cup \{\text{Dom}(\mathfrak{H})\} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})+1+l \mid l \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}'\uparrow\text{Dom}(\mathfrak{H}')-1))\} \\ \cup \{\text{Dom}(\mathfrak{H})+1+\text{Dom}(\mathfrak{H}')-1\}$$

gdw

$$i \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H})) \cup \{\text{Dom}(\mathfrak{H})\} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})+1+l \mid l \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}'))\}$$

und damit, dass  $\text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}^+)) = \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H})) \cup \{\text{Dom}(\mathfrak{H})\} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})+1+l \mid l \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}'))\}$  und somit v) gilt.

(SEF, NEF): Sei nun  $\mathfrak{H}' \in \text{SEF}(\mathfrak{H}'\uparrow\text{Dom}(\mathfrak{H}')-1)$ . Dann gibt es nach Definition 3-2  $i \in \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1$ , so dass mit iv')  $A(\mathfrak{H}'_i) = A(\mathfrak{H}^*_{\text{Dom}(\mathfrak{H})+1+i})$  und  $i \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}'\uparrow\text{Dom}(\mathfrak{H}')-1))$  und  $K(\mathfrak{H}'\uparrow\text{Dom}(\mathfrak{H}')-1) = A(\mathfrak{H}^*_{\text{Dom}(\mathfrak{H})+1+\text{Dom}(\mathfrak{H}')-2}) = K(\mathfrak{H}^*)$  und es kein  $l$  mit  $i < l \leq \text{Dom}(\mathfrak{H}')-2$  gibt, so dass  $l \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}'\uparrow\text{Dom}(\mathfrak{H}')-1))$  und  $\mathfrak{H}' = \mathfrak{H}'\uparrow\text{Dom}(\mathfrak{H}')-1 \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}')-1, \ulcorner A(\mathfrak{H}'_i) \rightarrow K(\mathfrak{H}^*) \urcorner)\}$ . Mit vi') ergibt sich dann:  $\mathfrak{H}^+ = \mathfrak{H}^* \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})+1+\text{Dom}(\mathfrak{H}')-1, \ulcorner A(\mathfrak{H}'_i) \rightarrow K(\mathfrak{H}^*) \urcorner)\}$ . Sodann gilt mit iv') und v'):  $\text{Dom}(\mathfrak{H})+1+i \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^*))$  und es gibt kein  $l$  mit  $\text{Dom}(\mathfrak{H})+1+i < l \leq \text{Dom}(\mathfrak{H})+1+\text{Dom}(\mathfrak{H}')-2$ , so dass  $l \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^*))$ . Damit ist dann auch  $\mathfrak{H}^+ \in \text{SEF}(\mathfrak{H}^*) \subseteq \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ . Sodann ergibt sich mit Theorem 3-19-(iii), dass  $\text{VERS}(\mathfrak{H}') = (\text{VERS}(\mathfrak{H}'\uparrow\text{Dom}(\mathfrak{H}')-1) \setminus \{(j, \mathfrak{H}'_j) \mid i \leq j < \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1\}) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}')-1, \mathfrak{H}'_{\text{Dom}(\mathfrak{H}')-1})\}$  und  $\text{VERS}(\mathfrak{H}^+) = (\text{VERS}(\mathfrak{H}^*) \setminus \{(r, \mathfrak{H}^+_r) \mid \text{Dom}(\mathfrak{H})+1+i \leq r < \text{Dom}(\mathfrak{H})+1+\text{Dom}(\mathfrak{H}')-1\}) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})+1+\text{Dom}(\mathfrak{H}')-1, \mathfrak{H}'_{\text{Dom}(\mathfrak{H}')-1})\}$ . Mit  $\text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}^*)) = \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H})) \cup \{\text{Dom}(\mathfrak{H})\} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})+1+l \mid l \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}'\uparrow\text{Dom}(\mathfrak{H}')-1))\}$  und i') und iv') ergibt sich dann:

$$k \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}^+))$$

gdw

$$k \in (\text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}^*)) \setminus \{r \mid \text{Dom}(\mathfrak{H})+1+i \leq r < \text{Dom}(\mathfrak{H})+1+\text{Dom}(\mathfrak{H}')-1\}) \cup \{\text{Dom}(\mathfrak{H})+1+\text{Dom}(\mathfrak{H}')-1\}$$

gdw

$$k \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}^*)) \text{ und } k < \text{Dom}(\mathfrak{H})+1+i \text{ oder } k = \text{Dom}(\mathfrak{H})+1+\text{Dom}(\mathfrak{H}')-1$$

gdw

$$k \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H})) \cup \{\text{Dom}(\mathfrak{H})\} \text{ oder } k \in \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})+1+l \mid l \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}'\uparrow\text{Dom}(\mathfrak{H}')-1))\} \text{ und } k < \text{Dom}(\mathfrak{H})+1+i \text{ oder } k = \text{Dom}(\mathfrak{H})+1+\text{Dom}(\mathfrak{H}')-1$$

gdw

$k < \text{Dom}(\mathfrak{H})+1$  und  $k \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H})) \cup \{\text{Dom}(\mathfrak{H})\}$  oder  $k \geq \text{Dom}(\mathfrak{H})+1$  und  $k - \text{Dom}(\mathfrak{H})+1 \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}' \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1))$  und  $k - \text{Dom}(\mathfrak{H})+1 < i$  oder  $k - \text{Dom}(\mathfrak{H})+1 = \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1$

gdw

$k < \text{Dom}(\mathfrak{H})+1$  und  $k \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H})) \cup \{\text{Dom}(\mathfrak{H})\}$  oder  $k \geq \text{Dom}(\mathfrak{H})+1$  und  $k - \text{Dom}(\mathfrak{H})+1 \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}' \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1)) \setminus \{j \mid i \leq j < \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1\}$  oder  $k - \text{Dom}(\mathfrak{H})+1 = \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1$

gdw

$k < \text{Dom}(\mathfrak{H})+1$  und  $k \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H})) \cup \{\text{Dom}(\mathfrak{H})\}$  oder  $k \geq \text{Dom}(\mathfrak{H})+1$  und  $k - \text{Dom}(\mathfrak{H})+1 \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}'))$

und somit, dass  $\text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}^+)) = \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H})) \cup \{\text{Dom}(\mathfrak{H})\} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})+1+l \mid l \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}')))\}$  und damit v) gilt. Für den Fall, dass  $\mathfrak{H}' \in \text{NEF}(\mathfrak{H}' \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1)$ , zeigt man analog, dass dann auch  $\mathfrak{H}^+ \in \text{NEF}(\mathfrak{H}^*) \subseteq \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$  und v) gilt.

(PBF): Sei nun  $\mathfrak{H}' \in \text{PBF}(\mathfrak{H}' \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1)$ . Dann gibt es nach Definition 3-15  $\beta \in \text{PAR}$ ,  $\xi \in \text{VAR}$ ,  $\Delta \in \text{FORM}$ , wobei  $\text{FV}(\Delta) \subseteq \{\xi\}$ , und  $i \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}' \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1))$ , so dass mit iv')  $\ulcorner \forall \xi \Delta \urcorner = A(\mathfrak{H}'_i) = A(\mathfrak{H}^*_{\text{Dom}(\mathfrak{H})+1+i})$  und  $[\beta, \xi, \Delta] = A(\mathfrak{H}'_{i+1}) = A(\mathfrak{H}^*_{\text{Dom}(\mathfrak{H})+2+i})$ , wobei  $i \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}' \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1))$  und  $\text{K}(\mathfrak{H}' \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1) = A(\mathfrak{H}'_{\text{Dom}(\mathfrak{H}')-2}) = A(\mathfrak{H}^*_{\text{Dom}(\mathfrak{H})+1+\text{Dom}(\mathfrak{H}')-2}) = \text{K}(\mathfrak{H}^*)$  und  $\mathfrak{H}' = \mathfrak{H}' \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1 \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}')-1, \ulcorner \text{Also } \text{K}(\mathfrak{H}' \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1) \urcorner)\}$  und  $\beta \notin \text{TTFM}(\{\Delta, \text{K}(\mathfrak{H}' \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1)\})$  und es gibt kein  $j \leq i$ , so dass  $\beta \in \text{TT}(\mathfrak{H}'_j)$ , und es gibt kein  $l$  mit  $i+1 < l \leq \text{Dom}(\mathfrak{H}')-2$ , so dass  $l \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}' \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1))$ .

Dann gilt mit iv') und v'):  $\text{Dom}(\mathfrak{H})+1+i \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}^*))$  und  $\text{Dom}(\mathfrak{H})+2+i \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^*))$  und es gibt kein  $l$  mit  $\text{Dom}(\mathfrak{H})+2+i < l \leq \text{Dom}(\mathfrak{H})+1+\text{Dom}(\mathfrak{H}')-2$ , so dass  $l \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^*))$ . Sodann gilt mit vi'), dass  $\mathfrak{H}^+ = \mathfrak{H}^* \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})+1+\text{Dom}(\mathfrak{H}')-1, \ulcorner \text{Also } \text{K}(\mathfrak{H}' \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1) \urcorner)\} = \mathfrak{H}^* \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})+1+\text{Dom}(\mathfrak{H}')-1, \ulcorner \text{Also } \text{K}(\mathfrak{H}^*) \urcorner)\}$ .

Sodann ist  $\xi \in \text{FV}(\Delta)$  oder  $\xi \notin \text{FV}(\Delta)$ . Sei nun  $\xi \in \text{FV}(\Delta)$ . Dann ist  $\beta \in \text{TT}([\beta, \xi, \Delta]) \subseteq \text{TTSEQ}(\mathfrak{H}')$ . Da nun nach Voraussetzung  $\text{PAR} \cap \text{TTSEQ}(\mathfrak{H}) \cap \text{TTSEQ}(\mathfrak{H}') = \emptyset$  ist damit  $\beta \notin \text{TTSEQ}(\mathfrak{H})$ . Damit ergibt sich mit i') bis iv') daraus, dass  $\beta \notin \text{TTFM}(\{\Delta, \text{K}(\mathfrak{H}' \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1)\})$  und es kein  $j \leq i$  gibt, so dass  $\beta \in \text{TT}(\mathfrak{H}'_j)$ , dass  $\beta \notin \text{TTFM}(\{\Delta, \text{K}(\mathfrak{H}^*)\})$  und es kein  $j \leq \text{Dom}(\mathfrak{H})+1+i$  gibt, so dass  $\beta \in \text{TT}(\mathfrak{H}^*_j)$ . Damit ist dann  $\mathfrak{H}^+ \in \text{PBF}(\mathfrak{H}^*)$ . Sei nun  $\xi \notin \text{FV}(\Delta)$ . Nun gibt es ein  $\beta^* \in \text{PAR} \setminus (\text{TTSEQ}(\mathfrak{H}) \cup \text{TTSEQ}(\mathfrak{H}'))$ . Dann ist mit Theorem 1-9-(ii)  $[\beta^*, \xi, \Delta] = \Delta = [\beta, \xi, \Delta] = A(\mathfrak{H}'_{i+1}) = A(\mathfrak{H}^*_{\text{Dom}(\mathfrak{H})+2+i})$ . Sodann gilt dann, dass  $\beta^* \notin \text{TTFM}(\{\Delta, \text{K}(\mathfrak{H}^*)\})$  und es kein  $j \leq \text{Dom}(\mathfrak{H})+1+i$  gibt, so dass

$\beta^* \in \text{TT}(\mathfrak{H}^*_j)$ . Damit ist dann wiederum  $\mathfrak{H}^+ \in \text{PBF}(\mathfrak{H}^*)$ . Es gilt also insgesamt, dass  $\mathfrak{H}^+ \in \text{PBF}(\mathfrak{H}^*) \subseteq \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ . Dass auch v) gilt, ergibt sich dann mit i'), iv') und Theorem 3-21-iii) analog zu SEF und NEF.

(*SBF, KEF, KBF, BEF, BBF, AEF, ABF, NBF, UBF, PEF, IEF, IBF*): Sei nun  $\mathfrak{H}' \in \text{SBF}(\mathfrak{H}' \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1)$ . Dann gibt es nach Definition 3-3  $\Delta, \Gamma \in \text{GFORM}$ , so dass  $\Delta, \ulcorner \Delta \urcorner \rightarrow \Gamma \urcorner \in \text{VER}(\mathfrak{H}' \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1)$  und  $\mathfrak{H}' = \mathfrak{H}' \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1 \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}')-1, \ulcorner \text{Also } \Gamma \urcorner)\}$ . Dann gilt mit vi'):  $\mathfrak{H}^+ = \mathfrak{H}^* \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})+1+\text{Dom}(\mathfrak{H}')-1, \ulcorner \text{Also } \Gamma \urcorner)\}$ . Sodann gilt mit  $\Delta, \ulcorner \Delta \urcorner \rightarrow \Gamma \urcorner \in \text{VER}(\mathfrak{H}' \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1)$ , Definition 2-31 und iv'), dass es  $i, j \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}' \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1))$  gibt, so dass  $\Delta = A(\mathfrak{H}'_i) = A(\mathfrak{H}^*_{\text{Dom}(\mathfrak{H})+1+i})$  und  $\ulcorner \Delta \urcorner \rightarrow \Gamma \urcorner = A(\mathfrak{H}'_j) = A(\mathfrak{H}^*_{\text{Dom}(\mathfrak{H})+1+j})$ . Sodann gilt mit v'), dass  $\text{Dom}(\mathfrak{H})+1+i, \text{Dom}(\mathfrak{H})+1+j \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}^*))$ . Damit ist dann insgesamt  $\mathfrak{H}^+ \in \text{SBF}(\mathfrak{H}^*) \subseteq \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ .

Sodann ist  $\mathfrak{H}' \in \text{SEF}(\mathfrak{H}' \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1) \cup \text{NEF}(\mathfrak{H}' \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1) \cup \text{PBF}(\mathfrak{H}' \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1)$  oder  $\mathfrak{H}' \notin \text{SEF}(\mathfrak{H}' \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1) \cup \text{NEF}(\mathfrak{H}' \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1) \cup \text{PBF}(\mathfrak{H}' \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1)$ . Im ersten Fall ergibt sich die Gültigkeit von v) wie unter den jeweiligen Fallbetrachtungen. Sei nun  $\mathfrak{H}' \notin \text{SEF}(\mathfrak{H}' \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1) \cup \text{NEF}(\mathfrak{H}' \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1) \cup \text{PBF}(\mathfrak{H}' \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1)$ . Dann gilt mit ix'), dass auch  $\mathfrak{H}^+ \notin \text{SEF}(\mathfrak{H}^*) \cup \text{NEF}(\mathfrak{H}^*) \cup \text{PBF}(\mathfrak{H}^*)$ . Dann gilt mit Theorem 3-25, dass  $\text{VERS}(\mathfrak{H}') = \text{VERS}(\mathfrak{H}' \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}')-1, \ulcorner \text{Also } \Gamma \urcorner)\}$  und  $\text{VERS}(\mathfrak{H}^+) = \text{VERS}(\mathfrak{H}^*) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})+1+\text{Dom}(\mathfrak{H}')-1, \ulcorner \text{Also } \Gamma \urcorner)\}$ . Mit v'), also  $\text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}^*)) = \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}')) \cup \{\text{Dom}(\mathfrak{H}')\} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}')+1+l \mid l \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}' \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1))\}$ , ergibt sich dann wie bei AF, dass  $\text{VERS}(\mathfrak{H}^+) = \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}')) \cup \{\text{Dom}(\mathfrak{H}')\} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}')+1+l \mid l \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}'))\}$  und folglich v) gilt.

Für den Fall, dass  $\mathfrak{H}' \in \text{KEF}(\mathfrak{H}' \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1) \cup \text{KBF}(\mathfrak{H}' \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1) \cup \text{BEF}(\mathfrak{H}' \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1) \cup \text{BBF}(\mathfrak{H}' \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1) \cup \text{AEF}(\mathfrak{H}' \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1) \cup \text{ABF}(\mathfrak{H}' \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1) \cup \text{NBF}(\mathfrak{H}' \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1) \cup \text{UBF}(\mathfrak{H}' \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1) \cup \text{PEF}(\mathfrak{H}' \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1) \cup \text{IEF}(\mathfrak{H}' \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1) \cup \text{IBF}(\mathfrak{H}' \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1)$ , zeigt man analog, dass dann auch  $\mathfrak{H}^+ \in \text{KEF}(\mathfrak{H}^*) \cup \text{KBF}(\mathfrak{H}^*) \cup \text{BEF}(\mathfrak{H}^*) \cup \text{BBF}(\mathfrak{H}^*) \cup \text{AEF}(\mathfrak{H}^*) \cup \text{ABF}(\mathfrak{H}^*) \cup \text{NBF}(\mathfrak{H}^*) \cup \text{UBF}(\mathfrak{H}^*) \cup \text{PEF}(\mathfrak{H}^*) \cup \text{IEF}(\mathfrak{H}^*) \cup \text{IBF}(\mathfrak{H}^*) \subseteq \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$  und jeweils v) gilt.

(*UEF*): Sei nun  $\mathfrak{H}' \in \text{UEF}(\mathfrak{H}' \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1)$ . Dann gibt es nach Definition 3-12  $\beta \in \text{PAR}$ ,  $\xi \in \text{VAR}$  und  $\Delta \in \text{FORM}$ , wobei  $\text{FV}(\Delta) \subseteq \{\xi\}$ , so dass  $[\beta, \xi, \Delta] \in \text{VER}(\mathfrak{H}' \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1)$ ,  $\beta \notin \text{TTFM}(\{\Delta\} \cup \text{VAN}(\mathfrak{H}' \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1))$  und  $\mathfrak{H}' = \mathfrak{H}' \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1 \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}')-1, \ulcorner \text{Also } \wedge \xi \Delta \urcorner)\}$ . Dann gilt zunächst mit vi'):  $\mathfrak{H}^+ = \mathfrak{H}^* \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})+1+\text{Dom}(\mathfrak{H}')-1, \ulcorner \text{Also } \wedge \xi \Delta \urcorner)\}$ . Sodann gilt mit  $[\beta, \xi, \Delta] \in \text{VER}(\mathfrak{H}' \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H}')-1)$ , Definition 2-31 und iv'), dass es  $i \in$

$\text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}' \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}') - 1))$  gibt, so dass  $[\beta, \xi, \Delta] = A(\mathfrak{H}'_i) = A(\mathfrak{H}^*_{\text{Dom}(\mathfrak{H})+1+i})$ . Sodann gilt mit v'), dass  $\text{Dom}(\mathfrak{H})+1+i \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}^*))$ .

Sodann ist  $\xi \in \text{FV}(\Delta)$  oder  $\xi \notin \text{FV}(\Delta)$ . Sei nun  $\xi \in \text{FV}(\Delta)$ . Dann ist  $\beta \in \text{TT}([\beta, \xi, \Delta]) \subseteq \text{TTSEQ}(\mathfrak{H})$ . Da nun nach Voraussetzung  $\text{PAR} \cap \text{TTSEQ}(\mathfrak{H}) \cap \text{TTSEQ}(\mathfrak{H}') = \emptyset$  ist damit  $\beta \notin \text{TTSEQ}(\mathfrak{H})$ . Damit ergibt sich mit i') bis v') daraus, dass  $\beta \notin \text{TTFM}(\{\Delta\} \cup \text{VAN}(\mathfrak{H}' \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}') - 1))$ , dass  $\beta \notin \text{TTFM}(\{\Delta\} \cup \text{VAN}(\mathfrak{H}^*))$ . Damit ist dann  $\mathfrak{H}^+ \in \text{UEF}(\mathfrak{H}^*)$ . Sei nun  $\xi \notin \text{FV}(\Delta)$ . Sei nun  $\beta^* \in \text{PAR} \setminus (\text{TTSEQ}(\mathfrak{H}) \cup \text{TTSEQ}(\mathfrak{H}'))$ . Dann ist mit Theorem 1-9-(ii)  $[\beta^*, \xi, \Delta] = \Delta = [\beta, \xi, \Delta] = A(\mathfrak{H}'_i) = A(\mathfrak{H}^*_{\text{Dom}(\mathfrak{H})+1+i})$ . Sodann gilt dann, dass  $\beta^* \notin \text{TTFM}(\{\Delta\} \cup \text{VAN}(\mathfrak{H}^*))$ . Damit ist dann wiederum  $\mathfrak{H}^+ \in \text{UEF}(\mathfrak{H}^*)$ . Es gilt also insgesamt, dass  $\mathfrak{H}^+ \in \text{UEF}(\mathfrak{H}^*) \subseteq \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ . v) ergibt sich dann mit Theorem 3-25 analog zum Vorgehen bei SBF ... IBF.  $\square$

#### Theorem 4-5. Geglückte KB-Fortsetzung

Wenn  $\mathfrak{H} \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$  und  $\ulcorner A \wedge B \urcorner \in \text{VER}(\mathfrak{H})$ , dann gibt es ein  $\mathfrak{H}^* \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ , so dass

- (i)  $\text{VAN}(\mathfrak{H}^*) = \text{VAN}(\mathfrak{H})$ ,
- (ii)  $A, B \in \text{VER}(\mathfrak{H}^*)$  und
- (iii)  $\text{K}(\mathfrak{H}^*) = B$ .

*Beweis:* Seien  $\mathfrak{H} \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$  und  $\ulcorner A \wedge B \urcorner \in \text{VER}(\mathfrak{H})$ . Dann gibt es ein  $i \in \text{Dom}(\mathfrak{H})$ , so dass  $A(\mathfrak{H}_i) = \ulcorner A \wedge B \urcorner$  und  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \text{VERS}(\mathfrak{H})$ . Folgende Sequenzen seien definiert, wobei  $\alpha \in \text{KONST} \setminus \text{TTSEQ}(\mathfrak{H})$ :

$$\begin{aligned} \mathfrak{H}^1 &= \mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \text{Also } \alpha = \alpha \urcorner)\} \\ \mathfrak{H}^2 &= \mathfrak{H}^1 \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^1), \ulcorner \text{Also } A \urcorner)\} \\ \mathfrak{H}^3 &= \mathfrak{H}^2 \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^2), \ulcorner \text{Also } \alpha = \alpha \urcorner)\} \\ \mathfrak{H}^4 &= \mathfrak{H}^3 \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^3), \ulcorner \text{Also } B \urcorner)\} \end{aligned}$$

Mit Theorem 1-5 und Theorem 1-6 sind zunächst  $\text{K}(\mathfrak{H}^1)$  und  $\text{K}(\mathfrak{H}^3)$  keine Negationen oder Subjunktionen und auch nicht identisch mit  $\text{K}(\mathfrak{H})$  resp.  $\text{K}(\mathfrak{H}^2)$ , weil sonst  $\alpha \in \text{TTSEQ}(\mathfrak{H})$  resp.  $\alpha \in \text{TT}(\mathfrak{H}_i) \subseteq \text{TTSEQ}(\mathfrak{H})$ . Also  $\mathfrak{H}^1 \notin \text{SEF}(\mathfrak{H}) \cup \text{NEF}(\mathfrak{H}) \cup \text{PBF}(\mathfrak{H})$  und  $\mathfrak{H}^3 \notin \text{SEF}(\mathfrak{H}^2) \cup \text{NEF}(\mathfrak{H}^2) \cup \text{PBF}(\mathfrak{H}^2)$ . Wäre  $\ulcorner \alpha = \alpha \urcorner \in \text{TF}(A) \cup \text{TF}(B)$ , dann wäre  $\alpha \in \text{TT}(\mathfrak{H}_i) \subseteq \text{TTSEQ}(\mathfrak{H})$ . Also ist  $\ulcorner \alpha = \alpha \urcorner \notin \text{TF}(A)$  und  $\ulcorner \alpha = \alpha \urcorner \notin \text{TF}(B)$  und damit  $\mathfrak{H}^2 \notin \text{SEF}(\mathfrak{H}^1) \cup \text{PBF}(\mathfrak{H}^1)$  und  $\mathfrak{H}^4 \notin \text{SEF}(\mathfrak{H}^3) \cup \text{PBF}(\mathfrak{H}^3)$ . Wäre  $\mathfrak{H}^2 \in \text{NEF}(\mathfrak{H}^1)$  oder  $\mathfrak{H}^4 \in \text{NEF}(\mathfrak{H}^3)$ , dann gäbe es ein  $j \in \text{Dom}(\mathfrak{H}^3)$ , so dass  $A(\mathfrak{H}_j) = \ulcorner \neg \alpha = \alpha \urcorner$ . Mit Theorem 1-5 und Theorem 1-6 ist  $j \notin \{\text{Dom}(\mathfrak{H}^3) - 1, \text{Dom}(\mathfrak{H}^3) - 3\}$ . Wegen  $\ulcorner \alpha = \alpha \urcorner \notin \text{TF}(A)$  ist aber

auch  $j \neq \text{Dom}(\mathfrak{H}^3)-2$ . Also  $j \in \text{Dom}(\mathfrak{H}^3) \setminus \{\text{Dom}(\mathfrak{H}^3)-1, \text{Dom}(\mathfrak{H}^3)-2, \text{Dom}(\mathfrak{H}^3)-3\} = \text{Dom}(\mathfrak{H})$ . Mit  $\alpha \in \text{TT}(\mathfrak{H}_j)$  wäre dann aber auch  $\alpha \in \text{TTSEQ}(\mathfrak{H})$ . Widerspruch. Also  $\mathfrak{H}^2 \notin \text{NEF}(\mathfrak{H}^1)$  und  $\mathfrak{H}^4 \notin \text{NEF}(\mathfrak{H}^3)$ .

Hingegen ist damit *erstens* nach Definition 3-16  $\mathfrak{H}^1 \in \text{IEF}(\mathfrak{H})$ , damit  $\mathfrak{H}^1 \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$  und mit Theorem 3-25  $\text{VERS}(\mathfrak{H}^1) = \text{VERS}(\mathfrak{H}) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \text{Also } \alpha = \alpha \urcorner)\}$ . Damit gilt  $\text{VANS}(\mathfrak{H}^1) = \text{VANS}(\mathfrak{H})$  und  $\ulcorner A \wedge B \urcorner \in \text{VER}(\mathfrak{H}) \subseteq \text{VER}(\mathfrak{H}^1)$ . Also ist *zweitens* Definition 3-5  $\mathfrak{H}^2 \in \text{KBF}(\mathfrak{H}^1) \subseteq \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$  und mit Theorem 3-25  $\text{VERS}(\mathfrak{H}^2) = \text{VERS}(\mathfrak{H}^1) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^1), \ulcorner \text{Also } A \urcorner)\}$ . Damit gilt  $\text{VANS}(\mathfrak{H}^2) = \text{VANS}(\mathfrak{H}^1)$ ,  $\ulcorner A \wedge B \urcorner \in \text{VER}(\mathfrak{H}^1) \subseteq \text{VER}(\mathfrak{H}^2)$  und  $A \in \text{VER}(\mathfrak{H}^2)$ . Sodann ist *drittens* nach Definition 3-16  $\mathfrak{H}^3 \in \text{IEF}(\mathfrak{H}^2)$ ,  $\mathfrak{H}^3 \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$  und mit Theorem 3-25  $\text{VERS}(\mathfrak{H}^3) = \text{VERS}(\mathfrak{H}^2) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^2), \ulcorner \text{Also } \alpha = \alpha \urcorner)\}$ . Damit gilt  $\text{VANS}(\mathfrak{H}^3) = \text{VANS}(\mathfrak{H}^2)$  und  $A, \ulcorner A \wedge B \urcorner \in \text{VER}(\mathfrak{H}^2) \subseteq \text{VER}(\mathfrak{H}^3)$ . *Viertens* ist damit nach Definition 3-5  $\mathfrak{H}^4 \in \text{KBF}(\mathfrak{H}^3) \subseteq \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$  und mit Theorem 3-25  $\text{VERS}(\mathfrak{H}^4) = \text{VERS}(\mathfrak{H}^3) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^3), \ulcorner \text{Also } B \urcorner)\}$ . Damit gilt  $\text{VANS}(\mathfrak{H}^4) = \text{VANS}(\mathfrak{H}^3)$ ,  $A \in \text{VER}(\mathfrak{H}^3) \subseteq \text{VER}(\mathfrak{H}^4)$  und  $B \in \text{VER}(\mathfrak{H}^4)$ . Insgesamt ist damit  $\mathfrak{H}^4 \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ ,  $\text{VAN}(\mathfrak{H}^4) = \text{VAN}(\mathfrak{H}^3) = \text{VAN}(\mathfrak{H}^2) = \text{VAN}(\mathfrak{H}^1) = \text{VAN}(\mathfrak{H})$ ,  $A, B \in \text{VER}(\mathfrak{H}^4)$  und  $\text{K}(\mathfrak{H}^4) = B$ .  $\square$

**Theorem 4-6.** *Verfügbare Aussagen als Konklusionen*

Wenn  $\mathfrak{H} \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$  und  $A \in \text{VER}(\mathfrak{H})$ , dann gibt es ein  $\mathfrak{H}^* \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ , so dass

- (i)  $\text{VAN}(\mathfrak{H}^*) = \text{VAN}(\mathfrak{H})$ ,
- (ii)  $\text{VER}(\mathfrak{H}) \subseteq \text{VER}(\mathfrak{H}^*)$  und
- (iii)  $\text{K}(\mathfrak{H}^*) = A$ .

*Beweis:* Seien  $\mathfrak{H} \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$  und  $A \in \text{VER}(\mathfrak{H})$ . Dann gibt es ein  $i \in \text{Dom}(\mathfrak{H})$ , so dass  $A(\mathfrak{H}_i) = A$  und  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \text{VERS}(\mathfrak{H})$ . Folgende Sequenzen seien definiert, wobei  $\alpha \in \text{KONSTTTSEQ}(\mathfrak{H})$ :

$$\begin{aligned} \mathfrak{H}^1 &= \mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \text{Also } \alpha = \alpha \urcorner)\} \\ \mathfrak{H}^2 &= \mathfrak{H}^1 \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^1), \ulcorner \text{Also } A \wedge A \urcorner)\} \\ \mathfrak{H}^3 &= \mathfrak{H}^2 \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^2), \ulcorner \text{Also } \alpha = \alpha \urcorner)\} \\ \mathfrak{H}^4 &= \mathfrak{H}^3 \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^3), \ulcorner \text{Also } A \urcorner)\} \end{aligned}$$

Mit Theorem 1-5 und Theorem 1-6 sind zunächst  $\text{K}(\mathfrak{H}^1)$ ,  $\text{K}(\mathfrak{H}^2)$  und  $\text{K}(\mathfrak{H}^3)$  keine Negationen oder Subjunktionen und auch nicht identisch mit  $\text{K}(\mathfrak{H})$  resp.  $\text{K}(\mathfrak{H}^1)$  und  $\text{K}(\mathfrak{H}^2)$ . Insbesondere ist  $\text{K}(\mathfrak{H})$  nicht identisch mit  $\text{K}(\mathfrak{H}^1)$ , weil sonst  $\alpha \in \text{TTSEQ}(\mathfrak{H})$ . Also  $\mathfrak{H}^1 \notin \text{SEF}(\mathfrak{H}) \cup \text{NEF}(\mathfrak{H}) \cup \text{PBF}(\mathfrak{H})$ ,  $\mathfrak{H}^2 \notin \text{SEF}(\mathfrak{H}^1) \cup \text{NEF}(\mathfrak{H}^1) \cup \text{PBF}(\mathfrak{H}^1)$  und  $\mathfrak{H}^3 \notin \text{SEF}(\mathfrak{H}^2)$

$\cup \text{NEF}(\mathfrak{H}^2) \cup \text{PBF}(\mathfrak{H}^2)$ . Wäre  $\ulcorner \alpha = \alpha \urcorner \in \text{TF}(A)$ , dann wäre  $\alpha \in \text{TT}(\mathfrak{H}_j) \subseteq \text{TTSEQ}(\mathfrak{H})$ . Also ist  $\ulcorner \alpha = \alpha \urcorner \notin \text{TF}(A)$  und damit  $\mathfrak{H}^4 \notin \text{SEF}(\mathfrak{H}^3) \cup \text{PBF}(\mathfrak{H}^3)$ . Wäre  $\mathfrak{H}^4 \in \text{NEF}(\mathfrak{H}^3)$ , dann gäbe es ein  $j \in \text{Dom}(\mathfrak{H}^3)$ , so dass  $A(\mathfrak{H}_j) = \ulcorner \neg \alpha = \alpha \urcorner$ . Mit Theorem 1-5 und Theorem 1-6 ist  $j \notin \{\text{Dom}(\mathfrak{H}^3)\text{-1}, \text{Dom}(\mathfrak{H}^3)\text{-2}, \text{Dom}(\mathfrak{H}^3)\text{-3}\}$ . Also  $j \in \text{Dom}(\mathfrak{H}^3) \setminus \{\text{Dom}(\mathfrak{H}^3)\text{-1}, \text{Dom}(\mathfrak{H}^3)\text{-2}, \text{Dom}(\mathfrak{H}^3)\text{-3}\} = \text{Dom}(\mathfrak{H})$ . Mit  $\alpha \in \text{TT}(\mathfrak{H}_j)$  wäre dann aber auch  $\alpha \in \text{TTSEQ}(\mathfrak{H})$ . Widerspruch. Also  $\mathfrak{H}^4 \notin \text{NEF}(\mathfrak{H}^3)$ .

Hingegen ist damit *erstens* nach Definition 3-16  $\mathfrak{H}^1 \in \text{IEF}(\mathfrak{H})$ , damit  $\mathfrak{H}^1 \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$  und mit Theorem 3-25  $\text{VERS}(\mathfrak{H}^1) = \text{VERS}(\mathfrak{H}) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \text{Also } \alpha = \alpha \urcorner)\}$ . Damit gilt  $\text{VANS}(\mathfrak{H}^1) = \text{VANS}(\mathfrak{H})$  und  $A \in \text{VER}(\mathfrak{H}) \subseteq \text{VER}(\mathfrak{H}^1)$ . Also ist *zweitens* nach Definition 3-4  $\mathfrak{H}^2 \in \text{KEF}(\mathfrak{H}^1) \subseteq \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$  und mit Theorem 3-25  $\text{VERS}(\mathfrak{H}^2) = \text{VERS}(\mathfrak{H}^1) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^1), \ulcorner \text{Also } A \wedge A \urcorner)\}$ . Damit gilt  $\text{VANS}(\mathfrak{H}^2) = \text{VANS}(\mathfrak{H}^1)$ ,  $\text{VER}(\mathfrak{H}^1) \subseteq \text{VER}(\mathfrak{H}^2)$  und  $\ulcorner A \wedge A \urcorner \in \text{VER}(\mathfrak{H}^2)$ . Sodann ist *drittens* nach Definition 3-16  $\mathfrak{H}^3 \in \text{IEF}(\mathfrak{H}^2) \subseteq \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$  und mit Theorem 3-25  $\text{VERS}(\mathfrak{H}^3) = \text{VERS}(\mathfrak{H}^2) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^2), \ulcorner \text{Also } \alpha = \alpha \urcorner)\}$ . Damit gilt  $\text{VANS}(\mathfrak{H}^3) = \text{VANS}(\mathfrak{H}^2)$  und  $\ulcorner A \wedge A \urcorner \in \text{VER}(\mathfrak{H}^2) \subseteq \text{VER}(\mathfrak{H}^3)$ . *Viertens* ist damit nach Definition 3-5  $\mathfrak{H}^4 \in \text{KBF}(\mathfrak{H}^3) \subseteq \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$  und mit Theorem 3-25  $\text{VERS}(\mathfrak{H}^4) = \text{VERS}(\mathfrak{H}^3) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^3), \ulcorner \text{Also } A \urcorner)\}$ . Damit gilt  $\text{VANS}(\mathfrak{H}^4) = \text{VANS}(\mathfrak{H}^3)$  und  $\text{VER}(\mathfrak{H}^3) \subseteq \text{VER}(\mathfrak{H}^4)$ . Insgesamt ist damit  $\mathfrak{H}^4 \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ ,  $\text{VAN}(\mathfrak{H}^4) = \text{VAN}(\mathfrak{H}^3) = \text{VAN}(\mathfrak{H}^2) = \text{VAN}(\mathfrak{H}^1) = \text{VAN}(\mathfrak{H})$ ,  $\text{VER}(\mathfrak{H}) \subseteq \text{VER}(\mathfrak{H}^4)$  und  $\text{K}(\mathfrak{H}^4) = A$ .  $\square$

**Theorem 4-7.** *Eliminierbarkeit einer Annahme von  $\ulcorner \alpha = \alpha \urcorner$*

Wenn  $\mathfrak{H} \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ ,  $\alpha \in \text{KONST}$  und  $A, B \in \text{VER}(\mathfrak{H})$ , dann gibt es ein  $\mathfrak{H}^* \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ , so dass

- (i)  $\text{VAN}(\mathfrak{H}^*) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H}) \setminus \{\ulcorner \alpha = \alpha \urcorner\}$ ,
- (ii)  $A, B \in \text{VER}(\mathfrak{H}^*)$  und
- (iii)  $\text{K}(\mathfrak{H}^*) = B$ .

*Beweis:* Seien  $\mathfrak{H} \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ ,  $\alpha \in \text{KONST}$  und  $A, B \in \text{VER}(\mathfrak{H})$ . Angenommen  $\ulcorner \alpha = \alpha \urcorner \notin \text{VAN}(\mathfrak{H})$ . Dann ist  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H}) \setminus \{\ulcorner \alpha = \alpha \urcorner\}$ . Mit Theorem 4-6 gibt es zudem ein  $\mathfrak{H}^* \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ , so dass  $\text{VAN}(\mathfrak{H}^*) = \text{VAN}(\mathfrak{H}) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H}) \setminus \{\ulcorner \alpha = \alpha \urcorner\}$ ,  $A, B \in \text{VER}(\mathfrak{H}) \subseteq \text{VER}(\mathfrak{H}^*)$  und  $\text{K}(\mathfrak{H}^*) = B$ .

Sei nun  $\ulcorner \alpha = \alpha \urcorner \in \text{VAN}(\mathfrak{H})$ . Dann ist  $\mathfrak{H}^1 = \mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \text{Also } A \wedge B \urcorner)\} \in \text{KEF}(\mathfrak{H})$ , wobei  $\mathfrak{H}^1 \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$  und nach Theorem 3-26-(iv) und -(v)  $\ulcorner A \wedge B \urcorner \in \text{VER}(\mathfrak{H}^1)$  und  $\text{VAN}(\mathfrak{H}^1) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H})$ . Nun gibt es nach Theorem 4-2 ein  $\mathfrak{H}^+ \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ , so dass  $\text{VAN}(\mathfrak{H}^+) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H}^1) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H})$ ,  $\text{K}(\mathfrak{H}^+) = \text{K}(\mathfrak{H}^1) = \ulcorner A \wedge B \urcorner$  und für alle  $k \in$

$\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^+))$ : Wenn  $A(\mathfrak{H}^+_k) = \ulcorner \alpha = \alpha \urcorner$ , dann  $k = \max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^+)))$ . Dann ist  $\ulcorner \alpha = \alpha \urcorner \in \text{VAN}(\mathfrak{H}^+)$  oder  $\ulcorner \alpha = \alpha \urcorner \notin \text{VAN}(\mathfrak{H}^+)$ .

*Erster Fall*: Angenommen  $\ulcorner \alpha = \alpha \urcorner \in \text{VAN}(\mathfrak{H}^+)$ . Dann ist  $A(\mathfrak{H}^+_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^+)))}) = \ulcorner \alpha = \alpha \urcorner$  und für alle  $k \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^+))$ : Wenn  $A(\mathfrak{H}^+_k) = \ulcorner \alpha = \alpha \urcorner$ , dann  $k = \max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^+)))$ . Dann seien folgende Sequenzen definiert:

$$\begin{aligned} \mathfrak{H}^2 &= \mathfrak{H}^+ \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^+), \ulcorner \text{Also } \alpha = \alpha \rightarrow (A \wedge B) \urcorner)\} \\ \mathfrak{H}^3 &= \mathfrak{H}^2 \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^2), \ulcorner \text{Also } \alpha = \alpha \urcorner)\} \\ \mathfrak{H}^4 &= \mathfrak{H}^3 \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^3), \ulcorner \text{Also } A \wedge B \urcorner)\} \end{aligned}$$

Nach Definition 3-2 ist  $\mathfrak{H}^2 \in \text{SEF}(\mathfrak{H})$ , damit  $\mathfrak{H}^2 \in \text{HL}$  und mit Theorem 3-19-(ix)  $\text{VAN}(\mathfrak{H}^2) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H}^+) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H})$ . Sodann gilt mit Theorem 3-22, dass  $\ulcorner \alpha = \alpha \urcorner \notin \text{VAN}(\mathfrak{H}^2)$  und damit  $\text{VAN}(\mathfrak{H}^2) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H}) \setminus \{\ulcorner \alpha = \alpha \urcorner\}$ . Zudem ist  $\ulcorner \alpha = \alpha \rightarrow (A \wedge B) \urcorner \in \text{VER}(\mathfrak{H}^2)$ .

Mit Theorem 1-5 und Theorem 1-6 sind  $\text{K}(\mathfrak{H}^3)$  und  $\text{K}(\mathfrak{H}^4)$  keine Negationen oder Subjunktionen und auch nicht identisch mit  $\text{K}(\mathfrak{H}^2)$  resp.  $\text{K}(\mathfrak{H}^3)$ . Also  $\mathfrak{H}^3 \notin \text{SEF}(\mathfrak{H}^2) \cup \text{NEF}(\mathfrak{H}^2) \cup \text{PBF}(\mathfrak{H}^2)$  und  $\mathfrak{H}^4 \notin \text{SEF}(\mathfrak{H}^3) \cup \text{NEF}(\mathfrak{H}^3) \cup \text{PBF}(\mathfrak{H}^3)$ . Hingegen ist nach Definition 3-16  $\mathfrak{H}^3 \in \text{IEF}(\mathfrak{H}^1) \subseteq \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$  und mit Theorem 3-25  $\text{VERS}(\mathfrak{H}^3) = \text{VERS}(\mathfrak{H}^2) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^2), \ulcorner \text{Also } \alpha = \alpha \urcorner)\}$ . Damit gilt  $\text{VANS}(\mathfrak{H}^3) = \text{VANS}(\mathfrak{H}^1)$ ,  $\ulcorner \alpha = \alpha \rightarrow (A \wedge B) \urcorner \in \text{VER}(\mathfrak{H}^2) \subseteq \text{VER}(\mathfrak{H}^3)$  und  $\ulcorner \alpha = \alpha \urcorner \in \text{VER}(\mathfrak{H}^3)$ . Also ist nach Definition 3-3  $\mathfrak{H}^4 \in \text{SBF}(\mathfrak{H}^3) \subseteq \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$  und mit Theorem 3-25  $\text{VERS}(\mathfrak{H}^4) = \text{VERS}(\mathfrak{H}^3) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^3), \ulcorner \text{Also } A \wedge B \urcorner)\}$ . Damit gilt  $\text{VANS}(\mathfrak{H}^4) = \text{VANS}(\mathfrak{H}^3)$ . Insgesamt ist damit  $\mathfrak{H}^4 \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ ,  $\text{VAN}(\mathfrak{H}^4) = \text{VAN}(\mathfrak{H}^3) = \text{VAN}(\mathfrak{H}^2) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H}) \setminus \{\ulcorner \alpha = \alpha \urcorner\}$  und  $\ulcorner A \wedge B \urcorner \in \text{VER}(\mathfrak{H}^4)$ . Mit Theorem 4-5 gibt es dann das gesuchte  $\mathfrak{H}^* \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ , so dass  $\text{VAN}(\mathfrak{H}^*) = \text{VAN}(\mathfrak{H}^4) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H}) \setminus \{\ulcorner \alpha = \alpha \urcorner\}$  und  $A, B \in \text{VER}(\mathfrak{H}^*)$  und  $\text{K}(\mathfrak{H}^*) = B$ .

*Zweiter Fall*: Angenommen  $\ulcorner \alpha = \alpha \urcorner \notin \text{VAN}(\mathfrak{H}^+)$  und mithin  $\text{VAN}(\mathfrak{H}^+) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H}) \setminus \{\ulcorner \alpha = \alpha \urcorner\}$ . Nun ist  $\ulcorner A \wedge B \urcorner = \text{K}(\mathfrak{H}^+) \in \text{VER}(\mathfrak{H}^+)$ . Mit Theorem 4-5 gibt es dann das gesuchte  $\mathfrak{H}^* \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ , so dass  $\text{VAN}(\mathfrak{H}^*) = \text{VAN}(\mathfrak{H}^+) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H}) \setminus \{\ulcorner \alpha = \alpha \urcorner\}$  und  $A, B \in \text{VER}(\mathfrak{H}^*)$  und  $\text{K}(\mathfrak{H}^*) = B$ .  $\square$

**Theorem 4-8.** *Einfache Substitution eines neuen Parameters für einen Parameter ist HL-treu*  
 Wenn  $\mathfrak{H} \in \text{HL}$ , und  $\beta^* \in \text{PAR} \setminus \text{TTSEQ}(\mathfrak{H})$  und  $\beta \in \text{PAR} \setminus \{\beta^*\}$ , dann ist  $[\beta^*, \beta, \mathfrak{H}] \in \text{HL}$  und  $\text{Dom}(\text{VERS}([\beta^*, \beta, \mathfrak{H}])) = \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}))$ .

*Beweis:* Durch Induktion über  $\text{Dom}(\mathfrak{H})$ . Sei  $\mathfrak{H} \in \text{HL}$ , und  $\beta^* \in \text{PAR} \setminus \text{TTSEQ}(\mathfrak{H})$  und  $\beta \in \text{PAR} \setminus \{\beta^*\}$  und gelte die Behauptung für alle  $k < \text{Dom}(\mathfrak{H})$ . Sei  $\text{Dom}(\mathfrak{H}) = 0$ . Dann ist  $\mathfrak{H} = \emptyset = [\beta^*, \beta, \mathfrak{H}]$  und damit  $[\beta^*, \beta, \mathfrak{H}] \in \text{HL}$  und es ist  $\text{Dom}(\text{VERS}([\beta^*, \beta, \mathfrak{H}])) = \emptyset = \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}))$ . Sei nun  $0 < \text{Dom}(\mathfrak{H})$ . Dann ist  $\mathfrak{H} \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ . Dann ist mit Theorem 3-8  $\mathfrak{H} \in \text{HAB}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ . Dann ist nach I.V.:

$$\text{a) } \mathfrak{H}^* = [\beta^*, \beta, \mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1] \in \text{HL} \text{ und } \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}^*)) = \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)).$$

Sodann ergibt sich mit  $\mathfrak{H} \in \text{HAB}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  mit Definition 3-18, dass  $\mathfrak{H} \in \text{AF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  oder  $\mathfrak{H} \in \text{SEF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  oder  $\mathfrak{H} \in \text{SBF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  oder  $\mathfrak{H} \in \text{KEF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  oder  $\mathfrak{H} \in \text{KBF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  oder  $\mathfrak{H} \in \text{BEF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  oder  $\mathfrak{H} \in \text{BBF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  oder  $\mathfrak{H} \in \text{AEF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  oder  $\mathfrak{H} \in \text{ABF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  oder  $\mathfrak{H} \in \text{NEF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  oder  $\mathfrak{H} \in \text{NBF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  oder  $\mathfrak{H} \in \text{UEF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  oder  $\mathfrak{H} \in \text{UBF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  oder  $\mathfrak{H} \in \text{PEF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  oder  $\mathfrak{H} \in \text{PBF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  oder  $\mathfrak{H} \in \text{IEF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  oder  $\mathfrak{H} \in \text{IBF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ .

Da sich Operatoren durch die Substitution nicht verändern, gilt nun zunächst:

$$\text{b) Für alle } i \in \text{Dom}(\mathfrak{H})-1: A(\mathfrak{H}^*_i) = [\beta^*, \beta, A(\mathfrak{H}_i)] \text{ und } \mathfrak{H}^*_{i} = \ulcorner \exists [\beta^*, \beta, A(\mathfrak{H}_i)] \urcorner, \text{ wobei } \mathfrak{H}_i = \ulcorner \exists A(\mathfrak{H}_i) \urcorner \text{ für ein } \exists.$$

Sodann gilt mit  $\beta^* \in \text{PAR} \setminus \text{TTSEQ}(\mathfrak{H})$  und  $\beta \in \text{PAR} \setminus \{\beta^*\}$ :

$$\text{c) Für jedes } i \in \text{Dom}(\mathfrak{H}): \beta^* \notin \text{TT}(A(\mathfrak{H}_i)) \text{ und } \beta \notin \text{TT}([\beta^*, \beta, A(\mathfrak{H}_i)]),$$

da sonst im Gegensatz zur Voraussetzung  $\beta^* \in \text{TTSEQ}(\mathfrak{H})$  oder  $\beta = \beta^*$ . Sodann sei vereinbart:

$$\text{d) } \mathfrak{H}^+ = \mathfrak{H}^* \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})-1, [\beta^*, \beta, \mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-1}])\}.$$

Nun wird gezeigt, dass sich für die einzelnen Fälle AF ... IBF jeweils ergibt, dass  $\mathfrak{H}^+ \in \text{HL}$  und  $\text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}^+)) = \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}))$ , womit  $\mathfrak{H}^+$  dann jeweils das gesuchte HL-Element ist.

Um Sonderbetrachtungen bei SBF, KEF, KBF, BEF, BBF, AEF, ABF, NBF, UEF, UBF, PEF, IEF und IBF zu vereinfachen wird nun noch vorbereitend gezeigt:

e) Wenn  $\mathfrak{H}^+ \in \text{SEF}(\mathfrak{H}^*) \cup \text{NEF}(\mathfrak{H}^*) \cup \text{PBF}(\mathfrak{H}^*)$ , dann  $\mathfrak{H} \in \text{SEF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \cup \text{NEF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \cup \text{PBF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ .

*Vorbereitungsteil:* Sei  $\mathfrak{H}^+ \in \text{SEF}(\mathfrak{H}^*)$ . Dann gibt es nach Definition 3-2  $i \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^*))$ , so dass mit b) und d)  $A(\mathfrak{H}^*_i) = [\beta^*, \beta, A(\mathfrak{H}_i)]$  und  $K(\mathfrak{H}^*) = [\beta^*, \beta, A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-2})]$  und es kein  $l$  mit  $i < l \leq \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$  gibt, so dass  $l \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^*))$  und  $\mathfrak{H}^+ = \mathfrak{H}^* \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})-1, \ulcorner \text{Also } A(\mathfrak{H}^*_i) \rightarrow A(\mathfrak{H}^*_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-2}) \urcorner)\} = \mathfrak{H}^* \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})-1, \ulcorner \text{Also } [\beta^*, \beta, A(\mathfrak{H}_i)] \rightarrow [\beta^*, \beta, A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-2})] \urcorner)\}$ . Mit d) ist  $\ulcorner \text{Also } [\beta^*, \beta, A(\mathfrak{H}_i)] \rightarrow [\beta^*, \beta, A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-2})] \urcorner = [\beta^*, \beta, \ulcorner \text{Also } A(\mathfrak{H}_i) \rightarrow A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-2}) \urcorner] = [\beta^*, \beta, \mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-1}]$ . Theorem 1-16 ergibt  $\ulcorner \text{Also } A(\mathfrak{H}_i) \rightarrow A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-2}) \urcorner = \mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-1}$  und mithin  $\mathfrak{H} = \mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1 \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})-1, \ulcorner \text{Also } A(\mathfrak{H}_i) \rightarrow A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-2}) \urcorner)\}$ . Sodann gilt mit a) und b):  $i \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1))$  und es gibt kein  $l$  mit  $i < l \leq \text{Dom}(\mathfrak{H})-2$ , so dass  $l \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1))$ . Damit ist dann auch  $\mathfrak{H} \in \text{SEF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ . Für den Fall, dass  $\mathfrak{H}^+ \in \text{NEF}(\mathfrak{H}^*)$ , zeigt man analog, dass dann auch  $\mathfrak{H} \in \text{NEF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ .

Sei nun  $\mathfrak{H}^+ \in \text{PBF}(\mathfrak{H}^*)$ . Dann gibt es nach Definition 3-15 mit b) und d),  $\beta^+ \in \text{PAR}$ ,  $\zeta \in \text{VAR}$ ,  $\Delta \in \text{FORM}$ , wobei  $\text{FV}(\Delta) \subseteq \{\zeta\}$  und  $i \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}^*))$ , so dass  $A(\mathfrak{H}^*_i) = \forall \zeta \Delta = [\beta^*, \beta, A(\mathfrak{H}_i)]$  und  $A(\mathfrak{H}^*_{i+1}) = [\beta^+, \zeta, \Delta] = [\beta^*, \beta, A(\mathfrak{H}_{i+1})]$ , wobei  $i+1 \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^*))$ ,  $[\beta^*, \beta, A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-2})] = K(\mathfrak{H}^*)$ ,  $\beta^+ \notin \text{TTFM}(\{\Delta, [\beta^*, \beta, A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-2})]\})$ , es kein  $j \leq i$  gibt, so dass  $\beta^+ \in \text{TT}(\mathfrak{H}^*_j)$ , es kein  $l$  mit  $i+1 < l \leq \text{Dom}(\mathfrak{H})-2$  gibt, so dass  $l \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^*))$  und  $\mathfrak{H}^+ = \mathfrak{H}^* \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})-1, \ulcorner \text{Also } K(\mathfrak{H}^*) \urcorner)\} = \mathfrak{H}^* \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})-1, \ulcorner \text{Also } [\beta^*, \beta, A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-2})] \urcorner)\}$ . Mit d) ist  $[\beta^*, \beta, \ulcorner \text{Also } A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-2}) \urcorner] = [\beta^*, \beta, \mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-1}]$ . Theorem 1-16 ergibt  $\ulcorner \text{Also } A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-2}) \urcorner = \mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-1}$  und mithin  $\mathfrak{H} = \mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1 \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})-1, \ulcorner \text{Also } A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-2}) \urcorner)\}$ .

Damit ergibt sich dann mit a), b) und d) zunächst:  $i \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1))$ ,  $i+1 \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1))$ ,  $K(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) = A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-2})$  und es gibt kein  $l$  mit  $i+1 < l \leq \text{Dom}(\mathfrak{H})-2$ , so dass  $l \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1))$ . Zu zeigen ist nun noch, dass  $A(\mathfrak{H}_i)$  und  $A(\mathfrak{H}_{i+1})$  die Voraussetzungen für  $\mathfrak{H} \in \text{PBF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  erfüllen.

Nun ist  $[\beta^*, \beta, A(\mathfrak{H}_i)] = A(\mathfrak{H}^*_i) = \ulcorner \forall \zeta \Delta \urcorner$  und  $[\beta^*, \beta, A(\mathfrak{H}_{i+1})] = A(\mathfrak{H}^*_{i+1}) = [\beta^+, \zeta, \Delta]$ . Da Operatoren durch die Substitution nicht verändert werden, gilt damit wegen  $[\beta^*, \beta, A(\mathfrak{H}_i)] = \ulcorner \forall \zeta \Delta \urcorner$ :  $A(\mathfrak{H}_i) = \ulcorner \forall \zeta \Delta^+ \urcorner$  für ein  $\Delta^+ \in \text{FORM}$ , wobei  $\beta^* \notin \text{TT}(\Delta^+)$  und  $\text{FV}(\Delta^+) \subseteq \{\zeta\}$ .

Damit ist  $\ulcorner \forall \zeta \Delta \urcorner = [\beta^*, \beta, A(\mathfrak{H}_i)] = [\beta^*, \beta, \ulcorner \forall \zeta \Delta^+ \urcorner] = \ulcorner \forall \zeta [\beta^*, \beta, \Delta^+] \urcorner$  und somit  $\Delta = [\beta^*, \beta, \Delta^+]$ . Damit gilt wiederum:  $[\beta^+, \zeta, \Delta] = [\beta^+, \zeta, [\beta^*, \beta, \Delta^+]]$  und  $\beta^+ \notin \text{TT}([\beta^*, \beta, \Delta^+])$ . So- dann gilt  $\beta^* = \beta^+$  oder  $\beta^* \neq \beta^+$ .

*Erster Fall:* Sei  $\beta^* = \beta^+$ . Dann ist  $\beta^* \notin \text{TT}([\beta^*, \beta, \Delta^+])$  und damit  $\beta \notin \text{TT}(\Delta^+)$ . Dann ist  $\Delta = [\beta^*, \beta, \Delta^+] = \Delta^+$  und wegen  $\beta^* = \beta^+$  ist dann  $[\beta^*, \beta, A(\mathfrak{H}_{i+1})] = [\beta^+, \zeta, \Delta] = [\beta^*, \zeta, \Delta^+]$ . Sodann ist  $\beta^* \notin \text{TT}(\Delta^+)$  und  $\beta^* \notin \text{TT}(A(\mathfrak{H}_{i+1}))$  und damit gilt mit Theorem 1-18 wegen  $[\beta^*, \beta, A(\mathfrak{H}_{i+1})] = [\beta^*, \zeta, \Delta^+]$ , dass  $A(\mathfrak{H}_{i+1}) = [\beta, \zeta, \Delta^+]$ . Wäre nun  $\beta \in \text{TTFM}(\{\Delta^+, A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-2})\})$  oder gäbe es ein  $j \leq i$ , so dass  $\beta \in \text{TT}(\mathfrak{H}_j)$ . Dann ergäbe sich mit b) und  $\beta^* = \beta^+$ , dass  $\beta^+ \in \text{TTFM}(\{[\beta^*, \beta, \Delta^+], [\beta^*, \beta, A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-2})]\})$  oder dass es  $j \leq i$  gäbe, so dass  $\beta^+ \in \text{TT}(\mathfrak{H}_j^*)$ . Widerspruch! Also ist  $A(\mathfrak{H}_i) = \ulcorner \forall \zeta \Delta^+ \urcorner$  und  $A(\mathfrak{H}_{i+1}) = [\beta, \zeta, \Delta^+]$  und  $\beta \notin \text{TTFM}(\{\Delta^+, A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-2})\})$  und es gibt kein  $j \leq i$ , so dass  $\beta \in \text{TT}(\mathfrak{H}_j)$  und somit insgesamt  $\mathfrak{H} \in \text{PBF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ .

*Zweiter Fall:* Angenommen,  $\beta^* \neq \beta^+$ . Dann lassen sich mit  $\beta^+ \in \text{TT}([\beta^*, \beta, A(\mathfrak{H}_{i+1})])$  und  $\beta^+ \notin \text{TT}([\beta^*, \beta, A(\mathfrak{H}_{i+1})])$  zwei Unterfälle unterscheiden. *Erster Unterfall:* Angenommen  $\beta^+ \in \text{TT}([\beta^*, \beta, A(\mathfrak{H}_{i+1})])$ . Dann ist  $\beta^+ \neq \beta$  und damit  $\beta \notin \text{TT}(\beta^+)$ . Dann ist mit  $\Delta = [\beta^*, \beta, \Delta^+]$  und Theorem 1-20-(ii):  $[\beta^*, \beta, A(\mathfrak{H}_{i+1})] = [\beta^+, \zeta, \Delta] = [\beta^+, \zeta, [\beta^*, \beta, \Delta^+]] = [\beta^*, \beta, [\beta^+, \zeta, \Delta^+]]$ . Sodann ist  $\beta^* \notin \text{TT}(A(\mathfrak{H}_{i+1}))$  und wegen  $\beta^* \neq \beta^+$  und  $\beta^* \notin \text{TT}(\Delta^+)$  auch  $\beta^* \notin \text{TT}([\beta^+, \zeta, \Delta^+])$  und damit mit Theorem 1-15  $A(\mathfrak{H}_{i+1}) = [\beta^+, \zeta, \Delta^+]$ . Wäre nun  $\beta^+ \in \text{TTFM}(\{\Delta^+, A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-2})\})$  oder gäbe es ein  $j \leq i$ , so dass  $\beta^+ \in \text{TT}(\mathfrak{H}_j)$ . Dann wäre wegen  $\beta^+ \neq \beta$  mit b) auch  $\beta^+ \in \text{TTFM}(\{[\beta^*, \beta, \Delta^+], [\beta^*, \beta, A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-2})]\})$  oder es gäbe  $j \leq i$ , so dass  $\beta^+ \in \text{TT}(\mathfrak{H}_j^*)$ . Also ist im ersten Unterfall die Parameterbedingung für  $\beta^+$  auch in  $\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$  erfüllt und damit wiederum insgesamt  $\mathfrak{H} \in \text{PBF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ .

*Zweiter Unterfall:* Sei nun  $\beta^+ \notin \text{TT}([\beta^*, \beta, A(\mathfrak{H}_{i+1})])$ . Dann ist mit  $[\beta^*, \beta, A(\mathfrak{H}_{i+1})] = [\beta^+, \zeta, [\beta^*, \beta, \Delta^+]]$   $\zeta \notin \text{FV}([\beta^*, \beta, \Delta^+])$ . Dann ist  $[\beta^*, \beta, A(\mathfrak{H}_{i+1})] = [\beta^+, \zeta, [\beta^*, \beta, \Delta^+]] = [\beta^*, \beta, \Delta^+]$  und damit mit  $\beta^* \notin \text{TT}(A(\mathfrak{H}_{i+1})) \cup \text{TT}(\Delta^+)$  wiederum mit Theorem 1-15  $A(\mathfrak{H}_{i+1}) = \Delta^+$ , wobei mit  $\zeta \notin \text{FV}([\beta^*, \beta, \Delta^+])$  auch  $\zeta \notin \text{FV}(\Delta^+)$ . Sei nun  $\beta^\S \in \text{PAR} \setminus \text{TTSEQ}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ . Dann ist mit  $\zeta \notin \text{FV}(\Delta^+)$   $A(\mathfrak{H}_{i+1}) = \Delta^+ = [\beta^\S, \zeta, \Delta^+]$  und es gilt:  $\beta^\S \notin \text{TTFM}(\{\Delta^+, A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-2})\})$  und es gibt kein  $j \leq i$ , so dass  $\beta^\S \in \text{TT}(\mathfrak{H}_j)$ . Damit ist dann ebenfalls insgesamt auch  $\mathfrak{H} \in \text{PBF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ . Also gilt in beiden Unterfällen und damit insgesamt in beiden Fällen, dass  $\mathfrak{H} \in \text{PBF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ .

*Hauptteil:* Nun zum Nachweis, dass sich für die einzelnen Fälle AF ... IBF jeweils ergibt, dass  $\mathfrak{H}^+ \in \text{HL}$  und  $\text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}^+)) = \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}))$ . Zunächst werden SEF,

NEF und PBF behandelt. Nach einer Ausschlussannahme für alle anderen Fälle kann mit e) sofort  $\text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}^+))$  bestimmt werden.

(SEF, NEF): Sei nun  $\mathfrak{H} \in \text{SEF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ . Dann gibt es nach Definition 3-2  $i \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1))$ , so dass es kein  $l \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1))$  mit  $i < l \leq \text{Dom}(\mathfrak{H})-2$  gibt und  $\mathfrak{H} = \mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1 \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})-1, \ulcorner \text{Also } A(\mathfrak{H}_i) \rightarrow K(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \urcorner)\}$ . Dann gilt mit a), b) und d):  $i \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^*))$  und es gibt kein  $l$  mit  $i < l \leq \text{Dom}(\mathfrak{H})-2$ , so dass  $l \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^*))$ , und  $A(\mathfrak{H}^*_i) = [\beta^*, \beta, A(\mathfrak{H}_i)]$  und  $K(\mathfrak{H}^*) = [\beta^*, \beta, K(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)]$  und  $\mathfrak{H}^+ = \mathfrak{H}^* \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})-1, [\beta^*, \beta, \ulcorner \text{Also } A(\mathfrak{H}_i) \rightarrow K(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \urcorner])\} = \mathfrak{H}^* \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})-1, \ulcorner \text{Also } A(\mathfrak{H}^*_i) \rightarrow K(\mathfrak{H}^*) \urcorner)\}$ . Damit ist dann  $\mathfrak{H}^+ \in \text{SEF}(\mathfrak{H}^*)$  und damit  $\mathfrak{H}^+ \in \text{HL}$ .

Sodann ergibt sich mit Theorem 3-19-(iii), dass  $\text{VERS}(\mathfrak{H}) = \text{VERS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \setminus \{(j, \mathfrak{H}_j) \mid i \leq j < \text{Dom}(\mathfrak{H})-1\} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})-1, \ulcorner \text{Also } A(\mathfrak{H}_i) \rightarrow K(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \urcorner)\}$  und dass  $\text{VERS}(\mathfrak{H}^+) = \text{VERS}(\mathfrak{H}^*) \setminus \{(j, \mathfrak{H}^*_j) \mid i \leq j < \text{Dom}(\mathfrak{H})-1\} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})-1, \ulcorner \text{Also } [\beta^*, \beta, A(\mathfrak{H}_i)] \rightarrow [\beta^*, \beta, K(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)] \urcorner)\}$ . Mit  $\text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}^*)) = \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1))$  ergibt sich dann auch  $\text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}^+)) = \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}))$ . Für den Fall, dass  $\mathfrak{H} \in \text{NEF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ , zeigt man analog, dass dann auch  $\mathfrak{H}^+ \in \text{NEF}(\mathfrak{H}^*) \subseteq \text{HL}$  und  $\text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}^+)) = \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}))$ .

(PBF): Sei nun  $\mathfrak{H} \in \text{PBF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ . Dann gibt es nach Definition 3-15  $\beta^+ \in \text{PAR}$ ,  $\zeta \in \text{VAR}$ ,  $\Delta \in \text{FORM}$ , wobei  $\text{FV}(\Delta) \subseteq \{\zeta\}$ , und  $i \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1))$ , so dass  $A(\mathfrak{H}_i) = \ulcorner \forall \zeta \Delta \urcorner$ ,  $A(\mathfrak{H}_{i+1}) = [\beta^+, \zeta, \Delta]$ , wobei  $i+1 \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1))$ ,  $\beta^+ \notin \text{TTFM}(\{\Delta, A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-2})\})$ , es kein  $j \leq i$  gibt, so dass  $\beta^+ \in \text{TT}(\mathfrak{H}_j)$ , es kein  $l$  mit  $i+1 < l \leq \text{Dom}(\mathfrak{H})-2$  gibt, so dass  $l \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1))$  und  $\mathfrak{H} = \mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1 \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})-1, \ulcorner \text{Also } A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-2}) \urcorner)\}$ .

Damit ergibt sich dann mit a), b) und d) zunächst:  $i \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}^*))$  und  $A(\mathfrak{H}^*_i) = [\beta^*, \beta, A(\mathfrak{H}_i)] = [\beta^*, \beta, \ulcorner \forall \zeta \Delta \urcorner] = \ulcorner \forall \zeta [\beta^*, \beta, \Delta] \urcorner$ ,  $i+1 \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^*))$  und  $A(\mathfrak{H}^*_{i+1}) = [\beta^*, \beta, A(\mathfrak{H}_{i+1})] = [\beta^*, \beta, [\beta^+, \zeta, \Delta]]$ ,  $K(\mathfrak{H}^*) = A(\mathfrak{H}^*_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-2}) = [\beta^*, \beta, A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-2})]$  und  $\mathfrak{H}^+ = \mathfrak{H}^* \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})-1, [\beta^*, \beta, \ulcorner \text{Also } K(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \urcorner])\} = \mathfrak{H}^* \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})-1, \ulcorner \text{Also } K(\mathfrak{H}^*) \urcorner])\}$  und es gibt kein  $l$  mit  $i+1 < l \leq \text{Dom}(\mathfrak{H})-2$ , so dass  $l \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^*))$ . Sodann lassen sich mit  $\beta^+ = \beta$  und  $\beta^+ \neq \beta$  zwei Fälle unterscheiden.

*Erster Fall:* Sei  $\beta^+ = \beta$ . Dann ist  $A(\mathfrak{H}^*_{i+1}) = [\beta^*, \beta, [\beta^+, \zeta, \Delta]] = [\beta^*, \beta, [\beta, \zeta, \Delta]]$  und mit  $\beta^+ \notin \text{TT}(\Delta)$  auch  $\beta \notin \text{TT}(\Delta)$  und somit mit Theorem 1-19-(ii)  $A(\mathfrak{H}^*_{i+1}) = [\beta^*, \beta, [\beta, \zeta, \Delta]] = [\beta^*, \zeta, \Delta]$ . Mit  $\beta \notin \text{TT}(\Delta)$  ist sodann  $[\beta^*, \beta, \Delta] = \Delta$  und damit  $A(\mathfrak{H}^*_i) = \ulcorner \forall \zeta [\beta^*, \beta, \Delta] \urcorner = \ulcorner \forall \zeta \Delta \urcorner$ . Sodann gilt mit  $\beta = \beta^+$  und  $\beta^* \notin \text{TTSEQ}(\mathfrak{H})$ :  $\beta, \beta^* \notin \text{TTFM}(\{\Delta, A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-2})\})$

und damit auch  $\beta^* \notin \text{TTFM}(\{\Delta, [\beta^*, \beta, A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-2})]\})$ . Gäbe es nun ein  $j \leq i$ , so dass  $\beta^* \in \text{TT}(\mathfrak{H}^*_j)$  und sei  $j$  so. Dann ist mit b)  $\beta^* \in \text{TT}(\mathfrak{H}^*_j) = [\beta^*, \beta, \mathfrak{H}_j]$ . Sodann ist mit  $\beta^* \notin \text{TTSEQ}(\mathfrak{H})$  auch  $\beta^* \notin \text{TT}(\mathfrak{H}_j)$ . Damit gilt mit  $\beta^* \in \text{TT}(\mathfrak{H}^*_j)$  dann aber  $\beta \in \text{TT}(\mathfrak{H}_j)$  und andererseits nach Voraussetzung  $\beta = \beta^+ \notin \text{TT}(\mathfrak{H}_j)$ . Widerspruch! Also gilt, dass es kein  $j \leq i$  gibt, so dass  $\beta^* \in \text{TT}(\mathfrak{H}^*_j)$ . Damit ist dann insgesamt  $\mathfrak{H}^+ \in \text{PBF}(\mathfrak{H}^*)$ .

*Zweiter Fall:* Sei nun  $\beta^+ \neq \beta$ . Dann lassen sich mit  $\beta^+ \neq \beta^*$  und  $\beta^+ = \beta^*$  zwei Unterfälle unterscheiden. *Erster Unterfall:* Sei  $\beta^+ \neq \beta^*$ . Dann ist mit Theorem 1-20 und  $\beta^+ \neq \beta$ :  $A(\mathfrak{H}^*_{i+1}) = [\beta^*, \beta, [\beta^+, \zeta, \Delta]] = [\beta^+, \zeta, [\beta^*, \beta, \Delta]]$ . Sodann ist  $A(\mathfrak{H}^*_i) = \ulcorner \forall \zeta [\beta^*, \beta, \Delta] \urcorner$ . Wäre nun  $\beta^+ \in \text{TTFM}(\{[\beta^*, \beta, \Delta], [\beta^*, \beta, A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-2})]\})$  oder gäbe es ein  $j \leq i$ , so dass  $\beta^+ \in \text{TT}(\mathfrak{H}^*_j)$ , dann wäre wegen  $\beta^+ \neq \beta^*$  mit b) auch  $\beta^+ \in \text{TTFM}(\{\Delta, A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-2})\})$  oder es gäbe  $j \leq i$ , so dass  $\beta^+ \in \text{TT}(\mathfrak{H}_j)$ . Widerspruch! Also ist  $\beta^+ \notin \text{TTFM}(\{[\beta^*, \beta, \Delta], [\beta^*, \beta, A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-2})]\})$  und es gibt kein  $j \leq i$ , so dass  $\beta^+ \in \text{TT}(\mathfrak{H}^*_j)$  und damit wiederum insgesamt  $\mathfrak{H}^+ \in \text{PBF}(\mathfrak{H}^*)$ .

*Zweiter Unterfall:* Sei nun  $\beta^+ = \beta^*$ . Dann ist  $\zeta \notin \text{FV}(\Delta)$ , da sonst  $\beta^* \in \text{TT}([\beta^+, \zeta, \Delta]) \subseteq \text{TTSEQ}(\mathfrak{H})$ . Mit Theorem 1-9-(ii) ist dann  $[\beta^+, \zeta, \Delta] = \Delta$  und damit  $A(\mathfrak{H}^*_{i+1}) = [\beta^*, \beta, [\beta^+, \zeta, \Delta]] = [\beta^*, \beta, \Delta]$  und sodann ist  $A(\mathfrak{H}^*_i) = \ulcorner \forall \zeta [\beta^*, \beta, \Delta] \urcorner$ . Sei nun  $\beta^\S \in \text{PAR} \setminus \text{TTSEQ}(\mathfrak{H}^*)$ . Dann ist mit  $\zeta \notin \text{FV}(\Delta)$  auch  $\zeta \notin \text{FV}([\beta^*, \beta, \Delta])$  und damit  $A(\mathfrak{H}^*_{i+1}) = [\beta^*, \beta, \Delta] = [\beta^\S, \zeta, [\beta^*, \beta, \Delta]]$  und es gilt:  $\beta^\S \notin \text{TTFM}(\{[\beta^*, \beta, \Delta], [\beta^*, \beta, A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-2})]\})$  und es gibt kein  $j \leq i$ , so dass  $\beta^\S \in \text{TT}(\mathfrak{H}^*_j)$ . Damit ist dann wieder insgesamt auch  $\mathfrak{H}^+ \in \text{PBF}(\mathfrak{H}^*)$ . Damit gilt in beiden Unterfällen und somit insgesamt in beiden Fällen, dass  $\mathfrak{H}^+ \in \text{PBF}(\mathfrak{H}^*)$  und damit  $\mathfrak{H}^+ \in \text{HL}$ .

Sodann ergibt sich mit Theorem 3-21-(iii), dass  $\text{VERS}(\mathfrak{H}) = \text{VERS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \setminus \{(j, \mathfrak{H}_j) \mid i+1 \leq j < \text{Dom}(\mathfrak{H})-1\} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})-1, \ulcorner \text{Also } A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-2}) \urcorner)\}$  und dass  $\text{VERS}(\mathfrak{H}^+) = \text{VERS}(\mathfrak{H}^*) \setminus \{(j, \mathfrak{H}^*_j) \mid i+1 \leq j < \text{Dom}(\mathfrak{H})-1\} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})-1, \ulcorner \text{Also } [\beta^*, \beta, A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-2})] \urcorner)\}$ . Mit  $\text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}^*)) = \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1))$  ergibt sich dann wieder  $\text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}^+)) = \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}))$ .

*Ausschlussannahme:* Für die verbleibenden Schritte sei  $\mathfrak{H} \notin \text{SEF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \cup \text{NEF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \cup \text{PBF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ . Mit e) ist dann  $\mathfrak{H}^+ \notin \text{SEF}(\mathfrak{H}^*) \cup \text{NEF}(\mathfrak{H}^*) \cup \text{PBF}(\mathfrak{H}^*)$ . Damit ergibt sich für die folgenden Fälle dann jeweils mit Theorem 3-25, dass  $\text{VERS}(\mathfrak{H}) = \text{VERS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})-1, \text{K}(\mathfrak{H}))\}$  und dass  $\text{VERS}(\mathfrak{H}^+) = \text{VERS}(\mathfrak{H}^*) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})-1, \text{K}(\mathfrak{H}^*))\}$ . Mit  $\text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}^*)) = \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1))$  ergibt sich dann  $\text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}^+)) = \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}))$  für alle verbleibenden Fälle.

(*AF*): Sei nun  $\mathfrak{H} \in \text{AF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ . Dann ist  $\mathfrak{H} = \mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1 \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})-1, \ulcorner \text{Sei } A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-1}) \urcorner})\} \in \text{AF}(\mathfrak{H}^*)$  und damit  $\mathfrak{H}^+ \in \text{HL}$ .

(*SBF, KEF, KBF, BEF, BBF, AEF, ABF, NBF*): Sei nun  $\mathfrak{H} \in \text{SBF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ . Dann gibt es mit Definition 3-3  $A, B \in \text{GFORM}$ , so dass  $A, \ulcorner A \rightarrow B \urcorner \in \text{VER}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  und  $\mathfrak{H} = \mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1 \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})-1, \ulcorner \text{Also } B \urcorner)\}$ . Mit d) gilt dann:  $\mathfrak{H}^+ = \mathfrak{H}^* \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})-1, \ulcorner \text{Also } [\beta^*, \beta, B] \urcorner)\}$ . Sodann gibt es mit  $A, \ulcorner A \rightarrow B \urcorner \in \text{VER}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  und Definition 2-31  $i, j \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1))$ , so dass  $A(\mathfrak{H}_i) = A$  und  $A(\mathfrak{H}_j) = \ulcorner A \rightarrow B \urcorner$ . Mit a) und b) ergibt sich dann, dass  $i, j \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}^*))$  und  $A(\mathfrak{H}^*_i) = [\beta^*, \beta, A]$  und  $A(\mathfrak{H}^*_j) = \ulcorner [\beta^*, \beta, A] \rightarrow [\beta^*, \beta, B] \urcorner$ . Damit gilt dann  $\mathfrak{H}^+ = \mathfrak{H}^* \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})-1, \ulcorner \text{Also } [\beta^*, \beta, B] \urcorner)\} \in \text{SBF}(\mathfrak{H}^*)$  und damit  $\mathfrak{H}^+ \in \text{HL}$ . Für *KEF, KBF, BEF, BBF, AEF, ABF* und *NBF* ist analog vorzugehen.

(*UEF*): Sei nun  $\mathfrak{H} \in \text{UEF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ . Dann gibt es nach Definition 3-12  $\beta^+ \in \text{PAR}$ ,  $\zeta \in \text{VAR}$ ,  $\Delta \in \text{FORM}$ , wobei  $\text{FV}(\Delta) \subseteq \{\zeta\}$ , so dass  $[\beta^+, \zeta, \Delta] \in \text{VER}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ ,  $\beta^+ \notin \text{TTFM}(\{\Delta\} \cup \text{VAN}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1))$  und  $\mathfrak{H} = \mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1 \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})-1, \ulcorner \text{Also } \wedge \xi \Delta \urcorner)\}$ . Dann gilt mit d):  $\mathfrak{H}^+ = \mathfrak{H}^* \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})-1, [\beta^*, \beta, \ulcorner \text{Also } \wedge \xi \Delta \urcorner])\} = \mathfrak{H}^* \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})-1, \ulcorner \text{Also } \wedge \xi [\beta^*, \beta, \Delta] \urcorner)\}$ . Sodann gibt es mit  $[\beta^+, \zeta, \Delta] \in \text{VER}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  und Definition 2-31  $i \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1))$ , so dass  $[\beta^+, \zeta, \Delta] = A(\mathfrak{H}_i)$ . Mit a) und b) gilt dann, dass  $i \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}^*))$  und  $A(\mathfrak{H}^*_i) = [\beta^*, \beta, A(\mathfrak{H}_i)] = [\beta^*, \beta, [\beta^+, \zeta, \Delta]]$ . Sodann lassen sich mit  $\beta^+ = \beta$  und  $\beta^+ \neq \beta$  zwei Fälle unterscheiden.

*Erster Fall:* Sei  $\beta^+ = \beta$ . Dann ist  $A(\mathfrak{H}_i) = [\beta^*, \beta, [\beta^+, \zeta, \Delta]] = [\beta^*, \beta, [\beta, \zeta, \Delta]]$  und mit  $\beta^+ \notin \text{TT}(\Delta)$  auch  $\beta \notin \text{TT}(\Delta)$  und mit Theorem 1-19-(ii)  $A(\mathfrak{H}_i) = [\beta^*, \beta, [\beta, \zeta, \Delta]] = [\beta^*, \zeta, \Delta]$ . Mit  $\beta \notin \text{TT}(\Delta)$  ist sodann  $[\beta^*, \beta, \Delta] = \Delta$  und damit  $\text{K}(\mathfrak{H}^+) = \ulcorner \wedge \zeta [\beta^*, \beta, \Delta] \urcorner = \ulcorner \wedge \zeta \Delta \urcorner$ . Sodann gilt mit  $\beta^+ = \beta$  und  $\beta^* \notin \text{TTSEQ}(\mathfrak{H})$ :  $\beta, \beta^* \notin \text{TTFM}(\{\Delta\} \cup \text{VAN}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1))$  und damit mit a) und b) auch  $\beta^* \notin \text{TTFM}(\{\Delta\} \cup \text{VAN}(\mathfrak{H}^*))$ . Wäre nämlich  $\beta^* \in \text{TTFM}(\{\Delta\} \cup \text{VAN}(\mathfrak{H}^*))$ . Dann ist  $\beta^* \notin \text{TT}(\Delta)$ , da sonst  $\beta^* \in \text{TT}(\Delta) \subseteq \text{TT}(\ulcorner \wedge \zeta \Delta \urcorner) = \text{TT}(\text{K}(\mathfrak{H})) \subseteq \text{TTSEQ}(\mathfrak{H})$ , was wegen  $\beta^* \notin \text{TTSEQ}(\mathfrak{H})$  ausgeschlossen ist. Also gäbe es dann  $B \in \text{VAN}(\mathfrak{H}^*)$ , so dass  $\beta^* \in \text{TT}(B)$ . Damit gäbe es mit Definition 2-32  $j \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^*))$ , so dass  $\beta^* \in \text{TT}(A(\mathfrak{H}^*_j))$ . Dann ist mit b)  $A(\mathfrak{H}^*_j) = [\beta^*, \beta, A(\mathfrak{H}_j)]$ . Sodann ist mit  $\beta^* \notin \text{TTSEQ}(\mathfrak{H})$  auch  $\beta^* \notin \text{TT}(A(\mathfrak{H}_j))$ . Damit gilt mit  $\beta^* \in \text{TT}(A(\mathfrak{H}^*_j))$  und  $A(\mathfrak{H}^*_j) = [\beta^*, \beta, A(\mathfrak{H}_j)]$  dann aber  $\beta \in \text{TT}(A(\mathfrak{H}_j))$ . Sodann ergibt sich mit a) und b) aus  $j \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^*))$ , dass  $j \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1))$  und somit  $A(\mathfrak{H}_j) \in \text{VAN}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ . Damit wäre aber  $\beta \in \text{TTFM}(\text{VAN}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1))$  und andererseits

nach Voraussetzung  $\beta = \beta^+ \notin \text{TTFM}(\text{VAN}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ ). Widerspruch! Also ist  $\beta^* \notin \text{TTFM}(\{\Delta\} \cup \text{VAN}(\mathfrak{H}^*))$ . Da sodann  $A(\mathfrak{H}^*_i) = [\beta^*, \zeta, \Delta]$ ,  $i \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}^*))$  und  $K(\mathfrak{H}^+) = \ulcorner \wedge \zeta \Delta \urcorner$  ist damit dann insgesamt  $\mathfrak{H}^+ \in \text{UEF}(\mathfrak{H}^*)$ .

*Zweiter Fall:* Sei nun  $\beta^+ \neq \beta$ . Dann lassen sich mit  $\beta^+ \neq \beta^*$  und  $\beta^+ = \beta^*$  zwei Unterfälle unterscheiden. *Erster Unterfall:* Sei  $\beta^+ \neq \beta^*$ . Dann ist mit Theorem 1-20-(ii) und  $\beta^+ \neq \beta$ :  $A(\mathfrak{H}^*_i) = [\beta^*, \beta, [\beta^+, \zeta, \Delta]] = [\beta^+, \zeta, [\beta^*, \beta, \Delta]]$ . Sodann ist  $K(\mathfrak{H}^+) = \ulcorner \wedge \zeta [\beta^*, \beta, \Delta] \urcorner$ . Angenommen  $\beta^+ \in \text{TTFM}(\{[\beta^*, \beta, \Delta]\} \cup \text{VAN}(\mathfrak{H}^*))$ . Da  $\beta^+ \neq \beta^*$  und  $\beta^+ \notin \text{TT}(\Delta)$  ist zunächst  $\beta^+ \notin \text{TT}([\beta^*, \beta, \Delta])$ . Also wäre  $\beta^+ \in \text{TTFM}(\text{VAN}(\mathfrak{H}^*))$  und somit gäbe es mit Definition 2-32 ein  $j \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^*))$ , so dass  $\beta^+ \in \text{TT}(A(\mathfrak{H}^*_j))$ . Da mit b)  $A(\mathfrak{H}^*_j) = [\beta^*, \beta, A(\mathfrak{H}_j)]$  und  $\beta^+ \neq \beta^*$  wäre damit aber bereits  $\beta^+ \in \text{TT}(A(\mathfrak{H}_j))$ . Mit a) und b) ergäbe sich sodann aus  $j \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^*))$ , dass  $j \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1))$  und somit  $A(\mathfrak{H}_j) \in \text{VAN}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  und  $\beta^+ \in \text{TTFM}(\text{VAN}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1))$  und andererseits nach Voraussetzung  $\beta^+ \notin \text{TTFM}(\text{VAN}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1))$ . Widerspruch! Also ist  $\beta^+ \notin \text{TTFM}(\{[\beta^*, \beta, \Delta]\} \cup \text{VAN}(\mathfrak{H}^*))$  und damit wiederum insgesamt  $\mathfrak{H}^+ \in \text{UEF}(\mathfrak{H}^*)$ .

*Zweiter Unterfall:* Sei nun  $\beta^+ = \beta^*$ . Dann ist  $\zeta \notin \text{FV}(\Delta)$ , da sonst  $\beta^* \in \text{TT}([\beta^+, \zeta, \Delta]) \subseteq \text{TTSEQ}(\mathfrak{H})$ . Damit ist dann  $[\beta^+, \zeta, \Delta] = \Delta$  und damit  $A(\mathfrak{H}^*_i) = [\beta^*, \beta, [\beta^+, \zeta, \Delta]] = [\beta^*, \beta, \Delta]$  und sodann ist  $K(\mathfrak{H}^+) = \ulcorner \wedge \zeta [\beta^*, \beta, \Delta] \urcorner$ . Sei nun  $\beta^\S \in \text{PAR} \setminus \text{TTSEQ}(\mathfrak{H}^*)$ . Dann ist mit  $\zeta \notin \text{FV}(\Delta)$  auch  $\zeta \notin \text{FV}([\beta^*, \beta, \Delta])$  und damit  $A(\mathfrak{H}^*_i) = [\beta^*, \beta, \Delta] = [\beta^\S, \zeta, [\beta^*, \beta, \Delta]]$  und es gilt:  $\beta^\S \notin \text{TTFM}(\{[\beta^*, \beta, \Delta]\} \cup \text{VAN}(\mathfrak{H}^*))$  und damit wiederum insgesamt  $\mathfrak{H}^+ \in \text{UEF}(\mathfrak{H}^*)$ . Damit gilt in beiden Unterfällen und somit insgesamt in beiden Fällen, dass  $\mathfrak{H}^+ \in \text{UEF}(\mathfrak{H}^*) \subseteq \text{HL}$ .

*(UBF):* Sei nun  $\mathfrak{H} \in \text{UBF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ . Dann gibt es nach Definition 3-13  $\theta \in \text{GTERM}$ ,  $\zeta \in \text{VAR}$ ,  $\Delta \in \text{FORM}$ , wobei  $\text{FV}(\Delta) \subseteq \{\zeta\}$ , so dass  $\ulcorner \wedge \zeta \Delta \urcorner \in \text{VER}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ , und  $\mathfrak{H} = \mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1 \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})-1, \ulcorner \text{Also } [\theta, \zeta, \Delta] \urcorner)\}$ . Mit d) ist dann  $\mathfrak{H}^+ = \mathfrak{H}^* \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})-1, [\beta^*, \beta, \ulcorner \text{Also } [\theta, \zeta, \Delta] \urcorner])\}$ . Sodann gibt es mit  $\ulcorner \wedge \zeta \Delta \urcorner \in \text{VER}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  nach Definition 2-31  $i \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1))$ , so dass  $A(\mathfrak{H}_i) = \ulcorner \wedge \zeta \Delta \urcorner$ . Mit a) und b) ist dann  $i \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}^*))$  und  $A(\mathfrak{H}^*_i) = [\beta^*, \beta, \ulcorner \wedge \zeta \Delta \urcorner] = \ulcorner \wedge \zeta [\beta^*, \beta, \Delta] \urcorner$ . Sodann ist mit Theorem 1-21-(ii)  $K(\mathfrak{H}^+) = [\beta^*, \beta, [\theta, \zeta, \Delta]] = [[\beta^*, \beta, \theta], \zeta, [\beta^*, \beta, \Delta]]$ , wobei mit  $\theta \in \text{GTERM}$  auch  $[\beta^*, \beta, \theta] \in \text{GTERM}$  und mit  $\text{FV}(\Delta) \subseteq \{\zeta\}$  auch  $\text{FV}([\beta^*, \beta, \Delta]) \subseteq \{\zeta\}$ . Damit ist dann insgesamt  $\mathfrak{H}^+ \in \text{UBF}(\mathfrak{H}^*) \subseteq \text{HL}$ .

*(PEF):* Sei nun  $\mathfrak{H} \in \text{PEF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ . Dann gibt es nach Definition 3-14  $\theta \in \text{GTERM}$ ,  $\zeta \in \text{VAR}$ ,  $\Delta \in \text{FORM}$ , wobei  $\text{FV}(\Delta) \subseteq \{\zeta\}$ , so dass  $[\theta, \zeta, \Delta] \in \text{VER}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ , und  $\mathfrak{H} = \mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1 \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})-1, \ulcorner \text{Also } \forall \zeta \Delta \urcorner)\}$ . Mit d) ist dann

$\mathfrak{H}^+ = \mathfrak{H}^* \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})-1, [\beta^*, \beta, \ulcorner \text{Also } \forall \zeta \Delta \urcorner])\} = \mathfrak{H}^* \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})-1, \ulcorner \text{Also } \forall \zeta [\beta^*, \beta, \Delta] \urcorner)\}$ . Sodann gibt es mit  $[\theta, \zeta, \Delta] \in \text{VER}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  nach Definition 2-31  $i \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1))$ , so dass  $A(\mathfrak{H}_i) = [\theta, \zeta, \Delta]$ . Mit a) und b) ist dann  $i \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}^*))$  und  $A(\mathfrak{H}^*_i) = [\beta^*, \beta, A(\mathfrak{H}_i)]$ . Dann ist mit Theorem 1-21-(ii)  $A(\mathfrak{H}^*_i) = [\beta^*, \beta, A(\mathfrak{H}_i)] = [\beta^*, \beta, [\theta, \zeta, \Delta]] = [[\beta^*, \beta, \theta], \zeta, [\beta^*, \beta, \Delta]]$ , wobei mit  $\theta \in \text{GTERM}$  auch  $[\beta^*, \beta, \theta] \in \text{GTERM}$  und mit  $\text{FV}(\Delta) \subseteq \{\zeta\}$  auch  $\text{FV}([\beta^*, \beta, \Delta]) \subseteq \{\zeta\}$ . Damit ist dann insgesamt  $\mathfrak{H}^+ \in \text{PEF}(\mathfrak{H}^*) \subseteq \text{HL}$ .

(*IEF*): Sei nun  $\mathfrak{H} \in \text{IEF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ . Mit Definition 3-16 gibt es dann  $\theta \in \text{GTERM}$ , so dass  $\mathfrak{H} = \mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1 \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})-1, \ulcorner \text{Also } \theta = \theta \urcorner)\}$ . Dann ist mit d)  $\mathfrak{H}^+ = \mathfrak{H}^* \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})-1, [\beta^*, \beta, \ulcorner \text{Also } \theta = \theta \urcorner])\} = \mathfrak{H}^* \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})-1, \ulcorner \text{Also } [\beta^*, \beta, \theta] = [\beta^*, \beta, \theta] \urcorner)\}$ , wobei mit  $\theta \in \text{GTERM}$  auch  $[\beta^*, \beta, \theta] \in \text{GTERM}$ . Damit ist dann  $\mathfrak{H}^+ \in \text{IEF}(\mathfrak{H}^*) \subseteq \text{HL}$ .

(*IBF*): Sei nun  $\mathfrak{H} \in \text{IBF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ . Dann gibt es mit Definition 3-17  $\theta_0, \theta_1 \in \text{GTERM}$ ,  $\zeta \in \text{VAR}$  und  $\Delta \in \text{FORM}$ , wobei  $\text{FV}(\Delta) \subseteq \{\zeta\}$ , so dass  $\ulcorner \theta_0 = \theta_1 \urcorner, [\theta_0, \zeta, \Delta] \in \text{VER}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ , und  $\mathfrak{H} = \mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1 \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})-1, \ulcorner \text{Also } [\theta_1, \zeta, \Delta] \urcorner)\}$ . Dann ist mit d)  $\mathfrak{H}^+ = \mathfrak{H}^* \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})-1, [\beta^*, \beta, \ulcorner \text{Also } [\theta_1, \zeta, \Delta] \urcorner])\}$ . Sodann gibt es mit  $\ulcorner \theta_0 = \theta_1 \urcorner, [\theta_0, \zeta, \Delta] \in \text{VER}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  und Definition 2-31  $i, j \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1))$ , so dass  $A(\mathfrak{H}_i) = \ulcorner \theta_0 = \theta_1 \urcorner$  und  $A(\mathfrak{H}_j) = [\theta_0, \zeta, \Delta]$ . Dann gilt mit a) und b):  $i, j \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}^*))$  und  $A(\mathfrak{H}^*_i) = [\beta^*, \beta, A(\mathfrak{H}_i)] = [\beta^*, \beta, \ulcorner \theta_0 = \theta_1 \urcorner] = \ulcorner [\beta^*, \beta, \theta_0] = [\beta^*, \beta, \theta_1] \urcorner$  und  $A(\mathfrak{H}^*_j) = [\beta^*, \beta, A(\mathfrak{H}_j)]$ . Dann ist mit Theorem 1-21-(ii)  $A(\mathfrak{H}^*_j) = [\beta^*, \beta, A(\mathfrak{H}_j)] = [\beta^*, \beta, [\theta_0, \zeta, \Delta]] = [[\beta^*, \beta, \theta_0], \zeta, [\beta^*, \beta, \Delta]]$  und  $\text{K}(\mathfrak{H}^+) = [\beta^*, \beta, [\theta_1, \zeta, \Delta]] = [[\beta^*, \beta, \theta_1], \zeta, [\beta^*, \beta, \Delta]]$ , wobei mit  $\theta_0, \theta_1 \in \text{GTERM}$  auch  $[\beta^*, \beta, \theta_0], [\beta^*, \beta, \theta_1] \in \text{GTERM}$  und mit  $\text{FV}(\Delta) \subseteq \{\zeta\}$  auch  $\text{FV}([\beta^*, \beta, \Delta]) \subseteq \{\zeta\}$ . Damit gilt dann insgesamt  $\mathfrak{H}^+ \in \text{IBF}(\mathfrak{H}^*) \subseteq \text{HL}$ .  $\square$

Das folgende Theorem dient der Vorbereitung des Generalisierungstheorems (Theorem 4-24). Der Beweis ähnelt stark dem Beweis zu Theorem 4-8.

**Theorem 4-9.** *Einfache Substitution eines neuen Parameters für eine Individuenkonstante ist HL-treu*

Wenn  $\mathfrak{H} \in \text{HL}$ ,  $\alpha \in \text{KONST}$  und  $\beta \in \text{PAR} \setminus \text{TTSEQ}(\mathfrak{H})$ , dann gibt es  $\mathfrak{H}^+ \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ , so dass:

- (i)  $\alpha \notin \text{TTSEQ}(\mathfrak{H}^+)$ ,
- (ii)  $\text{TTSEQ}(\mathfrak{H}^+) \subseteq \text{TTSEQ}(\mathfrak{H}) \cup \{\beta\}$ ,
- (iii)  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) = \{[\alpha, \beta, B] \mid B \in \text{VAN}(\mathfrak{H}^+)\}$  und
- (iv) Wenn  $\mathfrak{H} \neq \emptyset$ , dann  $\text{K}(\mathfrak{H}) = [\alpha, \beta, \text{K}(\mathfrak{H}^+)]$ .

*Beweis:* Sei  $\mathfrak{H} \in \text{HL}$ ,  $\alpha \in \text{KONST}$  und  $\beta \in \text{PAR} \setminus \text{TTSEQ}(\mathfrak{H})$ . Das gesuchte  $\mathfrak{H}^+$  sei wie folgt definiert:

$$\text{a) } \mathfrak{H}^+ = \{(0, \ulcorner \text{Also } \beta = \beta \urcorner)\} \frown [\beta, \alpha, \mathfrak{H}].$$

Zunächst gelten dann (i) und (ii). Für  $\mathfrak{H}^+$  kann nun mittels Induktion über  $\text{Dom}(\mathfrak{H})$  gezeigt werden, dass  $\mathfrak{H}^+ \in \text{HL}$  und

$$\text{b) } \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}^+)) = \{(l+1 \mid l \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H})))\} \cup \{0\}.$$

Aus b) folgen dann auch (iii) und (iv). *Zu (iii):* Sei nämlich  $\Delta \in \text{VAN}(\mathfrak{H})$ . Dann gibt es ein  $i \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}))$ , so dass  $\mathfrak{H}_i = \ulcorner \text{Sei } \Delta \urcorner$ . Also ist mit b)  $i+1 \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}^+))$  und mit a)  $\mathfrak{H}_{i+1}^+ = \ulcorner \text{Sei } [\beta, \alpha, \Delta] \urcorner$ . Also ist  $[\beta, \alpha, \Delta] \in \text{VAN}(\mathfrak{H}^+)$  und damit  $[\alpha, \beta, [\beta, \alpha, \Delta]] \in \{[\alpha, \beta, B] \mid B \in \text{VAN}(\mathfrak{H}^+)\}$ . Nun ist  $\beta \notin \text{TTSEQ}(\mathfrak{H})$  und damit  $\beta \notin \text{TT}(\Delta)$  und mit Theorem 1-19-(ii)  $[\alpha, \beta, [\beta, \alpha, \Delta]] = [\alpha, \alpha, \Delta] = \Delta$ . Also  $\Delta \in \{[\alpha, \beta, B] \mid B \in \text{VAN}(\mathfrak{H}^+)\}$ . Sei nun  $\Delta \in \{[\alpha, \beta, B] \mid B \in \text{VAN}(\mathfrak{H}^+)\}$ . Dann gibt es ein  $\Delta^* \in \text{VAN}(\mathfrak{H}^+)$ , so dass  $\Delta = [\alpha, \beta, \Delta^*]$ . Wegen  $\Delta^* \in \text{VAN}(\mathfrak{H}^+)$  gibt es ein  $i+1 \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}^+))$  mit  $\mathfrak{H}_{i+1}^+ = \ulcorner \text{Sei } \Delta^* \urcorner$ . Nun ist mit b)  $i \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}))$  und mit a)  $\mathfrak{H}_{i+1}^+ = [\beta, \alpha, \mathfrak{H}_i]$  und damit  $[\beta, \alpha, \mathfrak{H}_i] = \ulcorner \text{Sei } \Delta^* \urcorner$  und weiter  $[\alpha, \beta, [\beta, \alpha, \mathfrak{H}_i]] = [\alpha, \beta, \ulcorner \text{Sei } \Delta^* \urcorner]$ . Wie zuvor ist mit Theorem 1-19-(iii)  $[\alpha, \beta, [\beta, \alpha, \mathfrak{H}_i]] = [\alpha, \alpha, \mathfrak{H}_i] = \mathfrak{H}_i$  und  $[\alpha, \beta, \ulcorner \text{Sei } \Delta^* \urcorner] = \ulcorner \text{Sei } \Delta \urcorner$ . Also  $\text{A}(\mathfrak{H}_i) = \Delta$ . Damit ist  $\Delta \in \text{VAN}(\mathfrak{H})$ . Damit gilt (iii).

*Zu (iv)* Angenommen  $\mathfrak{H} \neq \emptyset$ . Wegen  $\beta \notin \text{TTSEQ}(\mathfrak{H})$  ist wieder mit Theorem 1-19-(ii)  $[\alpha, \beta, \text{K}(\mathfrak{H}^+)] = [\alpha, \beta, \text{A}(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H}^+)-1}^+)] = [\alpha, \beta, [\beta, \alpha, \text{A}(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H}^+)-2})]] = [\alpha, \alpha, \text{A}(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H}^+)-2})] = \text{A}(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H}^+)-2})$ . Nun ist  $\text{Dom}(\mathfrak{H}^+) = \text{Dom}(\mathfrak{H})+1$ . Damit gilt weiter  $[\alpha, \beta, \text{K}(\mathfrak{H}^+)] = \text{A}(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H}^+)-2}) = \text{A}(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-1}) = \text{K}(\mathfrak{H})$ .

*Nun zum Induktionsbeweis:* Gelten nun  $\mathfrak{H}^+ \in \text{HL}$  und b) für alle  $k < \text{Dom}(\mathfrak{H})$ . Sei  $\text{Dom}(\mathfrak{H}) = 0$ . Dann ist  $\mathfrak{H} = \emptyset = \{(l+1 \mid l \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}))\}$ . Mit a) und Definition 3-16

ist  $\mathfrak{H}^+ = \{(0, \ulcorner \text{Also } \beta = \beta \urcorner)\} \in \text{HL}$ . Offenbar gilt  $\text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}^+)) = \{0\} = \{(l+1 \mid l \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}))\} \cup \{0\}$ . Sei nun  $0 < \text{Dom}(\mathfrak{H})$ . Dann ist  $\mathfrak{H} \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ . Dann ist mit Theorem 3-6  $\mathfrak{H} \in \text{HAB}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ . Dann ist nach I.V.:

$$\text{c) } \mathfrak{H}^* = \{(0, \ulcorner \text{Also } \beta = \beta \urcorner)\} \frown [\beta, \alpha, \mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1] \in \text{HL} \text{ und } \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}^*)) = \{(l+1 \mid l \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1))\} \cup \{0\}.$$

Sodann ergibt sich mit  $\mathfrak{H} \in \text{HAB}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  mit Definition 3-18, dass  $\mathfrak{H} \in \text{AF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  oder  $\mathfrak{H} \in \text{SEF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  oder  $\mathfrak{H} \in \text{SBF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  oder  $\mathfrak{H} \in \text{KEF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  oder  $\mathfrak{H} \in \text{KBF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  oder  $\mathfrak{H} \in \text{BEF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  oder  $\mathfrak{H} \in \text{BBF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  oder  $\mathfrak{H} \in \text{AEF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  oder  $\mathfrak{H} \in \text{ABF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  oder  $\mathfrak{H} \in \text{NEF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  oder  $\mathfrak{H} \in \text{NBF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  oder  $\mathfrak{H} \in \text{UEF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  oder  $\mathfrak{H} \in \text{UBF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  oder  $\mathfrak{H} \in \text{PEF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  oder  $\mathfrak{H} \in \text{PBF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  oder  $\mathfrak{H} \in \text{IEF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  oder  $\mathfrak{H} \in \text{IBF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ .

Da sich Operatoren durch die Substitution nicht verändern, gilt nun zunächst:

$$\text{d) Für alle } i \in \text{Dom}(\mathfrak{H})-1: A(\mathfrak{H}^*_{i+1}) = [\beta, \alpha, A(\mathfrak{H}_i)] \text{ und } \mathfrak{H}^*_{i+1} = \ulcorner \exists [\beta, \alpha, A(\mathfrak{H}_i)] \urcorner, \text{ wobei } \mathfrak{H}_i = \ulcorner \exists A(\mathfrak{H}_i) \urcorner \text{ für ein } \exists.$$

Sodann gilt mit  $\beta \in \text{PAR} \setminus \text{TTSEQ}(\mathfrak{H})$  und  $\alpha \in \text{KONST}$ :

$$\text{e) Für jedes } i \in \text{Dom}(\mathfrak{H}): \beta \notin \text{TT}(A(\mathfrak{H}_i)) \text{ und } \alpha \notin \text{TT}([\beta, \alpha, A(\mathfrak{H}_i)]),$$

da sonst im Gegensatz zur Voraussetzung  $\beta \in \text{TTSEQ}(\mathfrak{H})$ . Mit a) gilt:

$$\text{f) } \mathfrak{H}^+ = \mathfrak{H}^* \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), [\beta, \alpha, \mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-1}])\}.$$

Nun wird gezeigt, dass sich für die einzelnen Fälle AF ... IBF jeweils ergibt, dass  $\mathfrak{H}^+ \in \text{HL}$  und b), womit  $\mathfrak{H}^+$  dann jeweils das gesuchte HL-Element ist. Um Sonderbetrachtungen bei SBF, KEF, KBF, BEF, BBF, AEF, ABF, NBF, UEF, UBF, PEF, IEF und IBF zu vereinfachen wird nun noch vorbereitend gezeigt:

$$\text{g) Wenn } \mathfrak{H}^+ \in \text{SEF}(\mathfrak{H}^*) \cup \text{NEF}(\mathfrak{H}^*) \cup \text{PBF}(\mathfrak{H}^*), \text{ dann } \mathfrak{H} \in \text{SEF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \cup \text{NEF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \cup \text{PBF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1).$$

*Vorbereitungsteil:* Sei  $\mathfrak{H}^+ \in \text{SEF}(\mathfrak{H}^*)$ . Dann gibt es nach Definition 3-2  $i \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^*))$ , so dass es kein  $l$  mit  $i < l \leq \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$  gibt, so dass  $l \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^*))$  und  $\mathfrak{H}^+ = \mathfrak{H}^* \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^*)-1, \ulcorner \text{Also } A(\mathfrak{H}^*_i) \rightarrow K(\mathfrak{H}^*) \urcorner)\}$ . Nun ist  $\mathfrak{H}^*_0 = \ulcorner \text{Also } \beta = \beta \urcorner \notin \text{VANS}(\mathfrak{H}^*)$ . Also ist  $i \neq 0$  und mit d) und f)  $A(\mathfrak{H}^*_i) = [\beta, \alpha, A(\mathfrak{H}_{i-1})]$  und  $K(\mathfrak{H}^*) = [\beta, \alpha, A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-2})]$ . Also  $\mathfrak{H}^+ = \mathfrak{H}^* \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \text{Also } [\beta, \alpha, A(\mathfrak{H}_{i-1})] \rightarrow [\beta, \alpha, A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-2})] \urcorner)\}$ . Mit f) ist  $\ulcorner \text{Also } [\beta, \alpha, A(\mathfrak{H}_{i-1})] \rightarrow [\beta, \alpha, A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-2})] \urcorner = [\beta, \alpha, \ulcorner \text{Also } A(\mathfrak{H}_{i-1}) \rightarrow A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-2}) \urcorner] = [\beta, \alpha, \mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-1}]$ . Theorem 1-16 ergibt  $\ulcorner \text{Also } A(\mathfrak{H}_{i-1}) \rightarrow A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-2}) \urcorner = \mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-1}$  und mithin  $\mathfrak{H} = \mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1 \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})-1, \ulcorner \text{Also } A(\mathfrak{H}_{i-1}) \rightarrow A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-2}) \urcorner)\}$ . Sodann gilt mit a), d) und  $i \neq 0$ :  $i-1 \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1))$  und es gibt kein  $l$  mit  $i-1 < l \leq \text{Dom}(\mathfrak{H})-2$ , so dass  $l \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1))$ . Damit ist dann auch  $\mathfrak{H} \in \text{SEF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ . Für den Fall, dass  $\mathfrak{H}^+ \in \text{NEF}(\mathfrak{H}^*)$ , zeigt man analog, dass dann auch  $\mathfrak{H} \in \text{NEF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ .

Sei nun  $\mathfrak{H}^+ \in \text{PBF}(\mathfrak{H}^*)$ . Dann gibt es nach Definition 3-15 mit d) und f),  $\beta^* \in \text{PAR}$ ,  $\zeta \in \text{VAR}$ ,  $\Delta \in \text{FORM}$ , wobei  $\text{FV}(\Delta) \subseteq \{\zeta\}$  und  $i \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}^*))$ , so dass  $A(\mathfrak{H}^*_i) = \forall \zeta \Delta$  und  $A(\mathfrak{H}^*_{i+1}) = [\beta^*, \zeta, \Delta] = [\beta, \alpha, A(\mathfrak{H}_i)]$ , wobei  $i+1 \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^*))$ ,  $[\beta, \alpha, A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-2})] = K(\mathfrak{H}^*)$ ,  $\beta^* \notin \text{TTFM}(\{\Delta, [\beta, \alpha, A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-2})]\})$ , es kein  $j \leq i$  gibt, so dass  $\beta^* \in \text{TT}(\mathfrak{H}^*_j)$ , es kein  $l$  mit  $i+1 < l \leq \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$  gibt, so dass  $l \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^*))$  und  $\mathfrak{H}^+ = \mathfrak{H}^* \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \text{Also } K(\mathfrak{H}^*) \urcorner)\} = \mathfrak{H}^* \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \text{Also } [\beta, \alpha, A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-2})] \urcorner)\} = \mathfrak{H}^* \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), [\beta, \alpha, \ulcorner \text{Also } A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-2}) \urcorner])\}$ . Mit f) ist  $[\beta, \alpha, \ulcorner \text{Also } A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-2}) \urcorner] = [\beta, \alpha, \mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-1}]$ . Theorem 1-16 ergibt  $\ulcorner \text{Also } A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-2}) \urcorner = \mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-1}$  und mithin  $\mathfrak{H} = \mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1 \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})-1, \ulcorner \text{Also } A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-2}) \urcorner)\}$ . Mit  $A(\mathfrak{H}^*_i) = \forall \zeta \Delta \neq \ulcorner \beta = \beta \urcorner = A(\mathfrak{H}^*_0)$  ist  $i \neq 0$  und daher  $A(\mathfrak{H}^*_i) = \forall \zeta \Delta = [\beta, \alpha, A(\mathfrak{H}_{i-1})]$ .

Damit ergibt sich dann mit c), d) und f) zunächst:  $i-1 \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1))$ ,  $i \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1))$ ,  $K(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) = A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-2})$  und es gibt kein  $l$  mit  $i < l \leq \text{Dom}(\mathfrak{H})-2$ , so dass  $l \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1))$ . Zu zeigen ist nun noch, dass  $A(\mathfrak{H}_{i-1})$  und  $A(\mathfrak{H}_i)$  die Voraussetzungen für  $\mathfrak{H} \in \text{PBF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  erfüllen.

Nun ist  $[\beta, \alpha, A(\mathfrak{H}_{i-1})] = A(\mathfrak{H}^*_i) = \ulcorner \forall \zeta \Delta \urcorner$  und  $[\beta, \alpha, A(\mathfrak{H}_i)] = A(\mathfrak{H}^*_{i+1}) = [\beta^*, \zeta, \Delta]$ . Da Operatoren durch die Substitution nicht verändert werden, gilt damit wegen  $[\beta, \alpha, A(\mathfrak{H}_{i-1})] = \ulcorner \forall \zeta \Delta \urcorner$ :  $A(\mathfrak{H}_{i-1}) = \ulcorner \forall \zeta \Delta^+ \urcorner$  für ein  $\Delta^+ \in \text{FORM}$ , wobei  $\beta \notin \text{TT}(\Delta^+)$  und  $\text{FV}(\Delta^+) \subseteq \{\zeta\}$ . Damit ist  $\ulcorner \forall \zeta \Delta \urcorner = [\beta, \alpha, A(\mathfrak{H}_{i-1})] = [\beta, \alpha, \ulcorner \forall \zeta \Delta^+ \urcorner] = \ulcorner \forall \zeta [\beta, \alpha, \Delta^+] \urcorner$  und somit  $\Delta = [\beta, \alpha, \Delta^+]$ . Damit gilt wiederum:  $[\beta^*, \zeta, \Delta] = [\beta^*, \zeta, [\beta, \alpha, \Delta^+]]$  und  $\beta^* \notin \text{TT}([\beta, \alpha, \Delta^+])$ . Sodann gilt  $\beta = \beta^*$  oder  $\beta \neq \beta^*$ . Wäre  $\beta = \beta^*$ , dann gäbe es kein  $j \leq i$  gibt, so dass  $\beta \in \text{TT}(\mathfrak{H}^*_j)$ .

Nun ist aber  $\beta \in \text{TT}(\ulcorner \text{Also } \beta = \beta^\top \urcorner) = \text{TT}(\mathfrak{H}^*_0)$  und  $0 \leq i$ . Also ist  $\beta \neq \beta^*$ . Dann lassen sich mit  $\beta^* \in \text{TT}([\beta, \alpha, A(\mathfrak{H}_i)])$  und  $\beta^* \notin \text{TT}([\beta, \alpha, A(\mathfrak{H}_i)])$  zwei Fälle unterscheiden.

*Erster Fall:* Angenommen  $\beta^* \in \text{TT}([\beta, \alpha, A(\mathfrak{H}_i)])$ . Dann ist mit  $\Delta = [\beta, \alpha, \Delta^+]$  und Theorem 1-20-(ii):  $[\beta, \alpha, A(\mathfrak{H}_i)] = [\beta^*, \zeta, \Delta] = [\beta^*, \zeta, [\beta, \alpha, \Delta^+]] = [\beta, \alpha, [\beta^*, \zeta, \Delta^+]]$ . Sodann ist  $\beta \notin \text{TT}(A(\mathfrak{H}_i))$  und wegen  $\beta \neq \beta^*$  und  $\beta \notin \text{TT}(\Delta^+)$  auch  $\beta \notin \text{TT}([\beta^*, \zeta, \Delta^+])$  und damit mit Theorem 1-15  $A(\mathfrak{H}_i) = [\beta^*, \zeta, \Delta^+]$ . Wäre nun  $\beta^* \in \text{TTFM}(\{\Delta^+, A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-2})\})$  oder gäbe es ein  $j \leq i-1$ , so dass  $\beta^* \in \text{TT}(\mathfrak{H}_j)$ . Dann wäre wegen  $\beta^* \neq \alpha$  mit d) auch  $\beta^* \in \text{TTFM}(\{[\beta, \alpha, \Delta^+], [\beta, \alpha, A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-2})]\})$  oder es gäbe  $j \leq i$ , so dass  $\beta^* \in \text{TT}(\mathfrak{H}^*_j)$ . Also ist im ersten Unterfall die Parameterbedingung für  $\beta^*$  auch in  $\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$  erfüllt und damit wiederum insgesamt  $\mathfrak{H} \in \text{PBF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ .

*Zweiter Fall:* Sei nun  $\beta^* \notin \text{TT}([\beta, \alpha, A(\mathfrak{H}_i)])$ . Dann ist mit  $[\beta, \alpha, A(\mathfrak{H}_i)] = [\beta^*, \zeta, [\beta, \alpha, \Delta^+]]$   $\zeta \notin \text{FV}([\beta, \alpha, \Delta^+])$ . Dann ist  $[\beta, \alpha, A(\mathfrak{H}_i)] = [\beta^*, \zeta, [\beta, \alpha, \Delta^+]] = [\beta, \alpha, \Delta^+]$  und damit mit  $\beta \notin \text{TT}(A(\mathfrak{H}_i)) \cup \text{TT}(\Delta^+)$  wiederum mit Theorem 1-15  $A(\mathfrak{H}_i) = \Delta^+$ , wobei mit  $\zeta \notin \text{FV}([\beta, \alpha, \Delta^+])$  auch  $\zeta \notin \text{FV}(\Delta^+)$ . Sei nun  $\beta^+ \in \text{PAR} \setminus \text{TTSEQ}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ . Dann ist mit  $\zeta \notin \text{FV}(\Delta^+)$   $A(\mathfrak{H}_i) = \Delta^+ = [\beta^+, \zeta, \Delta^+]$  und es gilt:  $\beta^+ \notin \text{TTFM}(\{\Delta^+, A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-2})\})$  und es gibt kein  $j \leq i$ , so dass  $\beta^+ \in \text{TT}(\mathfrak{H}_j)$ . Damit ist dann ebenfalls insgesamt auch  $\mathfrak{H} \in \text{PBF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ . Also gilt in beiden Fällen  $\mathfrak{H} \in \text{PBF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ .

*Hauptteil:* Nun zum Nachweis, dass sich für die einzelnen Fälle AF ... IBF jeweils ergibt, dass  $\mathfrak{H}^+ \in \text{HL}$  und  $\text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}^+)) = \{(l+1 \mid l \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}))\} \cup \{0\}$ . Zunächst werden SEF, NEF und PBF behandelt. Nach einer Ausschlussannahme für alle anderen Fälle kann mit g) sofort  $\text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}^+))$  bestimmt werden.

(SEF, NEF): Sei nun  $\mathfrak{H} \in \text{SEF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ . Dann gibt es nach Definition 3-2  $i \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1))$ , so dass es kein  $l \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1))$  mit  $i < l \leq \text{Dom}(\mathfrak{H})-2$  gibt und  $\mathfrak{H} = \mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1 \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})-1, \ulcorner \text{Also } A(\mathfrak{H}_i) \rightarrow \text{K}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)^\top \urcorner)\}$ . Dann gilt mit a), d) und f):  $i+1 \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^*))$  und es gibt kein  $l$  mit  $i+1 < l \leq \text{Dom}(\mathfrak{H})-1 = \text{Dom}(\mathfrak{H}^*)-1$ , so dass  $l \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^*))$ , und  $A(\mathfrak{H}^*_{i+1}) = [\beta, \alpha, A(\mathfrak{H}_i)]$  und  $\text{K}(\mathfrak{H}^*) = [\beta, \alpha, \text{K}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)]$  und  $\mathfrak{H}^+ = \mathfrak{H}^* \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), [\beta, \alpha, \ulcorner \text{Also } A(\mathfrak{H}_i) \rightarrow \text{K}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)^\top \urcorner])\} = \mathfrak{H}^* \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \text{Also } A(\mathfrak{H}^*_i) \rightarrow \text{K}(\mathfrak{H}^*)^\top \urcorner)\}$ . Damit ist dann  $\mathfrak{H}^+ \in \text{SEF}(\mathfrak{H}^*)$  und damit  $\mathfrak{H}^+ \in \text{HL}$ .

Sodann ergibt sich mit Theorem 3-19-(iii), dass  $\text{VERS}(\mathfrak{H}) = \text{VERS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \setminus \{(j, \mathfrak{H}_j) \mid i \leq j < \text{Dom}(\mathfrak{H})-1\} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})-1, \ulcorner \text{Also } A(\mathfrak{H}_i) \rightarrow \text{K}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)^\top \urcorner)\}$  und dass  $\text{VERS}(\mathfrak{H}^+) = \text{VERS}(\mathfrak{H}^*) \setminus \{(j, \mathfrak{H}^+_j) \mid i+1 \leq j < \text{Dom}(\mathfrak{H})\} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \text{Also } [\beta, \alpha, A(\mathfrak{H}_i)] \rightarrow [\beta, \alpha, \text{K}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)^\top \urcorner]\urcorner)\}$ . Mit  $\text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}^*)) = \{(l+1 \mid l \in$

$\text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)) \cup \{0\}$  ergibt sich dann auch  $\text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}^+)) = \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H})) \cup \{0\}$ . Für den Fall, dass  $\mathfrak{H} \in \text{NEF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ , zeigt man analog, dass dann auch  $\mathfrak{H}^+ \in \text{NEF}(\mathfrak{H}^*) \subseteq \text{HL}$  und  $\text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}^+)) = \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H})) \cup \{0\}$ .

(PBF): Sei nun  $\mathfrak{H} \in \text{PBF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ . Dann gibt es nach Definition 3-15  $\beta^* \in \text{PAR}$ ,  $\zeta \in \text{VAR}$ ,  $\Delta \in \text{FORM}$ , wobei  $\text{FV}(\Delta) \subseteq \{\zeta\}$ , und  $i \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1))$ , so dass  $A(\mathfrak{H}_i) = \ulcorner \forall \zeta \Delta \urcorner$ ,  $A(\mathfrak{H}_{i+1}) = [\beta^*, \zeta, \Delta]$ , wobei  $i+1 \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1))$ ,  $\beta^* \notin \text{TTFM}(\{\Delta, A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-2})\})$ , es kein  $j \leq i$  gibt, so dass  $\beta^* \in \text{TT}(\mathfrak{H}_j)$ , es kein  $l$  mit  $i+1 < l \leq \text{Dom}(\mathfrak{H})-2$  gibt, so dass  $l \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1))$  und  $\mathfrak{H} = \mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1 \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})-1, \ulcorner \text{Also } A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-2}) \urcorner)\}$ .

Damit ergibt sich dann mit c), d) und f) zunächst:  $i+1 \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}^*))$  und  $A(\mathfrak{H}_{i+1}^*) = [\beta, \alpha, A(\mathfrak{H}_i)] = [\beta, \alpha, \ulcorner \forall \zeta \Delta \urcorner] = \ulcorner \forall \zeta [\beta, \alpha, \Delta] \urcorner$ ,  $i+2 \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^*))$  und  $A(\mathfrak{H}_{i+2}^*) = [\beta, \alpha, A(\mathfrak{H}_{i+1})] = [\beta, \alpha, [\beta^*, \zeta, \Delta]]$ ,  $K(\mathfrak{H}^*) = A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-2}^*) = [\beta, \alpha, A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-2})]$  und  $\mathfrak{H}^+ = \mathfrak{H}^* \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), [\beta, \alpha, \ulcorner \text{Also } K(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \urcorner])\} = \mathfrak{H}^* \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \text{Also } K(\mathfrak{H}^*) \urcorner)\}$  und es gibt kein  $l$  mit  $i+2 < l \leq \text{Dom}(\mathfrak{H})-1 = \text{Dom}(\mathfrak{H}^*)-1$ , so dass  $l \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^*))$ . Sodann lassen sich mit  $\beta^* \neq \beta$  und  $\beta^* = \beta$  zwei Fälle unterscheiden.

*Erster Fall:* Sei  $\beta^* \neq \beta$ . Dann ist mit Theorem 1-20:  $A(\mathfrak{H}_{i+2}^*) = [\beta, \alpha, [\beta^*, \zeta, \Delta]] = [\beta^*, \zeta, [\beta, \alpha, \Delta]]$ . Sodann ist  $A(\mathfrak{H}_{i+1}^*) = \ulcorner \forall \zeta [\beta, \alpha, \Delta] \urcorner$ . Wäre nun  $\beta^* \in \text{TTFM}(\{[\beta, \alpha, \Delta], [\beta, \alpha, A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-2})]\})$  oder gäbe es ein  $j \leq i+1$ , so dass  $\beta^* \in \text{TT}(\mathfrak{H}_j^*)$ , dann wäre wegen  $\beta^* \neq \beta$  mit d) auch  $\beta^* \in \text{TTFM}(\{\Delta, A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-2})\})$  oder es gäbe  $j \leq i$ , so dass  $\beta^* \in \text{TT}(\mathfrak{H}_j)$ . Widerspruch! Also ist  $\beta^* \notin \text{TTFM}(\{[\beta, \alpha, \Delta], [\beta, \alpha, A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-2})]\})$  und es gibt kein  $j \leq i+1$ , so dass  $\beta^* \in \text{TT}(\mathfrak{H}_j^*)$  und damit ist  $\mathfrak{H}^+ \in \text{PBF}(\mathfrak{H}^*)$  und damit  $\mathfrak{H}^+ \in \text{HL}$ .

*Zweiter Fall:* Sei nun  $\beta^* = \beta$ . Dann ist  $\zeta \notin \text{FV}(\Delta)$ , da sonst  $\beta \in \text{TT}([\beta^*, \zeta, \Delta]) \subseteq \text{TTSEQ}(\mathfrak{H})$ . Mit Theorem 1-9-(ii) ist dann  $[\beta^*, \zeta, \Delta] = \Delta$  und damit  $A(\mathfrak{H}_{i+2}^*) = [\beta, \alpha, [\beta^*, \zeta, \Delta]] = [\beta, \alpha, \Delta]$  und sodann ist  $A(\mathfrak{H}_{i+1}^*) = \ulcorner \forall \zeta [\beta, \alpha, \Delta] \urcorner$ . Sei nun  $\beta^+ \in \text{PAR} \setminus \text{TTSEQ}(\mathfrak{H}^*)$ . Dann ist mit  $\zeta \notin \text{FV}(\Delta)$  auch  $\zeta \notin \text{FV}([\beta, \alpha, \Delta])$  und damit  $A(\mathfrak{H}_{i+2}^*) = [\beta, \alpha, \Delta] = [\beta^+, \zeta, [\beta, \alpha, \Delta]]$  und es gilt:  $\beta^+ \notin \text{TTFM}(\{[\beta, \alpha, \Delta], [\beta, \alpha, A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-2})]\})$  und es gibt kein  $j \leq i+1$ , so dass  $\beta^+ \in \text{TT}(\mathfrak{H}_j^*)$ . Damit ist dann wieder  $\mathfrak{H}^+ \in \text{PBF}(\mathfrak{H}^*)$  und damit  $\mathfrak{H}^+ \in \text{HL}$ . Damit gilt in beiden Fällen  $\mathfrak{H}^+ \in \text{PBF}(\mathfrak{H}^*)$  und damit  $\mathfrak{H}^+ \in \text{HL}$ .

Sodann ergibt sich mit Theorem 3-21-(iii), dass  $\text{VERS}(\mathfrak{H}) = \text{VERS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \setminus \{(j, \mathfrak{H}_j) \mid i+1 \leq j < \text{Dom}(\mathfrak{H})-1\} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})-1, \ulcorner \text{Also } A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-2}) \urcorner)\}$  und dass  $\text{VERS}(\mathfrak{H}^+) = \text{VERS}(\mathfrak{H}^*) \setminus \{(j, \mathfrak{H}_j^+) \mid i+2 \leq j < \text{Dom}(\mathfrak{H})\} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \text{Also } [\beta^*, \beta, A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-2})] \urcorner)\}$ . Mit  $\text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}^*)) = \{(l+1 \mid l \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1))\} \cup \{0\}$  ergibt sich dann wieder  $\text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}^+)) = \{(l+1 \mid l \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}))\} \cup \{0\}$ .

*Ausschlussannahme:* Für die verbleibenden Schritte sei  $\mathfrak{H} \notin \text{SEF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \cup \text{NEF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \cup \text{PBF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ . Mit g) ist dann  $\mathfrak{H}^+ \notin \text{SEF}(\mathfrak{H}^*) \cup \text{NEF}(\mathfrak{H}^*) \cup \text{PBF}(\mathfrak{H}^*)$ . Damit ergibt sich für die folgenden Fälle dann jeweils mit Theorem 3-25, dass  $\text{VERS}(\mathfrak{H}) = \text{VERS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})-1, K(\mathfrak{H}))\}$  und dass  $\text{VERS}(\mathfrak{H}^+) = \text{VERS}(\mathfrak{H}^*) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})-1, K(\mathfrak{H}^*))\}$ . Mit  $\text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}^*)) = \{(l+1 \mid l \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1))\} \cup \{0\}$  ergibt sich dann  $\text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}^+)) = \{(l+1 \mid l \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}))\} \cup \{0\}$  für alle verbleibenden Fälle.

(*AF*): Sei nun  $\mathfrak{H} \in \text{AF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ . Dann ist  $\mathfrak{H} = \mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1 \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})-1, \ulcorner \text{Sei } A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-1}) \urcorner)\}$ . Dann ist mit f)  $\mathfrak{H}^+ = \mathfrak{H}^* \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \text{Sei } [\beta, \alpha, A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-1})] \urcorner)\} \in \text{AF}(\mathfrak{H}^*)$  und damit  $\mathfrak{H}^+ \in \text{HL}$ .

(*SBF, KEF, KBF, BEF, BBF, AEF, ABF, NBF*): Sei nun  $\mathfrak{H} \in \text{SBF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ . Dann gibt es mit Definition 3-3  $A, B \in \text{GFORM}$ , so dass  $A, \ulcorner A \rightarrow B \urcorner \in \text{VER}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  und  $\mathfrak{H} = \mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1 \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})-1, \ulcorner \text{Also } B \urcorner)\}$ . Mit f) gilt dann:  $\mathfrak{H}^+ = \mathfrak{H}^* \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \text{Also } [\beta, \alpha, B] \urcorner)\}$ . Sodann gibt es mit  $A, \ulcorner A \rightarrow B \urcorner \in \text{VER}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  und Definition 2-31  $i, j \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1))$ , so dass  $A(\mathfrak{H}_i) = A$  und  $A(\mathfrak{H}_j) = \ulcorner A \rightarrow B \urcorner$ . Mit a) und d) ergibt sich dann, dass  $i+1, j+1 \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}^*))$  und  $A(\mathfrak{H}_{i+1}^*) = [\beta, \alpha, A]$  und  $A(\mathfrak{H}_{j+1}^*) = \ulcorner [\beta, \alpha, A] \rightarrow [\beta, \alpha, B] \urcorner$ . Damit gilt dann  $\mathfrak{H}^+ = \mathfrak{H}^* \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \text{Also } [\beta, \alpha, B] \urcorner)\} \in \text{SBF}(\mathfrak{H}^*)$  und damit  $\mathfrak{H}^+ \in \text{HL}$ . Für *KEF, KBF, BEF, BBF, AEF, ABF* und *NBF* ist analog vorzugehen.

(*UEF*): Sei nun  $\mathfrak{H} \in \text{UEF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ . Dann gibt es nach Definition 3-12  $\beta^* \in \text{PAR}$ ,  $\zeta \in \text{VAR}$ ,  $\Delta \in \text{FORM}$ , wobei  $\text{FV}(\Delta) \subseteq \{\zeta\}$ , so dass  $[\beta^*, \zeta, \Delta] \in \text{VER}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ ,  $\beta^* \notin \text{TTFM}(\{\Delta\} \cup \text{VAN}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1))$  und  $\mathfrak{H} = \mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1 \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})-1, \ulcorner \text{Also } \wedge \xi \Delta \urcorner)\}$ . Dann gilt mit f):  $\mathfrak{H}^+ = \mathfrak{H}^* \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), [\beta, \alpha, \ulcorner \text{Also } \wedge \xi \Delta \urcorner])\} = \mathfrak{H}^* \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})-1, \ulcorner \text{Also } \wedge \xi [\beta, \alpha, \Delta] \urcorner)\}$ . Sodann gibt es mit  $[\beta^*, \zeta, \Delta] \in \text{VER}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  und Definition 2-31  $i \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1))$ , so dass  $[\beta^*, \zeta, \Delta] = A(\mathfrak{H}_i)$ . Mit a) und d) gilt dann, dass  $i+1 \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}^*))$  und  $A(\mathfrak{H}_{i+1}^*) = [\beta, \alpha, A(\mathfrak{H}_i)] = [\beta, \alpha, [\beta^*, \zeta, \Delta]]$ . Sodann lassen sich mit  $\beta^* \neq \beta$  und  $\beta^* = \beta$  zwei Fälle unterscheiden.

*Erster Fall:* Sei  $\beta^* \neq \beta$ . Dann ist mit Theorem 1-20-(ii):  $A(\mathfrak{H}_{i+1}^*) = [\beta, \alpha, [\beta^*, \zeta, \Delta]] = [\beta^*, \zeta, [\beta, \alpha, \Delta]]$ . Sodann ist  $K(\mathfrak{H}^+) = \ulcorner \wedge \zeta [\beta, \alpha, \Delta] \urcorner$ . Angenommen  $\beta^* \in \text{TTFM}(\{\beta, \alpha, \Delta\} \cup \text{VAN}(\mathfrak{H}^*))$ . Da  $\beta^* \neq \beta$  und  $\beta^* \notin \text{TT}(\Delta)$  ist zunächst  $\beta^* \notin \text{TT}([\beta, \alpha, \Delta])$ . Also wäre  $\beta^* \in \text{TTFM}(\text{VAN}(\mathfrak{H}^*))$  und somit gäbe es mit Definition 2-32 ein  $j \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^*))$ , so dass  $\beta^* \in \text{TT}(A(\mathfrak{H}_{j-1}^*))$ . Mit  $\mathfrak{H}_{j-1}^* \in \text{FSATZ}$  ist  $j \neq 0$ . Da mit d) dann  $A(\mathfrak{H}_{j-1}^*) = [\beta, \alpha, A(\mathfrak{H}_{j-1})]$  und  $\beta^* \neq \beta$  wäre damit aber bereits  $\beta^* \in \text{TT}(A(\mathfrak{H}_{j-1}))$ . Mit a) und d) ergäbe sich

sodann aus  $j \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^*))$ , dass  $j-1 \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1))$  und somit  $A(\mathfrak{H}_{j-1}) \in \text{VAN}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  und  $\beta^* \in \text{TTFM}(\text{VAN}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1))$  und andererseits nach Voraussetzung  $\beta^* \notin \text{TTFM}(\text{VAN}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1))$ . Widerspruch! Also ist  $\beta^* \notin \text{TTFM}(\{[\beta, \alpha, \Delta]\} \cup \text{VAN}(\mathfrak{H}^*))$  und damit wiederum insgesamt  $\mathfrak{H}^+ \in \text{UEF}(\mathfrak{H}^*)$ .

*Zweiter Fall:* Sei nun  $\beta^* = \beta$ . Dann ist  $\zeta \notin \text{FV}(\Delta)$ , da sonst  $\beta \in \text{TT}([\beta^*, \zeta, \Delta]) \subseteq \text{TTSEQ}(\mathfrak{H})$ . Damit ist dann  $[\beta^*, \zeta, \Delta] = \Delta$  und damit  $A(\mathfrak{H}^*_{i+1}) = [\beta, \alpha, [\beta^*, \zeta, \Delta]] = [\beta, \alpha, \Delta]$  und sodann ist  $K(\mathfrak{H}^+) = \ulcorner \wedge \zeta [\beta, \alpha, \Delta] \urcorner$ . Sei nun  $\beta^+ \in \text{PAR} \backslash \text{TTSEQ}(\mathfrak{H}^*)$ . Dann ist mit  $\zeta \notin \text{FV}(\Delta)$  auch  $\zeta \notin \text{FV}([\beta, \alpha, \Delta])$  und damit  $A(\mathfrak{H}^*_{i+1}) = [\beta, \alpha, \Delta] = [\beta^+, \zeta, [\beta, \alpha, \Delta]]$  und es gilt:  $\beta^+ \notin \text{TTFM}(\{[\beta, \alpha, \Delta]\} \cup \text{VAN}(\mathfrak{H}^*))$  und damit wiederum insgesamt  $\mathfrak{H}^+ \in \text{UEF}(\mathfrak{H}^*)$ . Damit gilt in beiden Fällen, dass  $\mathfrak{H}^+ \in \text{UEF}(\mathfrak{H}^*) \subseteq \text{HL}$ .

*(UBF):* Sei nun  $\mathfrak{H} \in \text{UBF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ . Dann gibt es nach Definition 3-13  $\theta \in \text{GTERM}$ ,  $\zeta \in \text{VAR}$ ,  $\Delta \in \text{FORM}$ , wobei  $\text{FV}(\Delta) \subseteq \{\zeta\}$ , so dass  $\ulcorner \wedge \zeta \Delta \urcorner \in \text{VER}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ , und  $\mathfrak{H} = \mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1 \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})-1, \ulcorner \text{Also } [\theta, \zeta, \Delta] \urcorner)\}$ . Mit f) ist dann  $\mathfrak{H}^+ = \mathfrak{H}^* \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), [\beta, \alpha, \ulcorner \text{Also } [\theta, \zeta, \Delta] \urcorner])\}$ . Sodann gibt es mit  $\ulcorner \wedge \zeta \Delta \urcorner \in \text{VER}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  nach Definition 2-31  $i \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1))$ , so dass  $A(\mathfrak{H}_i) = \ulcorner \wedge \zeta \Delta \urcorner$ . Mit a) und d) ist dann  $i+1 \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}^*))$  und  $A(\mathfrak{H}^*_{i+1}) = [\beta, \alpha, \ulcorner \wedge \zeta \Delta \urcorner] = \ulcorner \wedge \zeta [\beta, \alpha, \Delta] \urcorner$ . Sodann ist mit Theorem 1-21-(ii)  $K(\mathfrak{H}^+) = [\beta, \alpha, [\theta, \zeta, \Delta]] = [[\beta, \alpha, \theta], \zeta, [\beta, \alpha, \Delta]]$ , wobei mit  $\theta \in \text{GTERM}$  auch  $[\beta, \alpha, \theta] \in \text{GTERM}$  und mit  $\text{FV}(\Delta) \subseteq \{\zeta\}$  auch  $\text{FV}([\beta, \alpha, \Delta]) \subseteq \{\zeta\}$ . Damit ist dann insgesamt  $\mathfrak{H}^+ \in \text{UBF}(\mathfrak{H}^*) \subseteq \text{HL}$ .

*(PEF):* Sei nun  $\mathfrak{H} \in \text{PEF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ . Dann gibt es nach Definition 3-14  $\theta \in \text{GTERM}$ ,  $\zeta \in \text{VAR}$ ,  $\Delta \in \text{FORM}$ , wobei  $\text{FV}(\Delta) \subseteq \{\zeta\}$ , so dass  $[\theta, \zeta, \Delta] \in \text{VER}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ , und  $\mathfrak{H} = \mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1 \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})-1, \ulcorner \text{Also } \forall \zeta \Delta \urcorner)\}$ . Mit f) ist dann  $\mathfrak{H}^+ = \mathfrak{H}^* \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), [\beta, \alpha, \ulcorner \text{Also } \forall \zeta \Delta \urcorner])\} = \mathfrak{H}^* \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \text{Also } \forall \zeta [\beta, \alpha, \Delta] \urcorner)\}$ . Sodann gibt es mit  $[\theta, \zeta, \Delta] \in \text{VER}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  nach Definition 2-31  $i \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1))$ , so dass  $A(\mathfrak{H}_i) = [\theta, \zeta, \Delta]$ . Mit a) und d) ist dann  $i+1 \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}^*))$  und  $A(\mathfrak{H}^*_{i+1}) = [\beta, \alpha, A(\mathfrak{H}_{i+1})]$ . Dann ist mit Theorem 1-21-(ii)  $A(\mathfrak{H}^*_{i+1}) = [\beta, \alpha, A(\mathfrak{H}_i)] = [\beta, \alpha, [\theta, \zeta, \Delta]] = [[\beta, \alpha, \theta], \zeta, [\beta, \alpha, \Delta]]$ , wobei mit  $\theta \in \text{GTERM}$  auch  $[\beta, \alpha, \theta] \in \text{GTERM}$  und mit  $\text{FV}(\Delta) \subseteq \{\zeta\}$  auch  $\text{FV}([\beta, \alpha, \Delta]) \subseteq \{\zeta\}$ . Damit ist dann insgesamt  $\mathfrak{H}^+ \in \text{PEF}(\mathfrak{H}^*) \subseteq \text{HL}$ .

*(IEF):* Sei nun  $\mathfrak{H} \in \text{IEF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ . Mit Definition 3-16 gibt es dann  $\theta \in \text{GTERM}$ , so dass  $\mathfrak{H} = \mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1 \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})-1, \ulcorner \text{Also } \theta = \theta \urcorner)\}$ . Dann ist mit f)  $\mathfrak{H}^+ = \mathfrak{H}^* \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), [\beta, \alpha, \ulcorner \text{Also } \theta = \theta \urcorner])\} = \mathfrak{H}^* \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \text{Also } [\beta, \alpha, \theta] = [\beta, \alpha, \theta] \urcorner)\}$ , wobei mit  $\theta \in \text{GTERM}$  auch  $[\beta, \alpha, \theta] \in \text{GTERM}$ . Damit ist dann  $\mathfrak{H}^+ \in \text{IEF}(\mathfrak{H}^*) \subseteq \text{HL}$ .

(IBF): Sei nun  $\mathfrak{H} \in \text{IBF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ . Dann gibt es mit Definition 3-17  $\theta_0, \theta_1 \in \text{GTERM}$ ,  $\zeta \in \text{VAR}$  und  $\Delta \in \text{FORM}$ , wobei  $\text{FV}(\Delta) \subseteq \{\zeta\}$ , so dass  $\ulcorner \theta_0 = \theta_1 \urcorner$ ,  $[\theta_0, \zeta, \Delta] \in \text{VER}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ , und  $\mathfrak{H} = \mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1 \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})-1, \ulcorner \text{Also } [\theta_1, \zeta, \Delta] \urcorner)\}$ . Dann ist mit f)  $\mathfrak{H}^+ = \mathfrak{H}^* \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), [\beta, \alpha, \ulcorner \text{Also } [\theta_1, \zeta, \Delta] \urcorner])\}$ . Sodann gibt es mit  $\ulcorner \theta_0 = \theta_1 \urcorner$ ,  $[\theta_0, \zeta, \Delta] \in \text{VER}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  und Definition 2-31  $i, j \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1))$ , so dass  $A(\mathfrak{H}_i) = \ulcorner \theta_0 = \theta_1 \urcorner$  und  $A(\mathfrak{H}_j) = [\theta_0, \zeta, \Delta]$ . Dann gilt mit a) und d):  $i+1, j+1 \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}^*))$  und  $A(\mathfrak{H}_{i+1}^*) = [\beta, \alpha, A(\mathfrak{H}_i)] = [\beta, \alpha, \ulcorner \theta_0 = \theta_1 \urcorner] = \ulcorner [\beta, \alpha, \theta_0] = [\beta, \alpha, \theta_1] \urcorner$  und  $A(\mathfrak{H}_{j+1}^*) = [\beta, \alpha, A(\mathfrak{H}_j)]$ . Dann ist mit Theorem 1-21-(ii)  $A(\mathfrak{H}_{j+1}^*) = [\beta, \alpha, A(\mathfrak{H}_j)] = [\beta, \alpha, [\theta_0, \zeta, \Delta]] = [[\beta, \alpha, \theta_0], \zeta, [\beta, \alpha, \Delta]]$  und  $\text{K}(\mathfrak{H}^+) = [\beta, \alpha, [\theta_1, \zeta, \Delta]] = [[\beta, \alpha, \theta_1], \zeta, [\beta, \alpha, \Delta]]$ , wobei mit  $\theta_0, \theta_1 \in \text{GTERM}$  auch  $[\beta, \alpha, \theta_0], [\beta, \alpha, \theta_1] \in \text{GTERM}$  und mit  $\text{FV}(\Delta) \subseteq \{\zeta\}$  auch  $\text{FV}([\beta, \alpha, \Delta]) \subseteq \{\zeta\}$ . Damit gilt dann insgesamt  $\mathfrak{H}^+ \in \text{IBF}(\mathfrak{H}^*) \subseteq \text{HL}$ .  $\square$

Im Beweis des folgenden Theorems dient Theorem 4-8 als Induktionsbasis und als Hilfsmittel im Induktionsschritt. Das Theorem dient zur Vorbereitung der HL-treuen Verkettung zweier HL-Elemente, die nicht parameterfremd sind.

**Theorem 4-10.** *Mehrfache Substitution von neuen und paarweise verschiedenen Parametern für paarweise verschiedene Parameter ist HL-treu*

Wenn  $\mathfrak{H} \in \text{HL}$ ,  $k \in \mathbb{N} \setminus \{0\}$  und  $\{\beta^*_0, \dots, \beta^*_{k-1}\} \subseteq \text{PAR} \setminus \text{TTSEQ}(\mathfrak{H})$ , wobei für  $i, j < k$  und  $i \neq j$   $\beta^*_i \neq \beta^*_j$ , und  $\{\beta_0, \dots, \beta_{k-1}\} \subseteq \text{PAR} \setminus \{\beta^*_0, \dots, \beta^*_{k-1}\}$ , wobei für  $i, j < k$  und  $i \neq j$   $\beta_i \neq \beta_j$ , dann ist  $(\langle \beta^*_0, \dots, \beta^*_{k-1} \rangle, \langle \beta_0, \dots, \beta_{k-1} \rangle, \mathfrak{H}) \in \text{HL}$  und  $\text{Dom}(\text{VERS}(\langle \beta^*_0, \dots, \beta^*_{k-1} \rangle, \langle \beta_0, \dots, \beta_{k-1} \rangle, \mathfrak{H})) = \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}))$ .

*Beweis:* Durch Induktion über  $k$ . Die Behauptung gilt mit Theorem 4-8 für  $k = 1$ . Gelte die Behauptung nun für  $k$ . Sei nun  $\mathfrak{H} \in \text{HL}$ ,  $k+1 \in \mathbb{N} \setminus \{0\}$  und  $\{\beta^*_0, \dots, \beta^*_k\} \subseteq \text{PAR} \setminus \text{TTSEQ}(\mathfrak{H})$ , wobei für  $i, j < k+1$  und  $i \neq j$   $\beta^*_i \neq \beta^*_j$ , und  $\{\beta_0, \dots, \beta_k\} \subseteq \text{PAR}$ , wobei für  $i, j < k+1$  und  $i \neq j$   $\beta_i \neq \beta_j$ . Dann gilt mit I.V.  $(\langle \beta^*_0, \dots, \beta^*_{k-1} \rangle, \langle \beta_0, \dots, \beta_{k-1} \rangle, \mathfrak{H}) \in \text{HL}$  und  $\text{Dom}(\text{VERS}(\langle \beta^*_0, \dots, \beta^*_{k-1} \rangle, \langle \beta_0, \dots, \beta_{k-1} \rangle, \mathfrak{H})) = \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}))$ . Sodann ist mit Theorem 1-22-(iv)  $[\beta^*_k, \beta_k, \langle \beta^*_0, \dots, \beta^*_{k-1} \rangle, \langle \beta_0, \dots, \beta_{k-1} \rangle, \mathfrak{H}] = [\langle \beta^*_0, \dots, \beta^*_k \rangle, \langle \beta_0, \dots, \beta_k \rangle, \mathfrak{H}]$  und mit Theorem 4-8 dann  $(\langle \beta^*_0, \dots, \beta^*_k \rangle, \langle \beta_0, \dots, \beta_k \rangle, \mathfrak{H}) \in \text{HL}$  und  $\text{Dom}(\text{VERS}(\langle \beta^*_0, \dots, \beta^*_k \rangle, \langle \beta_0, \dots, \beta_k \rangle, \mathfrak{H})) = \text{Dom}(\text{VERS}(\langle \beta^*_0, \dots, \beta^*_{k-1} \rangle, \langle \beta_0, \dots, \beta_{k-1} \rangle, \mathfrak{H})) = \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}))$ .  $\square$

**Theorem 4-11. UE-Fortsetzung einer Sequenz**

Wenn  $\mathfrak{H} \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ ,  $k \neq \emptyset$ ,  $\{\xi_0, \dots, \xi_{k-1}\} \subseteq \text{VAR}$ , wobei für  $i, j < k$  mit  $i \neq j$  gelte:  $\xi_i \neq \xi_j$ ,  $\Delta \in \text{FORM}$ , wobei  $\text{FV}(\Delta) \subseteq \{\xi_0, \dots, \xi_{k-1}\}$  und  $\{\beta_0, \dots, \beta_{k-1}\} \subseteq \text{PAR} \setminus \text{TTFM}(\{\Delta\} \cup \text{VAN}(\mathfrak{H}))$ , wobei für  $i, j < k$  mit  $i \neq j$  gilt:  $\beta_i \neq \beta_j$ , und  $\text{K}(\mathfrak{H}) = [\langle \beta_0, \dots, \beta_{k-1} \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{k-1} \rangle, \Delta]$ , dann gibt es ein  $\mathfrak{H}^* \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ , so dass

- (i)  $\text{PAR} \cap \text{TTSEQ}(\mathfrak{H}^*) = \text{PAR} \cap \text{TTSEQ}(\mathfrak{H})$ ,
- (ii)  $\text{VAN}(\mathfrak{H}^*) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H})$  und
- (iii)  $\text{K}(\mathfrak{H}^*) = \ulcorner \bigwedge \xi_0 \dots \bigwedge \xi_{k-1} \Delta \urcorner$ .

*Beweis:* Durch Induktion über  $k$ . Sei  $k = 1$  und  $\mathfrak{H} \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ , sei  $\xi \in \text{VAR}$ ,  $\Delta \in \text{FORM}$ , wobei  $\text{FV}(\Delta) \subseteq \{\xi\}$  und  $\beta \in \text{PAR} \setminus \text{TTFM}(\{\Delta\} \cup \text{VAN}(\mathfrak{H}))$  und  $\text{K}(\mathfrak{H}) = [\beta, \xi, \Delta]$ . Da dann mit Theorem 2-81  $[\beta, \xi, \Delta] = \text{K}(\mathfrak{H}) \in \text{VER}(\mathfrak{H})$ , ist nach Definition 3-12  $\mathfrak{H}^* = \mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \text{Also } \bigwedge \xi \Delta \urcorner)\} \in \text{UEF}(\mathfrak{H}) \subseteq \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$  und  $\text{K}(\mathfrak{H}^*) = \ulcorner \bigwedge \xi \Delta \urcorner$ . Sodann ist  $\text{PAR} \cap \text{TTSEQ}(\mathfrak{H}^*) = (\text{PAR} \cap \text{TTSEQ}(\mathfrak{H})) \cup (\text{PAR} \cap \text{TT}(\ulcorner \bigwedge \xi \Delta \urcorner)) = \text{PAR} \cap \text{TTSEQ}(\mathfrak{H})$  und mit Theorem 3-26-(v) ist  $\text{VAN}(\mathfrak{H}^*) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H})$ .

Gelte die Behauptung nun für  $k$  und sei  $\mathfrak{H} \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ ,  $\{\xi_0, \dots, \xi_k\} \subseteq \text{VAR}$ , wobei für  $i, j < k+1$  mit  $i \neq j$  gelte:  $\xi_i \neq \xi_j$ ,  $\Delta \in \text{FORM}$ , wobei  $\text{FV}(\Delta) \subseteq \{\xi_0, \dots, \xi_k\}$  und  $\{\beta_0, \dots, \beta_k\} \subseteq \text{PAR} \setminus \text{TTFM}(\{\Delta\} \cup \text{VAN}(\mathfrak{H}))$ , wobei für  $i, j < k+1$  mit  $i \neq j$  gelte:  $\beta_i \neq \beta_j$ , und  $\text{K}(\mathfrak{H}) = [\langle \beta_0, \dots, \beta_k \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_k \rangle, \Delta]$ . Mit Theorem 1-23-(ii) ist dann  $\text{K}(\mathfrak{H}) = [\langle \beta_0, \dots, \beta_k \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_k \rangle, \Delta] = [\beta_k, \xi_k, [\langle \beta_0, \dots, \beta_{k-1} \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{k-1} \rangle, \Delta]]$ . Mit  $\text{FV}(\Delta) \subseteq \{\xi_0, \dots, \xi_k\}$  ist dann  $\text{FV}(\langle [\beta_0, \dots, \beta_{k-1}], \langle \xi_0, \dots, \xi_{k-1} \rangle, \Delta \rangle) \subseteq \{\xi_k\}$  und mit der paarweisen Verschiedenheit der  $\beta_i$  und  $\{\beta_0, \dots, \beta_k\} \subseteq \text{PAR} \setminus \text{TTFM}(\{\Delta\} \cup \text{VAN}(\mathfrak{H}))$  ist dann  $\beta_k \in \text{PAR} \setminus \text{TTFM}(\{[\langle \beta_0, \dots, \beta_{k-1} \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{k-1} \rangle, \Delta]\} \cup \text{VAN}(\mathfrak{H}))$ . Da sodann  $[\beta_k, \xi_k, [\langle \beta_0, \dots, \beta_{k-1} \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{k-1} \rangle, \Delta]] = \text{K}(\mathfrak{H}) \in \text{VER}(\mathfrak{H})$  ist nach Definition 3-12  $\mathfrak{H}' = \mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \text{Also } \bigwedge \xi_k [\langle \beta_0, \dots, \beta_{k-1} \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{k-1} \rangle, \Delta] \urcorner)\} \in \text{UEF}(\mathfrak{H}) \subseteq \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$  und  $\text{K}(\mathfrak{H}') = \ulcorner \bigwedge \xi_k [\langle \beta_0, \dots, \beta_{k-1} \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{k-1} \rangle, \Delta] \urcorner$  und  $\text{PAR} \cap \text{TTSEQ}(\mathfrak{H}') = (\text{PAR} \cap \text{TTSEQ}(\mathfrak{H})) \cup (\text{PAR} \cap \text{TT}(\ulcorner \bigwedge \xi_k [\langle \beta_0, \dots, \beta_{k-1} \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{k-1} \rangle, \Delta] \urcorner)) = \text{PAR} \cap \text{TTSEQ}(\mathfrak{H})$  und mit Theorem 3-26-(v) ist  $\text{VAN}(\mathfrak{H}') \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H})$ . Wegen der paarweisen Verschiedenheit der  $\xi_i$  ist sodann für alle  $i < k$   $\xi_i \neq \xi_k$ . Damit ist dann  $\text{K}(\mathfrak{H}) = \ulcorner \bigwedge \xi_k [\langle \beta_0, \dots, \beta_{k-1} \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{k-1} \rangle, \Delta] \urcorner = [\langle \beta_0, \dots, \beta_{k-1} \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{k-1} \rangle, \ulcorner \bigwedge \xi_k \Delta \urcorner]$ . Mit  $\text{FV}(\Delta) \subseteq \{\xi_0, \dots, \xi_k\}$  ist dann  $\text{FV}(\ulcorner \bigwedge \xi_k \Delta \urcorner) \subseteq \{\xi_0, \dots, \xi_{k-1}\}$ , wobei die  $\xi_i$  mit  $i < k$  paarweise verschieden sind. Sodann ist mit  $\{\beta_0, \dots, \beta_k\} \subseteq \text{PAR} \setminus \text{TTFM}(\{\Delta\} \cup \text{VAN}(\mathfrak{H}))$  dann  $\{\beta_0, \dots, \beta_{k-1}\} \subseteq \text{PAR} \setminus \text{TTFM}(\{\ulcorner \bigwedge \xi_k \Delta \urcorner\} \cup \text{VAN}(\mathfrak{H}))$ , wobei die  $\beta_i$  mit  $i < k$  ebenfalls paarweise verschieden sind. Nach I.V. gibt es damit mit  $\text{K}(\mathfrak{H}') = [\langle \beta_0, \dots, \beta_{k-1} \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{k-1} \rangle, \ulcorner \bigwedge \xi_k \Delta \urcorner]$

ein  $\mathfrak{H}^* \in \text{HL}(\mathfrak{H}') \setminus \{\emptyset\}$ , so dass  $\text{PAR} \cap \text{TTSEQ}(\mathfrak{H}^*) = \text{PAR} \cap \text{TTSEQ}(\mathfrak{H}') = \text{PAR} \cap \text{TTSEQ}(\mathfrak{H})$ ,  $\text{VAN}(\mathfrak{H}^*) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H}') \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H})$  und  $\text{K}(\mathfrak{H}^*) = \ulcorner \wedge \xi_0 \dots \wedge \xi_k \Delta \urcorner$ .  $\square$

**Theorem 4-12.** *UB-Fortsetzung einer Sequenz*

Wenn  $\mathfrak{H} \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ ,  $\{\theta_0, \dots, \theta_{k-1}\} \subseteq \text{GTERM}$ ,  $\{\xi_0, \dots, \xi_{k-1}\} \subseteq \text{VAR}$ , wobei für alle  $i, j < k$  mit  $i \neq j$   $\xi_i \neq \xi_j$ ,  $\Delta \in \text{FORM}$ , wobei  $\text{FV}(\Delta) \subseteq \{\xi_0, \dots, \xi_{k-1}\}$  und  $\ulcorner \wedge \xi_0 \dots \wedge \xi_{k-1} \Delta \urcorner \in \text{VER}(\mathfrak{H})$ , dann gibt es ein  $\mathfrak{H}^* \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ , so dass:

- (i)  $\text{Dom}(\mathfrak{H}^*) = \text{Dom}(\mathfrak{H}) + k$ ,
- (ii)  $\mathfrak{H}^* \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}) = \mathfrak{H}$ ,
- (iii)  $\text{VAN}(\mathfrak{H}^*) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H})$ ,
- (iv) Für alle  $i$  mit  $0 \leq i < k-1$  gilt:  $\text{K}(\mathfrak{H}^* \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}) + i + 1) = \ulcorner \wedge \xi_{i+1} \dots \wedge \xi_{k-1} [\langle \theta_0, \dots, \theta_i \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_i \rangle, \Delta] \urcorner$  und
- (v)  $\text{K}(\mathfrak{H}^*) = [\langle \theta_0, \dots, \theta_{k-1} \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{k-1} \rangle, \Delta]$ .

*Beweis:* Durch Induktion über  $k$ : Sei  $k = 1$ . Seien  $\mathfrak{H} \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ ,  $\theta \in \text{GTERM}$ ,  $\xi \in \text{VAR}$ ,  $\Delta \in \text{FORM}$ , wobei  $\text{FV}(\Delta) \subseteq \{\xi\}$  und  $\ulcorner \wedge \xi \Delta \urcorner \in \text{VER}(\mathfrak{H})$ . Dann gilt mit Definition 3-13:  $\mathfrak{H}^* = \mathfrak{H} \frown \{(0, \ulcorner \text{Also } [\theta, \xi, \Delta] \urcorner)\} \in \text{UBF}(\mathfrak{H}) \subseteq \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$  und es ist  $\text{Dom}(\mathfrak{H}^*) = \text{Dom}(\mathfrak{H}) + 1$  und  $\mathfrak{H}^* \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}) = \mathfrak{H}$  und mit Theorem 3-27-(v) ist  $\text{VAN}(\mathfrak{H}^*) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H})$ , (iv) ist wegen  $k = 1$  trivialerweise erfüllt und  $\text{K}(\mathfrak{H}') = [\theta, \xi, \Delta]$ .

Gelte die Behauptung nun für  $k$  und sei  $\mathfrak{H} \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ ,  $\{\theta_0, \dots, \theta_k\} \subseteq \text{GTERM}$ ,  $\{\xi_0, \dots, \xi_k\} \subseteq \text{VAR}$ , wobei für alle  $i, j < k+1$  mit  $i \neq j$   $\xi_i \neq \xi_j$ ,  $\Delta \in \text{FORM}$ , wobei  $\text{FV}(\Delta) \subseteq \{\xi_0, \dots, \xi_k\}$  und  $\ulcorner \wedge \xi_0 \dots \wedge \xi_k \Delta \urcorner \in \text{VER}(\mathfrak{H})$ . Dann gilt mit  $\text{FV}(\Delta) \subseteq \{\xi_0, \dots, \xi_k\}$ , dass  $\text{FV}(\wedge \xi_1 \dots \wedge \xi_k \Delta) \subseteq \{\xi_0\}$  und mit  $\theta_0 \in \text{GTERM}$  und  $\ulcorner \wedge \xi_0 \dots \wedge \xi_k \Delta \urcorner \in \text{VER}(\mathfrak{H})$  gilt mit Definition 3-13:  $\mathfrak{H}' = \mathfrak{H} \frown \{(0, \ulcorner \text{Also } [\theta_0, \xi_0, \wedge \xi_1 \dots \wedge \xi_k \Delta] \urcorner)\} \in \text{UBF}(\mathfrak{H}) \subseteq \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ . Dann ist  $\text{Dom}(\mathfrak{H}') = \text{Dom}(\mathfrak{H}) + 1$  und  $\mathfrak{H}' \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}) = \mathfrak{H}$  und mit Theorem 3-27-(v) ist  $\text{VAN}(\mathfrak{H}') \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H})$ . Wegen der paarweisen Verschiedenheit der  $\xi_i$  ist sodann für alle  $i$  mit  $0 < i \leq k$ :  $\xi_0 \neq \xi_i$ . Damit ist dann  $\text{K}(\mathfrak{H}') = [\theta_0, \xi_0, \ulcorner \wedge \xi_1 \dots \wedge \xi_k \Delta \urcorner] = \ulcorner \wedge \xi_1 \dots \wedge \xi_k [\theta_0, \xi_0, \Delta] \urcorner$ .

Sei nun  $\zeta_i = \xi_{i+1}$  und  $\theta'_i = \theta_{i+1}$  für alle  $i \in k$ . Dann gilt  $\{\theta'_0, \dots, \theta'_{k-1}\} \subseteq \text{GTERM}$ ,  $\{\zeta_0, \dots, \zeta_{k-1}\} \subseteq \text{VAR}$ , wobei für alle  $i, j < k$  mit  $i \neq j$   $\zeta_i \neq \zeta_j$ ,  $[\theta_0, \xi_0, \Delta] \in \text{FORM}$ , wobei mit  $\text{FV}(\Delta) \subseteq \{\xi_0, \dots, \xi_k\}$  und  $\theta_0 \in \text{GTERM}$  gilt:  $\text{FV}([\theta_0, \xi_0, \Delta]) \subseteq \{\xi_1, \dots, \xi_k\} = \{\zeta_0, \dots, \zeta_{k-1}\}$ , und mit Theorem 2-81 gilt:  $\ulcorner \wedge \zeta_0 \dots \wedge \zeta_{k-1} [\theta_0, \xi_0, \Delta] \urcorner = \ulcorner \wedge \xi_1 \dots \wedge \xi_k [\theta_0, \xi_0, \Delta] \urcorner = \text{K}(\mathfrak{H}') \in \text{VER}(\mathfrak{H}')$ . Dann gilt mit I.V., dass es ein  $\mathfrak{H}^* \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$  gibt, so dass:

- a)  $\text{Dom}(\mathfrak{H}^*) = \text{Dom}(\mathfrak{H}') + k - 1$ ,
- b)  $\mathfrak{H}^* \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}') = \mathfrak{H}'$
- c)  $\text{VAN}(\mathfrak{H}^*) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H}')$ ,
- d) Für alle  $i$  mit  $0 \leq i < k-2$  gilt:  $\text{K}(\mathfrak{H}^* \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}') + i + 1) = \ulcorner \bigwedge_{\xi_{i+1}} \dots \bigwedge_{\xi_{k-2}} [\langle \theta'_0, \dots, \theta'_i \rangle, \langle \zeta_0, \dots, \zeta_i \rangle, [\theta_0, \xi_0, \Delta]] \urcorner$  und
- e)  $\text{K}(\mathfrak{H}^*) = [\langle \theta'_0, \dots, \theta'_{k-2} \rangle, \langle \zeta_0, \dots, \zeta_{k-2} \rangle, [\theta_0, \xi_0, \Delta]]$ .

Dann ergibt sich mit a) wegen  $\text{Dom}(\mathfrak{H}') = \text{Dom}(\mathfrak{H}) + 1$ :  $\text{Dom}(\mathfrak{H}^*) = \text{Dom}(\mathfrak{H}) + k + 1$ . Sodann ergibt sich mit b) wegen  $\mathfrak{H}' \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}) = \mathfrak{H}$  auch  $\mathfrak{H}^* \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}) = \mathfrak{H}$ . Mit e) ergibt sich wegen  $\text{VAN}(\mathfrak{H}') \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H})$ , dass  $\text{VAN}(\mathfrak{H}^*) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H})$ . Damit gelten für  $\mathfrak{H}^*$  bereits, dass  $\mathfrak{H}^* \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$  und die Klauseln (i) bis (iii). Aus d) ergibt sich sodann mit  $\zeta_i = \xi_{i+1}$  und  $\theta'_i = \theta_{i+1}$ :

Für alle  $i$  mit  $0 \leq i < k-1$  gilt:  $\text{K}(\mathfrak{H}^* \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}') + i + 1) = \ulcorner \bigwedge_{\xi_{i+2}} \dots \bigwedge_{\xi_{k-1}} [\langle \theta_1, \dots, \theta_{i+1} \rangle, \langle \xi_1, \dots, \xi_{i+1} \rangle, [\theta_0, \xi_0, \Delta]] \urcorner$

Mit  $\text{Dom}(\mathfrak{H}') = \text{Dom}(\mathfrak{H}) + 1$  gilt damit:

f) Für alle  $i$  mit  $0 \leq i < k-1$  gilt:  $\text{K}(\mathfrak{H}^* \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}) + i + 1 + 1) = \ulcorner \bigwedge_{\xi_{i+2}} \dots \bigwedge_{\xi_{k-1}} [\langle \theta_1, \dots, \theta_{i+1} \rangle, \langle \xi_1, \dots, \xi_{i+1} \rangle, [\theta_0, \xi_0, \Delta]] \urcorner$

Damit gilt:

g) Für alle  $i$  mit  $0 < i < k-1$ :  $\text{K}(\mathfrak{H}^* \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}) + i + 1) = \ulcorner \bigwedge_{\xi_{i+1}} \dots \bigwedge_{\xi_{k-1}} [\langle \theta_1, \dots, \theta_i \rangle, \langle \xi_1, \dots, \xi_i \rangle, [\theta_0, \xi_0, \Delta]] \urcorner$ .

Sodann gilt:

h) Für alle  $i$  mit  $0 < i \leq k-1$ :  $[\langle \theta_1, \dots, \theta_i \rangle, \langle \xi_1, \dots, \xi_i \rangle, [\theta_0, \xi_0, \Delta]] = [\langle \theta_0, \dots, \theta_i \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_i \rangle, \Delta]$ .

h) kann mittels Induktion über  $i$  gezeigt werden. Es gilt nämlich zunächst mit Theorem 1-23, dass  $[\theta_1, \xi_1, [\theta_0, \xi_0, \Delta]] = [\langle \theta_0, \theta_1 \rangle, \langle \xi_0, \xi_1 \rangle, \Delta]$ . Gelte nun für  $i$ : Wenn  $0 < i \leq k-1$ , dann  $[\langle \theta_1, \dots, \theta_i \rangle, \langle \xi_1, \dots, \xi_i \rangle, [\theta_0, \xi_0, \Delta]] = [\langle \theta_0, \dots, \theta_i \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_i \rangle, \Delta]$ . Sei nun  $0 < i+1 \leq k-1$ . Dann ergibt sich wieder mit Theorem 1-23:  $[\langle \theta_1, \dots, \theta_{i+1} \rangle, \langle \xi_1, \dots, \xi_{i+1} \rangle, [\theta_0, \xi_0, \Delta]] = [\theta_{i+1}, \xi_{i+1}, [\langle \theta_1, \dots, \theta_i \rangle, \langle \xi_1, \dots, \xi_i \rangle, [\theta_0, \xi_0, \Delta]]]$ . Mit I.V. gilt dann  $[\theta_{i+1}, \xi_{i+1}, [\langle \theta_1, \dots, \theta_i \rangle, \langle \xi_1, \dots, \xi_i \rangle, [\theta_0, \xi_0, \Delta]]] = [\langle \theta_0, \dots, \theta_{i+1} \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{i+1} \rangle, \Delta]$ .

$\dots, \xi_i\rangle, [\theta_0, \xi_0, \Delta]] = [\theta_{i+1}, \xi_{i+1}, [\langle\theta_0, \dots, \theta_i\rangle, \langle\xi_0, \dots, \xi_i\rangle, \Delta]]$  und wiederum mit Theorem 1-23:  $[\theta_{i+1}, \xi_{i+1}, [\langle\theta_0, \dots, \theta_i\rangle, \langle\xi_0, \dots, \xi_i\rangle, \Delta]] = [\langle\theta_0, \dots, \theta_{i+1}\rangle, \langle\xi_0, \dots, \xi_{i+1}\rangle, \Delta]$  und damit insgesamt:  $[\langle\theta_1, \dots, \theta_{i+1}\rangle, \langle\xi_1, \dots, \xi_{i+1}\rangle, [\theta_0, \xi_0, \Delta]] = [\langle\theta_0, \dots, \theta_{i+1}\rangle, \langle\xi_0, \dots, \xi_{i+1}\rangle, \Delta]$ . Also gilt h).

Sodann gilt mit  $\text{Dom}(\mathfrak{H}') = \text{Dom}(\mathfrak{H})+1$  und  $K(\mathfrak{H}^* \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}')) = K(\mathfrak{H}') = \ulcorner \wedge \xi_1 \dots \wedge \xi_k [\theta_0, \xi_0, \Delta] \urcorner$ , dass  $K(\mathfrak{H}^* \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})+0+1) = \ulcorner \wedge \xi_1 \dots \wedge \xi_k [\theta_0, \xi_0, \Delta] \urcorner$ . Mit g) und h) gilt dann insgesamt Klausel (iv):

Für alle  $0 \leq i < k-1$  gilt:  $K(\mathfrak{H}^* \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})+i+1) = \ulcorner \wedge \xi_{i+1} \dots \wedge \xi_{k-1} [\langle\theta_0, \dots, \theta_i\rangle, \langle\xi_0, \dots, \xi_i\rangle, \Delta] \urcorner$ .

Zuletzt gilt mit e), h) und  $\theta'_i = \theta_{i+1}$  und  $\zeta_i = \xi_{i+1}$ :

$$\begin{aligned} K(\mathfrak{H}^*) &= [\langle\theta'_0, \dots, \theta'_{k-2}\rangle, \langle\zeta_0, \dots, \zeta_{k-2}\rangle, [\theta_0, \xi_0, \Delta]] \\ &= \\ &[\langle\theta_1, \dots, \theta_{k-1}\rangle, \langle\xi_1, \dots, \xi_{k-1}\rangle, [\theta_0, \xi_0, \Delta]] \\ &= \\ &[\langle\theta_0, \dots, \theta_{k-1}\rangle, \langle\xi_0, \dots, \xi_{k-1}\rangle, \Delta] \end{aligned}$$

und damit Klausel (v), womit  $\mathfrak{H}^*$  insgesamt das gesuchte Element von HL ist.  $\square$

**Theorem 4-13.** *Induktionsbasis für Theorem 4-14*

Wenn  $\mathfrak{H}, \mathfrak{H}' \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$  und  $\text{VANS}(\mathfrak{H}') = \emptyset$ , dann gibt es ein  $\mathfrak{H}^* \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ , so dass

- (i)  $K(\mathfrak{H}), K(\mathfrak{H}') \in \text{VER}(\mathfrak{H}^*)$  und
- (ii)  $\text{VAN}(\mathfrak{H}^*) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H})$ .

*Beweis:* Seien  $\mathfrak{H}, \mathfrak{H}' \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$  und sei  $\text{VANS}(\mathfrak{H}') = \emptyset$ . Wenn  $K(\mathfrak{H}) = K(\mathfrak{H}')$ , können sowohl  $\mathfrak{H}$  als auch  $\mathfrak{H}'$  für  $\mathfrak{H}^*$  gewählt werden. Sei nun  $K(\mathfrak{H}) \neq K(\mathfrak{H}')$ . Dann lassen sich mit  $\text{PAR} \cap \text{TTSEQ}(\mathfrak{H}) \cap \text{TTSEQ}(\mathfrak{H}') = \emptyset$  und  $\text{PAR} \cap \text{TTSEQ}(\mathfrak{H}) \cap \text{TTSEQ}(\mathfrak{H}') \neq \emptyset$  zwei Fälle unterscheiden.

*Erster Fall.* Sei  $\text{PAR} \cap \text{TTSEQ}(\mathfrak{H}) \cap \text{TTSEQ}(\mathfrak{H}') = \emptyset$ . Dann gibt es ein  $\alpha \in \text{KONST} \setminus (\text{TTSEQ}(\mathfrak{H}) \cup \text{TTSEQ}(\mathfrak{H}'))$ . Dann gibt es mit Theorem 4-4  $\mathfrak{H}^+ \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ , so dass  $\text{VER}(\mathfrak{H}^+) \subseteq \text{VER}(\mathfrak{H}) \cup \text{VER}(\mathfrak{H}')$  und  $\text{VAN}(\mathfrak{H}^+) = \text{VAN}(\mathfrak{H}) \cup \{\ulcorner \alpha = \alpha \urcorner\} \cup \text{VAN}(\mathfrak{H}')$ . Nun ist mit Theorem 2-81  $K(\mathfrak{H}) \in \text{VER}(\mathfrak{H})$  und  $K(\mathfrak{H}') \in \text{VER}(\mathfrak{H}')$  und damit sind dann  $K(\mathfrak{H}), K(\mathfrak{H}') \in \text{VER}(\mathfrak{H}^+)$ . Sodann gibt es mit Theorem 4-7  $\mathfrak{H}^* \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ , so dass  $\text{VAN}(\mathfrak{H}^*) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H}^+) \setminus \{\ulcorner \alpha = \alpha \urcorner\} = (\text{VAN}(\mathfrak{H}) \cup \{\ulcorner \alpha = \alpha \urcorner\} \cup \text{VAN}(\mathfrak{H}')) \setminus \{\ulcorner \alpha = \alpha \urcorner\}$

$\subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H}) \cup \text{VAN}(\mathfrak{H}')$  und  $\text{K}(\mathfrak{H}), \text{K}(\mathfrak{H}') \in \text{VER}(\mathfrak{H}^*)$ , womit  $\mathfrak{H}^*$  das gesuchte HL-Element ist.

*Zweiter Fall:* Sei nun  $\text{PAR} \cap \text{TTSEQ}(\mathfrak{H}) \cap \text{TTSEQ}(\mathfrak{H}') \neq \emptyset$ . Dann kommen in  $\mathfrak{H}'$   $k$  paarweise verschiedene Parameter für ein  $k \in \mathbb{N} \setminus \{0\}$  vor. Sei nun  $\{\beta_0, \dots, \beta_{k-1}\} = \text{PAR} \cap \text{TTSEQ}(\mathfrak{H}')$  und für alle  $i, j < k$  mit  $i \neq j$  sei  $\beta_i \neq \beta_j$ . Nun gibt es  $\{\beta^*_{0}, \dots, \beta^*_{k-1}\} \subseteq \text{PAR} \setminus (\text{TTSEQ}(\mathfrak{H}) \cup \text{TTSEQ}(\mathfrak{H}'))$ , wobei für alle  $i, j < k$ : Wenn  $i \neq j$ , dann  $\beta^*_i \neq \beta^*_j$ . Sodann gibt es  $\xi_0, \dots, \xi_{k-1} \in \text{VAR} \setminus (\text{TTSEQ}(\mathfrak{H}) \cup \text{TTSEQ}(\mathfrak{H}'))$ , wobei für alle  $i, j < k$ : Wenn  $i \neq j$ , dann  $\xi_i \neq \xi_j$ .

Nun gilt mit Theorem 2-76 wegen  $\text{VANS}(\mathfrak{H}') = \emptyset$  auch  $\text{VAN}(\mathfrak{H}') = \emptyset$ . Sodann gibt es mit Theorem 1-11 ein  $\Delta \in \text{FORM}$ , wobei  $\text{FV}(\Delta) \subseteq \{\xi_0, \dots, \xi_{k-1}\} \cup \text{FV}(\text{K}(\mathfrak{H}')) = \{\xi_0, \dots, \xi_{k-1}\}$  und  $\text{TT}(\Delta) \cap \{\beta_0, \dots, \beta_{k-1}\} = \emptyset$ , so dass  $\text{K}(\mathfrak{H}') = [\langle \beta_0, \dots, \beta_{k-1} \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{k-1} \rangle, \Delta]$ . Mit Theorem 4-11 gilt dann, dass es ein  $\mathfrak{H}^1 \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$  gibt, so dass  $\text{PAR} \cap \text{TTSEQ}(\mathfrak{H}^1) = \text{PAR} \cap \text{TTSEQ}(\mathfrak{H}')$ ,  $\text{VAN}(\mathfrak{H}^1) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H}') = \emptyset$  und damit auch  $\text{VANS}(\mathfrak{H}^1) = \emptyset$  und  $\text{K}(\mathfrak{H}^1) = \ulcorner \wedge \xi_0 \dots \wedge \xi_{k-1} \Delta \urcorner$ . Sodann gilt dann mit  $\text{K}(\mathfrak{H}') = [\langle \beta_0, \dots, \beta_{k-1} \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{k-1} \rangle, \Delta]$ , dass  $\text{PAR} \cap \text{TT}(\Delta) \subseteq \text{PAR} \cap \text{TTSEQ}(\mathfrak{H}') = \{\beta_0, \dots, \beta_{k-1}\}$  und mit  $\text{TT}(\Delta) \cap \{\beta_0, \dots, \beta_{k-1}\} = \emptyset$ , dass  $\text{PAR} \cap \text{TT}(\Delta) = \text{PAR} \cap \text{TT}(\ulcorner \wedge \xi_0 \dots \wedge \xi_{k-1} \Delta \urcorner) = \text{PAR} \cap \text{TT}(\text{K}(\mathfrak{H}^1)) = \emptyset$ .

Sodann gilt mit Theorem 4-10:  $\mathfrak{H}^2 = [\langle \beta^*_{0}, \dots, \beta^*_{k-1} \rangle, \langle \beta_0, \dots, \beta_{k-1} \rangle, \mathfrak{H}^1] \in \text{HL}$  und  $\text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}^2)) = \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}^1))$  und damit  $\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^2)) = \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^1)) = \emptyset$  und somit auch  $\text{VAN}(\mathfrak{H}^2) = \emptyset$ . Sodann ist dann  $\text{PAR} \cap \text{TTSEQ}(\mathfrak{H}) \cap \text{TTSEQ}(\mathfrak{H}^2) = \text{PAR} \cap \text{TTSEQ}(\mathfrak{H}) \cap \{\beta^*_{0}, \dots, \beta^*_{k-1}\} = \emptyset$ . Ferner gilt wegen  $\text{PAR} \cap \text{TT}(\text{K}(\mathfrak{H}^1)) = \emptyset$ , dass  $\text{K}(\mathfrak{H}^2) = [\langle \beta^*_{0}, \dots, \beta^*_{k-1} \rangle, \langle \beta_0, \dots, \beta_{k-1} \rangle, \text{K}(\mathfrak{H}^1)] = \text{K}(\mathfrak{H}^1) = \ulcorner \wedge \xi_0 \dots \wedge \xi_{k-1} \Delta \urcorner$ . Nun gibt es ein  $\alpha \in \text{KONST}(\text{TT}(\mathfrak{H}) \cup \text{TT}(\mathfrak{H}^2))$ . Mit Theorem 4-4 gibt es dann wegen  $\text{PAR} \cap \text{TTSEQ}(\mathfrak{H}) \cap \text{TTSEQ}(\mathfrak{H}^2) = \emptyset$  ein  $\mathfrak{H}^3 \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ , so dass:

- $\text{Dom}(\mathfrak{H}^3) = \text{Dom}(\mathfrak{H}) + 1 + \text{Dom}(\mathfrak{H}^2)$ ,
- $\mathfrak{H}^3 \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}) = \mathfrak{H}$ ,
- $\mathfrak{H}^3_{\text{Dom}(\mathfrak{H})} = \ulcorner \text{Sei } \alpha = \alpha \urcorner$ ,
- Für alle  $i \in \text{Dom}(\mathfrak{H}^2)$  ist  $\mathfrak{H}^2_i = \mathfrak{H}^3_{\text{Dom}(\mathfrak{H})+1+i}$ ,
- $\text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}^3)) = \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H})) \cup \{\text{Dom}(\mathfrak{H})\} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})+1+l \mid l \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H}^2)))\}$ ,

- f)  $\text{VER}(\mathfrak{H}^3) = \text{VER}(\mathfrak{H}) \cup \{\alpha = \alpha\} \cup \text{VER}(\mathfrak{H}^2)$  und  
g)  $\text{VAN}(\mathfrak{H}^3) = \text{VAN}(\mathfrak{H}) \cup \{\alpha = \alpha\} \cup \text{VAN}(\mathfrak{H}^2) = \text{VAN}(\mathfrak{H}) \cup \{\alpha = \alpha\}$ .

Nun ist mit Theorem 2-81  $K(\mathfrak{H}) \in \text{VER}(\mathfrak{H})$  und somit mit f)  $K(\mathfrak{H}) \in \text{VER}(\mathfrak{H}^3)$ . Sodann ist  $\ulcorner \bigwedge \xi_0 \dots \bigwedge \xi_{k-1} \Delta \urcorner = K(\mathfrak{H}^2) = K(\mathfrak{H}^3)$ . Mit Theorem 4-12 gibt es dann ein  $\mathfrak{H}^4 \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ , so dass

- h)  $\text{Dom}(\mathfrak{H}^4) = \text{Dom}(\mathfrak{H}^3) + k$ ,  
i)  $\mathfrak{H}^4 \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}^3) = \mathfrak{H}^3$ ,  
j)  $\text{VAN}(\mathfrak{H}^4) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H}^3) = \text{VAN}(\mathfrak{H}) \cup \{\alpha = \alpha\}$ ,  
k) Für alle  $0 \leq i < k-1$  gilt:  $K(\mathfrak{H}^4 \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}^3) + i + 1) = \ulcorner \bigwedge \xi_{i+1} \dots \bigwedge \xi_{k-1} [\langle \beta_0, \dots, \beta_i \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_i \rangle, \Delta] \urcorner$  und  
l)  $K(\mathfrak{H}^4) = [\langle \beta_0, \dots, \beta_{k-1} \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{k-1} \rangle, \Delta]$ .

Dann gilt zum einen, dass  $K(\mathfrak{H}') = [\langle \beta_0, \dots, \beta_{k-1} \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{k-1} \rangle, \Delta] = K(\mathfrak{H}^4) \in \text{VER}(\mathfrak{H}^4)$ . Sodann gilt:  $\mathfrak{H}^4_{\text{Dom}(\mathfrak{H})} = \mathfrak{H}^3_{\text{Dom}(\mathfrak{H})} = \ulcorner \text{Sei } \alpha = \alpha \urcorner$ . Da sodann  $\alpha \in \text{KONST} \setminus (\text{TT}(\mathfrak{H}) \cup \text{TT}(\mathfrak{H}^2))$  und damit  $\alpha \notin \text{TT}(\Delta)$  und  $\text{PAR} \cap \text{KONST} = \emptyset$ , ergibt sich mit h), i), k) und l), dass für alle  $l \in \text{Dom}(\mathfrak{H}^4)$  gilt:

$$\alpha \in \text{TT}(\mathfrak{H}^4_l) \text{ gdw } l = \text{Dom}(\mathfrak{H}).$$

Damit gilt mit  $\mathfrak{H}^4_{\text{Dom}(\mathfrak{H})} \in \text{ANS}(\mathfrak{H}^4)$  und Theorem 4-3: Es gibt keinen geschlossenen Abschnitt  $\mathfrak{A}$  in  $\mathfrak{H}^4$ , so dass  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) \leq \text{Dom}(\mathfrak{H}) < \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ . Nach Theorem 2-42 ist nun jeder geschlossene Abschnitt  $\mathfrak{A}$  in  $\mathfrak{H}$  ein SE- oder NE- oder EA-artiger Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ . Damit gibt es dann wegen  $\mathfrak{H}^4_{\text{Dom}(\mathfrak{H})} \in \text{ANS}(\mathfrak{H}^4)$  keinen geschlossenen Abschnitt  $\mathfrak{A}$  in  $\mathfrak{H}$ , so dass  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) \leq \text{Dom}(\mathfrak{H}) - 1 < \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ . Wäre nämlich  $\mathfrak{A}$  ein solcher Abschnitt in  $\mathfrak{H}$ , dann wäre  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) \leq \text{Dom}(\mathfrak{H}) \leq \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$  und wegen  $\mathfrak{H}^4_{\text{Dom}(\mathfrak{H})} \in \text{ANS}(\mathfrak{H}^4)$  wäre dann nach Theorem 2-28  $\text{Dom}(\mathfrak{H}) \neq \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$  und damit  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) \leq \text{Dom}(\mathfrak{H}) < \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$ . Widerspruch! Also gibt es keinen geschlossenen Abschnitt  $\mathfrak{A}$  in  $\mathfrak{H}$ , so dass  $\min(\text{Dom}(\mathfrak{A})) \leq \text{Dom}(\mathfrak{H}) - 1 < \max(\text{Dom}(\mathfrak{A}))$  und damit ist dann  $A(\mathfrak{H}^4_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-1}) = K(\mathfrak{H}) \in \text{VER}(\mathfrak{H}^4)$ . Ferner ist mit Theorem 2-81  $K(\mathfrak{H}') = K(\mathfrak{H}^4) \in \text{VER}(\mathfrak{H})$ . Damit gibt es mit Theorem 4-7 ein  $\mathfrak{H}^5 \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ , so dass  $\text{VAN}(\mathfrak{H}^5) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H}^4) \setminus \{\ulcorner \alpha = \alpha \urcorner\} \subseteq (\text{VAN}(\mathfrak{H}) \cup \{\alpha = \alpha\}) \setminus \{\ulcorner \alpha = \alpha \urcorner\} \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H})$  und  $K(\mathfrak{H}), K(\mathfrak{H}') \in \text{VER}(\mathfrak{H}^5)$ .  $\square$

**Theorem 4-14.** *SB-, KE-, BE-, BB- und IB-Vorbereitungstheorem*

Wenn  $\mathfrak{H}, \mathfrak{H}' \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ , dann gibt es ein  $\mathfrak{H}^* \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ , so dass

- (i)  $\text{K}(\mathfrak{H}), \text{K}(\mathfrak{H}') \in \text{VER}(\mathfrak{H}^*)$  und
- (ii)  $\text{VAN}(\mathfrak{H}^*) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H}) \cup \text{VAN}(\mathfrak{H}')$ .

*Beweis:* Beweis durch Induktion über  $|\text{VANS}(\mathfrak{H}')|$ . Für  $|\text{VANS}(\mathfrak{H}')| = \emptyset$  gilt die Behauptung mit Theorem 4-13. Gelte die Behauptung nun für  $n$  und seien  $\mathfrak{H}, \mathfrak{H}' \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$  und  $|\text{VANS}(\mathfrak{H}')| = n+1$ . Dann ist mit Theorem 3-18  $\mathfrak{H}^1 = \mathfrak{H}' \frown \{(0, \ulcorner \text{Also } A(\mathfrak{H}'_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}'))}) \rightarrow \text{K}(\mathfrak{H}') \urcorner})\} \in \text{SEF}(\mathfrak{H}') \subseteq \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$  und mit Theorem 3-19-(iv) und (v) ist  $|\text{VANS}(\mathfrak{H}^1)| = n$  und mit Theorem 3-19-(ix) ist  $\text{VAN}(\mathfrak{H}^1) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H}')$ . Mit I.V. gilt dann, dass es ein  $\mathfrak{H}^2 \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$  gibt, so dass:

- a)  $\text{K}(\mathfrak{H}), \text{K}(\mathfrak{H}^1) \in \text{VER}(\mathfrak{H}^2)$  und
- b)  $\text{VAN}(\mathfrak{H}^2) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H}) \cup \text{VAN}(\mathfrak{H}^1) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H}) \cup \text{VAN}(\mathfrak{H}')$ .

Folgende Sequenzen seien definiert, wobei  $\alpha \in \text{KONSTTTSEQ}(\mathfrak{H}^2)$ :

$$\begin{aligned} \mathfrak{H}^3 &= \mathfrak{H}^2 \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^2), \ulcorner \text{Sei } A(\mathfrak{H}'_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}'))}) \urcorner})\} \\ \mathfrak{H}^4 &= \mathfrak{H}^3 \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^3), \ulcorner \text{Also } \alpha = \alpha \urcorner)\} \\ \mathfrak{H}^5 &= \mathfrak{H}^4 \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^4), \ulcorner \text{Also } \text{K}(\mathfrak{H}') \urcorner)\} \end{aligned}$$

Mit Theorem 1-7 ist zunächst  $\text{K}(\mathfrak{H}^3) \notin \text{FSATZ}$  und daher  $\mathfrak{H}^3 \notin \text{SEF}(\mathfrak{H}^2) \cup \text{NEF}(\mathfrak{H}^2) \cup \text{PBF}(\mathfrak{H}^2)$ . Mit Theorem 1-5 und Theorem 1-6 ist außerdem  $\text{K}(\mathfrak{H}^4)$  keine Negator- oder Subjunktormformel und daher  $\mathfrak{H}^4 \notin \text{SEF}(\mathfrak{H}^3) \cup \text{NEF}(\mathfrak{H}^3)$ . Wäre  $A(\mathfrak{H}'_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}'))}) = \ulcorner \alpha \urcorner$ , dann wäre  $\alpha \in \text{TT}(A(\mathfrak{H}'_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}'))))) \subseteq \text{TT}(\text{K}(\mathfrak{H}^1)) \subseteq \text{TTFM}(\text{VER}(\mathfrak{H}^2)) \subseteq \text{TTSEQ}(\mathfrak{H}^2)$ . Widerspruch! Also  $\mathfrak{H}^4 \notin \text{SEF}(\mathfrak{H}^3) \cup \text{NEF}(\mathfrak{H}^3) \cup \text{PBF}(\mathfrak{H}^3)$ . Wäre  $\mathfrak{H}^5 \in \text{SEF}(\mathfrak{H}^4) \cup \text{NEF}(\mathfrak{H}^4) \cup \text{PBF}(\mathfrak{H}^4)$ , dann wäre  $\alpha \in \text{TT}(A(\mathfrak{H}'_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}'))))) \cup \text{TT}(\text{K}(\mathfrak{H}')) \subseteq \text{TT}(\text{K}(\mathfrak{H}^1)) \subseteq \text{TTSEQ}(\mathfrak{H}^2)$ . Widerspruch! Also  $\mathfrak{H}^5 \notin \text{SEF}(\mathfrak{H}^4) \cup \text{NEF}(\mathfrak{H}^4) \cup \text{PBF}(\mathfrak{H}^4)$ .

Hingegen ist  $\mathfrak{H}^3 \in \text{AF}(\mathfrak{H}^2)$  und damit  $\mathfrak{H}^3 \in \text{HL}$  und mit Theorem 3-15-(vi)  $\text{K}(\mathfrak{H}), \text{K}(\mathfrak{H}^1), A(\mathfrak{H}'_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}')))) \in \text{VER}(\mathfrak{H}^2) \cup \{A(\mathfrak{H}'_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}'))))\} = \text{VER}(\mathfrak{H}^3)$  und mit Theorem 3-15-(viii)  $\text{VAN}(\mathfrak{H}^3) = \text{VAN}(\mathfrak{H}^2) \cup \{A(\mathfrak{H}'_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}'))))\} \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H}) \cup \text{VAN}(\mathfrak{H}')$ . So dann ist  $\mathfrak{H}^4 \in \text{IEF}(\mathfrak{H}^3)$  und damit  $\mathfrak{H}^4 \in \text{HL}$  und mit Theorem 3-25  $\text{VERS}(\mathfrak{H}^4) = \text{VERS}(\mathfrak{H}^3) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^3), \ulcorner \text{Also } \alpha = \alpha \urcorner)\}$ . Damit gilt  $\text{VAN}(\mathfrak{H}^4) = \text{VAN}(\mathfrak{H}^3) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H}) \cup \text{VAN}(\mathfrak{H}')$  und  $\text{K}(\mathfrak{H}), \text{K}(\mathfrak{H}^1), A(\mathfrak{H}'_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}')))) \in \text{VER}(\mathfrak{H}^3) \subseteq \text{VER}(\mathfrak{H}^4)$ . Wegen  $\text{K}(\mathfrak{H}^1) = \ulcorner A(\mathfrak{H}'_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}')))) \rightarrow \text{K}(\mathfrak{H}') \urcorner$  ist  $\mathfrak{H}^5 \in \text{SBF}(\mathfrak{H}^4)$  und mit Theorem 3-25

$\text{VERS}(\mathfrak{H}^5) = \text{VERS}(\mathfrak{H}^4) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^4), \lceil \text{Also } K(\mathfrak{H}') \rceil)\}$ . Damit gilt  $\text{VAN}(\mathfrak{H}^5) = \text{VAN}(\mathfrak{H}^4) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H}) \cup \text{VAN}(\mathfrak{H}')$  und  $K(\mathfrak{H}), K(\mathfrak{H}') \in \text{VER}(\mathfrak{H}^4) \subseteq \text{VER}(\mathfrak{H}^5)$  und  $\mathfrak{H}^5 \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ .  $\mathfrak{H}^5$  ist damit das gesuchte HL-Element.  $\square$

## 4.2 Eigenschaften der deduktiven Konsequenzschaft

Nun werden übliche Theoreme zur deduktiven Konsequenzschaft etabliert, wobei insbesondere auch gezeigt wird, dass diese reflexiv (Theorem 4-15), monoton (Theorem 4-16), für den Redehandlungskalkül unter AR und den Einführungs- und Beseitigungsregeln abgeschlossen (Theorem 4-18) und transitiv (Theorem 4-19) ist.

### Theorem 4-15. *Erweiterte Reflexivität (AR)*

Wenn  $X \subseteq \text{GFORM}$  und  $A \in X$ , dann  $X \vdash A$ .

*Beweis:* Sei  $X \subseteq \text{GFORM}$  und  $A \in X$ . Dann ist  $A \in \text{GFORM}$  und nach Definition 3-1  $\{(0, \ulcorner \text{Sei } A \urcorner)\} \in \text{AF}(\emptyset) \subseteq \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$  und damit eine Ableitung von  $A$  aus  $\{A\} \subseteq X$ . Also  $X \vdash A$ .  $\square$

### Theorem 4-16. *Monotonie*

Wenn  $X \vdash B$  und  $X \subseteq Y \subseteq \text{GFORM}$ , dann  $Y \vdash B$ .

*Beweis:* Sei  $X \vdash B$  und  $X \subseteq Y \subseteq \text{GFORM}$ . Dann gibt es ein  $\mathfrak{H} \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ , so dass  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \subseteq X$  und  $\text{K}(\mathfrak{H}) = B$ . Sei  $\mathfrak{H}$  so. Dann ist  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \subseteq Y$  und damit  $Y \vdash B$ .  $\square$

### Theorem 4-17. *Principium non contradictionis*

Wenn  $X \cup \{\Gamma\} \subseteq \text{GFORM}$ , dann  $X \vdash \ulcorner \neg(\Gamma \wedge \neg\Gamma) \urcorner$ .

*Beweis:* Sei  $X \cup \{\Gamma\} \subseteq \text{GFORM}$ . Sei nun  $\mathfrak{H}$  die folgende Sequenz:

- |   |      |                                  |
|---|------|----------------------------------|
| 0 | Sei  | $\Gamma \wedge \neg\Gamma$       |
| 1 | Also | $\Gamma$                         |
| 2 | Also | $\neg\Gamma$                     |
| 3 | Also | $\neg(\Gamma \wedge \neg\Gamma)$ |

Dann ist nach Definition 3-1  $\mathfrak{H} \upharpoonright 1 \in \text{AF}(\emptyset) \subseteq \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$  und mit Theorem 3-15-(ii) ist  $\text{VERS}(\mathfrak{H} \upharpoonright 1) = \{(0, \ulcorner \text{Sei } \Gamma \wedge \neg\Gamma \urcorner)\} = \mathfrak{H} \upharpoonright 1$  und  $\text{VER}(\mathfrak{H} \upharpoonright 1) = \{\ulcorner \Gamma \wedge \neg\Gamma \urcorner\}$  und  $\text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright 1) = \{(0, \ulcorner \text{Sei } \Gamma \wedge \neg\Gamma \urcorner)\}$  und  $\text{VAN}(\mathfrak{H} \upharpoonright 1) = \{\ulcorner \Gamma \wedge \neg\Gamma \urcorner\}$ . Dann ist nach Definition 3-5  $\mathfrak{H} \upharpoonright 2 \in \text{KBF}(\mathfrak{H} \upharpoonright 1) \subseteq \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ . Sodann ist mit eindeutiger Lesbarkeit (Theorem 1-6) und nach Definition 3-2, Definition 3-10 und Definition 3-15  $\mathfrak{H} \upharpoonright 2 \notin \text{SEF}(\mathfrak{H} \upharpoonright 1) \cup \text{NEF}(\mathfrak{H} \upharpoonright 1) \cup \text{PBF}(\mathfrak{H} \upharpoonright 1)$ . Mit Theorem 3-25 gilt dann  $\text{VERS}(\mathfrak{H} \upharpoonright 2) = \text{VERS}(\mathfrak{H} \upharpoonright 1) \cup \{(1, \ulcorner \text{Also } \Gamma \urcorner)\} =$

$\mathfrak{H} \uparrow 2$ . Sodann gilt mit Theorem 3-27-(ii) und (iii), dass  $\text{VANS}(\mathfrak{H} \uparrow 2) = \text{VANS}(\mathfrak{H} \uparrow 1)$  und damit  $\text{VAN}(\mathfrak{H} \uparrow 2) = \text{VAN}(\mathfrak{H} \uparrow 1) = \{\ulcorner \Gamma \wedge \neg \Gamma \urcorner\}$ .

Wiederum nach Definition 3-5 ist sodann  $\mathfrak{H} \uparrow 3 \in \text{KBF}(\mathfrak{H} \uparrow 2) \subseteq \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ . Sodann ist mit eindeutiger Lesbarkeit und nach Definition 3-2, Definition 3-10 und Definition 3-15 wiederum  $\mathfrak{H} \uparrow 3 \notin \text{SEF}(\mathfrak{H} \uparrow 2) \cup \text{NEF}(\mathfrak{H} \uparrow 2) \cup \text{PBF}(\mathfrak{H} \uparrow 2)$ . Mit Theorem 3-25 gilt dann wiederum  $\text{VERS}(\mathfrak{H} \uparrow 3) = \text{VERS}(\mathfrak{H} \uparrow 2) \cup \{1, \ulcorner \text{Also } \neg \Gamma \urcorner\} = \mathfrak{H} \uparrow 3$  und mit Theorem 3-27-(ii) und (iii), dass  $\text{VANS}(\mathfrak{H} \uparrow 3) = \text{VANS}(\mathfrak{H} \uparrow 2)$  und damit  $\text{VAN}(\mathfrak{H} \uparrow 3) = \text{VAN}(\mathfrak{H} \uparrow 2) = \{\ulcorner \Gamma \wedge \neg \Gamma \urcorner\}$ . Dann ist  $0 = \max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \uparrow 3)))$  und  $1, 2 \in \text{Dom}(\text{VERS}(\mathfrak{H} \uparrow 3))$  und  $A(\mathfrak{H} \uparrow 3_1) = \Gamma$  und  $A(\mathfrak{H} \uparrow 3_2) = \ulcorner \neg \Gamma \urcorner$ . Damit ist dann nach Definition 3-10  $\mathfrak{H} \in \text{NEF}(\mathfrak{H} \uparrow 3)$  und nach Theorem 3-20 ist  $\text{VANS}(\mathfrak{H}) = \text{VANS}(\mathfrak{H} \uparrow 3) \setminus \{(0, \ulcorner \text{Sei } \Gamma \wedge \neg \Gamma \urcorner)\} = \emptyset$  und damit auch  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) = \emptyset$ . Damit gilt insgesamt:  $\mathfrak{H} \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$  und  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) = \emptyset$  und  $\text{K}(\mathfrak{H}) = \ulcorner \neg(\Gamma \wedge \neg \Gamma) \urcorner$ . Also gilt  $\emptyset \vdash \ulcorner \neg(\Gamma \wedge \neg \Gamma) \urcorner$  und damit gilt mit Theorem 4-16  $X \vdash \ulcorner \neg(\Gamma \wedge \neg \Gamma) \urcorner$ .  $\square$

**Theorem 4-18.** *Abgeschlossenheit unter Einführung und Beseitigung*

- (i) Wenn  $X \vdash B$  und  $A \in X$ , dann  $X \setminus \{A\} \vdash \ulcorner A \rightarrow B \urcorner$ , (SE)
- (ii) Wenn  $X \vdash A$  und  $Y \vdash \ulcorner A \rightarrow B \urcorner$ , dann  $X \cup Y \vdash B$ , (SB)
- (iii) Wenn  $X \vdash A$  und  $Y \vdash B$ , dann  $X \cup Y \vdash \ulcorner A \wedge B \urcorner$ , (KE)
- (iv) Wenn  $X \vdash \ulcorner A \wedge B \urcorner$  oder  $X \vdash \ulcorner B \wedge A \urcorner$ , dann  $X \vdash A$ , (KB)
- (v) Wenn  $X \vdash \ulcorner A \rightarrow B \urcorner$  und  $Y \vdash \ulcorner B \rightarrow A \urcorner$ , dann  $X \cup Y \vdash \ulcorner A \leftrightarrow B \urcorner$ , (BE)
- (vi) Wenn  $X \vdash B$  und  $A \in X$  und  $Y \vdash A$  und  $B \in Y$ , dann  $(X \setminus \{A\}) \cup (Y \setminus \{B\}) \vdash \ulcorner A \leftrightarrow B \urcorner$ , (BE\*)
- (vii) Wenn  $X \vdash A$  und  $Y \vdash \ulcorner A \leftrightarrow B \urcorner$  oder  $Y \vdash \ulcorner B \leftrightarrow A \urcorner$ , dann  $X \cup Y \vdash B$ , (BB)
- (viii) Wenn  $X \vdash A$  oder  $X \vdash B$ , dann  $X \vdash \ulcorner A \vee B \urcorner$ , (AE)
- (ix) Wenn  $X \vdash \ulcorner A \vee B \urcorner$  und  $Y \vdash \ulcorner A \rightarrow \Gamma \urcorner$  und  $Z \vdash \ulcorner B \rightarrow \Gamma \urcorner$ , dann  $X \cup Y \cup Z \vdash \Gamma$ , (AB)
- (x) Wenn  $X \vdash \ulcorner A \vee B \urcorner$  und  $Y \vdash \Gamma$  und  $A \in Y$  und  $Z \vdash \Gamma$  und  $B \in Z$ , dann  $X \cup (Y \setminus \{A\}) \cup (Z \setminus \{B\}) \vdash \Gamma$ , (AB\*)
- (xi) Wenn  $X \vdash \Gamma$  und  $Y \vdash \ulcorner \neg \Gamma \urcorner$  und  $A \in X \cup Y$ , dann  $(X \cup Y) \setminus \{A\} \vdash \ulcorner \neg A \urcorner$ , (NE)
- (xii) Wenn  $X \vdash \ulcorner \neg \neg \Gamma \urcorner$ , dann  $X \vdash \Gamma$ , (NB)
- (xiii) Wenn  $\beta \in \text{PAR}$ ,  $\xi \in \text{VAR}$ ,  $\Delta \in \text{FORM}$ , wobei  $\text{FV}(\Delta) \subseteq \{\xi\}$ , und  $X \vdash [\beta, \xi, \Delta]$ , wobei  $\beta \notin \text{TTFM}(X \cup \{\Delta\})$ , dann  $X \vdash \ulcorner \wedge \xi \Delta \urcorner$ , (UE)
- (xiv) Wenn  $\theta \in \text{GTERM}$ ,  $\xi \in \text{VAR}$ ,  $\Delta \in \text{FORM}$ , wobei  $\text{FV}(\Delta) \subseteq \{\xi\}$ , und  $X \vdash [\theta, \xi, \Delta]$ , dann  $X \vdash \ulcorner \wedge \xi \Delta \urcorner$ , (UB)
- (xv) Wenn  $\theta \in \text{GTERM}$ ,  $\xi \in \text{VAR}$ ,  $\Delta \in \text{FORM}$ , wobei  $\text{FV}(\Delta) \subseteq \{\xi\}$ , und  $X \vdash [\theta, \xi, \Delta]$ , dann  $X \vdash \ulcorner \forall \xi \Delta \urcorner$ , (PE)

- (xvi) Wenn  $\beta \in \text{PAR}$ ,  $\xi \in \text{VAR}$ ,  $\Delta \in \text{FORM}$ , wobei  $\text{FV}(\Delta) \subseteq \{\xi\}$ , und  $X \vdash \ulcorner \forall \xi \Delta \urcorner$  und  $Y \vdash \Gamma$  und  $[\beta, \xi \Delta] \in Y$ , wobei  $\beta \notin \text{TTFM}(Y \setminus \{[\beta, \xi, \Delta]\} \cup \{\Delta, \Gamma\})$ , dann  $X \cup (Y \setminus \{[\beta, \xi, \Delta]\}) \vdash \Gamma$ , (PB)
- (xvii) Wenn  $X \subseteq \text{GFORM}$  und  $\theta \in \text{GTERM}$ , dann  $X \vdash \ulcorner \theta = \theta \urcorner$ , (IE)
- (xviii) Wenn  $\theta_0, \theta_1 \in \text{GTERM}$ ,  $\xi \in \text{VAR}$ ,  $\Delta \in \text{FORM}$ , wobei  $\text{FV}(\Delta) \subseteq \{\xi\}$ , und  $X \vdash \ulcorner \theta_0 = \theta_1 \urcorner$  und  $Y \vdash [\theta_0, \xi \Delta]$ , dann  $X \cup Y \vdash [\theta_1, \xi, \Delta]$ . (IB)

*Beweis:* Es wird zunächst der Fall (i) behandelt, bei dem sich die Prämissenmenge verkleinert. Es folgen die Fälle (ii), (iii), (v), (vii) und (xviii), bei denen zwei Prämissenmengen vereinigt werden. In den Fällen (iv), (viii), (xii), (xiii), (xiv) und (xv) bleibt die Prämissenmenge unverändert. In der Reihenfolge (vi), (ix), (x), (xi), (xvi), (xvii) werden die verbleibenden Sonderfälle bearbeitet.

*Zu(i) (SE):* Sei  $X \vdash B$  und  $A \in X$ . Dann gibt es nach Theorem 3-12 ein  $\mathfrak{H} \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ , so dass  $\text{K}(\mathfrak{H}) = B$  und  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \subseteq X$ . Dann gibt es mit Theorem 4-2 ein  $\mathfrak{H}' \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ , so dass  $\text{VAN}(\mathfrak{H}') \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H})$  und  $\text{K}(\mathfrak{H}') = \text{K}(\mathfrak{H})$  und für alle  $i \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}'))$ : Wenn  $A(\mathfrak{H}'_i) = A$ , dann  $i = \max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}')))$ . Dann gilt mit Theorem 2-81  $B = \text{K}(\mathfrak{H}') \in \text{VER}(\mathfrak{H}')$ . Sodann lassen sich mit  $A \in \text{VAN}(\mathfrak{H}')$  und  $A \notin \text{VAN}(\mathfrak{H}')$  zwei Fälle unterscheiden.

*Erster Fall:* Sei  $A \in \text{VAN}(\mathfrak{H}')$ . Dann ist  $\text{VANS}(\mathfrak{H}') \neq \emptyset$  und es gilt für alle  $i \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}'))$ :  $A(\mathfrak{H}'_i) = A$  gdw  $i = \max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}')))$ . Dann ist mit Theorem 3-18  $\mathfrak{H}^+ = \mathfrak{H}' \setminus \{(0, \ulcorner \text{Also } A \rightarrow B \urcorner)\} \in \text{SEF}(\mathfrak{H}') \subseteq \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ . Dann gilt mit Theorem 3-22, dass  $\text{VAN}(\mathfrak{H}^+) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H}') \setminus \{A\} \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H}) \setminus \{A\} \subseteq X \setminus \{A\}$ . Damit gilt insgesamt:  $\mathfrak{H}^+ \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ ,  $\text{K}(\mathfrak{H}^+) = \ulcorner A \rightarrow B \urcorner$  und  $\text{VAN}(\mathfrak{H}^+) \subseteq X \setminus \{A\}$  und mit Theorem 3-12  $X \setminus \{A\} \vdash \ulcorner A \rightarrow B \urcorner$ .

*Zweiter Fall:* Sei nun  $A \notin \text{VAN}(\mathfrak{H}')$ . Dann gibt es kein  $i \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}'))$ , so dass  $A(\mathfrak{H}'_i) = A$ . Nun gibt es ein  $\alpha \in \text{KONST} \setminus \text{TT}(\mathfrak{H}')$ . Dann lässt sich  $\mathfrak{H}'$  wie folgt zu einem  $\mathfrak{H}^5 \in \text{SEQ}$  mit  $\mathfrak{H}^5 \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}') = \mathfrak{H}'$  fortsetzen:

$$\begin{aligned} \mathfrak{H}^1 &= \mathfrak{H}' \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}'), \ulcorner \text{Sei } A \urcorner)\} \\ \mathfrak{H}^2 &= \mathfrak{H}^1 \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^1), \ulcorner \text{Also } A \wedge B \urcorner)\} \\ \mathfrak{H}^3 &= \mathfrak{H}^2 \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^2), \ulcorner \text{Also } \alpha = \alpha \urcorner)\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mathfrak{H}^4 &= \mathfrak{H}^3 \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^3), \ulcorner \text{Also } B \urcorner)\} \\ \mathfrak{H}^5 &= \mathfrak{H}^4 \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^4), \ulcorner \text{Also } A \rightarrow B \urcorner)\}\end{aligned}$$

Zunächst ist  $\mathfrak{H}^5_{\text{Dom}(\mathfrak{H}^5)} \notin \text{FSATZ}$ . Sodann gilt mit  $\alpha \in \text{KONST} \setminus \text{TT}(\mathfrak{H}^5)$  auch  $\alpha \notin \text{TTFM}(\{A, B\})$  und damit insgesamt, dass für alle  $i \in \text{Dom}(\mathfrak{H}^5)$  gilt:  $\alpha \in \text{TT}(\mathfrak{H}^5_i)$  gdw  $i = \text{Dom}(\mathfrak{H}^5) + 2$ . Mit Theorem 1-3, Theorem 1-5 und Theorem 1-6 sind sodann  $K(\mathfrak{H}^1) \neq K(\mathfrak{H}^2)$ ,  $K(\mathfrak{H}^2) \neq K(\mathfrak{H}^3)$  und  $K(\mathfrak{H}^3) \neq K(\mathfrak{H}^4)$ . Zudem sind  $K(\mathfrak{H}^2)$  und  $K(\mathfrak{H}^3)$  weder Subjunktoren- noch Negatorformeln. Wäre  $\mathfrak{H}^4 \in \text{SEF}(\mathfrak{H}^3)$ , dann wäre  $\alpha \in \text{TT}(B) \subseteq \text{TTFM}(\{A, B\})$ . Widerspruch. Also  $\mathfrak{H}^4 \notin \text{SEF}(\mathfrak{H}^3)$ . Wäre  $\mathfrak{H}^4 \in \text{NEF}(\mathfrak{H}^3)$ , dann gäbe es ein  $j \in \text{Dom}(\mathfrak{H}^5)$ , so dass  $A(\mathfrak{H}^5_j) = \ulcorner \neg \alpha = \alpha \urcorner$ . Dann wäre aber  $\alpha \in \text{TA}(A(\mathfrak{H}^5_j))$  und daher  $j = \text{Dom}(\mathfrak{H}^5) + 2$ . Nun ist aber  $A(\mathfrak{H}^5_{\text{Dom}(\mathfrak{H}^5)+2}) = \ulcorner \alpha = \alpha \urcorner$ . Mit Theorem 1-5 ergibt sich ein Widerspruch. Also  $\mathfrak{H}^4 \notin \text{NEF}(\mathfrak{H}^3)$ . Damit gilt insgesamt  $\mathfrak{H}^1 \notin \text{SEF}(\mathfrak{H}^1) \cup \text{NEF}(\mathfrak{H}^1) \cup \text{PBF}(\mathfrak{H}^1)$  und  $\mathfrak{H}^2 \notin \text{SEF}(\mathfrak{H}^1) \cup \text{NEF}(\mathfrak{H}^1) \cup \text{PBF}(\mathfrak{H}^1)$  und  $\mathfrak{H}^3 \notin \text{SEF}(\mathfrak{H}^2) \cup \text{NEF}(\mathfrak{H}^2) \cup \text{PBF}(\mathfrak{H}^2)$  und  $\mathfrak{H}^4 \notin \text{SEF}(\mathfrak{H}^3) \cup \text{NEF}(\mathfrak{H}^3) \cup \text{PBF}(\mathfrak{H}^3)$ .

Hingegen ist *erstens* nach Definition 3-1  $\mathfrak{H}^1 \in \text{AF}(\mathfrak{H}^1)$ ,  $\mathfrak{H}^1 \in \text{HL}$  und mit Theorem 3-25  $\text{VERS}(\mathfrak{H}^1) = \text{VERS}(\mathfrak{H}^1) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^1), \ulcorner \text{Sei } A \urcorner)\}$ . Damit gilt  $(\text{Dom}(\mathfrak{H}^1), \ulcorner \text{Sei } A \urcorner) \in \text{VANS}(\mathfrak{H}^1) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^1), \ulcorner \text{Sei } A \urcorner)\} = \text{VANS}(\mathfrak{H}^1)$  und  $B \in \text{VER}(\mathfrak{H}^1) \subseteq \text{VER}(\mathfrak{H}^1)$  und  $A \in \text{VER}(\mathfrak{H}^1)$ . Also ist *zweitens* nach Definition 3-4  $\mathfrak{H}^2 \in \text{KEF}(\mathfrak{H}^1)$ ,  $\mathfrak{H}^2 \in \text{HL}$  und mit Theorem 3-25  $\text{VERS}(\mathfrak{H}^2) = \text{VERS}(\mathfrak{H}^1) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^1), \ulcorner \text{Also } A \wedge B \urcorner)\}$ . Damit gilt  $(\text{Dom}(\mathfrak{H}^1), \ulcorner \text{Sei } A \urcorner) \in \text{VANS}(\mathfrak{H}^1) = \text{VANS}(\mathfrak{H}^2)$  und  $\ulcorner A \wedge B \urcorner \in \text{VER}(\mathfrak{H}^2)$ . Sodann ist *drittens* nach Definition 3-16  $\mathfrak{H}^3 \in \text{IEF}(\mathfrak{H}^2)$ ,  $\mathfrak{H}^3 \in \text{HL}$  und mit Theorem 3-25  $\text{VERS}(\mathfrak{H}^3) = \text{VERS}(\mathfrak{H}^2) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^2), \ulcorner \text{Also } \alpha = \alpha \urcorner)\}$ . Damit gilt  $(\text{Dom}(\mathfrak{H}^1), \ulcorner \text{Sei } A \urcorner) \in \text{VANS}(\mathfrak{H}^2) = \text{VANS}(\mathfrak{H}^3)$  und  $\ulcorner A \wedge B \urcorner \in \text{VER}(\mathfrak{H}^2) \subseteq \text{VER}(\mathfrak{H}^3)$ . Also ist *viertens* nach Definition 3-5  $\mathfrak{H}^4 \in \text{KBF}(\mathfrak{H}^3)$ ,  $\mathfrak{H}^4 \in \text{HL}$  und mit Theorem 3-25  $\text{VERS}(\mathfrak{H}^4) = \text{VERS}(\mathfrak{H}^3) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^3), \ulcorner \text{Also } B \urcorner)\}$ . Damit gilt  $\text{Dom}(\mathfrak{H}^1) \in \text{Dom}(\mathfrak{H}^5)$  und  $A(\mathfrak{H}^5_{\text{Dom}(\mathfrak{H}^1)}) = A$  und  $(\text{Dom}(\mathfrak{H}^1), \ulcorner \text{Sei } A \urcorner) \in \text{VANS}(\mathfrak{H}^3) = \text{VANS}(\mathfrak{H}^4)$  und  $A(\mathfrak{H}^5_{\text{Dom}(\mathfrak{H}^5)-1}) = B$  und es gibt kein  $l$  mit  $\text{Dom}(\mathfrak{H}^1) < l \leq \text{Dom}(\mathfrak{H}^5) - 1$ , so dass  $(l, \mathfrak{H}^5_l) \in \text{VANS}(\mathfrak{H}^5)$ . Damit ist nach Definition 3-2  $\mathfrak{H}^5 \in \text{SEF}(\mathfrak{H}^4)$ ,  $\mathfrak{H}^5 \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$  und mit Theorem 3-19-(iv) und -(v)  $\text{VANS}(\mathfrak{H}^5) = \text{VANS}(\mathfrak{H}^4) \setminus \{(\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^4))), \mathfrak{H}^5_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^4)))})\} = \text{VANS}(\mathfrak{H}^4) \setminus \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^1), \ulcorner \text{Sei } A \urcorner)\} = \text{VANS}(\mathfrak{H}^1) \setminus \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^1), \ulcorner \text{Sei } A \urcorner)\} = (\text{VANS}(\mathfrak{H}^1) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^1), \ulcorner \text{Sei } A \urcorner)\}) \setminus \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^1), \ulcorner \text{Sei } A \urcorner)\} = \text{VANS}(\mathfrak{H}^1) \setminus \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^1), \ulcorner \text{Sei } A \urcorner)\} \subseteq \text{VANS}(\mathfrak{H}^1)$ . Mit Theorem 2-74 ist dann  $\text{VAN}(\mathfrak{H}^5) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H}^1)$  und wegen  $A \notin \text{VAN}(\mathfrak{H}^1)$  und  $\text{VAN}(\mathfrak{H}^1) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H}^1) \subseteq X$  dann

auch  $\text{VAN}(\mathfrak{H}^5) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H}) \setminus \{A\} \subseteq X \setminus \{A\}$ . Da  $\text{K}(\mathfrak{H}^5) = \ulcorner A \rightarrow B \urcorner$ , gilt mit Theorem 3-12  $X \setminus \{A\} \vdash \ulcorner A \rightarrow B \urcorner$ .

Zu (ii) (SB), (iii) (KE), (v) (BE), (vii) (BB), (xviii) (IB): (ii) wird exemplarisch gezeigt. Klauseln (iii), (v), (vii) und (xviii) ergeben sich analog. Sei für (ii)  $X \vdash A$  und  $Y \vdash \ulcorner A \rightarrow B \urcorner$ . Dann gibt es nach Theorem 3-12  $\mathfrak{H}, \mathfrak{H}' \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ , so dass  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \subseteq X$  und  $\text{K}(\mathfrak{H}) = A$  und  $\text{VAN}(\mathfrak{H}') \subseteq Y$  und  $\text{K}(\mathfrak{H}') = \ulcorner A \rightarrow B \urcorner$ . Mit Theorem 4-14 gibt es dann ein  $\mathfrak{H}^* \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ , so dass  $A, \ulcorner A \rightarrow B \urcorner \in \text{VER}(\mathfrak{H}^*)$  und  $\text{VAN}(\mathfrak{H}^*) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H}) \cup \text{VAN}(\mathfrak{H}') \subseteq X \cup Y$ . Nach Definition 3-3 ist dann  $\mathfrak{H}^+ = \mathfrak{H}^* \hat{\ } \{(0, \ulcorner \text{Also } B \urcorner)\} \in \text{SBF}(\mathfrak{H}^*) \subseteq \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$  und mit Theorem 3-27-(v) ist  $\text{VAN}(\mathfrak{H}^+) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H}^*) \subseteq X \cup Y$  und es ist  $\text{K}(\mathfrak{H}^+) = B$ . Also gilt mit Theorem 3-12:  $X \cup Y \vdash B$ .

Zu (iv) (KB), (viii) (AE), (xii) (NB), (xiii) (UE), (xiv) (UB), (xv) (PE): (iv) wird exemplarisch gezeigt. Klauseln (viii), (xii), (xiii), (xiv) und (xv) ergeben sich analog. Sei für (iv)  $X \vdash \ulcorner A \wedge B \urcorner$  oder  $X \vdash \ulcorner B \wedge A \urcorner$ . Sei nun  $X \vdash \ulcorner A \wedge B \urcorner$ . Dann gibt es nach Theorem 3-12  $\mathfrak{H} \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ , so dass  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \subseteq X$  und  $\text{K}(\mathfrak{H}) = \ulcorner A \wedge B \urcorner$ . Dann ist mit Theorem 2-81  $\ulcorner A \wedge B \urcorner \in \text{VER}(\mathfrak{H})$  und daher nach Definition 3-5  $\mathfrak{H}' = \mathfrak{H} \hat{\ } \{(0, \ulcorner \text{Also } A \urcorner)\} \in \text{KBF}(\mathfrak{H}) \subseteq \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$  und mit Theorem 3-27-(v) ist  $\text{VAN}(\mathfrak{H}') \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H}) \subseteq X$  und es ist  $\text{K}(\mathfrak{H}') = A$ . Also gilt wiederum nach Theorem 3-12:  $X \vdash A$ . Für den Fall, dass  $X \vdash \ulcorner B \wedge A \urcorner$  zeigt man analog, dass dann ebenfalls  $X \vdash A$  gilt.

Zu (vi:)(BE\*): Sei  $X \vdash B$  und  $A \in X$  und  $Y \vdash A$  und  $B \in Y$ . Dann gilt mit (i):  $X \setminus \{A\} \vdash \ulcorner A \rightarrow B \urcorner$  und  $Y \setminus \{B\} \vdash \ulcorner B \rightarrow A \urcorner$ . Dann gilt mit (v):  $(X \setminus \{A\}) \cup (Y \setminus \{B\}) \vdash \ulcorner A \leftrightarrow B \urcorner$ .

Zu (ix) (AB): Sei  $X \vdash \ulcorner A \vee B \urcorner$  und  $Y \vdash \ulcorner A \rightarrow \Gamma \urcorner$  und  $Z \vdash \ulcorner B \rightarrow \Gamma \urcorner$ . Dann ergibt sich mit zweifacher Anwendung von (iii):  $X \cup Y \cup Z \vdash \ulcorner (A \vee B) \wedge ((A \rightarrow \Gamma) \wedge (B \rightarrow \Gamma)) \urcorner$ . Dann gibt es mit Theorem 3-12  $\mathfrak{H} \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ , so dass  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \subseteq X \cup Y \cup Z$  und  $\text{K}(\mathfrak{H}) = \ulcorner (A \vee B) \wedge ((A \rightarrow \Gamma) \wedge (B \rightarrow \Gamma)) \urcorner$ . Nun gibt es ein  $\alpha \in \text{KONST} \setminus \text{TT}(\mathfrak{H})$ . Damit lässt sich  $\mathfrak{H}$  wie folgt zu einem  $\mathfrak{H}^8 \in \text{SEQ}$  mit  $\mathfrak{H}^8 \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}) = \mathfrak{H}$  fortsetzen:

$$\begin{aligned} \mathfrak{H}^1 &= \mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \text{Sei } \alpha = \alpha \urcorner)\} \\ \mathfrak{H}^2 &= \mathfrak{H}^1 \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^1), \ulcorner \text{Also } A \vee B \urcorner)\} \\ \mathfrak{H}^3 &= \mathfrak{H}^2 \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^2), \ulcorner \text{Also } (A \rightarrow \Gamma) \wedge (B \rightarrow \Gamma) \urcorner)\} \\ \mathfrak{H}^4 &= \mathfrak{H}^3 \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^3), \ulcorner \text{Also } A \rightarrow \Gamma \urcorner)\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\mathfrak{H}^5 &= \mathfrak{H}^4 \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^4), \ulcorner \text{Also } \alpha = \alpha \urcorner)\} \\
\mathfrak{H}^6 &= \mathfrak{H}^5 \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^5), \ulcorner \text{Also } B \rightarrow \Gamma \urcorner)\} \\
\mathfrak{H}^7 &= \mathfrak{H}^6 \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^6), \ulcorner \text{Also } \alpha = \alpha \urcorner)\} \\
\mathfrak{H}^8 &= \mathfrak{H}^7 \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^7), \ulcorner \text{Also } \Gamma \urcorner)\}
\end{aligned}$$

Zunächst ist  $\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})}^8 \notin \text{FSATZ}$ . Sodann gilt mit  $\alpha \in \text{KONSTTT}(\mathfrak{H})$  auch  $\alpha \notin \text{TTFM}(\{A, B, \Gamma\})$  und damit insgesamt, dass für alle  $i \in \text{Dom}(\mathfrak{H}^8)$  gilt:  $\alpha \in \text{TT}(\mathfrak{H}^8_i)$  gdw  $i \in \{\text{Dom}(\mathfrak{H}), \text{Dom}(\mathfrak{H})+4, \text{Dom}(\mathfrak{H})+6\}$ . Mit Theorem 1-3, Theorem 1-5 und Theorem 1-6 sind sodann  $K(\mathfrak{H}^1) \neq K(\mathfrak{H}^2)$ ,  $K(\mathfrak{H}^2) \neq K(\mathfrak{H}^3)$ ,  $K(\mathfrak{H}^3) \neq K(\mathfrak{H}^4)$ ,  $K(\mathfrak{H}^4) \neq K(\mathfrak{H}^5)$ ,  $K(\mathfrak{H}^5) \neq K(\mathfrak{H}^6)$ ,  $K(\mathfrak{H}^6) \neq K(\mathfrak{H}^7)$  und  $K(\mathfrak{H}^7) \neq K(\mathfrak{H}^8)$ . Zudem sind  $K(\mathfrak{H}^2)$ ,  $K(\mathfrak{H}^3)$ ,  $K(\mathfrak{H}^5)$  und  $K(\mathfrak{H}^7)$  weder Subjunktoren- noch Negatorformeln.  $K(\mathfrak{H}^4)$  und  $K(\mathfrak{H}^6)$  sind keine Negatorformeln und es gibt kein  $\Delta \in \text{GFORM}$ , so dass  $K(\mathfrak{H}^4) = \ulcorner A \rightarrow \Gamma \urcorner = \ulcorner \Delta \rightarrow ((A \rightarrow \Gamma) \wedge (B \rightarrow \Gamma)) \urcorner = \ulcorner \Delta \rightarrow K(\mathfrak{H}^3) \urcorner$  oder  $K(\mathfrak{H}^6) = \ulcorner B \rightarrow \Gamma \urcorner = \ulcorner \Delta \rightarrow (\alpha = \alpha) \urcorner = \ulcorner \Delta \rightarrow K(\mathfrak{H}^5) \urcorner$  oder  $K(\mathfrak{H}^8) = \Gamma = \ulcorner \Delta \rightarrow (\alpha = \alpha) \urcorner = \ulcorner \Delta \rightarrow K(\mathfrak{H}^7) \urcorner$ . Wäre  $\mathfrak{H}^8 \in \text{NEF}(\mathfrak{H}^7)$ , dann gäbe es ein  $j \in \text{Dom}(\mathfrak{H}^8)$ , so dass  $A(\mathfrak{H}^8_j) = \ulcorner \neg \alpha = \alpha \urcorner$ . Dann wäre aber  $\alpha \in \text{TA}(A(\mathfrak{H}^8_j))$  und daher  $j \in \{\text{Dom}(\mathfrak{H}), \text{Dom}(\mathfrak{H})+4, \text{Dom}(\mathfrak{H})+6\}$ . Nun ist aber  $A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})}^8) = A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})+4}^8) = A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})+6}^8) = \ulcorner \alpha = \alpha \urcorner$ . Mit Theorem 1-5 und Theorem 1-6 ergibt sich ein Widerspruch. Also  $\mathfrak{H}^8 \notin \text{NEF}(\mathfrak{H}^7)$ . Damit gilt insgesamt  $\mathfrak{H}^1 \notin \text{SEF}(\mathfrak{H}) \cup \text{NEF}(\mathfrak{H}) \cup \text{PBF}(\mathfrak{H})$  und  $\mathfrak{H}^2 \notin \text{SEF}(\mathfrak{H}^1) \cup \text{NEF}(\mathfrak{H}^1) \cup \text{PBF}(\mathfrak{H}^1)$  und  $\mathfrak{H}^3 \notin \text{SEF}(\mathfrak{H}^2) \cup \text{NEF}(\mathfrak{H}^2) \cup \text{PBF}(\mathfrak{H}^2)$  und  $\mathfrak{H}^4 \notin \text{SEF}(\mathfrak{H}^3) \cup \text{NEF}(\mathfrak{H}^3) \cup \text{PBF}(\mathfrak{H}^3)$  und  $\mathfrak{H}^5 \notin \text{SEF}(\mathfrak{H}^4) \cup \text{NEF}(\mathfrak{H}^4) \cup \text{PBF}(\mathfrak{H}^4)$  und  $\mathfrak{H}^6 \notin \text{SEF}(\mathfrak{H}^5) \cup \text{NEF}(\mathfrak{H}^5) \cup \text{PBF}(\mathfrak{H}^5)$  und  $\mathfrak{H}^7 \notin \text{SEF}(\mathfrak{H}^6) \cup \text{NEF}(\mathfrak{H}^6) \cup \text{PBF}(\mathfrak{H}^6)$  und  $\mathfrak{H}^8 \notin \text{SEF}(\mathfrak{H}^7) \cup \text{NEF}(\mathfrak{H}^7) \cup \text{PBF}(\mathfrak{H}^7)$ .

Hingegen ist *erstens* nach Definition 3-1  $\mathfrak{H}^1 \in \text{AF}(\mathfrak{H})$ ,  $\mathfrak{H}^1 \in \text{HL}$  und mit Theorem 3-25  $\text{VERS}(\mathfrak{H}^1) = \text{VERS}(\mathfrak{H}) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \text{Sei } \alpha = \alpha \urcorner)\}$ . Damit gilt  $\text{VANS}(\mathfrak{H}^1) = \text{VANS}(\mathfrak{H}) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \text{Sei } \alpha = \alpha \urcorner)\}$  und  $\ulcorner (A \vee B) \wedge ((A \rightarrow \Gamma) \wedge (B \rightarrow \Gamma)) \urcorner \in \text{VER}(\mathfrak{H}) \subseteq \text{VER}(\mathfrak{H}^1)$ . Also ist *zweitens* nach Definition 3-5  $\mathfrak{H}^2 \in \text{KBF}(\mathfrak{H}^1)$ ,  $\mathfrak{H}^2 \in \text{HL}$  und mit Theorem 3-25  $\text{VERS}(\mathfrak{H}^2) = \text{VERS}(\mathfrak{H}^1) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^1), \ulcorner \text{Also } A \vee B \urcorner)\}$ . Damit gilt  $\text{VANS}(\mathfrak{H}^2) = \text{VANS}(\mathfrak{H}^1)$ ,  $\ulcorner (A \vee B) \wedge ((A \rightarrow \Gamma) \wedge (B \rightarrow \Gamma)) \urcorner \in \text{VER}(\mathfrak{H}^1) \subseteq \text{VER}(\mathfrak{H}^2)$  und  $\ulcorner A \vee B \urcorner \in \text{VER}(\mathfrak{H}^2)$ . Also ist *drittens* nach Definition 3-5  $\mathfrak{H}^3 \in \text{KBF}(\mathfrak{H}^2)$ ,  $\mathfrak{H}^3 \in \text{HL}$  und mit Theorem 3-25  $\text{VERS}(\mathfrak{H}^3) = \text{VERS}(\mathfrak{H}^2) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^2), \ulcorner \text{Also } (A \rightarrow \Gamma) \wedge (B \rightarrow \Gamma) \urcorner)\}$ . Damit gilt  $\text{VANS}(\mathfrak{H}^3) = \text{VANS}(\mathfrak{H}^2)$ ,  $\ulcorner A \vee B \urcorner \in \text{VER}(\mathfrak{H}^2) \subseteq \text{VER}(\mathfrak{H}^3)$  und  $\ulcorner (A \rightarrow \Gamma) \wedge (B \rightarrow \Gamma) \urcorner \in \text{VER}(\mathfrak{H}^3)$ . Also ist *viertens* nach Definition 3-5  $\mathfrak{H}^4 \in \text{KBF}(\mathfrak{H}^3)$ ,  $\mathfrak{H}^4 \in \text{HL}$  und mit Theorem 3-25  $\text{VERS}(\mathfrak{H}^4) = \text{VERS}(\mathfrak{H}^3) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^3), \ulcorner \text{Also } A \rightarrow \Gamma \urcorner)\}$ . Damit gilt  $\text{VANS}(\mathfrak{H}^4) = \text{VANS}(\mathfrak{H}^3)$ ,  $\ulcorner A \vee B \urcorner, \ulcorner (A \rightarrow \Gamma) \wedge (B \rightarrow \Gamma) \urcorner \in \text{VER}(\mathfrak{H}^3) \subseteq \text{VER}(\mathfrak{H}^4)$  und

$\ulcorner A \rightarrow \Gamma \urcorner \in \text{VER}(\mathfrak{H}^4)$ . Sodann ist *fünftens* nach Definition 3-16  $\mathfrak{H}^5 \in \text{IEF}(\mathfrak{H}^4)$ ,  $\mathfrak{H}^5 \in \text{HL}$  und mit Theorem 3-25  $\text{VERS}(\mathfrak{H}^5) = \text{VERS}(\mathfrak{H}^4) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^4), \ulcorner \text{Also } \alpha = \alpha \urcorner)\}$ . Damit gilt  $\text{VANS}(\mathfrak{H}^5) = \text{VANS}(\mathfrak{H}^4)$  und  $\ulcorner A \vee B \urcorner, \ulcorner A \rightarrow \Gamma \urcorner, \ulcorner (A \rightarrow \Gamma) \wedge (B \rightarrow \Gamma) \urcorner \in \text{VER}(\mathfrak{H}^4) \subseteq \text{VER}(\mathfrak{H}^5)$ . Also ist *sechstens* nach Definition 3-5  $\mathfrak{H}^6 \in \text{KBF}(\mathfrak{H}^5)$ ,  $\mathfrak{H}^6 \in \text{HL}$  und mit Theorem 3-25  $\text{VERS}(\mathfrak{H}^6) = \text{VERS}(\mathfrak{H}^5) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^5), \ulcorner \text{Also } B \rightarrow \Gamma \urcorner)\}$ . Damit gilt  $\text{VANS}(\mathfrak{H}^6) = \text{VANS}(\mathfrak{H}^5)$ ,  $\ulcorner A \vee B \urcorner, \ulcorner A \rightarrow \Gamma \urcorner \in \text{VER}(\mathfrak{H}^5) \subseteq \text{VER}(\mathfrak{H}^6)$  und  $\ulcorner B \rightarrow \Gamma \urcorner \in \text{VER}(\mathfrak{H}^6)$ . Sodann ist *siebtens* nach Definition 3-16  $\mathfrak{H}^7 \in \text{IEF}(\mathfrak{H}^6)$ ,  $\mathfrak{H}^7 \in \text{HL}$  und mit Theorem 3-25  $\text{VERS}(\mathfrak{H}^7) = \text{VERS}(\mathfrak{H}^6) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^6), \ulcorner \text{Also } \alpha = \alpha \urcorner)\}$ . Damit gilt  $\text{VANS}(\mathfrak{H}^7) = \text{VANS}(\mathfrak{H}^6)$  und  $\ulcorner A \vee B \urcorner, \ulcorner A \rightarrow \Gamma \urcorner, \ulcorner B \rightarrow \Gamma \urcorner \in \text{VER}(\mathfrak{H}^6) \subseteq \text{VER}(\mathfrak{H}^7)$ . Schließlich ist *achtens* nach Definition 3-9  $\mathfrak{H}^8 \in \text{ABF}(\mathfrak{H}^7)$ ,  $\mathfrak{H}^8 \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$  und mit Theorem 3-25  $\text{VERS}(\mathfrak{H}^8) = \text{VERS}(\mathfrak{H}^7) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^7), \ulcorner \text{Also } \Gamma \urcorner)\}$ . Damit gilt  $\text{VANS}(\mathfrak{H}^8) = \text{VANS}(\mathfrak{H}^7) = \text{VANS}(\mathfrak{H}) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \text{Sei } \alpha = \alpha \urcorner)\}$  und  $\Gamma \in \text{VER}(\mathfrak{H}^8)$ . Damit gilt  $\text{VAN}(\mathfrak{H}^8) = \text{VAN}(\mathfrak{H}) \cup \{\ulcorner \alpha = \alpha \urcorner\}$ . Dann gibt es mit Theorem 4-7  $\mathfrak{H}^+ \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ , so dass  $\text{VAN}(\mathfrak{H}^+) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H}^8) \setminus \{\ulcorner \alpha = \alpha \urcorner\} = (\text{VAN}(\mathfrak{H}) \cup \{\ulcorner \alpha = \alpha \urcorner\}) \setminus \{\ulcorner \alpha = \alpha \urcorner\} = \text{VAN}(\mathfrak{H}) \setminus \{\ulcorner \alpha = \alpha \urcorner\} \subseteq (X \cup Y \cup Z) \setminus \{\ulcorner \alpha = \alpha \urcorner\} \subseteq X \cup Y \cup Z$  und  $\text{K}(\mathfrak{H}^+) = \Gamma$ . Damit gilt dann nach Theorem 3-12  $X \cup Y \cup Z \vdash \Gamma$ .

*Zu (x) (AB\*):* Sei  $X \vdash \ulcorner A \vee B \urcorner$  und  $Y \vdash \Gamma$  und  $A \in Y$  und  $Z \vdash \Gamma$  und  $B \in Z$ . Dann gilt mit (i):  $Y \setminus \{A\} \vdash \ulcorner A \rightarrow B \urcorner$  und  $Z \setminus \{B\} \vdash \ulcorner B \rightarrow A \urcorner$ . Dann gilt mit (ix):  $X \cup (Y \setminus \{A\}) \cup (Z \setminus \{B\}) \vdash \Gamma$ .

*Zu (xi) (NE):* Sei  $X \vdash \Gamma$  und  $Y \vdash \ulcorner \neg \Gamma \urcorner$  und  $A \in X \cup Y$ . Ist  $A = \ulcorner \Delta \wedge \neg \Delta \urcorner$  für ein  $\Delta \in \text{GFORM}$ , dann gilt mit Theorem 4-17 direkt:  $(X \cup Y) \setminus \{A\} \vdash \ulcorner \neg(\Delta \wedge \neg \Delta) \urcorner = \ulcorner \neg A \urcorner$ . Sei nun  $A \neq \ulcorner \Delta \wedge \neg \Delta \urcorner$  für alle  $\Delta$ . Mit (iii) ergibt sich zunächst:  $X \cup Y \vdash \ulcorner \Gamma \wedge \neg \Gamma \urcorner$ . Sodann gilt wiederum mit Theorem 4-17:  $X \cup Y \vdash \ulcorner \neg(\Gamma \wedge \neg \Gamma) \urcorner$  und damit mit (iii):  $X \cup Y \vdash \ulcorner (\Gamma \wedge \neg \Gamma) \wedge \neg(\Gamma \wedge \neg \Gamma) \urcorner$ . Mit (i) ergibt sich sodann:  $(X \cup Y) \setminus \{A\} \vdash \ulcorner A \rightarrow ((\Gamma \wedge \neg \Gamma) \wedge \neg(\Gamma \wedge \neg \Gamma)) \urcorner$ . Damit gibt es mit Theorem 3-12  $\mathfrak{H} \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ , so dass  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \subseteq (X \cup Y) \setminus \{A\}$  und  $\text{K}(\mathfrak{H}) = \ulcorner A \rightarrow ((\Gamma \wedge \neg \Gamma) \wedge \neg(\Gamma \wedge \neg \Gamma)) \urcorner$ . Mit  $A \notin \text{VAN}(\mathfrak{H})$  gilt dann nach Definition 2-32 für alle  $i \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}))$ , dass  $A(\mathfrak{H}_i) \neq A$ . Nun gibt es ein  $\alpha \in \text{KONSTTTSEQ}(\mathfrak{H})$ . Dann lässt sich  $\mathfrak{H}$  wie folgt zu einem  $\mathfrak{H}^7 \in \text{SEQ}$  mit  $\mathfrak{H}^7 \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}) = \mathfrak{H}$  fortsetzen:

$$\begin{aligned}
\mathfrak{H}^1 &= \mathfrak{H} \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \text{Sei } A \urcorner)\} \\
\mathfrak{H}^2 &= \mathfrak{H}^1 \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^1), \ulcorner \text{Also } \alpha = \alpha \urcorner)\} \\
\mathfrak{H}^3 &= \mathfrak{H}^2 \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^2), \ulcorner \text{Also } (\Gamma \wedge \neg\Gamma) \wedge \neg(\Gamma \wedge \neg\Gamma) \urcorner)\} \\
\mathfrak{H}^4 &= \mathfrak{H}^3 \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^3), \ulcorner \text{Also } \Gamma \wedge \neg\Gamma \urcorner)\} \\
\mathfrak{H}^5 &= \mathfrak{H}^4 \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^4), \ulcorner \text{Also } \alpha = \alpha \urcorner)\} \\
\mathfrak{H}^6 &= \mathfrak{H}^5 \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^5), \ulcorner \text{Also } \neg(\Gamma \wedge \neg\Gamma) \urcorner)\} \\
\mathfrak{H}^7 &= \mathfrak{H}^6 \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^6), \ulcorner \text{Also } \neg A \urcorner)\}
\end{aligned}$$

Zunächst ist  $\mathfrak{H}^7_{\text{Dom}(\mathfrak{H})} \notin \text{FSATZ}$ . Sodann gilt mit  $\alpha \in \text{KONST}\backslash\text{TTSEQ}(\mathfrak{H})$  auch  $\alpha \notin \text{TTFM}(\{A, \Gamma\})$  und damit insgesamt, dass für alle  $i \in \text{Dom}(\mathfrak{H}^7)$  gilt:  $\alpha \in \text{TT}(\mathfrak{H}^7_i)$  gdw  $i \in \{\text{Dom}(\mathfrak{H})+1, \text{Dom}(\mathfrak{H})+4\}$ . Mit Theorem 1-3, Theorem 1-5 und Theorem 1-6 sind sodann  $\text{K}(\mathfrak{H}^1) \neq \text{K}(\mathfrak{H}^2)$ ,  $\text{K}(\mathfrak{H}^2) \neq \text{K}(\mathfrak{H}^3)$ ,  $\text{K}(\mathfrak{H}^3) \neq \text{K}(\mathfrak{H}^4)$ ,  $\text{K}(\mathfrak{H}^4) \neq \text{K}(\mathfrak{H}^5)$  und  $\text{K}(\mathfrak{H}^5) \neq \text{K}(\mathfrak{H}^6)$ . Zudem sind  $\text{K}(\mathfrak{H}^2)$  bis  $\text{K}(\mathfrak{H}^6)$  keine Subjunktorenformeln.  $\text{K}(\mathfrak{H}^2)$  bis  $\text{K}(\mathfrak{H}^5)$  sind keine Negatorformeln. Wäre  $\mathfrak{H}^6 \in \text{NEF}(\mathfrak{H}^5)$ , dann gäbe es ein  $j \in \text{Dom}(\mathfrak{H}^7)$ , so dass  $A(\mathfrak{H}^7_j) = \ulcorner \neg\alpha = \alpha \urcorner$ . Dann wäre aber  $\alpha \in \text{TA}(A(\mathfrak{H}^7_j))$  und daher  $j \in \{\text{Dom}(\mathfrak{H})+1, \text{Dom}(\mathfrak{H})+4\}$ . Nun ist aber  $A(\mathfrak{H}^7_{\text{Dom}(\mathfrak{H})+1}) = A(\mathfrak{H}^7_{\text{Dom}(\mathfrak{H})+4}) = \ulcorner \alpha = \alpha \urcorner$ . Mit Theorem 1-5 und Theorem 1-6 ergibt sich ein Widerspruch. Also  $\mathfrak{H}^8 \notin \text{NEF}(\mathfrak{H}^7)$ . Damit gilt insgesamt  $\mathfrak{H}^1 \notin \text{SEF}(\mathfrak{H}) \cup \text{NEF}(\mathfrak{H}) \cup \text{PBF}(\mathfrak{H})$  und  $\mathfrak{H}^2 \notin \text{SEF}(\mathfrak{H}^1) \cup \text{NEF}(\mathfrak{H}^1) \cup \text{PBF}(\mathfrak{H}^1)$  und  $\mathfrak{H}^3 \notin \text{SEF}(\mathfrak{H}^2) \cup \text{NEF}(\mathfrak{H}^2) \cup \text{PBF}(\mathfrak{H}^2)$  und  $\mathfrak{H}^4 \notin \text{SEF}(\mathfrak{H}^3) \cup \text{NEF}(\mathfrak{H}^3) \cup \text{PBF}(\mathfrak{H}^3)$  und  $\mathfrak{H}^5 \notin \text{SEF}(\mathfrak{H}^4) \cup \text{NEF}(\mathfrak{H}^4) \cup \text{PBF}(\mathfrak{H}^4)$  und  $\mathfrak{H}^6 \notin \text{SEF}(\mathfrak{H}^5) \cup \text{NEF}(\mathfrak{H}^5) \cup \text{PBF}(\mathfrak{H}^5)$ .

Hingegen ist *erstens* nach Definition 3-1  $\mathfrak{H}^1 \in \text{AF}(\mathfrak{H})$ ,  $\mathfrak{H}^1 \in \text{HL}$  und mit Theorem 3-25  $\text{VERS}(\mathfrak{H}^1) = \text{VERS}(\mathfrak{H}) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \text{Sei } A \urcorner)\}$ . Damit gilt  $\text{VANS}(\mathfrak{H}^1) = \text{VANS}(\mathfrak{H}) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \text{Sei } A \urcorner)\}$ ,  $\ulcorner A \rightarrow ((\Gamma \wedge \neg\Gamma) \wedge \neg(\Gamma \wedge \neg\Gamma)) \urcorner \in \text{VER}(\mathfrak{H}) \subseteq \text{VER}(\mathfrak{H}^1)$  und  $A \in \text{VER}(\mathfrak{H}^1)$ . Sodann ist *zweitens* nach Definition 3-16  $\mathfrak{H}^2 \in \text{IEF}(\mathfrak{H}^1)$ ,  $\mathfrak{H}^2 \in \text{HL}$  und mit Theorem 3-25  $\text{VERS}(\mathfrak{H}^2) = \text{VERS}(\mathfrak{H}^1) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^1), \ulcorner \text{Also } \alpha = \alpha \urcorner)\}$ . Damit gilt  $\text{VANS}(\mathfrak{H}^2) = \text{VANS}(\mathfrak{H}^1)$  und  $A, \ulcorner A \rightarrow ((\Gamma \wedge \neg\Gamma) \wedge \neg(\Gamma \wedge \neg\Gamma)) \urcorner \in \text{VER}(\mathfrak{H}^1) \subseteq \text{VER}(\mathfrak{H}^2)$ . Also ist *drittens* nach Definition 3-3  $\mathfrak{H}^3 \in \text{SBF}(\mathfrak{H}^2)$ ,  $\mathfrak{H}^3 \in \text{HL}$  und mit Theorem 3-25  $\text{VERS}(\mathfrak{H}^3) = \text{VERS}(\mathfrak{H}^2) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^2), \ulcorner \text{Also } (\Gamma \wedge \neg\Gamma) \wedge \neg(\Gamma \wedge \neg\Gamma) \urcorner)\}$ . Damit gilt  $\text{VANS}(\mathfrak{H}^3) = \text{VANS}(\mathfrak{H}^2)$  und  $\ulcorner (\Gamma \wedge \neg\Gamma) \wedge \neg(\Gamma \wedge \neg\Gamma) \urcorner \in \text{VER}(\mathfrak{H}^3)$ . Also ist *viertens* nach Definition 3-5  $\mathfrak{H}^4 \in \text{KBF}(\mathfrak{H}^3)$ ,  $\mathfrak{H}^4 \in \text{HL}$  und mit Theorem 3-25  $\text{VERS}(\mathfrak{H}^4) = \text{VERS}(\mathfrak{H}^3) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^3), \ulcorner \text{Also } \Gamma \wedge \neg\Gamma \urcorner)\}$ . Damit gilt  $\text{VANS}(\mathfrak{H}^4) = \text{VANS}(\mathfrak{H}^3)$ ,  $\ulcorner (\Gamma \wedge \neg\Gamma) \wedge \neg(\Gamma \wedge \neg\Gamma) \urcorner \in \text{VER}(\mathfrak{H}^3) \subseteq \text{VER}(\mathfrak{H}^4)$  und  $(\text{Dom}(\mathfrak{H}^3), \ulcorner \text{Also } \Gamma \wedge \neg\Gamma \urcorner) \in \text{VERS}(\mathfrak{H}^4)$ . Sodann ist *fünftens* nach Definition 3-16  $\mathfrak{H}^5 \in \text{IEF}(\mathfrak{H}^4)$ ,  $\mathfrak{H}^5 \in \text{HL}$  und mit Theorem 3-25  $\text{VERS}(\mathfrak{H}^5) = \text{VERS}(\mathfrak{H}^4) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^4), \ulcorner \text{Also } \alpha = \alpha \urcorner)\}$ . Damit gilt  $\text{VANS}(\mathfrak{H}^5) = \text{VANS}(\mathfrak{H}^4)$ ,  $\ulcorner (\Gamma \wedge \neg\Gamma) \wedge \neg(\Gamma \wedge \neg\Gamma) \urcorner \in \text{VER}(\mathfrak{H}^4) \subseteq \text{VER}(\mathfrak{H}^5)$  und  $(\text{Dom}(\mathfrak{H}^4), \ulcorner \text{Also } \alpha = \alpha \urcorner) \in \text{VERS}(\mathfrak{H}^5)$ .

$\neg\Gamma \wedge \neg(\Gamma \wedge \neg\Gamma)^\top \in \text{VER}(\mathfrak{H}^4) \subseteq \text{VER}(\mathfrak{H}^5)$  und  $(\text{Dom}(\mathfrak{H}^3), \ulcorner \text{Also } \Gamma \wedge \neg\Gamma^\top) \in \text{VERS}(\mathfrak{H}^5)$ . Also ist *sechstens* nach Definition 3-5  $\mathfrak{H}^6 \in \text{KBF}(\mathfrak{H}^5)$ ,  $\mathfrak{H}^6 \in \text{HL}$  und mit Theorem 3-25  $\text{VERS}(\mathfrak{H}^6) = \text{VERS}(\mathfrak{H}^5) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^5), \ulcorner \text{Also } \neg(\Gamma \wedge \neg\Gamma)^\top)\}$ . Damit gilt  $\text{VANS}(\mathfrak{H}^6) = \text{VANS}(\mathfrak{H}^5)$  und  $(\text{Dom}(\mathfrak{H}^3), \ulcorner \text{Also } \Gamma \wedge \neg\Gamma^\top)$ ,  $(\text{Dom}(\mathfrak{H}^5), \ulcorner \text{Also } \neg(\Gamma \wedge \neg\Gamma)^\top) \in \text{VERS}(\mathfrak{H}^6)$ , sowie  $(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \text{Sei } A^\top) \in \text{VANS}(\mathfrak{H}^1) = \text{VANS}(\mathfrak{H}^6)$ .

Insgesamt gilt  $\text{Dom}(\mathfrak{H}), \text{Dom}(\mathfrak{H}^3) \in \text{Dom}(\mathfrak{H}^6)$ , wobei  $\text{Dom}(\mathfrak{H}) \leq \text{Dom}(\mathfrak{H}^3)$ ,  $A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})}^6) = A$  und  $(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})}^6) \in \text{VANS}(\mathfrak{H}^6)$ ,  $A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})+3}^6) = \ulcorner \Gamma \wedge \neg\Gamma^\top$  und  $A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H}^6)-1}^6) = \ulcorner \neg(\Gamma \wedge \neg\Gamma)^\top$ ,  $(\text{Dom}(\mathfrak{H}^3), \mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})+3}^6) \in \text{VERS}(\mathfrak{H}^6)$  und es gibt kein  $l$  mit  $\text{Dom}(\mathfrak{H}) < l \leq \text{Dom}(\mathfrak{H}^6)-1$ , so dass  $(l, \mathfrak{H}_l^6) \in \text{VANS}(\mathfrak{H}^6)$ . Schließlich ist damit nach Definition 3-10  $\mathfrak{H}^7 \in \text{NEF}(\mathfrak{H}^6)$ ,  $\mathfrak{H}^7 \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$  und mit Theorem 3-20-(iv) und -(v)  $\text{VANS}(\mathfrak{H}^7) = \text{VANS}(\mathfrak{H}^6) \setminus \{(\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^6))), \mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^6)))}^7)\} = \text{VANS}(\mathfrak{H}^6) \setminus \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \text{Sei } A^\top)\} = \text{VANS}(\mathfrak{H}^1) \setminus \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \text{Sei } A^\top)\} = (\text{VANS}(\mathfrak{H}) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \text{Sei } A^\top)\}) \setminus \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \text{Sei } A^\top)\} = \text{VANS}(\mathfrak{H}) \setminus \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \text{Sei } A^\top)\} \subseteq \text{VANS}(\mathfrak{H})$ . Mit Theorem 2-74 ist dann  $\text{VAN}(\mathfrak{H}^7) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H}) \subseteq (X \cup Y) \setminus \{A\}$ . Da  $\text{K}(\mathfrak{H}^7) = \ulcorner \neg A^\top$ , gilt mit Theorem 3-12  $(X \cup Y) \setminus \{A\} \vdash \ulcorner \neg A^\top$ .

Zu (xvi) (PB): Sei  $\beta \in \text{PAR}$ ,  $\xi \in \text{VAR}$ ,  $\Delta \in \text{FORM}$ , wobei  $\text{FV}(\Delta) \subseteq \{\xi\}$ , und  $X \vdash \ulcorner \forall \xi \Delta^\top$  und  $Y \vdash \Gamma$  und  $[\beta, \xi, \Delta] \in Y$ , wobei  $\beta \notin \text{TTFM}(Y \setminus \{[\beta, \xi, \Delta]\} \cup \{\Delta, \Gamma\})$ . Dann gilt mit (i):  $Y \setminus \{[\beta, \xi, \Delta]\} \vdash \ulcorner [\beta, \xi, \Delta] \rightarrow \Gamma^\top$ . Sodann gilt mit  $\Gamma \in \text{GFORM}$ :  $[\beta, \xi, \Gamma] = \Gamma$ . Damit ist  $[\beta, \xi, \ulcorner \Delta \rightarrow \Gamma^\top] = \ulcorner [\beta, \xi, \Delta] \rightarrow [\beta, \xi, \Gamma]^\top = \ulcorner [\beta, \xi, \Delta] \rightarrow \Gamma^\top$  und damit gilt  $Y \setminus \{[\beta, \xi, \Delta]\} \vdash [\beta, \xi, \ulcorner \Delta \rightarrow \Gamma^\top]$ . Sodann ergibt sich mit  $\beta \notin \text{TTFM}(\{\Delta, \Gamma\})$  und  $\text{PAR} \cap \text{KONST} = \emptyset$ :  $\beta \notin \text{TT}(\ulcorner \Delta \rightarrow \Gamma^\top)$ . Sodann ist mit  $\Gamma \in \text{GFORM}$  und  $\text{FV}(\Delta) \subseteq \{\xi\}$  auch  $\text{FV}(\ulcorner \Delta \rightarrow \Gamma^\top) \subseteq \{\xi\}$ . Da nach Annahme auch  $\beta \notin \text{TTFM}(Y \setminus \{[\beta, \xi, \Delta]\})$ , so gilt dann mit (xv):  $Y \setminus \{[\beta, \xi, \Delta]\} \vdash \ulcorner \wedge \xi (\Delta \rightarrow \Gamma)^\top$ . Mit (iii) gilt  $X \cup (Y \setminus \{[\beta, \xi, \Delta]\}) \vdash \ulcorner \wedge \xi (\Delta \rightarrow \Gamma) \wedge \forall \xi \Delta^\top$ .

Dann gibt es nach Theorem 3-12  $\mathfrak{H} \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ , so dass  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \subseteq X \cup (Y \setminus \{[\beta, \xi, \Delta]\})$  und  $\text{K}(\mathfrak{H}) = \ulcorner \wedge \xi (\Delta \rightarrow \Gamma) \wedge \forall \xi \Delta^\top$ . Mit Theorem 4-5 gibt es dann ein  $\mathfrak{H}^* \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ , so dass  $\text{VAN}(\mathfrak{H}^*) = \text{VAN}(\mathfrak{H}) \subseteq X \cup (Y \setminus \{[\beta, \xi, \Delta]\})$  und  $\ulcorner \wedge \xi (\Delta \rightarrow \Gamma)^\top, \ulcorner \forall \xi \Delta^\top \in \text{VER}(\mathfrak{H}^*)$  und  $\text{K}(\mathfrak{H}^*) = \ulcorner \forall \xi \Delta^\top$ . Mit Theorem 2-81 ist genauer  $(\text{Dom}(\mathfrak{H}^*)-1, \ulcorner \exists \forall \xi \Delta^\top) \in \text{VERS}(\mathfrak{H}^*)$  für ein  $\exists \in \text{PERF}$ . Nun gibt es ein  $\beta^* \in \text{PAR} \setminus \text{TTSEQ}(\mathfrak{H}^*)$  und ein  $\alpha \in \text{KONST} \setminus \text{TTSEQ}(\mathfrak{H}^*)$ . Dann lässt sich  $\mathfrak{H}^*$  wie folgt zu  $\mathfrak{H}^6 \in \text{SEQ}$  mit  $\mathfrak{H}^6 \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H}^*) = \mathfrak{H}^*$  fortsetzen:

$$\begin{aligned}
\mathfrak{H}^1 &= \mathfrak{H}^* \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^*), \ulcorner \text{Sei } [\beta^*, \xi, \Delta] \urcorner)\} \\
\mathfrak{H}^2 &= \mathfrak{H}^1 \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^1), \ulcorner \text{Also } \alpha = \alpha \urcorner)\} \\
\mathfrak{H}^3 &= \mathfrak{H}^2 \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^2), \ulcorner \text{Also } [\beta^*, \xi, \Delta] \rightarrow \Gamma \urcorner)\} \\
\mathfrak{H}^4 &= \mathfrak{H}^3 \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^3), \ulcorner \text{Also } \alpha = \alpha \urcorner)\} \\
\mathfrak{H}^5 &= \mathfrak{H}^4 \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^4), \ulcorner \text{Also } \Gamma \urcorner)\} \\
\mathfrak{H}^6 &= \mathfrak{H}^5 \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^5), \ulcorner \text{Also } \Gamma \urcorner)\}
\end{aligned}$$

Zunächst ist  $\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H}^*)}^6 \notin \text{FSATZ}$ . Sodann gilt mit  $\alpha \in \text{KONST} \setminus \text{TTSEQ}(\mathfrak{H})$  auch  $\alpha \notin \text{TTFM}(\{[\beta^*, \xi, \Delta], \Gamma\})$  und damit insgesamt, dass für alle  $i \in \text{Dom}(\mathfrak{H}^6)$  gilt:  $\alpha \in \text{TT}(\mathfrak{H}^6_i)$  gdw  $i = \text{Dom}(\mathfrak{H}^*)+1$  oder  $i = \text{Dom}(\mathfrak{H}^*)+3$ . Mit Theorem 1-3, Theorem 1-5 und Theorem 1-6 sind sodann  $\text{K}(\mathfrak{H}^1) \neq \text{K}(\mathfrak{H}^2)$ ,  $\text{K}(\mathfrak{H}^2) \neq \text{K}(\mathfrak{H}^3)$ ,  $\text{K}(\mathfrak{H}^3) \neq \text{K}(\mathfrak{H}^4)$  und  $\text{K}(\mathfrak{H}^4) \neq \text{K}(\mathfrak{H}^5)$ . Zudem sind  $\text{K}(\mathfrak{H}^2)$  und  $\text{K}(\mathfrak{H}^4)$  keine Subjunktormeln. Wäre  $\mathfrak{H}^3 \in \text{SEF}(\mathfrak{H}^2)$ , dann wäre  $\ulcorner \alpha = \alpha \urcorner = \Gamma$  und damit  $\alpha \in \text{TT}(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H}^*)+2}^6)$ . Widerspruch. Also  $\mathfrak{H}^3 \notin \text{SEF}(\mathfrak{H}^2)$ . Außerdem sind  $\text{K}(\mathfrak{H}^2)$ ,  $\text{K}(\mathfrak{H}^3)$  und  $\text{K}(\mathfrak{H}^4)$  keine Negatorformeln. Wäre  $\mathfrak{H}^5 \in \text{SEF}(\mathfrak{H}^4) \cup \text{NEF}(\mathfrak{H}^4)$ , dann wäre  $\alpha \in \text{TT}(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H}^*)+4}^6)$  oder es gibt ein  $j \in \text{Dom}(\mathfrak{H}^6)$ , so dass  $\text{A}(\mathfrak{H}^6_j) = \ulcorner \neg \alpha = \alpha \urcorner$ . Dann wäre aber  $\alpha \in \text{TA}(\text{A}(\mathfrak{H}^5_j))$  und daher  $j = \text{Dom}(\mathfrak{H})+1$  oder  $j = \text{Dom}(\mathfrak{H})+3$ . Da  $\text{A}(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})+1}^6) = \text{A}(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})+3}^6) = \ulcorner \alpha = \alpha \urcorner$ , folgt mit Theorem 1-5 und Theorem 1-6 abermals ein Widerspruch. Damit gilt insgesamt  $\mathfrak{H}^1 \notin \text{SEF}(\mathfrak{H}^*) \cup \text{NEF}(\mathfrak{H}^*) \cup \text{PBF}(\mathfrak{H}^*)$  und  $\mathfrak{H}^2 \notin \text{SEF}(\mathfrak{H}^1) \cup \text{NEF}(\mathfrak{H}^1) \cup \text{PBF}(\mathfrak{H}^1)$  und  $\mathfrak{H}^3 \notin \text{SEF}(\mathfrak{H}^2) \cup \text{NEF}(\mathfrak{H}^2) \cup \text{PBF}(\mathfrak{H}^2)$  und  $\mathfrak{H}^4 \notin \text{SEF}(\mathfrak{H}^3) \cup \text{NEF}(\mathfrak{H}^3) \cup \text{PBF}(\mathfrak{H}^3)$  und  $\mathfrak{H}^5 \notin \text{SEF}(\mathfrak{H}^4) \cup \text{NEF}(\mathfrak{H}^4) \cup \text{PBF}(\mathfrak{H}^4)$ .

Hingegen ist *erstens* nach Definition 3-1  $\mathfrak{H}^1 \in \text{AF}(\mathfrak{H})$ ,  $\mathfrak{H}^1 \in \text{HL}$  und mit Theorem 3-25  $\text{VERS}(\mathfrak{H}^1) = \text{VERS}(\mathfrak{H}^*) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^*), \ulcorner \text{Sei } [\beta^*, \xi, \Delta] \urcorner)\}$ . Damit gilt  $\text{VANS}(\mathfrak{H}^1) = \text{VANS}(\mathfrak{H}^*) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}), \ulcorner \text{Sei } [\beta^*, \xi, \Delta] \urcorner)\}$ ,  $(\text{Dom}(\mathfrak{H}^*)-1, \mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H}^*)-1}^6) \in \text{VERS}(\mathfrak{H}^1)$ , wobei  $\text{A}(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H}^*)-1}^6) = \ulcorner \forall \xi \Delta \urcorner$ , und  $\ulcorner \wedge \xi (\Delta \rightarrow \Gamma) \urcorner \in \text{VER}(\mathfrak{H}^*) \subseteq \text{VER}(\mathfrak{H}^1)$  und  $[\beta^*, \xi, \Delta] \in \text{VER}(\mathfrak{H}^1)$ . Sodann ist *zweitens* nach Definition 3-16  $\mathfrak{H}^2 \in \text{IEF}(\mathfrak{H}^1)$ ,  $\mathfrak{H}^2 \in \text{HL}$  und mit Theorem 3-25  $\text{VERS}(\mathfrak{H}^2) = \text{VERS}(\mathfrak{H}^1) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^1), \ulcorner \text{Also } \alpha = \alpha \urcorner)\}$ . Damit gilt  $(\text{Dom}(\mathfrak{H}^*), \ulcorner \text{Sei } [\beta^*, \xi, \Delta] \urcorner) \in \text{VANS}(\mathfrak{H}^1) = \text{VANS}(\mathfrak{H}^2)$  und  $\ulcorner \wedge \xi (\Delta \rightarrow \Gamma) \urcorner, [\beta^*, \xi, \Delta] \in \text{VER}(\mathfrak{H}^1) \subseteq \text{VER}(\mathfrak{H}^2)$  und  $(\text{Dom}(\mathfrak{H}^*)-1, \mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H}^*)-1}^6) \in \text{VERS}(\mathfrak{H}^2)$ . Also ist *drittens* nach Definition 3-13  $\mathfrak{H}^3 \in \text{UBF}(\mathfrak{H}^2)$ ,  $\mathfrak{H}^3 \in \text{HL}$  und mit Theorem 3-25  $\text{VERS}(\mathfrak{H}^3) = \text{VERS}(\mathfrak{H}^2) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^2), \ulcorner \text{Also } [\beta^*, \xi, \Delta] \rightarrow \Gamma \urcorner)\}$ . Damit gilt  $(\text{Dom}(\mathfrak{H}^*), \ulcorner \text{Sei } [\beta^*, \xi, \Delta] \urcorner) \in \text{VANS}(\mathfrak{H}^2) = \text{VANS}(\mathfrak{H}^3)$  und  $(\text{Dom}(\mathfrak{H}^*)-1, \mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H}^*)-1}^6) \in \text{VERS}(\mathfrak{H}^3)$  und  $[\beta^*, \xi, \Delta] \in \text{VER}(\mathfrak{H}^2) \subseteq \text{VER}(\mathfrak{H}^3)$  und  $\ulcorner [\beta^*, \xi, \Delta] \rightarrow \Gamma \urcorner \in \text{VER}(\mathfrak{H}^3)$ . Sodann ist *viertens* nach Definition 3-16  $\mathfrak{H}^4 \in \text{IEF}(\mathfrak{H}^3)$ ,  $\mathfrak{H}^4 \in \text{HL}$  und mit Theorem 3-25  $\text{VERS}(\mathfrak{H}^4) = \text{VERS}(\mathfrak{H}^3) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^3), \ulcorner \text{Also } \alpha = \alpha \urcorner)\}$ . Damit gilt  $(\text{Dom}(\mathfrak{H}^*), \ulcorner \text{Sei } [\beta^*, \xi, \Delta] \urcorner) \in \text{VANS}(\mathfrak{H}^3) =$

$\text{VANS}(\mathfrak{H}^4)$  und  $(\text{Dom}(\mathfrak{H}^*)-1, \mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H}^*)-1}^6) \in \text{VERS}(\mathfrak{H}^4)$  und  $\lceil [\beta^*, \xi, \Delta] \rightarrow \Gamma \rceil, [\beta^*, \xi, \Delta] \in \text{VER}(\mathfrak{H}^3) \subseteq \text{VER}(\mathfrak{H}^4)$ . Also ist *fünftens* nach Definition 3-3  $\mathfrak{H}^5 \in \text{SBF}(\mathfrak{H}^4)$ ,  $\mathfrak{H}^5 \in \text{HL}$  und mit Theorem 3-25  $\text{VERS}(\mathfrak{H}^5) = \text{VERS}(\mathfrak{H}^4) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^4), \lceil \text{Also } \Gamma \rceil)\}$ . Damit gilt  $(\text{Dom}(\mathfrak{H}^*), \lceil \text{Sei } [\beta^*, \xi, \Delta] \rceil) \in \text{VANS}(\mathfrak{H}^4) = \text{VANS}(\mathfrak{H}^5)$  und  $(\text{Dom}(\mathfrak{H}^*)-1, \mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H}^*)-1}^6), (\text{Dom}(\mathfrak{H}^*)+4, \lceil \text{Also } \Gamma \rceil) \in \text{VERS}(\mathfrak{H}^5)$ .

Insgesamt gilt damit  $\beta^* \in \text{PAR}$ ,  $\xi \in \text{VAR}$ ,  $\Delta \in \text{FORM}$ ,  $\text{FV}(\Delta) \subseteq \{\xi\}$ ,  $\Gamma \in \text{GFORM}$   $\text{Dom}(\mathfrak{H}^*)-1 \in \text{Dom}(\mathfrak{H}^5)$ ,  $A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H}^*)-1}^5) = \lceil \forall \xi \Delta \rceil$  und  $(\text{Dom}(\mathfrak{H}^*)-1, \mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H}^*)-1}^5) \in \text{VERS}(\mathfrak{H}^5)$ ,  $A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H}^*)}^5) = [\beta^*, \xi, \Delta]$  und  $(\text{Dom}(\mathfrak{H}^*), \mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H}^*)}^5) \in \text{VANS}(\mathfrak{H}^5)$ ,  $A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H}^*)-1}^5) = \Gamma$  und es gibt kein  $j \leq \text{Dom}(\mathfrak{H}^*)-1$ , so dass  $\beta^* \in \text{TT}(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H}^*)-1}^5)$  und es gibt kein  $m$  mit  $\text{Dom}(\mathfrak{H}^*) < m \leq \text{Dom}(\mathfrak{H}^*)-1$  gibt, so dass  $(m, \mathfrak{H}_m^5) \in \text{VANS}(\mathfrak{H}^5)$ . Schließlich ist damit nach Definition 3-15  $\mathfrak{H}^6 \in \text{NEF}(\mathfrak{H}^5)$ ,  $\mathfrak{H}^6 \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$  und mit Theorem 3-21-(iv) und -(v)  $\text{VANS}(\mathfrak{H}^6) = \text{VANS}(\mathfrak{H}^5) \setminus \{(\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^5))), \mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^5))}^6)\} = \text{VANS}(\mathfrak{H}^5) \setminus \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^*), \lceil \text{Sei } [\beta^*, \xi, \Delta] \rceil)\} = \text{VANS}(\mathfrak{H}^4) \setminus \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^*), \lceil \text{Sei } [\beta^*, \xi, \Delta] \rceil)\} = (\text{VANS}(\mathfrak{H}^4) \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^4), \lceil \text{Also } \Gamma \rceil)\}) \setminus \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^4), \lceil \text{Sei } [\beta^*, \xi, \Delta] \rceil)\} = \text{VANS}(\mathfrak{H}^4) \setminus \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^4), \lceil \text{Sei } [\beta^*, \xi, \Delta] \rceil)\} \subseteq \text{VANS}(\mathfrak{H}^4)$ . Mit Theorem 2-74 ist dann  $\text{VAN}(\mathfrak{H}^6) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H}^4) \subseteq X \cup (Y \setminus \{[\beta, \xi, \Delta]\})$ . Da  $\text{K}(\mathfrak{H}^6) = \Gamma$ , gilt mit Theorem 3-12  $X \cup (Y \setminus \{[\beta, \xi, \Delta]\}) \vdash \Gamma$ .

*Zu (xvii) (IE):* Sei  $X \subseteq \text{GFORM}$  und  $\theta \in \text{GTERM}$ . Dann ist nach Definition 3-16  $\{(0, \lceil \text{Also } \theta = \theta \rceil)\} \in \text{IE}(\emptyset) \subseteq \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$  und es ist  $\text{VANS}(\{(0, \lceil \text{Also } \theta = \theta \rceil)\}) = \emptyset$  und somit nach Definition 2-32  $\text{VAN}(\{(0, \lceil \text{Also } \theta = \theta \rceil)\}) = \emptyset$  und  $\text{K}(\{(0, \lceil \text{Also } \theta = \theta \rceil)\}) = \lceil \theta = \theta \rceil$  und damit nach Theorem 3-12  $\emptyset \vdash \lceil \theta = \theta \rceil$ . Mit Theorem 4-16 ist  $X \vdash \lceil \theta = \theta \rceil$ .  $\square$

#### **Theorem 4-19. Transitivität**

Wenn  $X \text{ M} \vdash Y$  und  $Y \vdash B$ , dann  $X \vdash B$ .

*Beweis:* Zunächst wird durch Induktion über  $|Y|$  gezeigt, dass die Behauptung für alle endlichen  $Y$  gilt: Gelte die Behauptung für alle  $k < |Y|$ . Sei  $|Y| = 0$ . Sei nun  $X \text{ M} \vdash Y$  und  $Y \vdash B$ . Dann ist  $Y = \emptyset \subseteq X \subseteq \text{GFORM}$ . Mit Theorem 4-16 folgt  $X \vdash B$ .

Sei nun  $0 < |Y|$  und gelte  $X \text{ M} \vdash Y$  und  $Y \vdash B$ . Dann ist nach Definition 3-25  $X \cup Y \subseteq \text{GFORM}$  und für alle  $\Delta \in Y$  gilt:  $X \vdash \Delta$ . Mit  $Y \vdash B$  gibt es dann nach Theorem 3-12  $\mathfrak{H} \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ , so dass  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \subseteq Y$  und  $\text{K}(\mathfrak{H}) = B$ . Mit Theorem 4-1 gibt es dann ein  $\mathfrak{H}^* \in \text{HL}$ , so dass  $|\text{VANS}(\mathfrak{H}^*)| = |\text{VAN}(\mathfrak{H}^*)|$ ,  $\text{VAN}(\mathfrak{H}^*) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H})$  und  $\text{K}(\mathfrak{H}^*) = B$ . Sei  $\mathfrak{H}^*$  so.

Dann gilt mit Theorem 3-12  $\text{VAN}(\mathfrak{H}^*) \vdash B$  und  $\text{VAN}(\mathfrak{H}^*) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H}) \subseteq Y$ . Dann gilt mit  $\text{VAN}(\mathfrak{H}^*) \subseteq Y$ , dass für alle  $\Delta \in \text{VAN}(\mathfrak{H}^*)$  gilt  $X \vdash \Delta$  und damit  $X \text{ M} \vdash \text{VAN}(\mathfrak{H}^*)$ . Sodann ist  $|\text{VAN}(\mathfrak{H}^*)| \leq |Y|$ . Sei  $|\text{VAN}(\mathfrak{H}^*)| < |Y|$ . Dann greift I.V. und es gilt  $X \vdash B$ . Sei nun  $|\text{VAN}(\mathfrak{H}^*)| = |Y|$ . Da  $0 < |Y|$  ist dann  $\text{VAN}(\mathfrak{H}^*) \neq \emptyset$  und damit nach Definition 2-32  $\text{VANS}(\mathfrak{H}^*) \neq \emptyset$ . Dann ist mit Theorem 3-18  $\mathfrak{H}' = \mathfrak{H}^* \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^*), \ulcorner A(\mathfrak{H}^*_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^*)))}) \rightarrow B \urcorner) \in \text{SEF}(\mathfrak{H}^*) \subseteq \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$  und mit Theorem 3-19-(iv) und (v) ist  $\text{VANS}(\mathfrak{H}^*) \setminus \text{VANS}(\mathfrak{H}') = \{(\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^*))), \mathfrak{H}^*_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^*)))})\}$  und  $\text{VANS}(\mathfrak{H}^*) = \text{VANS}(\mathfrak{H}') \cup \{(\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^*))), \mathfrak{H}^*_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^*)))})\}$ . Dann ist  $|\text{VANS}(\mathfrak{H}^*)| = |\text{VANS}(\mathfrak{H}')| + 1$  und also  $|\text{VAN}(\mathfrak{H}')| \leq |\text{VANS}(\mathfrak{H}')| < |\text{VANS}(\mathfrak{H}^*)| = |Y|$  und mit Theorem 3-12 gilt  $\text{VAN}(\mathfrak{H}') \vdash \ulcorner A(\mathfrak{H}^*_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^*)))}) \rightarrow B \urcorner$  und mit Theorem 2-74  $\text{VAN}(\mathfrak{H}') \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H}^*) \subseteq Y$ . Dann gilt mit  $\text{VAN}(\mathfrak{H}') \subseteq Y$ , dass für alle  $\Delta \in \text{VAN}(\mathfrak{H}')$  gilt  $X \vdash \Delta$  und damit  $X \text{ M} \vdash \text{VAN}(\mathfrak{H}')$ . Damit gilt nach I.V.  $X \vdash \ulcorner A(\mathfrak{H}^*_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^*)))}) \rightarrow B \urcorner$ . Sodann ist  $A(\mathfrak{H}^*_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^*)))}) \in \text{VAN}(\mathfrak{H}^*) \subseteq Y$  und damit gilt nach Annahme:  $X \vdash A(\mathfrak{H}^*_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H}^*)))})$ . Damit ergibt sich mit Theorem 4-18-(ii):  $X \vdash B$ .

Damit, dass die Behauptung für endliches  $Y$  gilt, gilt sie dann auch für alle: Gelte nämlich  $X \text{ M} \vdash Y$  und  $Y \vdash B$ . Dann gilt nach Definition 3-25  $X \cup Y \subseteq \text{GFORM}$  und für alle  $\Gamma \in Y$ :  $X \vdash \Gamma$ . Gelte nun  $Y \vdash B$ . Dann gibt es mit Theorem 3-12  $\mathfrak{H} \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ , so dass  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \subseteq Y$  und  $\text{K}(\mathfrak{H}) = B$ . Dann ist nach Theorem 3-9  $\text{VAN}(\mathfrak{H})$  endlich und  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \subseteq \text{GFORM}$ . Dann gilt wieder nach Theorem 3-12, dass  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \vdash B$ . Sodann gilt mit  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \subseteq Y$ , dass für alle  $\Gamma \in \text{VAN}(\mathfrak{H})$  gilt:  $X \vdash \Gamma$  und damit  $X \text{ M} \vdash \text{VAN}(\mathfrak{H})$ . Damit gilt dann  $X \vdash B$ .  $\square$

**Theorem 4-20. Cut**

Wenn  $X \cup \{B\} \vdash A$  und  $Y \vdash B$ , dann  $X \cup Y \vdash A$ .

*Beweis:* Gelte  $X \cup \{B\} \vdash A$  und  $Y \vdash B$ . Dann gilt mit Theorem 4-18-(i):  $X \setminus \{B\} \vdash \ulcorner B \rightarrow A \urcorner$  und damit mit Theorem 4-16, dass  $X \vdash \ulcorner B \rightarrow A \urcorner$ . Damit gilt mit Theorem 4-18-(ii):  $X \cup Y \vdash A$ .  $\square$

**Theorem 4-21.** *Deduktionstheorem und Umkehrung*

$X \cup \{A\} \vdash B$  gdw  $X \vdash \ulcorner A \rightarrow B \urcorner$ .

*Beweis:* Gelte zunächst  $X \cup \{A\} \vdash B$ . Dann gilt mit Theorem 4-18-(i):  $X \setminus \{A\} \vdash \ulcorner A \rightarrow B \urcorner$  und damit mit Theorem 4-16, dass  $X \vdash \ulcorner A \rightarrow B \urcorner$ . Gelte nun umgekehrt  $X \vdash \ulcorner A \rightarrow B \urcorner$ . Dann ist nach Definition 3-21 und Theorem 3-9  $\ulcorner A \rightarrow B \urcorner \in \text{GFORM}$  und damit auch  $A \in \text{GFORM}$ . Damit gilt mit Theorem 4-15:  $\{A\} \vdash A$  und somit mit Theorem 4-18-(ii):  $X \cup \{A\} \vdash B$ .  $\square$

**Theorem 4-22.** *Inkonsistenz und Ableitbarkeit*

$X \vdash A$  gdw  $X \cup \{\ulcorner \neg A \urcorner\}$  ist inkonsistent.

*Beweis:* (L-R): Gelte zunächst  $X \vdash A$ . Dann ist mit Definition 3-21 und Theorem 3-9  $X \subseteq \text{GFORM}$  und  $A \in \text{GFORM}$ . Dann ist  $\ulcorner \neg A \urcorner \in \text{GFORM}$  und damit gilt mit Theorem 4-16, dass  $X \cup \{\ulcorner \neg A \urcorner\} \vdash A$ , und mit Theorem 4-15:  $X \cup \{\ulcorner \neg A \urcorner\} \vdash \ulcorner \neg A \urcorner$ . Damit gilt nach Definition 3-24, dass  $X \cup \{\ulcorner \neg A \urcorner\}$  inkonsistent ist.

(R-L): Sei nun  $X \cup \{\ulcorner \neg A \urcorner\}$  inkonsistent. Dann gilt nach Definition 3-24, dass  $X \cup \{\ulcorner \neg A \urcorner\} \subseteq \text{GFORM}$  und dass es  $\Gamma \in \text{GFORM}$  gibt, so dass  $X \cup \{\ulcorner \neg A \urcorner\} \vdash \Gamma$  und  $X \cup \{\ulcorner \neg A \urcorner\} \vdash \ulcorner \neg \Gamma \urcorner$ . Dann gilt mit Theorem 4-18-(xi):  $X \setminus \{\ulcorner \neg A \urcorner\} \vdash \ulcorner \neg \neg A \urcorner$  und damit mit Theorem 4-16:  $X \vdash \ulcorner \neg \neg A \urcorner$ . Daraus folgt mit Theorem 4-18-(xii), dass  $X \vdash A$ .  $\square$

**Theorem 4-23.** *Eine Aussagenmenge ist genau dann inkonsistent, wenn sich alle Aussagen aus ihr ableiten lassen*

$X$  ist inkonsistent gdw für alle  $\Gamma \in \text{GFORM}$ :  $X \vdash \Gamma$ .

*Beweis:* (L-R): Sei zunächst  $X$  inkonsistent. Dann gilt nach Definition 3-24, dass  $X \subseteq \text{GFORM}$  und dass es  $A \in \text{GFORM}$  gibt, so dass  $X \vdash A$  und  $X \vdash \ulcorner \neg A \urcorner$ . Sei nun  $\Gamma \in \text{GFORM}$ . Dann ist  $\ulcorner \neg \Gamma \urcorner \in \text{GFORM}$ . Dann gilt mit Theorem 4-16:  $X \cup \{\ulcorner \neg \Gamma \urcorner\} \vdash A$  und  $X \cup \{\ulcorner \neg \Gamma \urcorner\} \vdash \ulcorner \neg A \urcorner$ . Damit ist  $X \cup \{\ulcorner \neg \Gamma \urcorner\}$  inkonsistent. Damit gilt nach Theorem 4-22:  $X \vdash \Gamma$ .

(R-L): Gelte nun für alle  $\Gamma \in \text{GFORM}$ , dass  $X \vdash \Gamma$ . Nun gibt es ein  $\Delta \in \text{GFORM}$ . Dann ist mit  $\Delta$  auch  $\ulcorner \neg \Delta \urcorner \in \text{GFORM}$ . Dann gilt also  $X \vdash \Delta$  und  $X \vdash \ulcorner \neg \Delta \urcorner$ . Dann ist mit

Definition 3-21  $X \subseteq \text{GFORM}$  und somit gilt insgesamt nach Definition 3-24, dass  $X$  inkonsistent ist.  $\square$

**Theorem 4-24. Generalisierungstheorem**

Wenn  $\xi \in \text{VAR}$ ,  $\Delta \in \text{FORM}$ , wobei  $\text{FV}(\Delta) \subseteq \{\xi\}$ ,  $\alpha \in \text{KONST}$  und  $X \vdash [\alpha, \xi, \Delta]$ , wobei  $\alpha \notin \text{TTFM}(X \cup \{\Delta\})$ , dann  $X \vdash \ulcorner \wedge \xi \Delta \urcorner$

*Beweis:* Sei  $\xi \in \text{VAR}$ ,  $\Delta \in \text{FORM}$ , wobei  $\text{FV}(\Delta) \subseteq \{\xi\}$ ,  $\alpha \in \text{KONST}$  und  $X \vdash [\alpha, \xi, \Delta]$ , wobei  $\alpha \notin \text{TTFM}(X \cup \{\Delta\})$ . Dann gibt nach Theorem 3-12 ein  $\mathfrak{H} \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ , so dass  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \subseteq X$  und  $\text{K}(\mathfrak{H}) = [\alpha, \xi, \Delta]$ . Sodann gibt es ein  $\beta \in \text{PAR} \setminus \text{TTSEQ}(\mathfrak{H})$ . Mit Theorem 4-9 gibt es dann ein  $\mathfrak{H}^* \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ , so dass:

- a)  $\alpha \notin \text{TTSEQ}(\mathfrak{H}^*)$ ,
- b)  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) = \{[\alpha, \beta, B] \mid B \in \text{VAN}(\mathfrak{H}^*)\}$  und
- c)  $\text{K}(\mathfrak{H}) = [\alpha, \beta, \text{K}(\mathfrak{H}^*)]$ .

Da nun für alle  $\Gamma \in \text{VAN}(\mathfrak{H})$  gilt, dass  $\alpha \notin \text{TT}(\Gamma)$ , gilt dann mit b), dass für alle  $B \in \text{VAN}(\mathfrak{H}^*)$  gilt, dass  $\beta \notin \text{TT}(B)$  und damit  $\beta \notin \text{TTFM}(\text{VAN}(\mathfrak{H}^*))$ . Wäre nämlich  $\beta \in \text{TT}(\Gamma)$  für ein  $\Gamma \in \text{VAN}(\mathfrak{H}^*)$ , dann wäre  $\alpha \in \text{TT}([\alpha, \beta, \Gamma])$  und mit b) wäre  $[\alpha, \beta, \Gamma] \in \text{VAN}(\mathfrak{H}) \subseteq X$ . Damit würde aber im Gegensatz zur Voraussetzung gelten, dass  $\alpha \in \text{TTFM}(X)$ . Damit gilt mit b):  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) = \{[\alpha, \beta, B] \mid B \in \text{VAN}(\mathfrak{H}^*)\} = \{B \mid B \in \text{VAN}(\mathfrak{H}^*)\} = \text{VAN}(\mathfrak{H}^*)$ .

Sodann ist mit c)  $[\alpha, \xi, \Delta] = \text{K}(\mathfrak{H}) = [\alpha, \beta, \text{K}(\mathfrak{H}^*)]$ . Da nach Eingangsannahme und mit a) gilt:  $\alpha \notin \text{TT}(\Delta) \cup \text{TT}(\text{K}(\mathfrak{H}^*))$  ist dann mit Theorem 1-18  $\text{K}(\mathfrak{H}^*) = [\beta, \xi, \Delta]$ . Dann ist  $\beta \notin \text{TT}(\Delta)$ , denn sonst würde wegen  $[\alpha, \xi, \Delta] = \text{K}(\mathfrak{H})$  im Gegensatz zur Wahl von  $\beta$  gelten, dass  $\beta \in \text{TT}(\text{K}(\mathfrak{H})) \subseteq \text{TTSEQ}(\mathfrak{H})$ . Damit gilt dann insgesamt, dass  $\mathfrak{H}^* \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^*), \ulcorner \text{Also } \wedge \xi \Delta \urcorner)\} \in \text{UEF}(\mathfrak{H}^*) \subseteq \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ . Damit gilt mit Theorem 3-26-(v)  $\text{VAN}(\mathfrak{H}^* \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H}^*), \ulcorner \text{Also } \wedge \xi \Delta \urcorner)\}) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H}^*) = \text{VAN}(\mathfrak{H}) \subseteq X$  und Theorem 3-12, dass  $X \vdash \ulcorner \wedge \xi \Delta \urcorner$ .  $\square$

**Theorem 4-25. Mehrfache IB**

Wenn  $k \in \mathbb{N} \setminus \{0\}$ ,  $\{\theta_0, \dots, \theta_{k-1}\}, \{\theta'_0, \dots, \theta'_{k-1}\} \subseteq \text{GTERM}$ ,  $\{\xi_0, \dots, \xi_{k-1}\} \subseteq \text{VAR}$ , wobei für alle  $i, j \in k$  mit  $i \neq j$  auch  $\xi_i \neq \xi_j$ ,  $\Delta \in \text{FORM}$ , wobei  $\text{FV}(\Delta) \subseteq \{\xi_0, \dots, \xi_{k-1}\}$  und  $X \vdash [\langle \theta_0, \dots, \theta_{k-1} \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{k-1} \rangle, \Delta]$  und für alle  $i < k$ :  $X \vdash \ulcorner \theta_i = \theta'_i \urcorner$ , dann  $X \vdash [\langle \theta'_0, \dots, \theta'_{k-1} \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{k-1} \rangle, \Delta]$ .

*Beweis:* Durch Induktion über  $k$ . Für  $k = 1$  ergibt sich die Behauptung mit Theorem 4-18-(xviii). Gelte die Behauptung nun für  $k$  und sei  $\{\theta_0, \dots, \theta_k\}, \{\theta'_0, \dots, \theta'_k\} \subseteq \text{GTERM}$ ,  $\{\xi_0, \dots, \xi_k\} \subseteq \text{VAR}$ , wobei für alle  $i, j \in k+1$  mit  $i \neq j$  auch  $\xi_i \neq \xi_j$ ,  $\Delta \in \text{FORM}$ , wobei  $\text{FV}(\Delta) \subseteq \{\xi_0, \dots, \xi_k\}$  und  $X \vdash [\langle \theta_0, \dots, \theta_k \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_k \rangle, \Delta]$  und für alle  $i < k+1$ :  $X \vdash \ulcorner \theta_i = \theta'_i \urcorner$ .

Dann gilt mit Theorem 1-23, dass  $[\langle \theta_0, \dots, \theta_k \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_k \rangle, \Delta] = [\theta_k, \xi_k, [\langle \theta_1, \dots, \theta_{k-1} \rangle, \langle \xi_1, \dots, \xi_{k-1} \rangle, \Delta]]$  und damit dass  $X \vdash [\theta_k, \xi_k, [\langle \theta_1, \dots, \theta_{k-1} \rangle, \langle \xi_1, \dots, \xi_{k-1} \rangle, \Delta]]$ , wobei mit  $\text{FV}(\Delta) \subseteq \{\xi_0, \dots, \xi_k\}$  gilt:  $\text{FV}([\langle \theta_1, \dots, \theta_{k-1} \rangle, \langle \xi_1, \dots, \xi_{k-1} \rangle, \Delta]) \subseteq \{\xi_k\}$ . Dann gilt mit  $X \vdash \ulcorner \theta_k = \theta'_k \urcorner$  und Theorem 4-18-(xviii), dass  $X \vdash [\theta'_k, \xi_k, [\langle \theta_1, \dots, \theta_{k-1} \rangle, \langle \xi_1, \dots, \xi_{k-1} \rangle, \Delta]]$  und damit wieder mit Theorem 1-23, dass  $X \vdash [\langle \theta_0, \dots, \theta_{k-1}, \theta'_k \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{k-1}, \xi_k \rangle, \Delta]$ . Dann gilt mit Theorem 1-24:  $[\langle \theta_0, \dots, \theta_{k-1}, \theta'_k \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{k-1}, \xi_k \rangle, \Delta] = [\langle \theta_0, \dots, \theta_{k-1} \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{k-1} \rangle, [\theta'_k, \xi_k, \Delta]]$  und damit  $X \vdash [\langle \theta_0, \dots, \theta_{k-1} \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{k-1} \rangle, [\theta'_k, \xi_k, \Delta]]$ , wobei mit  $\text{FV}(\Delta) \subseteq \{\xi_0, \dots, \xi_k\}$  gilt:  $\text{FV}([\theta'_k, \xi_k, \Delta]) \subseteq \{\xi_0, \dots, \xi_{k-1}\}$ . Damit gilt dann nach I.V., dass  $X \vdash [\langle \theta'_0, \dots, \theta'_{k-1} \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_{k-1} \rangle, [\theta'_k, \xi_k, \Delta]]$  und damit wiederum mit Theorem 1-24:  $X \vdash [\langle \theta'_0, \dots, \theta'_k \rangle, \langle \xi_0, \dots, \xi_k \rangle, \Delta]$ .  $\square$





## 5 Modelltheorie

Im vorliegenden Kapitel wird ein modelltheoretischer Konsequenzbegriff zur Sprache  $L$  entwickelt. Zunächst werden die nötigen Begrifflichkeiten definiert – insbesondere die modelltheoretische Erfüllung und darauf aufbauend dann die Konsequenzschaft – und grundlegende Zusammenhänge zwischen ihnen bewiesen (5.1). Daran schließen sich Theoreme zur Abgeschlossenheit der modelltheoretischen Konsequenzschaft an (5.2). Darauf aufbauend kann dann im nachfolgenden Kap. 6 die Korrektheit und Vollständigkeit des Redehandlungskalküls bezüglich des in Kap. 5.1 entwickelten modelltheoretischen Folgerungsbegriffs gezeigt werden.

### 5.1 Erfüllungsrelation und modelltheoretische Konsequenz

Die Entwicklung des modelltheoretischen Konsequenzbegriffs folgt dem Standardvorgehen.<sup>13</sup> Zunächst werden Interpretationsfunktionen, Modelle und Belegungen definiert. Dies genügt um in Definition 5-6 geschlossenen Termen ein Denotat zuzuweisen, wobei die übliche Definition sich in Theorem 5-2 spiegelt. Sodann kann in Definition 5-8 bestimmt werden, wann ein Modell mit einer Belegung eine Formel erfüllt. Die übliche Definition wird hier von Theorem 5-4 gespiegelt. Sodann werden ein Koinzidenz- und ein Substitutionslemma (Theorem 5-5 und Theorem 5-6) sowie weitere Theoreme bewiesen, die im Fortgang benötigt werden. Abschließend werden noch die gängigen weiterführenden Begriffe eingeführt, darunter die modelltheoretische Konsequenzschaft (Definition 5-10), die in der Formulierung der Korrektheit und der Vollständigkeit verwendet wird.

---

<sup>13</sup> Siehe etwa EBBINGHAUS, H.-D.; FLUM, J.; THOMAS, W.: *Mathematische Logik*, S. 29–62, GRÄDEL, E.: *Mathematische Logik*, S. 49–53, und WAGNER, H.: *Logische Systeme*, S. 47–54.

**Definition 5-1. Interpretationsfunktion** $I$  ist eine Interpretationsfunktion für  $D$ 

gdw

 $D$  ist eine Menge und  $I$  ist eine Funktion mit  $\text{Dom}(I) = \text{KONST} \cup \text{FUNK} \cup \text{PRÄ}$  und

- (i) Für alle  $\alpha \in \text{KONST}$ :  $I(\alpha) \in D$ ,
- (ii) Für alle  $\varphi \in \text{FUNK}$ : Wenn  $\varphi$   $r$ -stellig ist, dann ist  $I(\varphi)$  eine  $r$ -stellige Funktion über  $D$ ,
- (iii) Für alle  $\Phi \in \text{PRÄ}$ : Wenn  $\Phi$   $r$ -stellig ist, dann  $I(\Phi) \subseteq {}^r D$  und
- (iv)  $I(\ulcorner \urcorner) = \{\langle x, x \rangle \mid x \in D\}$ .

**Definition 5-2. Modell** $M$  ist ein Modell

gdw

es gibt  $D, I$ , so dass  $I$  eine Interpretationsfunktion für  $D$  ist und  $M = (D, I)$ .

*Hinweis:* Die Nicht-Leerheit von  $D$  wird wegen  $\text{KONST} \neq \emptyset$  mit Klausel (i) von Definition 5-1 gewährleistet. Anders als üblich werden die Belegungsfunktionen nun nicht über VAR, sondern über PAR definiert – die Parameter übernehmen also dem Kalkül entsprechend auch in der Modelltheorie die Aufgaben, die andernorts oft von freien Variablen geleistet werden. Dementsprechend werden Quantorformeln (z. B.  $\ulcorner \wedge \xi \Delta \urcorner$ ) nicht für  $\Delta$ , sondern für eine Parameterinstanz (z. B.  $[\beta, \xi, \Delta]$ ) ausgewertet (vgl. Definition 5-7 und Theorem 5-4).

**Definition 5-3. Belegung** $b$  ist eine Belegung für  $D$ 

gdw

 $b$  ist eine Funktion mit  $\text{Dom}(b) = \text{PAR}$  und  $\text{Ran}(b) \subseteq D$ .**Definition 5-4. Belegungsvariante** $b'$  ist in  $\beta$  eine Belegungsvariante von  $b$  für  $D$ 

gdw

 $b'$  und  $b$  sind Belegungen für  $D$  und  $\beta \in \text{PAR}$  und  $b' \setminus \{(\beta, b'(\beta))\} \subseteq b$ .

**Definition 5-5.** *Termdenotationsfunktionen für Modelle und Belegungen*

$F$  ist eine Termdenotationsfunktion für  $D, I, b$

gdw

$(D, I)$  ist ein Modell und  $b$  eine Belegung für  $D$  und  $F$  ist eine Funktion auf GTERM und:

- (i) Wenn  $\alpha \in \text{KONST}$ , dann  $F(\alpha) = I(\alpha)$ ,
- (ii) Wenn  $\beta \in \text{PAR}$ , dann  $F(\beta) = b(\beta)$  und
- (iii) Wenn  $\varphi \in \text{FUNK}$ , wobei  $\varphi$   $r$ -stellig ist, und  $\theta_0, \dots, \theta_{r-1} \in \text{GTERM}$ , dann  $F(\ulcorner \varphi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \urcorner) = I(\varphi)(\langle F(\theta_0), \dots, F(\theta_{r-1}) \rangle)$ .

**Theorem 5-1.** *Für jedes Modell  $(D, I)$  und Belegung  $b$  für  $D$  gibt es genau eine Termdenotationsfunktion*

Wenn  $(D, I)$  ein Modell und  $b$  eine Belegung für  $D$  ist, dann gibt es genau ein  $F$ , so dass  $F$  eine Termdenotationsfunktion für  $D, I, b$  ist.

*Beweis:* Sei  $(D, I)$  ein Modell und  $b$  eine Belegung für  $D$ . Dann gibt es mit den Theoremen über eindeutige Lesbarkeit (Theorem 1-5 und Theorem 1-6) genau eine Funktion  $F$  auf GTERM, so dass Klausel (i) bis (iii) von Definition 5-5 für  $F$  erfüllt sind und damit nach Definition 5-5 genau eine Termdenotationsfunktion für  $D, I, b$ .  $\square$

**Definition 5-6.** *Termdenotationsoperation (TD)*

$\text{TD}(\theta, D, I, b) = a$

gdw

- (i) Es gibt eine Termdenotationsfunktion  $F$  für  $D, I, b$  und  $\theta \in \text{GTERM}$  und  $a = F(\theta)$
- oder
- (ii) Es gibt keine Termdenotationsfunktion für  $D, I, b$  oder  $\theta \notin \text{GTERM}$  und  $a = \emptyset$ .

Das folgende Theorem spiegelt die übliche Definition von Termdenotaten für Modelle und Belegungen wider:

**Theorem 5-2.** *Termdenotate für Modelle und Belegungen*

Wenn  $(D, I)$  ein Modell und  $b$  eine Belegung für  $D$  ist, dann:

- (i) Wenn  $\alpha \in \text{KONST}$ , dann  $\text{TD}(\alpha, D, I, b) = I(\alpha)$ ,
- (ii) Wenn  $\beta \in \text{PAR}$ , dann  $\text{TD}(\beta, D, I, b) = b(\beta)$  und
- (iii) Wenn  $\varphi \in \text{FUNK}$ , wobei  $\varphi$   $r$ -stellig ist, und  $\theta_0, \dots, \theta_{r-1} \in \text{GTERM}$ , dann  $\text{TD}(\ulcorner \varphi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \urcorner, D, I, b) = I(\varphi)(\langle \text{TD}(\theta_0, D, I, b), \dots, \text{TD}(\theta_{r-1}, D, I, b) \rangle)$ .

*Beweis:* Sei  $(D, I)$  ein Modell und  $b$  eine Belegung für  $D$ . Dann gibt es mit Theorem 5-1 genau eine Termdenotationsfunktion  $F$  für  $D, I, b$ . Dann gilt nach Definition 5-6 für alle  $\theta \in \text{GTERM}$ :  $\text{TD}(\theta, D, I, b) = F(\theta)$ . Daraus folgt dann mit Definition 5-5 die Behauptung.  $\square$

**Definition 5-7.** *Erfüllungsfunktionen für Modelle und Belegungen*

$F$  ist eine Erfüllungsfunktion für  $D, I, b$

gdw

$(D, I)$  ist ein Modell,  $b$  eine Belegung für  $D$  und  $F$  ist eine Funktion auf  $\text{GFORM}$  und  $\text{Ran}(F) = \{0, 1\}$  und

- (i) Wenn  $\Phi \in \text{PRÄ}$ , wobei  $\Phi$   $r$ -stellig ist, und  $\theta_0, \dots, \theta_{r-1} \in \text{GTERM}$  dann:  

$$F(\ulcorner \Phi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \urcorner) = 1 \text{ gdw } \langle \text{TD}(\theta_0, D, I, b), \dots, \text{TD}(\theta_{r-1}, D, I, b) \rangle \in I(\Phi),$$
- (ii) Wenn  $A \in \text{GFORM}$ , dann:  $F(\ulcorner \neg A \urcorner) = 1$  gdw  $F(A) = 0$ ,
- (iii) Wenn  $A, B \in \text{GFORM}$ , dann  $F(\ulcorner A \wedge B \urcorner) = 1$  gdw  $F(A) = 1$  und  $F(B) = 1$ ,
- (iv) Wenn  $A, B \in \text{GFORM}$ , dann  $F(\ulcorner A \vee B \urcorner) = 1$  gdw  $F(A) = 1$  oder  $F(B) = 1$ ,
- (v) Wenn  $A, B \in \text{GFORM}$ , dann  $F(\ulcorner A \rightarrow B \urcorner) = 1$  gdw  $F(A) = 0$  oder  $F(B) = 1$ ,
- (vi) Wenn  $A, B \in \text{GFORM}$ , dann  $F(\ulcorner A \leftrightarrow B \urcorner) = 1$  gdw  $F(A) = F(B)$ ,
- (vii) Wenn  $\xi \in \text{VAR}$ ,  $\Delta \in \text{FORM}$  mit  $\text{FV}(\Delta) \subseteq \{\xi\}$ , dann  

$$F(\ulcorner \wedge \xi \Delta \urcorner) = 1$$
 gdw  
 es gibt  $\beta \in \text{PAR} \setminus \text{TT}(\Delta)$ , so dass für alle  $b'$ , die in  $\beta$  Belegungsvarianten von  $b$  für  $D$  sind:  $F([\beta, \xi, \Delta]) = 1$  und
- (viii) Wenn  $\xi \in \text{VAR}$ ,  $\Delta \in \text{FORM}$  mit  $\text{FV}(\Delta) \subseteq \{\xi\}$ , dann  

$$F(\ulcorner \vee \xi \Delta \urcorner) = 1$$
 gdw  
 es gibt  $\beta \in \text{PAR} \setminus \text{TT}(\Delta)$  und  $b'$ , das in  $\beta$  eine Belegungsvariante von  $b$  für  $D$  ist, so dass  $F([\beta, \xi, \Delta]) = 1$ .

**Theorem 5-3.** Für jedes Modell  $(D, I)$  und Belegung  $b$  für  $D$  gibt es genau eine Erfüllungsfunktion

Wenn  $(D, I)$  ein Modell und  $b$  eine Belegung für  $D$  ist, dann gibt es genau eine Erfüllungsfunktion für  $D, I, b$ .

*Beweis:* Sei  $(D, I)$  ein Modell und  $b$  eine Belegung für  $D$ . Dann gibt es mit den Theoremen über eindeutige Lesbarkeit (Theorem 1-5 und Theorem 1-6) genau eine Funktion  $F$  auf GFORM, so dass Klausel (i) bis (viii) von Definition 5-7 erfüllt sind und somit genau eine Erfüllungsfunktion für  $D, I, b$ .  $\square$

**Definition 5-8.** Vierstelliger modelltheoretischer Erfüllungsprädikator ('..., ..., .., = ..')

$D, I, b \models \Gamma$

gdw

$\Gamma \in \text{GFORM}$  und es gibt eine Erfüllungsfunktion  $F$  für  $D, I, b$ , so dass  $F(\Gamma) = 1$ .

Das folgende Theorem spiegelt die übliche induktive Definition der modelltheoretischen Konsequenz im hier gewählten Rahmen wider. Dabei wird in der üblichen Weise auf den zu '..., ..., .., = ..' gehörenden Negatprädikator ('..., ..., ..,  $\neq$  ..') zurückgegriffen.

**Theorem 5-4.** Übliche Erfüllungskonzeption

Wenn  $(D, I)$  ein Modell,  $b$  eine Belegung für  $D$ ,  $A, B \in \text{GFORM}$ ,  $\xi \in \text{VAR}$ ,  $\Phi \in \text{PRÄ}$ ,  $\theta_0, \dots, \theta_{r-1} \in \text{GFORM}$ , wobei  $\Phi$   $r$ -stellig ist,  $\Delta \in \text{FORM}$  mit  $\text{FV}(\Delta) \subseteq \{\xi\}$ , dann:

- (i)  $D, I, b \models \lceil \Phi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \rceil$  gdw  $\langle \text{TD}(\theta_0, D, I, b), \dots, \text{TD}(\theta_{r-1}, D, I, b) \rangle \in I(\Phi)$ ,
- (ii)  $D, I, b \models \lceil \neg A \rceil$  gdw  $D, I, b \not\models A$ ,
- (iii)  $D, I, b \models \lceil A \wedge B \rceil$  gdw  $D, I, b \models A$  und  $D, I, b \models B$ ,
- (iv)  $D, I, b \models \lceil A \vee B \rceil$  gdw  $D, I, b \models A$  oder  $D, I, b \models B$ ,
- (v)  $D, I, b \models \lceil A \rightarrow B \rceil$  gdw  $D, I, b \not\models A$  oder  $D, I, b \models B$ ,
- (vi)  $D, I, b \models \lceil A \leftrightarrow B \rceil$  gdw  
 $D, I, b \models A$  und  $D, I, b \models B$  oder  $D, I, b \not\models A$  und  $D, I, b \not\models B$ ,
- (vii)  $D, I, b \models \lceil \forall \xi \Delta \rceil$  gdw  
es gibt  $\beta \in \text{PAR} \setminus \text{TT}(\Delta)$ , so dass für alle  $b'$ , die in  $\beta$  Belegungsvarianten von  $b$  für  $D$  sind:  $D, I, b' \models [\beta, \xi, \Delta]$  und
- (viii)  $D, I, b \models \lceil \forall \xi \Delta \rceil$  gdw  
es gibt  $\beta \in \text{PAR} \setminus \text{TT}(\Delta)$  und  $b'$ , das in  $\beta$  eine Belegungsvariante von  $b$  für  $D$  ist, so dass  $D, I, b' \models [\beta, \xi, \Delta]$ .

*Beweis:* Seien  $(D, I)$  ein Modell,  $b$  eine Belegung für  $D$ ,  $A, B \in \text{GFORM}$ ,  $\xi \in \text{VAR}$ ,  $\Phi \in \text{PRÄ}$ ,  $\theta_0, \dots, \theta_{r-1} \in \text{GFORM}$ , wobei  $\Phi$   $r$ -stellig ist,  $\Delta \in \text{FORM}$  mit  $\text{FV}(\Delta) \subseteq \{\xi\}$ . Dann

gibt es mit Theorem 5-3 genau eine Erfüllungsfunktion  $F$  für  $D, I, b$ . Damit gilt dann mit Definition 5-8 für alle  $\Gamma \in \text{GFORM}$ :  $D, I, b \models \Gamma$  gdw  $F(\Gamma) = 1$ . Daraus ergibt sich die Behauptung dann mit Definition 5-7.  $\square$

**Theorem 5-5. Koinzidenzlemma**

Wenn  $(D, I)$  und  $(D, I')$  Modelle und  $b, b'$  Belegungen für  $D$  sind, dann:

- (i) Für alle  $\theta \in \text{GTERM}$ : Wenn  $I \uparrow \text{TA}(\theta) = I' \uparrow \text{TA}(\theta)$  und  $b \uparrow \text{TT}(\theta) = b' \uparrow \text{TT}(\theta)$ , dann  $\text{TD}(\theta, D, I, b) = \text{TD}(\theta, D, I', b')$  und
- (ii) Für alle  $\Gamma \in \text{GFORM}$ : Wenn  $I \uparrow \text{TA}(\Gamma) = I' \uparrow \text{TA}(\Gamma)$  und  $b \uparrow \text{TT}(\Gamma) = b' \uparrow \text{TT}(\Gamma)$ , dann  $D, I, b \models \Gamma$  gdw  $D, I', b' \models \Gamma$ .

*Beweis:* Zu (i): Seien  $(D, I)$  und  $(D, I')$  Modelle und  $b, b'$  Belegungen für  $D$ . Der Beweis wird durch Induktion über den Termaufbau von  $\theta \in \text{GTERM}$  geführt. Sei zunächst  $\theta \in \text{ATERM} \cap \text{GTERM}$  und gelte  $I \uparrow \text{TA}(\theta) = I' \uparrow \text{TA}(\theta)$  und  $b \uparrow \text{TT}(\theta) = b' \uparrow \text{TT}(\theta)$ . Dann ist  $\theta \in \text{KONST} \cup \text{PAR}$ . Sei nun  $\theta \in \text{KONST}$ . Dann gilt mit  $\{\theta\} = \text{TA}(\theta) \cap \text{KONST}$ ,  $I \uparrow \text{TA}(\theta) = I' \uparrow \text{TA}(\theta)$  und Theorem 5-2-(i):  $\text{TD}(\theta, D, I, b) = I(\theta) = I'(\theta) = \text{TD}(\theta, D, I', b')$ . Sei nun  $\theta \in \text{PAR}$ . Dann gilt mit  $\{\theta\} = \text{TT}(\theta) \cap \text{PAR}$ ,  $b \uparrow \text{TT}(\theta) = b' \uparrow \text{TT}(\theta)$  und Theorem 5-2-(ii):  $\text{TD}(\theta, D, I, b) = b(\theta) = b'(\theta) = \text{TD}(\theta, D, I', b')$ .

Gelte die Behauptung nun für  $\theta_0, \dots, \theta_{r-1} \in \text{TERM}$  und sei  $\varphi \in \text{FUNK}$ , wobei  $\varphi$   $r$ -stellig, und sei  $\ulcorner \varphi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \urcorner \in \text{FTERM} \cap \text{GTERM}$  und gelte  $I \uparrow \text{TA}(\ulcorner \varphi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \urcorner) = I' \uparrow \text{TA}(\ulcorner \varphi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \urcorner)$  und  $b \uparrow \text{TT}(\ulcorner \varphi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \urcorner) = b' \uparrow \text{TT}(\ulcorner \varphi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \urcorner)$ . Dann gilt mit  $\text{FV}(\ulcorner \varphi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \urcorner) = \cup\{\text{FV}(\theta_i) \mid i < r\}$  für alle  $\theta_i$  mit  $i < r$  ebenfalls:  $\theta_i \in \text{GTERM}$ . Sodann gilt mit  $\cup\{\text{TA}(\theta_i) \mid i < r\} \subseteq \text{TA}(\ulcorner \varphi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \urcorner)$  und  $\cup\{\text{TT}(\theta_i) \mid i < r\} \subseteq \text{TT}(\ulcorner \varphi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \urcorner)$  für alle  $i < r$ :  $I \uparrow \text{TA}(\theta_i) = I' \uparrow \text{TA}(\theta_i)$  und  $b \uparrow \text{TT}(\theta_i) = b' \uparrow \text{TT}(\theta_i)$ . Mit I.V. gilt somit für alle  $i < r$ :  $\text{TD}(\theta_i, D, I, b) = \text{TD}(\theta_i, D, I', b')$ . Sodann gilt mit  $\varphi \in \text{TA}(\ulcorner \varphi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \urcorner) \cap \text{FUNK}$  nach Annahme auch  $I(\varphi) = I'(\varphi)$ . Damit gilt:

$$\begin{aligned}
& \text{TD}(\ulcorner \varphi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \urcorner, D, I, b) \\
& = \\
& I(\varphi)(\langle \text{TD}(\theta_0, D, I, b), \dots, \text{TD}(\theta_{r-1}, D, I, b) \rangle) \\
& = \\
& I'(\varphi)(\langle \text{TD}(\theta_0, D, I', b'), \dots, \text{TD}(\theta_{r-1}, D, I', b') \rangle)
\end{aligned}$$

=

$$\text{TD}(\ulcorner \varphi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \urcorner, D, I', b').$$

Zu (ii): Der Beweis wird durch Induktion über den Formelgrad geführt. Gelte dazu das Theorem für alle  $A \in \text{FORM}$  mit  $\text{FGRAD}(A) < k$ . Seien nun  $(D, I)$ ,  $(D, I')$  Modelle,  $b$ ,  $b'$  Belegungen für  $D$  und sei  $\Gamma \in \text{GFORM}$  und gelte  $I \upharpoonright \text{TA}(\Gamma) = I' \upharpoonright \text{TA}(\Gamma)$  und  $b \upharpoonright \text{TT}(\Gamma) = b' \upharpoonright \text{TT}(\Gamma)$  und sei  $\text{FGRAD}(\Gamma) = k$ .

Sei  $\text{FGRAD}(\Gamma) = 0$ , also  $\Gamma \in \text{AFORM}$ . Dann gibt es  $\theta_0, \dots, \theta_{r-1} \in \text{Term}$  und  $\Phi \in \text{PRÄ}$ , wobei  $\Phi$   $r$ -stellig ist, so dass  $\Gamma = \ulcorner \Phi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \urcorner$ . Dann gilt mit  $\text{FV}(\ulcorner \Phi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \urcorner) = \cup\{\text{FV}(\theta_i) \mid i < r\}$ ,  $\cup\{\text{TA}(\theta_i) \mid i < r\} \subseteq \text{TA}(\ulcorner \Phi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \urcorner)$  und  $\cup\{\text{TT}(\theta_i) \mid i < r\} = \text{TT}(\ulcorner \Phi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \urcorner)$  nach der Annahme für  $\Gamma$  für alle  $i < r$ :  $\theta_i \in \text{GTERM}$ ,  $I \upharpoonright \text{TA}(\theta_i) = I' \upharpoonright \text{TA}(\theta_i)$  und  $b \upharpoonright \text{TT}(\theta_i) = b' \upharpoonright \text{TT}(\theta_i)$ . Mit (i) gilt damit dann für alle  $i < r$ :  $\text{TD}(\theta_i, D, I, b) = \text{TD}(\theta_i, D, I', b')$ . Sodann gilt mit  $\Phi \in \text{TA}(\ulcorner \Phi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \urcorner) \cap \text{PRÄ}$  nach Annahme auch  $I(\Phi) = I'(\Phi)$ . Damit gilt mit Theorem 5-4-(i) folgende Kette:

$$D, I, b \models \Gamma$$

gdw

$$D, I, b \models \ulcorner \Phi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \urcorner$$

gdw

$$\langle \text{TD}(\theta_0, D, I, b), \dots, \text{TD}(\theta_{r-1}, D, I, b) \rangle \in I(\Phi)$$

gdw

$$\langle \text{TD}(\theta_0, D, I', b'), \dots, \text{TD}(\theta_{r-1}, D, I', b') \rangle \in I'(\Phi)$$

gdw

$$D, I', b' \models \ulcorner \Phi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \urcorner$$

gdw

$$D, I', b' \models \Gamma.$$

Sei nun  $\text{FGRAD}(\Delta) \neq 0$ , also  $\Gamma \in \text{JFORM} \cup \text{QFORM}$ . Es können *sieben* Fälle unterschieden werden. *Erstens*: Sei  $\Gamma = \ulcorner \neg A \urcorner$ . Also  $\text{FGRAD}(A) < \text{FGRAD}(\Gamma)$ . Dann ist nach der Annahme für  $\Gamma$  auch  $A \in \text{GFORM}$ ,  $I \upharpoonright \text{TA}(A) = I' \upharpoonright \text{TA}(A)$  und  $b \upharpoonright \text{TT}(A) = b' \upharpoonright \text{TT}(A)$ . Mit Theorem 5-4-(ii) und I.V. gilt damit:

$D, I, b \models \Gamma$   
 gdw  
 $D, I, b \models \lceil \neg A \rceil$   
 gdw  
 $D, I, b \not\models A$   
 gdw  
 $D, I', b' \not\models A$   
 gdw  
 $D, I', b' \models \lceil \neg A \rceil$   
 gdw  
 $D, I', b' \models \Gamma$ .

*Zweitens:* Sei  $\Gamma = \lceil A \wedge B \rceil$ . Also  $\text{FGRAD}(A) < \text{FGRAD}(\Gamma)$  und  $\text{FGRAD}(B) < \text{FGRAD}(\Gamma)$ . Dann ist nach Annahme für  $\Gamma$  auch  $A, B \in \text{GTERM}$ ,  $I \upharpoonright (\text{TA}(A) \cup \text{TA}(B)) = I' \upharpoonright (\text{TA}(A) \cup \text{TA}(B))$  und  $b \upharpoonright (\text{TT}(A) \cup \text{TT}(B)) = b' \upharpoonright (\text{TT}(A) \cup \text{TT}(B))$ . Mit Theorem 5-4-(iii) und I.V. gilt:

$D, I, b \models \Gamma$   
 gdw  
 $D, I, b \models \lceil A \wedge B \rceil$   
 gdw  
 $D, I, b \models A$  und  $D, I, b \models B$   
 gdw  
 $D, I', b' \models A$  und  $D, I', b' \models B$   
 gdw  
 $D, I', b' \models \lceil A \wedge B \rceil$   
 gdw  
 $D, I', b' \models \Gamma$ .

Der *dritte* bis *fünfte* Fall verlaufen analog.

*Sechstens:* Sei  $\Gamma = \lceil \wedge \zeta \Delta \rceil$ . Dann ist nach der Annahme für  $\Gamma$   $\text{FV}(\Delta) \subseteq \{\zeta\}$ ,  $I \upharpoonright \text{TA}(\Delta) = I' \upharpoonright \text{TA}(\Delta)$  und  $b \upharpoonright \text{TT}(\Delta) = b' \upharpoonright \text{TT}(\Delta)$ . Gelte nun  $D, I, b \models \lceil \wedge \zeta \Delta \rceil$ . Dann gibt es mit

Theorem 5-4-(vii) ein  $\beta \in \text{PAR} \setminus \text{TT}(\Delta)$ , so dass für alle  $b^+$ , die in  $\beta$  Belegungsvarianten von  $b$  für  $D$  sind, gilt:  $D, I, b^+ \models [\beta, \zeta, \Delta]$ . Sei nun  $b'_1$  in  $\beta$  eine Belegungsvariante von  $b'$  für  $D$ . Sei nun  $b_1 = (b \setminus \{(\beta, b(\beta))\}) \cup \{(\beta, b'_1(\beta))\}$ . Dann ist  $b_1$  in  $\beta$  eine Belegungsvariante von  $b$  für  $D$  und somit gilt:  $D, I, b_1 \models [\beta, \zeta, \Delta]$ . Da  $\beta \notin \text{TT}(\Delta)$  gilt sodann mit  $b \uparrow \text{TT}(\Delta) = b' \uparrow \text{TT}(\Delta)$  für alle  $\beta' \in \text{TT}(\Delta) \cap \text{PAR}$ :  $b_1(\beta') = b(\beta') = b'(\beta') = b'_1(\beta')$ . Da sodann auch  $b_1(\beta) = b'_1(\beta)$  gilt damit mit  $\text{TT}([\beta, \zeta, \Delta]) \subseteq \text{TT}(\Delta) \cup \{\beta\}$ , dass  $b_1 \uparrow \text{TT}([\beta, \zeta, \Delta]) = b'_1 \uparrow \text{TT}([\beta, \zeta, \Delta])$ . Sodann gilt  $I \uparrow \text{TA}([\beta, \zeta, \Delta]) = I \uparrow (\text{TA}([\beta, \zeta, \Delta]) \cap (\text{KONST} \cup \text{FUNK} \cup \text{PRÄ})) = I \uparrow (\text{TA}(\Delta) \cap (\text{KONST} \cup \text{FUNK} \cup \text{PRÄ})) = I \uparrow \text{TA}(\Delta) = I \uparrow \text{TA}(\Delta) = I \uparrow (\text{TA}(\Delta) \cap (\text{KONST} \cup \text{FUNK} \cup \text{PRÄ})) = I \uparrow (\text{TA}([\beta, \zeta, \Delta]) \cap (\text{KONST} \cup \text{FUNK} \cup \text{PRÄ})) = I \uparrow \text{TA}([\beta, \zeta, \Delta])$  und somit  $I \uparrow \text{TA}([\beta, \zeta, \Delta]) = I \uparrow \text{TA}([\beta, \zeta, \Delta])$ . Ferner ist  $[\beta, \zeta, \Delta] \in \text{GFORM}$  und mit Theorem 1-8 ist  $\text{FGRAD}([\beta, \zeta, \Delta]) = \text{FGRAD}(\Delta) < \text{FGRAD}(\Gamma)$ . Damit gilt nach I.V. mit  $D, I, b_1 \models [\beta, \zeta, \Delta]$  auch:  $D, I', b'_1 \models [\beta, \zeta, \Delta]$ . Also gilt für alle  $b^{++}$  die in  $\beta$  Belegungsvarianten von  $b'$  für  $D$  sind:  $D, I', b^{++} \models [\beta, \zeta, \Delta]$  und somit nach Theorem 5-4-(vii)  $D, I', b' \models \ulcorner \zeta \Delta \urcorner$ . Die R-L-Richtung verläuft analog.

*Siebtens:* Sei  $\Gamma = \ulcorner \forall \zeta \Delta \urcorner$ . Dann ist nach der Annahme für  $\Gamma$   $\text{FV}(\Delta) \subseteq \{\zeta\}$ ,  $I \uparrow \text{TA}(\Delta) = I \uparrow \text{TA}(\Delta)$  und  $b \uparrow \text{TT}(\Delta) = b' \uparrow \text{TT}(\Delta)$ . Gelte nun  $D, I, b \models \ulcorner \forall \zeta \Delta \urcorner$ . Dann gibt es mit Theorem 5-4-(viii) ein  $\beta \in \text{PAR} \setminus \text{TT}(\Delta)$  und  $b_1$ , das in  $\beta$  Belegungsvariante von  $b$  für  $D$  ist, so dass  $D, I, b_1 \models [\beta, \zeta, \Delta]$ . Sei nun  $b'_1 = (b \setminus \{(\beta, b(\beta))\}) \cup \{(\beta, b_1(\beta))\}$ . Dann ist  $b'_1$  in  $\beta$  eine Belegungsvariante von  $b'$  für  $D$ . Da  $\beta \notin \text{TT}(\Delta)$  gilt sodann mit  $b \uparrow \text{TT}(\Delta) = b' \uparrow \text{TT}(\Delta)$  für alle  $\beta' \in \text{TT}(\Delta) \cap \text{PAR}$ :  $b_1(\beta') = b(\beta') = b'(\beta') = b'_1(\beta')$ . Da sodann auch  $b_1(\beta) = b'_1(\beta)$  gilt weiter mit  $\text{TT}([\beta, \zeta, \Delta]) \subseteq \text{TT}(\Delta) \cup \{\beta\}$ , dass  $b_1 \uparrow \text{TT}([\beta, \zeta, \Delta]) = b'_1 \uparrow \text{TT}([\beta, \zeta, \Delta])$ . Sodann gilt  $I \uparrow \text{TA}([\beta, \zeta, \Delta]) = I \uparrow (\text{TA}([\beta, \zeta, \Delta]) \cap (\text{KONST} \cup \text{FUNK} \cup \text{PRÄ})) = I \uparrow (\text{TA}(\Delta) \cap (\text{KONST} \cup \text{FUNK} \cup \text{PRÄ})) = I \uparrow \text{TA}(\Delta) = I \uparrow \text{TA}(\Delta) = I \uparrow (\text{TA}(\Delta) \cap (\text{KONST} \cup \text{FUNK} \cup \text{PRÄ})) = I \uparrow (\text{TA}([\beta, \zeta, \Delta]) \cap (\text{KONST} \cup \text{FUNK} \cup \text{PRÄ})) = I \uparrow \text{TA}([\beta, \zeta, \Delta])$  und somit  $I \uparrow \text{TA}([\beta, \zeta, \Delta]) = I \uparrow \text{TA}([\beta, \zeta, \Delta])$ . Ferner ist  $[\beta, \zeta, \Delta] \in \text{GFORM}$  und mit Theorem 1-8 ist  $\text{FGRAD}([\beta, \zeta, \Delta]) = \text{FGRAD}(\Delta) < \text{FGRAD}(\Gamma)$ . Damit gilt nach I.V. mit  $D, I, b_1 \models [\beta, \zeta, \Delta]$  auch:  $D, I', b'_1 \models [\beta, \zeta, \Delta]$  und somit nach Theorem 5-4-(viii)  $D, I', b' \models \ulcorner \forall \zeta \Delta \urcorner$ . Die R-L-Richtung verläuft analog.  $\square$

Mit Hilfe des Koinzidenzlemmas kann nun das Substitutionslemma bewiesen werden:

**Theorem 5-6. Substitutionslemma**

Wenn  $(D, I)$ ,  $(D, I')$  Modelle,  $b, b'$  Belegungen für  $D$  sind,  $\xi \in \text{VAR}$ ,  $\theta, \theta' \in \text{GTERM}$  und  $\text{TD}(\theta, D, I, b) = \text{TD}(\theta', D, I', b')$  dann:

- (i) Für alle  $\theta^+ \in \text{TERM}$  mit  $\text{FV}(\theta^+) \subseteq \{\xi\}$ ,  $I \uparrow \text{TA}(\theta^+) = I' \uparrow \text{TA}(\theta^+)$  und  $b \uparrow \text{TT}(\theta^+) = b' \uparrow \text{TT}(\theta^+)$  gilt:  $\text{TD}([\theta, \xi, \theta^+], D, I, b) = \text{TD}([\theta', \xi, \theta^+], D, I', b')$  und
- (ii) Für alle  $\Delta \in \text{FORM}$  mit  $\text{FV}(\Delta) \subseteq \{\xi\}$ ,  $I \uparrow \text{TA}(\Delta) = I' \uparrow \text{TA}(\Delta)$  und  $b \uparrow \text{TT}(\Delta) = b' \uparrow \text{TT}(\Delta)$  gilt:  $D, I, b \models [\theta, \xi, \Delta]$  gdw  $D, I', b' \models [\theta', \xi, \Delta]$ .

*Beweis:* Zu (i): Seien  $(D, I)$ ,  $(D, I')$  Modelle,  $b, b'$  Belegungen für  $D$ ,  $\xi \in \text{VAR}$ ,  $\theta, \theta' \in \text{GTERM}$  und  $\text{TD}(\theta, D, I, b) = \text{TD}(\theta', D, I', b')$ . Der Beweis wird mittels struktureller Induktion über den Termaufbau von  $\theta^+ \in \text{TERM}$  geführt. Sei zunächst  $\theta^+ \in \text{ATERM}$ , wobei  $\text{FV}(\theta^+) \subseteq \{\xi\}$ ,  $I \uparrow \text{TA}(\theta^+) = I' \uparrow \text{TA}(\theta^+)$  und  $b \uparrow \text{TT}(\theta^+) = b' \uparrow \text{TT}(\theta^+)$ . Dann ist  $\theta^+ \in \text{KONST} \cup \text{PAR} \cup \text{VAR}$ . Sei nun  $\theta^+ \in \text{KONST}$ . Dann ist  $[\theta, \xi, \theta^+] = \theta^+ = [\theta', \xi, \theta^+]$  und damit gilt mit  $\text{TA}(\theta^+) = \{\theta^+\}$ ,  $I \uparrow \text{TA}(\theta^+) = I' \uparrow \text{TA}(\theta^+)$  und Theorem 5-2-(i):  $\text{TD}([\theta, \xi, \theta^+], D, I, b) = \text{TD}(\theta^+, D, I, b) = I(\theta^+) = I'(\theta^+) = \text{TD}(\theta^+, D, I', b') = \text{TD}([\theta', \xi, \theta^+], D, I', b')$ . Sei nun  $\theta^+ \in \text{PAR}$ . Dann ist  $[\theta, \xi, \theta^+] = \theta^+ = [\theta', \xi, \theta^+]$  und damit gilt mit  $\text{TT}(\theta^+) = \{\theta^+\}$ ,  $b \uparrow \text{TT}(\theta^+) = b' \uparrow \text{TT}(\theta^+)$  und mit Theorem 5-2-(ii):  $\text{TD}([\theta, \xi, \theta^+], D, I, b) = \text{TD}(\theta^+, D, I, b) = b(\theta^+) = b'(\theta^+) = \text{TD}(\theta^+, D, I', b') = \text{TD}([\theta', \xi, \theta^+], D, I', b')$ . Sei nun  $\theta^+ \in \text{VAR}$ . Dann ist  $\theta^+ = \xi$ . Dann ist  $[\theta, \xi, \theta^+] = \theta$  und  $[\theta', \xi, \theta^+] = \theta'$ . Damit ist dann nach Annahme  $\text{TD}([\theta, \xi, \theta^+], D, I, b) = \text{TD}(\theta, D, I, b) = \text{TD}(\theta', D, I', b') = \text{TD}([\theta', \xi, \theta^+], D, I', b')$ .

Gelte die Behauptung nun für  $\theta^+_0, \dots, \theta^+_{r-1} \in \text{TERM}$  und sei  $\varphi \in \text{FUNK}$ , wobei  $\varphi$   $r$ -stellig, und sei  $\theta^+ = \ulcorner \varphi(\theta^+_0, \dots, \theta^+_{r-1}) \urcorner \in \text{FTERM}$ , wobei  $\text{FV}(\ulcorner \varphi(\theta^+_0, \dots, \theta^+_{r-1}) \urcorner) \subseteq \{\xi\}$ ,  $I \uparrow \text{TA}(\ulcorner \varphi(\theta^+_0, \dots, \theta^+_{r-1}) \urcorner) = I' \uparrow \text{TA}(\ulcorner \varphi(\theta^+_0, \dots, \theta^+_{r-1}) \urcorner)$  und  $b \uparrow \text{TT}(\ulcorner \varphi(\theta^+_0, \dots, \theta^+_{r-1}) \urcorner) = b' \uparrow \text{TT}(\ulcorner \varphi(\theta^+_0, \dots, \theta^+_{r-1}) \urcorner)$ . Dann gilt mit  $\text{FV}(\ulcorner \varphi(\theta^+_0, \dots, \theta^+_{r-1}) \urcorner) = \cup\{\text{FV}(\theta^+_i) \mid i < r\}$ ,  $\cup\{\text{TA}(\theta^+_i) \mid i < r\} \subseteq \text{TA}(\ulcorner \varphi(\theta^+_0, \dots, \theta^+_{r-1}) \urcorner)$  und  $\cup\{\text{TT}(\theta^+_i) \mid i < r\} \subseteq \text{TT}(\ulcorner \varphi(\theta^+_0, \dots, \theta^+_{r-1}) \urcorner)$  für alle  $i < r$  ebenfalls:  $\text{FV}(\theta^+_i) \subseteq \{\xi\}$ ,  $I \uparrow \text{TA}(\theta^+_i) = I' \uparrow \text{TA}(\theta^+_i)$  und  $b \uparrow \text{TT}(\theta^+_i) = b' \uparrow \text{TT}(\theta^+_i)$ . Mit I.V. gilt somit für alle  $i < r$ :  $\text{TD}([\theta, \xi, \theta^+_i], D, I, b) = \text{TD}([\theta', \xi, \theta^+_i], D, I', b')$ . Sodann gilt mit  $\varphi \in \text{TA}(\ulcorner \varphi(\theta^+_0, \dots, \theta^+_{r-1}) \urcorner) \cap \text{FUNK}$  nach Annahme auch  $I(\varphi) = I'(\varphi)$ . Damit gilt insgesamt:

$$\text{TD}([\theta, \xi, \ulcorner \varphi(\theta^+_0, \dots, \theta^+_{r-1}) \urcorner], D, I, b)$$

$$\begin{aligned}
&= \\
&TD(\ulcorner\varphi([\theta, \xi, \theta^+_0], \dots, [\theta, \xi, \theta^+_{r-1}])\urcorner, D, I, b) \\
&= \\
&I(\varphi)(\langle TD([\theta, \xi, \theta^+_0], D, I, b), \dots, TD([\theta, \xi, \theta^+_{r-1}], D, I, b) \rangle) \\
&= \\
&I'(\varphi)(\langle TD([\theta', \xi, \theta^+_0], D, I', b'), \dots, TD([\theta', \xi, \theta^+_{r-1}], D, I', b') \rangle) \\
&= \\
&TD(\ulcorner\varphi([\theta', \xi, \theta^+_0], \dots, [\theta', \xi, \theta^+_{r-1}])\urcorner, D, I', b') \\
&= \\
&TD([\theta', \xi, \ulcorner\varphi(\theta^+_0, \dots, \theta^+_{r-1})\urcorner], D, I', b').
\end{aligned}$$

Zu (ii): Der Beweis wird durch Induktion über den Formelgrad geführt. Gelte dazu das Theorem für alle  $A \in \text{FORM}$  mit  $\text{FGRAD}(A) < k$ . Seien nun  $(D, I)$ ,  $(D, I')$  Modelle,  $b$ ,  $b'$  Belegungen für  $D$ ,  $\xi \in \text{VAR}$ ,  $\theta, \theta' \in \text{GTERM}$  und  $TD(\theta, D, I, b) = TD(\theta', D, I', b')$  und sei  $\Delta \in \text{FORM}$ , wobei  $\text{FV}(\Delta) \subseteq \{\xi\}$ ,  $I \upharpoonright \text{TA}(\Delta) = I' \upharpoonright \text{TA}(\Delta)$  und  $b \upharpoonright \text{TT}(\Delta) = b' \upharpoonright \text{TT}(\Delta)$ , und sei  $\text{FGRAD}(\Delta) = k$ . Sei  $\text{FGRAD}(\Delta) = 0$ , also  $\Delta \in \text{AFORM}$ . Dann gibt es  $\theta^+_0, \dots, \theta^+_{r-1} \in \text{Term}$  und  $\Phi \in \text{PRÄ}$ , wobei  $\Phi$   $r$ -stellig ist, so dass  $\Delta = \ulcorner\Phi(\theta^+_0, \dots, \theta^+_{r-1})\urcorner$ . Dann gilt mit  $\text{FV}(\ulcorner\Phi(\theta^+_0, \dots, \theta^+_{r-1})\urcorner) = \cup\{\text{FV}(\theta^+_i) \mid i < r\}, \cup\{\text{TA}(\theta^+_i) \mid i < r\} \subseteq \text{TA}(\ulcorner\Phi(\theta^+_0, \dots, \theta^+_{r-1})\urcorner)$  und  $\cup\{\text{TT}(\theta^+_i) \mid i < r\} = \text{TT}(\ulcorner\Phi(\theta^+_0, \dots, \theta^+_{r-1})\urcorner)$  nach der Annahme für  $\Delta$  für alle  $i < r$ :  $\text{FV}(\theta^+_i) \subseteq \{\xi\}$ ,  $I \upharpoonright \text{TA}(\theta^+_i) = I' \upharpoonright \text{TA}(\theta^+_i)$  und  $b \upharpoonright \text{TT}(\theta^+_i) = b' \upharpoonright \text{TT}(\theta^+_i)$ . Mit (i) gilt damit dann für alle  $i < r$ :  $TD([\theta, \xi, \theta^+_i], D, I, b) = TD([\theta', \xi, \theta^+_i], D, I', b')$ . Sodann gilt mit  $\Phi \in \text{TA}(\ulcorner\Phi(\theta^+_0, \dots, \theta^+_{r-1})\urcorner) \cap \text{PRÄ}$  nach Annahme auch  $I(\Phi) = I'(\Phi)$ . Damit gilt mit Theorem 5-4-(i) insgesamt:

$$\begin{aligned}
&D, I, b \models [\theta, \xi, \Delta] \\
&\text{gdw} \\
&D, I, b \models [\theta, \xi, \ulcorner\Phi(\theta^+_0, \dots, \theta^+_{r-1})\urcorner] \\
&\text{gdw} \\
&D, I, b \models \ulcorner\Phi([\theta, \xi, \theta^+_0], \dots, [\theta, \xi, \theta^+_{r-1}])\urcorner \\
&\text{gdw} \\
&\langle TD([\theta, \xi, \theta^+_0], D, I, b), \dots, TD([\theta', \xi, \theta^+_{r-1}], D, I, b) \rangle \in I(\Phi) \\
&\text{gdw}
\end{aligned}$$

$$\langle \text{TD}([\theta', \xi, \theta^+_{0}], D, I', b'), \dots, \text{TD}([\theta', \xi, \theta^+_{r-1}], D, I', b') \rangle \in I'(\Phi)$$

gdw

$$D, I', b' \models \ulcorner \Phi([\theta', \xi, \theta^+_{0}], \dots, [\theta', \xi, \theta^+_{r-1}]) \urcorner$$

gdw

$$D, I', b' \models [\theta', \xi, \ulcorner \Phi(\theta^+_0, \dots, \theta^+_{r-1}) \urcorner]$$

gdw

$$D, I', b' \models [\theta', \xi, \Delta].$$

Sei nun  $\text{FGRAD}(\Delta) \neq 0$ , also  $\Delta \in \text{JFORM} \cup \text{QFORM}$ . Es können *sieben* Fälle unterschieden werden. *Erstens*: Sei  $\Delta = \ulcorner \neg A \urcorner$ . Also  $\text{FGRAD}(A) < \text{FGRAD}(\Delta)$ . Dann ist nach der Annahme für  $\Delta$  auch  $\text{FV}(A) \subseteq \{\xi\}$ ,  $I \upharpoonright \text{TA}(A) = I' \upharpoonright \text{TA}(A)$  und  $b \upharpoonright \text{TT}(A) = b' \upharpoonright \text{TT}(A)$ .

Mit I.V. und Theorem 5-4-(ii) gilt dann:

$$D, I, b \models [\theta, \xi, \Delta]$$

gdw

$$D, I, b \models [\theta, \xi, \ulcorner \neg A \urcorner]$$

gdw

$$D, I, b \models \ulcorner \neg[\theta, \xi, A] \urcorner$$

gdw

$$D, I, b \not\models [\theta, \xi, A]$$

gdw

$$D, I', b' \not\models [\theta', \xi, A]$$

gdw

$$D, I', b' \models \ulcorner \neg[\theta', \xi, A] \urcorner$$

gdw

$$D, I', b' \models [\theta', \xi, \ulcorner \neg A \urcorner]$$

gdw

$$D, I', b' \models [\theta', \xi, \Delta].$$

*Zweitens*: Sei  $\Delta = \ulcorner A \wedge B \urcorner$ . Also  $\text{FGRAD}(A) < \text{FGRAD}(\Delta)$  und  $\text{FGRAD}(B) < \text{FGRAD}(\Delta)$ . Dann ist nach Annahme für  $\Delta$  auch  $\text{FV}(A) \cup \text{FV}(B) \subseteq \{\xi\}$ ,  $I \upharpoonright (\text{TA}(A) \cup$

$TA(B) = I \uparrow (TA(A) \cup TA(B))$  und  $b \uparrow (TT(A) \cup TT(B)) = b' \uparrow (TT(A) \cup TT(B))$ . Mit I.V. und Theorem 5-4-(iii) gilt dann:

$$D, I, b \models [\theta, \xi, \Delta]$$

gdw

$$D, I, b \models [\theta, \xi, \ulcorner A \wedge B \urcorner]$$

gdw

$$D, I, b \models \ulcorner [\theta, \xi, A] \wedge [\theta, \xi, B] \urcorner$$

gdw

$$D, I, b \models [\theta, \xi, A] \text{ und } D, I, b \models [\theta, \xi, B]$$

gdw

$$D, I', b' \models [\theta', \xi, A] \text{ und } D, I', b' \models [\theta', \xi, B]$$

gdw

$$D, I', b' \models \ulcorner [\theta', \xi, A] \wedge [\theta', \xi, B] \urcorner$$

gdw

$$D, I', b' \models [\theta', \xi, \ulcorner A \wedge B \urcorner]$$

gdw

$$D, I', b' \models [\theta', \xi, \Delta].$$

Der *dritte* bis *fünfte* Fall verlaufen analog.

*Sechstens:* Sei  $\Delta = \ulcorner \wedge \zeta A \urcorner$ . Nach der Annahme für  $\Delta$  ist dann  $FV(A) \subseteq \{\xi, \zeta\}$ ,  $I \uparrow TA(A) = I \uparrow TA(A)$  und  $b \uparrow TT(A) = b' \uparrow TT(A)$ . Angenommen  $\zeta = \xi$ . Dann ist  $[\theta, \xi, \Delta] = [\theta, \xi, \ulcorner \wedge \zeta A \urcorner] = \ulcorner \wedge \zeta A \urcorner = [\theta', \zeta, \ulcorner \wedge \zeta A \urcorner] = [\theta', \xi, \Delta]$  und somit  $[\theta, \xi, \Delta] = \Delta = [\theta', \xi, \Delta]$ . Sodann gilt  $FV(\Delta) = \emptyset$  und somit  $\Delta \in GFORM$ . Da nach Annahme  $I \uparrow TA(\Delta) = I \uparrow TA(\Delta)$  und  $b \uparrow TT(\Delta) = b' \uparrow TT(\Delta)$  gilt damit mit Theorem 5-5-(ii):  $D, I, b \models [\theta, \xi, \Delta]$  gdw  $D, I, b \models \Delta$  gdw  $D, I', b' \models \Delta$  gdw  $D, I', b' \models [\theta', \xi, \Delta]$ . Sei nun  $\zeta \neq \xi$ . Dann ist  $[\theta, \xi, \Delta] = \ulcorner \wedge \zeta [\theta, \xi, A] \urcorner$  und  $[\theta', \xi, \Delta] = \ulcorner \wedge \zeta [\theta', \xi, A] \urcorner$ . Sodann gilt mit  $\zeta \neq \xi$  und  $\zeta, \xi \notin TT(\theta^\#)$  für alle  $\theta^\# \in GTERM$  nach Theorem 1-20-(ii) für alle  $\beta^+ \in PAR$ :  $[\beta^+, \zeta, [\theta, \xi, A]] = [\theta, \xi, [\beta^+, \zeta, A]]$  und  $[\beta^+, \zeta, [\theta', \xi, A]] = [\theta', \xi, [\beta^+, \zeta, A]]$ .

Gelte nun  $D, I, b \models \ulcorner \wedge \zeta [\theta, \xi, A] \urcorner$ . Dann gibt es mit Theorem 5-4-(vii) ein  $\beta^+ \in PAR \setminus TT([\theta, \xi, A])$ , so dass für alle  $b^+$ , die in  $\beta^+$  Belegungsvarianten von  $b$  für  $D$  sind:  $D,$

$I, b^+ \models [\beta^+, \zeta, [\theta, \xi, A]]$ . Sei nun  $\beta^\# \in \text{PAR} \setminus (\text{TT}([\theta, \xi, A]) \cup \text{TT}(\theta) \cup \text{TT}(\theta'))$ . Sei nun  $b'_1$  in  $\beta^\#$  eine Belegungsvariante von  $b'$  für  $D$ . Sei nun  $b_1 = (b \setminus \{(\beta^\#, b(\beta^\#))\}) \cup \{(\beta^\#, b'_1(\beta^\#))\}$ . Dann ist  $b_1$  in  $\beta^\#$  eine Belegungsvariante von  $b$  für  $D$  und  $b_1(\beta^\#) = b'_1(\beta^\#)$ . Sei nun  $b_2 = (b \setminus \{(\beta^+, b(\beta^+))\}) \cup \{(\beta^+, b'_1(\beta^\#))\}$ . Dann ist  $b_2$  in  $\beta^+$  eine Belegungsvariante von  $b$  für  $D$  und somit gilt also  $D, I, b_2 \models [\beta^+, \zeta, [\theta, \xi, A]]$ . Sodann ist  $\text{TD}(\beta^+, D, I, b_2) = b_2(\beta^+) = b'_1(\beta^\#) = b_1(\beta^\#) = \text{TD}(\beta^\#, D, I, b_1)$ . Sodann gilt nach Annahme für  $\beta^+, \beta^\#$ , dass  $\beta^+, \beta^\# \notin \text{TT}([\theta, \xi, A])$  und damit  $b_2 \uparrow \text{TT}([\theta, \xi, A]) = b \uparrow \text{TT}([\theta, \xi, A]) = b_1 \uparrow \text{TT}([\theta, \xi, A])$ . Sodann ist trivialerweise  $I \uparrow \text{TA}([\theta, \xi, A]) = I \uparrow \text{TA}([\theta, \xi, A])$ . Ferner ist  $\text{FV}([\theta, \xi, A]) \subseteq \{\zeta\}$  und mit Theorem 1-8 ist  $\text{FGRAD}([\theta, \xi, A]) = \text{FGRAD}(A) < \text{FGRAD}(\Delta)$ . Damit gilt dann nach I.V. wegen  $D, I, b_2 \models [\beta^+, \zeta, [\theta, \xi, A]]$  auch  $D, I, b_1 \models [\beta^\#, \zeta, [\theta, \xi, A]] = [\theta, \xi, [\beta^\#, \zeta, A]]$ .

Sodann gilt mit  $\beta^\# \notin \text{TT}(\theta)$ , dass  $b_1 \uparrow \text{TT}(\theta) = b \uparrow \text{TT}(\theta)$ , und mit  $\beta^\# \notin \text{TT}(\theta')$ , dass  $b'_1 \uparrow \text{TT}(\theta') = b \uparrow \text{TT}(\theta')$ , und da trivialerweise  $I \uparrow \text{TA}(\theta) = I \uparrow \text{TA}(\theta)$  und  $I \uparrow \text{TA}(\theta') = I \uparrow \text{TA}(\theta')$  gilt somit nach Theorem 5-5-(i):  $\text{TD}(\theta, D, I, b_1) = \text{TD}(\theta, D, I, b)$  und  $\text{TD}(\theta', D, I, b'_1) = \text{TD}(\theta', D, I, b)$  und somit nach Eingangsannahme insgesamt  $\text{TD}(\theta, D, I, b_1) = \text{TD}(\theta', D, I, b'_1)$ . Ferner gilt mit  $b \uparrow \text{TT}(A) = b \uparrow \text{TT}(A)$ ,  $b_1(\beta^\#) = b'_1(\beta^\#)$  und  $\text{TT}([\beta^\#, \zeta, A]) \subseteq \text{TT}(A) \cup \{\beta^\#\}$ , dass  $b_1 \uparrow \text{TT}([\beta^\#, \zeta, A]) = b'_1 \uparrow \text{TT}([\beta^\#, \zeta, A])$ . Sodann gilt:  $I \uparrow \text{TA}([\beta^\#, \zeta, A]) = I \uparrow (\text{TA}([\beta^\#, \zeta, A]) \cap (\text{KONST} \cup \text{FUNK} \cup \text{PRÄ})) = I \uparrow (\text{TA}(A) \cap (\text{KONST} \cup \text{FUNK} \cup \text{PRÄ})) = I \uparrow \text{TA}(A) = I \uparrow \text{TA}(A) = I \uparrow (\text{TA}(A) \cap (\text{KONST} \cup \text{FUNK} \cup \text{PRÄ})) = I \uparrow (\text{TA}([\beta^\#, \zeta, A]) \cap (\text{KONST} \cup \text{FUNK} \cup \text{PRÄ})) = I \uparrow (\text{TA}([\beta^\#, \zeta, A])$  und somit  $I \uparrow \text{TA}([\beta^\#, \zeta, A]) = I \uparrow \text{TA}([\beta^\#, \zeta, A])$ . Ferner ist  $\text{FV}([\beta^\#, \zeta, A]) \subseteq \{\xi\}$  und mit Theorem 1-8 ist  $\text{FGRAD}([\beta^\#, \zeta, A]) < \text{FGRAD}(\Delta)$ . Damit gilt mit  $D, I, b_1 \models [\theta, \xi, [\beta^\#, \zeta, A]]$  nach I.V. auch:  $D, I, b'_1 \models [\theta', \xi, [\beta^\#, \zeta, A]] = [\beta^\#, \zeta, [\theta', \xi, A]]$ . Also gilt für alle  $b^{++}$  die in  $\beta^\#$  Belegungsvarianten von  $b'$  für  $D$  sind:  $D, I, b^{++} \models [\beta^\#, \zeta, [\theta', \xi, A]]$  und somit nach Theorem 5-4-(vii)  $D, I, b' \models \ulcorner \wedge \zeta [\theta', \xi, A] \urcorner$ . Die R-L-Richtung verläuft analog.

*Siebtens:* Sei  $\Delta = \ulcorner \forall \zeta A \urcorner$ . Nach der Annahme für  $\Delta$  ist dann  $\text{FV}(A) \subseteq \{\xi, \zeta\}$ ,  $I \uparrow \text{TA}(A) = I \uparrow \text{TA}(A)$  und  $b \uparrow \text{TT}(A) = b \uparrow \text{TT}(A)$ . Angenommen  $\zeta = \xi$ . Dann ist  $[\theta, \xi, \Delta] = [\theta, \zeta, \ulcorner \forall \zeta A \urcorner] = \ulcorner \forall \zeta A \urcorner = [\theta', \zeta, \ulcorner \forall \zeta A \urcorner] = [\theta', \xi, \Delta]$  und somit  $[\theta, \xi, \Delta] = \Delta = [\theta', \xi, \Delta]$ . Sodann gilt  $\text{FV}(\Delta) = \emptyset$  und somit  $\Delta \in \text{GFORM}$ . Da nach Annahme  $I \uparrow \text{TA}(\Delta) = I \uparrow \text{TA}(\Delta)$  und

$b \uparrow \text{TT}(\Delta) = b' \uparrow \text{TT}(\Delta)$  gilt damit mit Theorem 5-5-(ii):  $D, I, b \models [\theta, \xi, \Delta]$  gdw  $D, I, b \models \Delta$  gdw  $D, I', b' \models \Delta$  gdw  $D, I', b' \models [\theta', \xi, \Delta]$ . Sei nun  $\zeta \neq \xi$ . Dann ist  $[\theta, \xi, \Delta] = \ulcorner \forall \zeta [\theta, \xi, A] \urcorner$  und  $[\theta', \xi, \Delta] = \ulcorner \forall \zeta [\theta', \xi, A] \urcorner$ . Sodann gilt mit  $\zeta \neq \xi$  und  $\zeta, \xi \notin \text{TT}(\theta^\#)$  für alle  $\theta^\# \in \text{GTERM}$  nach Theorem 1-20-(ii) für alle  $\beta^+ \in \text{PAR}$ :  $[\beta^+, \zeta, [\theta, \xi, A]] = [\theta, \xi, [\beta^+, \zeta, A]]$  und  $[\beta^+, \zeta, [\theta', \xi, A]] = [\theta', \xi, [\beta^+, \zeta, A]]$ .

Gelte nun  $D, I, b \models \ulcorner \forall \zeta [\theta, \xi, A] \urcorner$ . Dann gibt es mit Theorem 5-4-(viii) ein  $\beta^+ \in \text{PAR} \setminus \text{TT}([\theta, \xi, A])$  und  $b_1$ , das in  $\beta^+$  Belegungsvariante von  $b$  für  $D$  ist, so dass  $D, I, b_1 \models [\beta^+, \zeta, [\theta, \xi, A]]$ . Sei nun  $\beta^\# \in \text{PAR} \setminus (\text{TT}([\theta, \xi, A]) \cup \text{TT}(\theta) \cup \text{TT}(\theta'))$ . Sei nun  $b'_1 = (b \setminus \{(\beta^\#, b(\beta^\#))\}) \cup \{(\beta^\#, b_1(\beta^\#))\}$ . Dann ist  $b'_1$  in  $\beta^\#$  eine Belegungsvariante von  $b'$  für  $D$  und  $b'_1(\beta^\#) = b_1(\beta^\#)$ . Sei nun  $b_2 = (b \setminus \{(\beta^\#, b(\beta^\#))\}) \cup \{(\beta^\#, b'_1(\beta^\#))\}$ . Dann ist  $b_2$  in  $\beta^\#$  eine Belegungsvariante von  $b$  für  $D$  und  $\text{TD}(\beta^\#, D, I, b_2) = b_2(\beta^\#) = b'_1(\beta^\#) = b_1(\beta^\#) = \text{TD}(\beta^+, D, I, b_1)$ . Sodann gilt nach Annahme für  $\beta^+, \beta^\#$ , dass  $\beta^+, \beta^\# \notin \text{TT}([\theta, \xi, A])$  und damit  $b_2 \uparrow \text{TT}([\theta, \xi, A]) = b \uparrow \text{TT}([\theta, \xi, A]) = b_1 \uparrow \text{TT}([\theta, \xi, A])$ . Sodann ist trivialerweise  $I \uparrow \text{TA}([\theta, \xi, A]) = I \uparrow \text{TA}([\theta, \xi, A])$ . Ferner ist  $\text{FV}([\theta, \xi, A]) \subseteq \{\zeta\}$  und mit Theorem 1-8 ist  $\text{FGRAD}([\theta, \xi, A]) = \text{FGRAD}(A) < \text{FGRAD}(\Delta)$ . Damit gilt mit  $D, I, b_1 \models [\beta^+, \zeta, [\theta, \xi, A]]$  nach I.V., dass  $D, I, b_2 \models [\beta^\#, \zeta, [\theta, \xi, A]] = [\theta, \xi, [\beta^\#, \zeta, A]]$ .

Sodann ist mit  $\beta^\# \notin \text{TT}(\theta)$  und  $\beta^\# \notin \text{TT}(\theta')$ :  $b_2 \uparrow \text{TT}(\theta) = b \uparrow \text{TT}(\theta)$  und  $b'_1 \uparrow \text{TT}(\theta') = b' \uparrow \text{TT}(\theta')$  und somit nach Theorem 5-5-(ii)  $\text{TD}(\theta, D, I, b_2) = \text{TD}(\theta, D, I, b)$  und  $\text{TD}(\theta', D, I, b'_1) = \text{TD}(\theta', D, I, b')$  und somit nach Eingangsannahme insgesamt  $\text{TD}(\theta, D, I, b_2) = \text{TD}(\theta', D, I, b'_1)$ . Ferner gilt mit  $b \uparrow \text{TT}(A) = b' \uparrow \text{TT}(A)$ ,  $b_2(\beta^\#) = b'_1(\beta^\#)$  und  $\text{TT}([\beta^\#, \zeta, A]) \subseteq \text{TT}(A) \cup \{\beta^\#\}$ , dass  $b_2 \uparrow \text{TT}([\beta^\#, \zeta, A]) = b'_1 \uparrow \text{TT}([\beta^\#, \zeta, A])$  und es gilt  $I \uparrow \text{TA}([\beta^\#, \zeta, A]) = I \uparrow (\text{TA}([\beta^\#, \zeta, A]) \cap (\text{KONST} \cup \text{FUNK} \cup \text{PRÄ})) = I \uparrow (\text{TA}(A) \cap (\text{KONST} \cup \text{FUNK} \cup \text{PRÄ})) = I \uparrow \text{TA}(A) = I \uparrow \text{TA}(A) = I \uparrow (\text{TA}(A) \cap (\text{KONST} \cup \text{FUNK} \cup \text{PRÄ})) = I \uparrow (\text{TA}([\beta^\#, \zeta, A]) \cap (\text{KONST} \cup \text{FUNK} \cup \text{PRÄ})) = I \uparrow \text{TA}([\beta^\#, \zeta, A])$  und somit  $I \uparrow \text{TA}([\beta^\#, \zeta, A]) = I \uparrow \text{TA}([\beta^\#, \zeta, A])$ . Ferner ist  $\text{FV}([\beta^\#, \zeta, A]) \subseteq \{\xi\}$  und mit Theorem 1-8 ist  $\text{FGRAD}([\beta^\#, \zeta, A]) < \text{FGRAD}(\Delta)$ . Damit gilt mit  $D, I, b_2 \models [\theta, \xi, [\beta^\#, \zeta, A]]$  nach I.V.:  $D, I, b'_1 \models [\theta', \xi, [\beta^\#, \zeta, A]] = [\beta^\#, \zeta, [\theta', \xi, A]]$  und somit nach Theorem 5-4-(viii):  $D, I, b' \models \ulcorner \forall \zeta [\theta', \xi, A] \urcorner$ . Die R-L-Richtung verläuft analog.  $\square$

Nun werden zur Vereinfachung späterer Beweise einige Konsequenzen des Substitutionslemmas bewiesen.

**Theorem 5-7. Koreferenzialität**

Wenn  $(D, I)$  ein Modell,  $b$  eine Belegung für  $D$  ist,  $\xi \in \text{VAR}$ ,  $\theta, \theta' \in \text{GTERM}$  und  $\text{TD}(\theta, D, I, b) = \text{TD}(\theta', D, I, b)$ , dann:

- (i) Für alle  $\theta^+ \in \text{TERM}$  mit  $\text{FV}(\theta^+) \subseteq \{\xi\}$  gilt:  $\text{TD}([\theta, \xi, \theta^+], D, I, b) = \text{TD}([\theta', \xi, \theta^+], D, I, b)$  und
- (ii) Für alle  $\Delta \in \text{FORM}$  mit  $\text{FV}(\Delta) \subseteq \{\xi\}$  gilt:  $D, I, b \models [\theta, \xi, \Delta]$  gdw  $D, I, b \models [\theta', \xi, \Delta]$ .

*Beweis:* Sei  $(D, I)$  ein Modell,  $b$  eine Belegung für  $D$ ,  $\xi \in \text{VAR}$ ,  $\theta, \theta' \in \text{GTERM}$  und  $\text{TD}(\theta, D, I, b) = \text{TD}(\theta', D, I, b)$ . Dann gilt trivialerweise für alle  $\mu \in \text{TERM} \cup \text{FORM}$ :  $I \uparrow \text{TA}(\mu) = I \uparrow \text{TA}(\mu)$  und  $b \uparrow \text{TT}(\mu) = b \uparrow \text{TT}(\mu)$  und damit folgt die Behauptung mit Theorem 5-6.  $\square$

**Theorem 5-8. Invarianz der Erfüllung von Quantorformeln bzgl. Parameterwahl**

Wenn  $(D, I)$  ein Modell,  $b$  eine Belegung für  $D$  ist,  $\xi \in \text{VAR}$ ,  $\Delta \in \text{FORM}$ , wobei  $\text{FV}(\Delta) \subseteq \{\xi\}$  und  $\beta \in \text{PAR} \setminus \text{TT}(\Delta)$ , dann:

- (i)  $D, I, b \models \ulcorner \wedge \xi \Delta \urcorner$  gdw für alle  $b'$ , die in  $\beta$  Belegungsvarianten von  $b$  für  $D$  sind gilt:  $D, I, b' \models [\beta, \xi, \Delta]$ ,
- (ii)  $D, I, b \models \ulcorner \forall \xi \Delta \urcorner$  gdw es gibt  $b'$ , das in  $\beta$  Belegungsvariante von  $b$  für  $D$  ist, so dass:  $D, I, b' \models [\beta, \xi, \Delta]$ .

*Beweis:* Sei  $(D, I)$  ein Modell,  $b$  eine Belegung für  $D$ ,  $\xi \in \text{VAR}$ ,  $\Delta \in \text{FORM}$ , wobei  $\text{FV}(\Delta) \subseteq \{\xi\}$  und  $\beta \in \text{PAR} \setminus \text{TT}(\Delta)$ . *Zu (i):* Die R-L-Richtung ergibt sich direkt mit Theorem 5-4-(vii). Gelte nun für die L-R-Richtung  $D, I, b \models \ulcorner \wedge \xi \Delta \urcorner$ . Dann gibt es ein  $\beta^* \in \text{PAR} \setminus \text{TT}(\Delta)$ , so dass für alle  $b^*$ , die in  $\beta^*$  Belegungsvarianten von  $b$  für  $D$  sind gilt:  $D, I, b^* \models [\beta^*, \xi, \Delta]$ . Sei nun  $b'$  in  $\beta$  eine Belegungsvariante von  $b$  für  $D$ . Sei nun  $b^* = (b \setminus \{(\beta^*, b(\beta^*))\}) \cup \{(\beta^*, b'(\beta))\}$ . Dann ist  $b^*$  in  $\beta^*$  eine Belegungsvariante von  $b$  für  $D$  und somit gilt  $D, I, b^* \models [\beta^*, \xi, \Delta]$ . Ferner gilt dann:  $\text{TD}(\beta^*, D, I, b^*) = b^*(\beta^*) = b'(\beta) = \text{TD}(\beta, D, I, b')$ . Mit  $\beta, \beta^* \notin \text{TT}(\Delta)$  gilt sodann auch  $b^* \uparrow \text{TT}(\Delta) = b \uparrow \text{TT}(\Delta) = b' \uparrow \text{TT}(\Delta)$  und damit mit Theorem 5-6-(ii):  $D, I, b' \models [\beta, \xi, \Delta]$ .

*Zu (ii):* Die R-L-Richtung ergibt sich direkt mit Theorem 5-4-(viii). Gelte nun für die L-R-Richtung  $D, I, b \models \ulcorner \forall \xi \Delta \urcorner$ . Dann gibt es ein  $\beta^* \in \text{PAR} \setminus \text{TT}(\Delta)$  und  $b^*$ , das in  $\beta^*$  Bele-

gungsvariante von  $b$  für  $D$ , so dass:  $D, I, b^* \models [\beta^*, \xi, \Delta]$ . Sei nun  $b' = (b \setminus \{(\beta, b(\beta))\}) \cup \{(\beta, b^*(\beta^*))\}$ . Dann ist  $b'$  in  $\beta$  eine Belegungsvariante von  $b$  für  $D$  und es ist  $\text{TD}(\beta^*, D, I, b^*) = b^*(\beta^*) = b'(\beta) = \text{TD}(\beta, D, I, b')$ . Mit  $\beta, \beta^* \notin \text{TT}(\Delta)$  gilt sodann auch wieder  $b^* \uparrow \text{TT}(\Delta) = b' \uparrow \text{TT}(\Delta)$  und damit mit Theorem 5-6-(ii):  $D, I, b' \models [\beta, \xi, \Delta]$ .  $\square$

**Theorem 5-9.** *Einfaches Substitutionslemma für Belegungen*

Wenn  $(D, I)$  ein Modell,  $b$  eine Belegung für  $D$  ist,  $\xi \in \text{VAR}$ ,  $\beta \in \text{PAR}$  und  $\theta \in \text{GTERM}$ , dann:

- (i) Wenn  $b'$  in  $\beta$  eine Belegungsvariante von  $b$  für  $D$  ist und  $b'(\beta) = \text{TD}(\theta, D, I, b)$ , dann gilt für alle  $\theta^+ \in \text{TERM}$  mit  $\text{FV}(\theta^+) \subseteq \{\xi\}$  und  $\beta \notin \text{TT}(\theta^+)$ :  $\text{TD}([\theta, \xi, \theta^+], D, I, b) = \text{TD}([\beta, \xi, \theta^+], D, I, b')$  und
- (ii) Wenn  $b'$  in  $\beta$  eine Belegungsvariante von  $b$  in  $D$  ist und  $b'(\beta) = \text{TD}(\theta, D, I, b)$ , dann gilt für alle  $\Delta \in \text{FORM}$ , wobei  $\text{FV}(\Delta) \subseteq \{\xi\}$  und  $\beta \notin \text{TT}(\Delta)$ :  $D, I, b \models [\theta, \xi, \Delta]$  gdw  $D, I, b' \models [\beta, \xi, \Delta]$ .

*Beweis:* Sei  $(D, I)$  ein Modell,  $b$  eine Belegung für  $D$ ,  $\xi \in \text{VAR}$ ,  $\beta \in \text{PAR}$  und  $\theta \in \text{GTERM}$ . Sei nun  $b'$  in  $\beta$  eine Belegungsvariante von  $b$  für  $D$ , wobei  $b'(\beta) = \text{TD}(\theta, D, I, b)$ . Sei nun  $\mu \in \text{TERM} \cup \text{FORM}$  mit  $\text{FV}(\mu) \subseteq \{\xi\}$  und  $\beta \notin \text{TT}(\mu)$ . Dann gilt trivialerweise  $I \uparrow \text{TA}(\mu) = I \uparrow \text{TA}(\mu)$ . Sodann gilt mit  $\beta \notin \text{TT}(\mu)$ , dass  $b \uparrow \text{TT}(\mu) = b' \uparrow \text{TT}(\mu)$ . Ferner gilt mit Theorem 5-2-(ii) nach Annahme:  $\text{TD}(\beta, D, I, b') = b'(\beta) = \text{TD}(\theta, D, I, b)$ .

Damit folgt nach Theorem 5-6-(i) für alle  $\theta^+ \in \text{TERM}$  mit  $\text{FV}(\theta^+) \subseteq \{\xi\}$  und  $\beta \notin \text{TT}(\theta^+)$ :  $\text{TD}([\theta, \xi, \theta^+], D, I, b) = \text{TD}([\beta, \xi, \theta^+], D, I, b')$  und mit Theorem 5-6-(ii) für alle  $\Delta \in \text{FORM}$ , wobei  $\text{FV}(\Delta) \subseteq \{\xi\}$  und  $\beta \notin \text{TT}(\Delta)$ :  $D, I, b \models [\theta, \xi, \Delta]$  gdw  $D, I, b' \models [\beta, \xi, \Delta]$ .  $\square$

**Definition 5-9.** *Vierstellige modelltheoretische Erfüllung für Mengen*

$D, I, b \models_M X$

gdw

$(D, I)$  ist ein Modell,  $b$  ist eine Belegung für  $D$ ,  $X \subseteq \text{GFORM}$  und für alle  $\Delta \in X$  gilt:  $D, I, b \models \Delta$ .

**Definition 5-10.** *Modelltheoretische Konsequenz* $X \models \Gamma$ 

gdw

 $X \cup \{\Gamma\} \subseteq \text{GFORM}$  und für alle  $D, I, b$  gilt: Wenn  $D, I, b \models X$ , dann  $D, I, b \models \Gamma$ .**Definition 5-11.** *Allgemeingültigkeit* $\models \Gamma$  gdw  $\emptyset \models \Gamma$ .**Definition 5-12.** *Erfüllbarkeit* $\Gamma$  ist erfüllbar

gdw

 $\Gamma \in \text{GFORM}$  und es gibt  $D, I, b$ , so dass  $D, I, b \models \Gamma$ .

In Definition 5-8 bis Definition 5-12 wurden einige der üblichen modelltheoretischen Begrifflichkeiten eingeführt. Mit der nächsten Definition wird nun noch ein dreistelliger Erfüllungsbegriff für Aussagen, der insbesondere für den Umgang mit parameterfreien Aussagen interessant ist, etabliert. Sodann werden zu den in Definition 5-10 bis Definition 5-13 für geschlossene Formeln eingeführten Begriffen analoge Begriffe für Aussagenmengen etabliert, wie dies bereits mit Definition 5-9 für den in Definition 5-8 für geschlossene Formeln etablierten Erfüllungsbegriff geschehen ist.

**Definition 5-13.** *Dreistellige modelltheoretische Erfüllung* $D, I \models \Gamma$ 

gdw

 $(D, I)$  ist ein Modell und für alle  $b$ , die Belegungen für  $D$  sind, gilt:  $D, I, b \models \Gamma$ .**Definition 5-14.** *Dreistellige modelltheoretische Erfüllung für Mengen* $D, I \models X$ 

gdw

 $(D, I)$  ist ein Modell,  $X \subseteq \text{GFORM}$  und für alle  $\Delta \in X$  gilt:  $D, I \models \Delta$ .**Definition 5-15.** *Modelltheoretische Konsequenz für Mengen* $X \models Y$ 

gdw

 $X \cup Y \subseteq \text{GFORM}$  und für alle  $\Delta \in Y$  gilt:  $X \models \Delta$ .

**Definition 5-16.** *Allgemeingültigkeit für Mengen*

$M \models X$

gdw

$X \subseteq \text{GFORM}$  und für alle  $\Delta \in X$  gilt:  $\models \Delta$ .

**Definition 5-17.** *Erfüllbarkeit für Mengen*

$X$  ist erfüllbar<sub>M</sub>

gdw

$X \subseteq \text{GFORM}$  und es gibt  $D, I, b$ , so dass  $D, I, b \models X$ .

Da im Folgenden immer aus dem Kontext hervorgehen wird, ob auf Aussagen oder Aussagenklassen Bezug genommen wird, unterschlagen wir im Folgenden den Index 'M' bei den Begriffen aus Definition 5-9 und Definition 5-14 bis Definition 5-17. Um die modelltheoretischen Grundbegriffe zu vervollständigen wird zuletzt der Abschluss einer Aussagenklasse unter modelltheoretischer Konsequenzschaft definiert. Danach folgen in diesem Abschnitt nur noch einige einfache Hilfstheoreme.

**Definition 5-18.** *Der Abschluss einer Aussagenklasse unter modelltheoretischer Konsequenz*

$X^{\models} = \{\Delta \mid \Delta \in \text{GFORM} \text{ und } X \models \Delta\}$

**Theorem 5-10.** *Erfüllung überträgt sich auf Untermengen*

Wenn  $D, I, b \models X$ , dann gilt für alle  $Y \subseteq X$ :  $D, I, b \models Y$ .

*Beweis:* Ergibt sich direkt aus Definition 5-9.  $\square$

**Theorem 5-11.** *Erfüllbarkeit überträgt sich auf Untermengen*

Wenn  $X$  erfüllbar ist, dann gilt für alle  $Y \subseteq X$ :  $Y$  ist erfüllbar.

*Beweis:* Ergibt sich direkt aus Definition 5-17 und Theorem 5-10.  $\square$

**Theorem 5-12.** *Konsequenzschaft und Erfüllbarkeit*

Wenn  $X \cup \{\Gamma\} \subseteq \text{GFORM}$ , dann:  $X \models \Gamma$  gdw  $X \cup \{\neg\Gamma\}$  ist nicht erfüllbar.

*Beweis:* Sei  $X \cup \{\Gamma\} \subseteq \text{GFORM}$ . Sei  $X \models \Gamma$ . Also gilt für alle  $D, I, b$ : Wenn  $D, I, b \models X$ , dann  $D, I, b \models \Gamma$ . Angenommen  $X \cup \{\neg\Gamma\}$  wäre erfüllbar. Dann gibt es  $D, I, b$ , sodass  $D, I, b \models X \cup \{\neg\Gamma\}$ . Mit Definition 5-9 und Theorem 5-4-(ii) gilt dann  $D, I, b$

$\models \Gamma$  und andererseits aber mit Theorem 5-10  $D, I, b \models X$  und damit nach Annahme  $D, I, b \models \Gamma$ . Widerspruch!

Sei umgekehrt  $X \cup \{\neg\Gamma\}$  nicht erfüllbar. Also gibt es keine  $D, I, b$ , sodass  $D, I, b \models X \cup \{\neg\Gamma\}$ . Mit Definition 5-9 gibt es dann keine  $D, I, b$ , so dass  $D, I, b \models X$  und  $D, I, b \models \neg\Gamma$ . Gelte nun  $D, I, b \models X$ . Dann ist  $(D, I)$  ein Modell und  $b$  eine Belegung für  $D$  und  $D, I, b \not\models \neg\Gamma$ . Damit gilt nach Theorem 5-4-(ii) dann  $D, I, b \models \Gamma$ . Also gilt für alle  $D, I, b$ : Wenn  $D, I, b \models X$ , dann  $D, I, b \models \Gamma$ . Also  $X \models \Gamma$ .  $\square$

## 5.2 Abgeschlossenheit der modelltheoretischen Konsequenz

Der folgende Abschnitt führt zur Korrektheit hin. Es wird für jede Regel des Redehandlungskalküls (vgl. Kap. 3.1) beziehungsweise für jede Fortsetzungsoperation (vgl. Kap. 3.2) ein entsprechendes modelltheoretisches Theorem bewiesen. Man vergleiche auch jeweils mit Theorem 4-15 (AR) und den einzelnen Klauseln von Theorem 4-18, respektive. Zunächst wird jedoch die modelltheoretische Monotonie (vgl. dazu Theorem 4-16) vorausgeschickt.

### **Theorem 5-13.** *Modelltheoretische Monotonie*

Wenn  $X' \subseteq X \subseteq \text{GFORM}$  und  $X' \models \Gamma$ , dann  $X \models \Gamma$ .

*Beweis:* Sei  $X' \subseteq X \subseteq \text{GFORM}$  und  $X' \models \Gamma$ . Dann gilt für alle  $D, I, b$ : Wenn  $D, I, b \models X'$ , dann  $D, I, b \models \Gamma$ . Gelte nun  $D, I, b \models X$ . Dann gilt mit  $X' \subseteq X$  nach Theorem 5-10, dass  $D, I, b \models X'$  und damit nach Annahme, dass  $D, I, b \models \Gamma$ . Also gilt für alle  $D, I, b$ : wenn  $D, I, b \models X$ , dann  $D, I, b \models \Gamma$ . Also  $X \models \Gamma$ .  $\square$

### **Theorem 5-14.** *Modelltheoretische Entsprechung zu AR*

Wenn  $X \subseteq \text{GFORM}$  und  $A \in X$ , dann  $X \models A$ .

*Beweis:* Sei  $X \subseteq \text{GFORM}$  und  $A \in X$ . Dann gilt nach Definition 5-9 für alle  $D, I, b$ : Wenn  $D, I, b \models X$ , dann  $D, I, b \models A$  und damit  $X \models A$ .  $\square$

### **Theorem 5-15.** *Modelltheoretische Entsprechung zu SE*

Wenn  $X \models B$  und  $A \in X$ , dann  $X \setminus \{A\} \models \ulcorner A \rightarrow B \urcorner$ .

*Beweis:* Sei  $X \models B$  und  $A \in X$ . Sei nun  $D, I, b \models X \setminus \{A\}$ . Dann ist  $(D, I)$  ein Modell und  $b$  eine Belegung für  $D$  und für alle  $\Delta \in X \setminus \{A\}$  gilt:  $D, I, b \models \Delta$ . Dann gilt entweder  $D, I, b \models A$  oder  $D, I, b \not\models A$ . Im ersten Fall sind  $D, I, b$  so, dass  $D, I, b \models \Delta$  für alle  $\Delta \in X$  und somit  $D, I, b \models X$  gilt. Nach Voraussetzung gilt dann auch  $D, I, b \models B$ . Mit Theorem 5-4-(v) gilt dann  $D, I, b \models \ulcorner A \rightarrow B \urcorner$ . Das gilt aber auch, falls  $D, I, b \not\models A$ . Al-

so gilt für alle  $D, I, b$ , für die  $D, I, b \models X \setminus \{A\}$  gilt, auch  $D, I, b \models \lceil A \rightarrow B \rceil$ . Also  $X \setminus \{A\} \models \lceil A \rightarrow B \rceil$ .  $\square$

**Theorem 5-16.** *Modelltheoretische Entsprechung zu SB*

Wenn  $X \models \lceil A \rightarrow B \rceil$  und  $Y \models A$ , dann  $X \cup Y \models B$ .

*Beweis:* Seien  $X \models \lceil A \rightarrow B \rceil$  und  $Y \models A$ . Sei  $D, I, b \models X \cup Y$ . Dann ist  $(D, I)$  ein Modell und  $b$  eine Belegung für  $D$  und sodann gilt mit Theorem 5-10  $D, I, b \models X$  und  $D, I, b \models Y$ . Nach Voraussetzung gilt dann  $D, I, b \models A$  und  $D, I, b \models \lceil A \rightarrow B \rceil$ . Mit letzterem und Theorem 5-4-(v) gilt  $D, I, b \models A$  oder  $D, I, b \models B$  und damit mit  $D, I, b \models A$ , dass  $D, I, b \models B$ . Also gilt für alle  $D, I, b$ , für die  $D, I, b \models X \cup Y$  gilt, auch  $D, I, b \models B$ . Also  $X \cup Y \models B$ .  $\square$

**Theorem 5-17.** *Modelltheoretische Entsprechung zu KE*

Wenn  $X \models A$  und  $Y \models B$ , dann  $X \cup Y \models \lceil A \wedge B \rceil$ .

*Beweis:* Sei  $X \models A$  und  $Y \models B$ . Gelte  $D, I, b \models X \cup Y$ . Dann ist  $(D, I)$  ein Modell und  $b$  eine Belegung für  $D$  und mit Theorem 5-10 gilt  $D, I, b \models X$  und  $D, I, b \models Y$ . Nach Voraussetzung gilt dann auch  $D, I, b \models A$  und  $D, I, b \models B$ . Mit Theorem 5-4-(iii) gilt dann  $D, I, b \models \lceil A \wedge B \rceil$ . Also gilt für alle  $D, I, b$ , für die  $D, I, b \models X \cup Y$  gilt, auch  $D, I, b \models \lceil A \wedge B \rceil$ . Also  $X \cup Y \models \lceil A \wedge B \rceil$ .  $\square$

**Theorem 5-18.** *Modelltheoretische Entsprechung zu KB*

Wenn  $X \models \lceil A \wedge B \rceil$ , dann  $X \models A$  und  $X \models B$ .

*Beweis:* Sei  $X \models \lceil A \wedge B \rceil$ . Sei  $D, I, b \models X$ . Dann ist  $(D, I)$  ein Modell und  $b$  eine Belegung für  $D$  und nach Voraussetzung gilt dann auch  $D, I, b \models \lceil A \wedge B \rceil$ . Mit Theorem 5-4-(iii) gilt dann  $D, I, b \models A$  und  $D, I, b \models B$ . Also gilt für alle  $D, I, b$ , für die  $D, I, b \models X$  gilt, auch  $D, I, b \models A$  und  $D, I, b \models B$ . Also  $X \models A$  und  $X \models B$ .  $\square$

**Theorem 5-19.** *Modelltheoretische Entsprechung zu BE*

Wenn  $X \models \ulcorner A \rightarrow B \urcorner$  und  $Y \models \ulcorner B \rightarrow A \urcorner$ , dann  $X \cup Y \models \ulcorner A \leftrightarrow B \urcorner$ .

*Beweis:* Sei  $X \models \ulcorner A \rightarrow B \urcorner$  und  $Y \models \ulcorner B \rightarrow A \urcorner$ . Sei  $D, I, b \models X \cup Y$ . Dann ist  $(D, I)$  ein Modell und  $b$  eine Belegung für  $D$  und mit Theorem 5-10 gilt  $D, I, b \models X$  und  $D, I, b \models Y$ . Nach Voraussetzung gilt dann auch  $D, I, b \models \ulcorner A \rightarrow B \urcorner$  und  $D, I, b \models \ulcorner B \rightarrow A \urcorner$ . Mit Theorem 5-4-(v) gilt dann (I)  $D, I, b \models A$  oder  $D, I, b \models B$  und zum anderen (II)  $D, I, b \models B$  oder  $D, I, b \models A$ . Angenommen (der erste Fall von (I)),  $D, I, b \models A$ . Mit (II) muss dann auch  $D, I, b \models B$  der Fall sein. Angenommen (der zweite Fall von (I)),  $D, I, b \models B$ . Dann muss mit (II) auch  $D, I, b \models A$  der Fall sein. Also gelten  $D, I, b \models A$  und  $D, I, b \models B$  oder  $D, I, b \models A$  und  $D, I, b \models B$ . Mit Theorem 5-4-(vi) gilt dann  $D, I, b \models \ulcorner A \leftrightarrow B \urcorner$ . Also gilt für alle  $D, I, b$ , für die  $D, I, b \models X \cup Y$  gilt, auch  $D, I, b \models \ulcorner A \leftrightarrow B \urcorner$ . Also  $X \cup Y \models \ulcorner A \leftrightarrow B \urcorner$ .  $\square$

Es bietet sich an, eine Variante zu Theorem 5-19 als Korollar zu notieren.

**Theorem 5-20.** *Modelltheoretische Entsprechung zu BE\**

Wenn  $X \models B$  und  $A \in X$  und  $Y \models A$  und  $B \in Y$ , dann  $(X \setminus \{A\}) \cup (Y \setminus \{B\}) \models \ulcorner A \leftrightarrow B \urcorner$ .

*Beweis:* Sei  $X \models B$  und  $A \in X$  und  $Y \models A$  und  $B \in Y$ . Nach Theorem 5-15 gelten dann  $X \setminus \{A\} \models \ulcorner A \rightarrow B \urcorner$  und  $Y \setminus \{B\} \models \ulcorner B \rightarrow A \urcorner$ . Mit Theorem 5-19 folgt  $(X \setminus \{A\}) \cup (Y \setminus \{B\}) \models \ulcorner A \leftrightarrow B \urcorner$ .  $\square$

**Theorem 5-21.** *Modelltheoretische Entsprechung zu BB*

Wenn  $X \models \ulcorner A \leftrightarrow B \urcorner$  oder  $X \models \ulcorner B \leftrightarrow A \urcorner$  und  $Y \models A$ , dann  $X \cup Y \models B$ .

*Beweis:* Sei  $X \models \ulcorner A \leftrightarrow B \urcorner$  oder  $X \models \ulcorner B \leftrightarrow A \urcorner$  und  $X \models A$ . Sei nun  $D, I, b \models X \cup Y$ . Dann ist  $(D, I)$  ein Modell und  $b$  eine Belegung für  $D$  und nach Theorem 5-10 gilt  $D, I, b \models X$  und  $D, I, b \models Y$ . Nach Voraussetzung gilt dann auch  $D, I, b \models A$ . Sei nun im ersten Fall  $X \models \ulcorner A \leftrightarrow B \urcorner$ . Dann gilt  $D, I, b \models \ulcorner A \leftrightarrow B \urcorner$ . Mit Theorem 5-4-(vi) gilt dann  $D, I, b \models A$  und  $D, I, b \models B$  oder  $D, I, b \models A$  und  $D, I, b \models B$ . Sei im zweiten Fall  $X \models \ulcorner B \leftrightarrow A \urcorner$ . Dann gilt  $D, I, b \models \ulcorner B \leftrightarrow A \urcorner$ . Mit Theorem 5-4-(vi) gilt dann wie im ersten

Fall  $D, I, b \models A$  und  $D, I, b \models B$  oder  $D, I, b \not\models A$  und  $D, I, b \not\models B$ .  $D, I, b \not\models A$  und  $D, I, b \not\models B$  kann aber nicht der Fall sein, weil  $D, I, b \models A$ . Also  $D, I, b \models A$  und  $D, I, b \models B$ . Also gilt für alle  $D, I, b$ , für die  $D, I, b \models X \cup Y$  gilt, auch  $D, I, b \models B$ . Also  $X \cup Y \models B$ .  $\square$

**Theorem 5-22.** *Modelltheoretische Entsprechung zu AE*

Wenn  $X \models A$  oder  $X \models B$ , dann  $X \models \lceil A \vee B \rceil$ .

*Beweis:* Sei  $X \models A$  oder  $X \models B$ . Sei  $D, I, b \models X$ . Dann ist  $(D, I)$  ein Modell und  $b$  eine Belegung für  $D$ . Nach Voraussetzung gilt sodann auch  $D, I, b \models A$  oder  $D, I, b \models B$ . Mit Theorem 5-4-(iv) gilt in beiden Fällen  $D, I, b \models \lceil A \vee B \rceil$ . Also gilt für alle  $D, I, b$ , für die  $D, I, b \models X$  gilt, auch  $D, I, b \models \lceil A \vee B \rceil$ . Also  $X \models \lceil A \vee B \rceil$ .  $\square$

**Theorem 5-23.** *Modelltheoretische Entsprechung zu AB*

Wenn  $X \models \lceil A \vee B \rceil$  und  $Y \models \lceil A \rightarrow \Gamma \rceil$  und  $Z \models \lceil B \rightarrow \Gamma \rceil$ , dann  $X \cup Y \cup Z \models \Gamma$ .

*Beweis:* Sei  $X \models \lceil A \vee B \rceil$  und  $Y \models \lceil A \rightarrow \Gamma \rceil$  und  $Z \models \lceil B \rightarrow \Gamma \rceil$ . Sei  $D, I, b \models X \cup Y \cup Z$ . Dann ist  $(D, I)$  ein Modell und  $b$  eine Belegung für  $D$  und mit Theorem 5-10 gilt  $D, I, b \models X$  und  $D, I, b \models Y$  und  $D, I, b \models Z$ . Nach Voraussetzung gilt dann auch  $D, I, b \models \lceil A \vee B \rceil$  und  $D, I, b \models \lceil A \rightarrow \Gamma \rceil$  und  $D, I, b \models \lceil B \rightarrow \Gamma \rceil$ . Mit Theorem 5-4-(iv) und - (v) gelten dann drei Dinge: (I)  $D, I, b \models A$  oder  $D, I, b \models B$  und (II)  $D, I, b \not\models A$  oder  $D, I, b \models \Gamma$  und (III)  $D, I, b \not\models B$  oder  $D, I, b \models \Gamma$ . Angenommen (der erste Fall von (I)),  $D, I, b \models A$ . Dann muss mit (II)  $D, I, b \models \Gamma$  der Fall sein. Angenommen (der zweite Fall von (I)),  $D, I, b \models B$ . Dann muss mit (III) auch  $D, I, b \models \Gamma$  der Fall sein. In beiden Fällen gilt also  $D, I, b \models \Gamma$ . Also gilt für alle  $D, I, b$ , für die  $D, I, b \models X \cup Y \cup Z$  gilt, auch  $D, I, b \models \Gamma$ . Also  $X \cup Y \cup Z \models \Gamma$ .  $\square$

Es bietet sich an, eine Variante zu Theorem 5-23 als Korollar zu notieren.

**Theorem 5-24.** *Modelltheoretische Entsprechung zu AB\**

Wenn  $X \models \ulcorner A \vee B \urcorner$  und  $Y \models \Gamma$  und  $A \in Y$  und  $Z \models \Gamma$  und  $B \in Z$ , dann  $X \cup (Y \setminus \{A\}) \cup (Z \setminus \{B\}) \models \Gamma$ .

*Beweis:* Sei  $X \models \ulcorner A \vee B \urcorner$  und  $Y \models \Gamma$  und  $A \in Y$  und  $Z \models \Gamma$  und  $B \in Z$ . Nach Theorem 5-15 gelten dann  $Y \setminus \{A\} \models \ulcorner A \rightarrow \Gamma \urcorner$  und  $Z \setminus \{B\} \models \ulcorner B \rightarrow \Gamma \urcorner$ . Mit Theorem 5-23 folgt  $X \cup (Y \setminus \{A\}) \cup (Z \setminus \{B\}) \models \Gamma$ .  $\square$

**Theorem 5-25.** *Modelltheoretische Entsprechung zu NE*

Wenn  $X \models B$  und  $Y \models \ulcorner \neg B \urcorner$  und  $A \in X \cup Y$ , dann  $(X \cup Y) \setminus \{A\} \models \ulcorner \neg A \urcorner$ .

*Beweis:* Sei  $X \models B$  und  $Y \models \ulcorner \neg B \urcorner$  und  $A \in X \cup Y$ . Sei  $D, I, b \models (X \cup Y) \setminus \{A\}$ . Dann ist  $(D, I)$  ein Modell und  $b$  eine Belegung für  $D$ , so dass für alle  $\Delta \in (X \cup Y) \setminus \{A\}$  gilt:  $D, I, b \models \Delta$ . Wäre nun  $D, I, b \models A$ . Dann gilt für alle  $\Delta \in X$  und für alle  $\Delta \in Y$ :  $D, I, b \models \Delta$  und damit  $D, I, b \models X$  und  $D, I, b \models Y$ . Nach Voraussetzung gilt dann auch  $D, I, b \models B$  und  $D, I, b \models \ulcorner \neg B \urcorner$ . Mit Theorem 5-4-(ii) gilt dann  $D, I, b \models B$  und  $D, I, b \not\models B$ . Sed certe hoc esse non potest. Also  $D, I, b \not\models A$  und mithin  $D, I, b \models \ulcorner \neg A \urcorner$ . Also gilt für alle  $D, I, b$ , für die  $D, I, b \models (X \cup Y) \setminus \{A\}$  gilt, auch  $D, I, b \models \ulcorner \neg A \urcorner$ . Also  $(X \cup Y) \setminus \{A\} \models \ulcorner \neg A \urcorner$ .  $\square$

**Theorem 5-26.** *Modelltheoretische Entsprechung zu NB*

Wenn  $X \models \ulcorner \neg \neg A \urcorner$ , dann  $X \models A$ .

*Beweis:* Sei  $X \models \ulcorner \neg \neg A \urcorner$ . Sei  $D, I, b \models X$ . Dann ist  $(D, I)$  ein Modell und  $b$  eine Belegung für  $D$  und nach Voraussetzung gilt dann auch  $D, I, b \models \ulcorner \neg \neg A \urcorner$ . Mit Theorem 5-4-(ii) gilt dann  $D, I, b \not\models \ulcorner \neg A \urcorner$ . Nochmalige Anwendung von Theorem 5-4-(ii) ergibt  $D, I, b \models A$ . Also gilt für alle  $D, I, b$ : Wenn  $D, I, b \models X$ , dann  $D, I, b \models A$ . Also  $X \models A$ .  $\square$

**Theorem 5-27.** *Modelltheoretische Entsprechung zu UE*

Wenn  $\beta \in \text{PAR}$ ,  $\xi \in \text{VAR}$ ,  $A \in \text{FORM}$ , wobei  $\text{FV}(A) \subseteq \{\xi\}$ , und  $X \models [\beta, \xi, A]$  und  $\beta \notin \text{TTFM}(X \cup \{A\})$ , dann  $X \models \ulcorner \wedge \xi A \urcorner$ .

*Beweis:* Sei  $\beta \in \text{PAR}$ ,  $\xi \in \text{VAR}$ ,  $A \in \text{FORM}$ , wobei  $\text{FV}(A) \subseteq \{\xi\}$ ,  $X \models [\beta, \xi, A]$  und  $\beta \notin \text{TTFM}(X \cup \{A\})$ . Sei  $D, I, b \models X$ . Dann ist  $(D, I)$  ein Modell und  $b$  eine Belegung für  $D$ . Sei  $b'$  in  $\beta$  eine Belegungsvariante von  $b$  für  $D$ . Sei  $\Delta \in X$ . Also  $D, I, b \models \Delta$ . Nun ist nach Voraussetzung  $\beta \notin \text{TT}(\Delta)$ . Also gilt  $b \upharpoonright \text{TT}(\Delta) = b' \upharpoonright \text{TT}(\Delta)$ . Nach Theorem 5-5-(ii) gilt dann auch  $D, I, b' \models \Delta$ . Also  $D, I, b' \models \Delta$  für alle  $\Delta \in X$  und somit  $D, I, b' \models X$ . Mit  $X \models [\beta, \xi, A]$ , ist dann auch  $D, I, b' \models [\beta, \xi, A]$ . Also gilt für alle  $b'$ , die in  $\beta$  eine Belegungsvariante von  $b$  für  $D$  sind:  $D, I, b' \models [\beta, \xi, A]$ . Mit Theorem 5-4-(vii) folgt  $D, I, b \models \ulcorner \wedge \xi A \urcorner$ . Also gilt für alle  $D, I, b$ : Wenn  $D, I, b \models X$ , dann auch  $D, I, b \models \ulcorner \wedge \xi A \urcorner$ . Also  $X \models \ulcorner \wedge \xi A \urcorner$ .  $\square$

**Theorem 5-28.** *Modelltheoretische Entsprechung zu UB*

Wenn  $\theta \in \text{GTERM}$ ,  $\xi \in \text{VAR}$ ,  $A \in \text{FORM}$ , wobei  $\text{FV}(A) \subseteq \{\xi\}$ , und  $X \models \ulcorner \wedge \xi A \urcorner$ , dann  $X \models [\theta, \xi, A]$ .

*Beweis:* Sei  $\theta \in \text{GTERM}$ ,  $\xi \in \text{VAR}$ ,  $A \in \text{FORM}$ , wobei  $\text{FV}(A) \subseteq \{\xi\}$ , und  $X \models \ulcorner \wedge \xi A \urcorner$ . Sei  $D, I, b \models X$ . Dann ist  $(D, I)$  ein Modell und  $b$  eine Belegung für  $D$  und nach Voraussetzung gilt  $D, I, b \models \ulcorner \wedge \xi A \urcorner$ . Dann gibt es nach Theorem 5-4-(vii) ein  $\beta \in \text{PAR} \setminus \text{TT}(A)$ , so dass für alle  $b'$ , die in  $\beta$  eine Belegungsvariante von  $b$  für  $D$  sind, gilt  $D, I, b' \models [\beta, \xi, A]$ . Sei  $b^* = (b \setminus \{(\beta, b(\beta))\}) \cup \{(\beta, \text{TD}(\theta, D, I, b))\}$ . Offenbar ist  $b^*$  in  $\beta$  eine Belegungsvariante von  $b$  für  $D$ . Also  $D, I, b^* \models [\beta, \xi, A]$ . Mit  $b^*(\beta) = \text{TD}(\theta, D, I, b)$  und  $\beta \notin \text{TT}(A)$  folgt dann mit Theorem 5-9-(ii), dass  $D, I, b \models [\theta, \xi, A]$ . Also gilt für alle  $D, I, b$ : Wenn  $D, I, b \models X$ , dann  $D, I, b \models [\theta, \xi, A]$ . Also  $X \models [\theta, \xi, A]$ .  $\square$

**Theorem 5-29.** *Modelltheoretische Entsprechung zu PE*

Wenn  $\theta \in \text{GTERM}$ ,  $\xi \in \text{VAR}$ ,  $A \in \text{FORM}$ , wobei  $\text{FV}(A) \subseteq \{\xi\}$ , und  $X \models [\theta, \xi, A]$ , dann  $X \models \ulcorner \forall \xi A \urcorner$ .

*Beweis:* Sei  $\theta \in \text{GTERM}$ ,  $\xi \in \text{VAR}$ ,  $A \in \text{FORM}$ , wobei  $\text{FV}(A) \subseteq \{\xi\}$ , und  $X \models [\theta, \xi, A]$ . Sei  $D, I, b \models X$ . Dann ist  $(D, I)$  ein Modell und  $b$  eine Belegung für  $D$  und nach Voraussetzung gilt  $D, I, b \models [\theta, \xi, A]$ . Sei nun  $\beta \in \text{PAR} \setminus \text{TT}(A)$  und sei  $b^* = (b \setminus \{(\beta, b(\beta))\}) \cup \{(\beta, \text{TD}(\theta, D, I, b))\}$ . Dann ist  $b^*$  in  $\beta$  eine Belegungsvariante von  $b$  für  $D$ . Mit  $b^*(\beta) = \text{TD}(\theta, D, I, b)$ ,  $\beta \notin \text{TT}(A)$  und Theorem 5-9-(ii) folgt dann  $D, I, b^* \models [\beta, \xi, A]$ . Mit Theorem 5-4-(viii) folgt damit dann  $D, I, b \models \ulcorner \forall \xi A \urcorner$ . Also gilt für alle  $D, I, b$ : Wenn  $D, I, b \models X$ , dann  $D, I, b \models \ulcorner \forall \xi A \urcorner$ . Also  $X \models \ulcorner \forall \xi A \urcorner$ .  $\square$

**Theorem 5-30.** *Modelltheoretische Entsprechung zu PB*

Wenn  $\beta \in \text{PAR}$ ,  $\xi \in \text{VAR}$ ,  $A \in \text{FORM}$ , wobei  $\text{FV}(A) \subseteq \{\xi\}$ , und  $X \models \ulcorner \forall \xi A \urcorner$  und  $Y \models B$  und  $\{[\beta, \xi, A]\} \in Y$  und  $\beta \notin \text{TTFM}(Y \setminus \{[\beta, \xi, A]\} \cup \{A, B\})$ , dann  $X \cup (Y \setminus \{[\beta, \xi, A]\}) \models B$ .

*Beweis:* Seien  $\beta \in \text{PAR}$ ,  $\xi \in \text{VAR}$ ,  $A \in \text{FORM}$ , wobei  $\text{FV}(A) \subseteq \{\xi\}$ ,  $X \models \ulcorner \forall \xi A \urcorner$ ,  $Y \models B$ ,  $\{[\beta, \xi, A]\} \in Y$  und  $\beta \notin \text{TTFM}(Y \setminus \{[\beta, \xi, A]\} \cup \{A, B\})$ . Sei  $D, I, b \models X \cup (Y \setminus \{[\beta, \xi, A]\})$ . Dann ist  $(D, I)$  ein Modell und  $b$  eine Belegung für  $D$  und mit Theorem 5-10 gilt  $D, I, b \models X$  und  $D, I, b \models (Y \setminus \{[\beta, \xi, A]\})$ . Nach Voraussetzung gilt dann auch  $D, I, b \models \ulcorner \forall \xi A \urcorner$ . Da  $\beta \notin \text{TT}(A)$ , gibt es dann nach Theorem 5-8-(ii) ein  $b'$ , das in  $\beta$  eine Belegungsvariante von  $b$  für  $D$  ist, so dass  $D, I, b' \models [\beta, \xi, A]$ . Sei nun  $\Delta' \in Y$ , also  $\Delta' \in Y \setminus \{[\beta, \xi, A]\}$  oder  $\Delta' = [\beta, \xi, A]$ . Im ersten Fall gilt  $D, I, b \models \Delta'$ . Da aber  $\beta \notin \text{TT}(\Delta')$ , gilt  $b \upharpoonright \text{TT}(\Delta') = b' \upharpoonright \text{TT}(\Delta')$ . Aus Theorem 5-5-(ii) folgt dann  $D, I, b' \models \Delta'$ . Andererseits gilt nach Voraussetzung bereits  $D, I, b' \models [\beta, \xi, A]$ . Also  $D, I, b' \models \Delta$  für alle  $\Delta \in Y$  und somit  $D, I, b' \models Y$ . Nach Voraussetzung gilt dann auch  $D, I, b' \models B$ . Da aber  $\beta \notin \text{TT}(B)$ , gilt  $b \upharpoonright \text{TT}(B) = b' \upharpoonright \text{TT}(B)$ . Aus Theorem 5-5-(ii) folgt dann  $D, I, b \models B$ . Also gilt für alle  $D, I, b$ : Wenn  $D, I, b \models X \cup (Y \setminus \{[\beta, \xi, A]\})$ , dann  $D, I, b \models B$ . Also  $X \cup (Y \setminus \{[\beta, \xi, A]\}) \models B$ .  $\square$

**Theorem 5-31.** *Modelltheoretische Entsprechung zu IE*

Für alle  $X \subseteq \text{GFORM}$  und  $\theta \in \text{GTERM}$  gilt:  $X \models \ulcorner \theta = \theta \urcorner$ .

*Beweis:* Sei  $X \subseteq \text{GFORM}$  und  $\theta \in \text{GTERM}$ . Gelte  $D, I, b \models X$ . Dann ist  $(D, I)$  ein Modell und  $b$  eine Belegung für  $D$ . Mit  $\langle \text{TD}(\theta, D, I, b), \text{TD}(\theta, D, I, b) \rangle \in \{\langle x, x \rangle \mid x \in D\}$  gilt  $\langle \text{TD}(\theta, D, I, b), \text{TD}(\theta, D, I, b) \rangle \in I(\ulcorner \dots \urcorner)$ . Nach Theorem 5-4-(i) gilt dann  $D, I, b \models \ulcorner \theta = \theta \urcorner$ . Also gilt für alle  $D, I, b$ : Wenn  $D, I, b \models X$ , dann  $D, I, b \models \ulcorner \theta = \theta \urcorner$ . Also  $X \models \ulcorner \theta = \theta \urcorner$ .  $\square$

**Theorem 5-32.** *Modelltheoretische Entsprechung zu IB*

Wenn  $\theta_0, \theta_1 \in \text{GTERM}$ ,  $\xi \in \text{VAR}$ ,  $\Delta \in \text{FORM}$ , wobei  $\text{FV}(\Delta) \subseteq \{\xi\}$ , und  $X \models \ulcorner \theta_0 = \theta_1 \urcorner$  und  $Y \models [\theta_0, \xi, \Delta]$ , dann  $X \cup Y \models [\theta_1, \xi, \Delta]$ .

*Beweis:* Seien  $\theta_0, \theta_1 \in \text{GTERM}$ ,  $\xi \in \text{VAR}$ ,  $\Delta \in \text{FORM}$ , wobei  $\text{FV}(\Delta) \subseteq \{\xi\}$ , und  $X \models \ulcorner \theta_0 = \theta_1 \urcorner$  und  $Y \models [\theta_0, \xi, \Delta]$ . Sei nun  $D, I, b \models X \cup Y$ . Dann ist  $(D, I)$  ein Modell und  $b$  eine Belegung für  $D$  und mit Theorem 5-10 gilt  $D, I, b \models X$  und  $D, I, b \models Y$ . Nach Voraussetzung gilt dann  $D, I, b \models \ulcorner \theta_0 = \theta_1 \urcorner$  und  $D, I, b \models [\theta_0, \xi, \Delta]$ . Nach Theorem 5-4-(i) gilt dann  $\langle \text{TD}(\theta_0, D, I, b), \text{TD}(\theta_1, D, I, b) \rangle \in I(\ulcorner \dots \urcorner) = \{\langle x, x \rangle \mid x \in D\}$ . Und damit  $\text{TD}(\theta_0, D, I, b) = \text{TD}(\theta_1, D, I, b)$ . Nach Theorem 5-7 gilt dann mit  $D, I, b \models [\theta_0, \xi, \Delta]$  auch  $D, I, b \models [\theta_1, \xi, \Delta]$ . Also gilt für alle  $D, I, b$ : Wenn  $D, I, b \models X \cup Y$ , dann  $D, I, b \models [\theta_1, \xi, \Delta]$ . Also  $X \cup Y \models [\theta_1, \xi, \Delta]$ .  $\square$





## 6 Korrektheit und Vollständigkeit des Redehandlungskalküls

Nachdem der Redehandlungskalkül und die Modelltheorie etabliert wurden, ist nun zu zeigen, dass die jeweiligen Konsequenzschafsbegriffe äquivalent sind. Wie üblich, zerfällt dieser Adäquatheitsnachweis in zwei Teile: *Erstens* der Nachweis der Korrektheit des Redehandlungskalküls bezüglich der Modelltheorie. Salopp: Alles, was ableitbar ist, folgt auch modelltheoretisch (6.1). *Zweitens* der Nachweis der Vollständigkeit des Redehandlungskalküls bezüglich der Modelltheorie. Salopp: Alles, was modelltheoretisch folgt, ist auch ableitbar (6.2).

Dabei richten wir uns mit der Rede von der *Korrektheit und Vollständigkeit des Redehandlungskalküls* an den Üblichkeiten aus. Umgekehrt kann man die beiden Resultate natürlich auch so lesen, dass in Kap. 6.1 gezeigt wird, dass die modelltheoretische Konsequenzrelation vollständig bezüglich des Kalküls ist. In Kap. 6.2 würde dann gezeigt, dass die modelltheoretische Konsequenzrelation korrekt bezüglich des Kalküls ist. Diese abweichende Redeweise wird im Folgenden nicht weiter verfolgt, um Konfusion zu vermeiden. Doch obwohl von Korrektheit und Vollständigkeit im üblichen Sinne geredet wird, soll damit nicht unterstellt oder gar behauptet werden, dass die modelltheoretische Konsequenzrelation in irgendeiner Weise vorgängig gegenüber der durch den Kalkül etablierten deduktiven Konsequenz ist und dass sich Kalküle gegenüber der Modelltheorie zu rechtfertigen hätten und nicht umgekehrt. Das Adäquatheitsresultat bringt zunächst nur zum Ausdruck, dass der Redehandlungskalkül in einer bestimmten Hinsicht genau dasselbe leistet wie die Modelltheorie.

### 6.1 Korrektheit des Redehandlungskalküls

Der vorliegende Abschnitt besteht im Wesentlichen aus einem einzelnen Beweis, nämlich dem für Theorem 6-1, das besagt, dass in jeder Ableitung  $\mathfrak{A}$  die Konklusion aus  $\text{Van}(\mathfrak{A})$  modelltheoretisch folgt. Der Beweis wird per Induktion über die Länge einer Ableitung geführt. Der Fall  $|\mathfrak{A}| = 0$  gestaltet sich äußerst einfach. Für den Fall  $0 < |\mathfrak{A}|$  müssen 17 verschiedene Fälle betrachtet werden. Dabei werden zunächst die ›interessanteren‹ Fälle betrachtet, bei denen sich die Menge der verfügbaren Sätze der betrachteten Ableitung ( $\text{VANS}(\mathfrak{A})$ ) verkleinert oder vergrößert. Die betreffenden vier Fälle entsprechen AF,

SEF, NEF und PBF beziehungsweise AR, SE, NE und PB. Für die verbleibenden 13 Fälle kann ausgeschlossen werden, dass die jeweils betrachteten Ableitungen zu einem der ersten vier Fälle gehören. Die Korrektheit des Redehandlungskalküls gegenüber der Modelltheorie wird dann am Ende des Abschnitts in Theorem 6-2 formuliert.

**Theorem 6-1. Hauptbeweis der Korrektheit**

Wenn  $\mathfrak{H} \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ , dann  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \models \text{K}(\mathfrak{H})$ .

*Beweis:* Beweis per Induktion über  $|\mathfrak{H}|$ . Gelte dazu das Theorem für alle  $l < k$  und sei  $\mathfrak{H} \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$  und  $|\mathfrak{H}| = k$ . Angenommen  $|\mathfrak{H}| = 0$ . Dann ist  $\mathfrak{H} = \emptyset$  und andererseits nach Annahme  $\mathfrak{H} \neq \emptyset$  und das Sukzedens folgt trivial. Induktionsschritt: Sei nun  $0 < |\mathfrak{H}|$ . Dann ist  $\mathfrak{H} \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ . Nach Theorem 3-6 und Definition 3-18 gilt dann  $\mathfrak{H} \in \text{AF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  oder  $\mathfrak{H} \in \text{SEF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  oder  $\mathfrak{H} \in \text{SBF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  oder  $\mathfrak{H} \in \text{KEF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  oder  $\mathfrak{H} \in \text{KBF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  oder  $\mathfrak{H} \in \text{BEF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  oder  $\mathfrak{H} \in \text{BBF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  oder  $\mathfrak{H} \in \text{AEF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  oder  $\mathfrak{H} \in \text{ABF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  oder  $\mathfrak{H} \in \text{NEF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  oder  $\mathfrak{H} \in \text{NBF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  oder  $\mathfrak{H} \in \text{UEF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  oder  $\mathfrak{H} \in \text{UBF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  oder  $\mathfrak{H} \in \text{PEF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  oder  $\mathfrak{H} \in \text{PBF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  oder  $\mathfrak{H} \in \text{IEF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  oder  $\mathfrak{H} \in \text{IBF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ .

Sodann ist  $\mathfrak{H} \in \text{AF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \cup \text{SEF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \cup \text{NEF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \cup \text{PBF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  oder  $\mathfrak{H} \notin \text{AF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \cup \text{SEF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \cup \text{NEF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \cup \text{PBF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ . Damit lassen sich zwei Großfälle unterscheiden. Sei für den *ersten Fall* nun zunächst  $\mathfrak{H} \in \text{AF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \cup \text{SEF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \cup \text{NEF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \cup \text{PBF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ . Damit lassen sich vier Unterfälle unterscheiden.

(*AF*): Sei  $\mathfrak{H} \in \text{AF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ . Nach Definition 3-1 gibt es dann  $\Gamma \in \text{GFORM}$ , mit  $\mathfrak{H} = \mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1 \cup \{\text{Dom}(\mathfrak{H})-1, \ulcorner \text{Sei } \Gamma \urcorner\}$ . Dann ist  $\Gamma = \text{K}(\mathfrak{H})$  und nach Theorem 2-81 ist  $\Gamma$  in  $\mathfrak{H}$  bei  $\text{Dom}(\mathfrak{H})-1$  verfügbar. Also  $\Gamma \in \text{VAN}(\mathfrak{H})$ . Theorem 5-14 liefert  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \models \Gamma$  und mithin  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \models \text{K}(\mathfrak{H})$ .

(*SEF*): Sei  $\mathfrak{H} \in \text{SEF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ . Nach Definition 3-2 gibt es dann  $\Delta, \Gamma \in \text{GFORM}$  und  $j \in \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$ , so dass  $A(\mathfrak{H}_j) = \Delta$  und  $(j, \mathfrak{H}_j) \in \text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  und  $A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-2}) = \Gamma$  und es gibt kein  $l$  mit  $j < l \leq \text{Dom}(\mathfrak{H})-2$ , so dass  $(l, \mathfrak{H}_l) \in \text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ , und  $\mathfrak{H} = \mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1 \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})-1, \ulcorner \text{Also } \Delta \rightarrow \Gamma \urcorner)\}$ . Damit sind  $\ulcorner \Delta \rightarrow \Gamma \urcorner = \text{K}(\mathfrak{H})$  und  $\Gamma = \text{K}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ . Nach I.V. gilt damit  $\text{VAN}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \models \Gamma$ . Mit Theorem 3-19-(ix) gilt  $\text{VAN}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) = \text{VAN}(\mathfrak{H}) \cup \{A(\mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1))})}\}$  und damit auch

$\text{VAN}(\mathfrak{H}) \cup \{A(\mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H})-1))})\} \models \Gamma$ . Weil es kein  $l$  mit  $j < l \leq \text{Dom}(\mathfrak{H})-2$  gibt, so dass  $(l, \mathfrak{H}_l) \in \text{VANS}(\mathfrak{H} \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ , ist nun  $j = \max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)))$ . Also  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \cup \{A(\mathfrak{H}_j)\} \models \Gamma$ . Also  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \cup \{\Delta\} \models \Gamma$ . Mit Theorem 5-15 folgt  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \setminus \{\Delta\} \models \ulcorner \Delta \rightarrow \Gamma \urcorner$ . Theorem 5-13 führt zu  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \models \ulcorner \Delta \rightarrow \Gamma \urcorner$ . Also  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \models \text{K}(\mathfrak{H})$ .

(NEF): Sei  $\mathfrak{H} \in \text{NEF}(\mathfrak{H} \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ . Nach Definition 3-10 gibt es dann  $\Delta, \Gamma \in \text{GFORM}$  und  $i, j \in \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$ , so dass  $i \leq j$  und  $A(\mathfrak{H}_i) = \Delta$  und  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \text{VANS}(\mathfrak{H} \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  und entweder  $A(\mathfrak{H}_j) = \Gamma$  und  $A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-2}) = \ulcorner \neg \Gamma \urcorner$  oder  $A(\mathfrak{H}_j) = \ulcorner \neg \Gamma \urcorner$  und  $A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-2}) = \Gamma$  und  $(j, \mathfrak{H}_j) \in \text{VERS}(\mathfrak{H} \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  und es gibt kein  $l$  mit  $i < l \leq \text{Dom}(\mathfrak{H})-2$ , so dass  $(l, \mathfrak{H}_l) \in \text{VANS}(\mathfrak{H} \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ , und  $\mathfrak{H} = \mathfrak{H} \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H})-1 \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})-1, \ulcorner \text{Also } \neg \Delta \urcorner)\}$ .

Damit ist  $\text{K}(\mathfrak{H}) = \ulcorner \neg \Delta \urcorner$  und entweder  $\Gamma = \text{K}(\mathfrak{H} \uparrow j+1)$  und  $\ulcorner \neg \Gamma \urcorner = \text{K}(\mathfrak{H} \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  oder  $\ulcorner \neg \Gamma \urcorner = \text{K}(\mathfrak{H} \uparrow j+1)$  und  $\Gamma = \text{K}(\mathfrak{H} \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ . Zum *ersten* sei  $\Gamma = \text{K}(\mathfrak{H} \uparrow j+1)$  und  $\ulcorner \neg \Gamma \urcorner = \text{K}(\mathfrak{H} \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ . Dann gilt nach I.V., dass  $\text{VAN}(\mathfrak{H} \uparrow j+1) \models \Gamma$  und  $\text{VAN}(\mathfrak{H} \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \models \ulcorner \neg \Gamma \urcorner$ . Außerdem ist  $\Gamma$  bei  $j$  in  $\mathfrak{H} \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$  und daher nach Theorem 3-29-(iv)  $\text{VAN}(\mathfrak{H} \uparrow j+1) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H} \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  und mit Theorem 5-13 dann  $\text{VAN}(\mathfrak{H} \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \models \Gamma$ . Zum *zweiten* sei  $\ulcorner \neg \Gamma \urcorner = \text{K}(\mathfrak{H} \uparrow j+1)$  und  $\Gamma = \text{K}(\mathfrak{H} \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ . Nach I.V. gilt dann  $\text{VAN}(\mathfrak{H} \uparrow j+1) \models \ulcorner \neg \Gamma \urcorner$  und  $\text{VAN}(\mathfrak{H} \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \models \Gamma$ . Sodann ist dann  $\ulcorner \neg \Gamma \urcorner$  bei  $j$  in  $\mathfrak{H} \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$  verfügbar und daher mit Theorem 3-29-(iv) wiederum  $\text{VAN}(\mathfrak{H} \uparrow j+1) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H} \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  und mit Theorem 5-13 dann  $\text{VAN}(\mathfrak{H} \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \models \ulcorner \neg \Gamma \urcorner$ . In beiden Fällen gilt also  $\text{VAN}(\mathfrak{H} \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \models \Gamma$  und  $\text{VAN}(\mathfrak{H} \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \models \ulcorner \neg \Gamma \urcorner$ . Mit Theorem 3-20-(ix) gilt  $\text{VAN}(\mathfrak{H} \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) = \text{VAN}(\mathfrak{H}) \cup \{A(\mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H})-1))})\}$  und damit auch  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \cup \{A(\mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H})-1))})\} \models \Gamma$  und  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \cup \{A(\mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H})-1))})\} \models \ulcorner \neg \Gamma \urcorner$ . Mit Theorem 5-25 (wobei sowohl  $X$  als auch  $Y$  durch  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \cup \{A(\mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H})-1))})\}$  instanziiert werden) und Theorem 5-13 folgt  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \models \ulcorner \neg A(\mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H})-1))}) \urcorner$ . Weil es kein  $l$  mit  $i < l \leq \text{Dom}(\mathfrak{H})-2$  gibt, so dass  $(l, \mathfrak{H}_l) \in \text{VANS}(\mathfrak{H} \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ , ist sodann  $i = \max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)))$ . Also  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \models \ulcorner \neg A(\mathfrak{H}_i) \urcorner$ , damit  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \models \ulcorner \neg \Delta \urcorner$  und schließlich  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \models \text{K}(\mathfrak{H})$ .

(PBF): Sei  $\mathfrak{H} \in \text{PBF}(\mathfrak{H} \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ . Nach Definition 3-15 gibt es dann  $\beta \in \text{PAR}$ ,  $\xi \in \text{VAR}$ ,  $\Delta \in \text{FORM}$  mit  $\text{FV}(\Delta) \subseteq \{\xi\}$ ,  $\Gamma \in \text{GFORM}$  und  $i \in \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$ , so dass  $A(\mathfrak{H})_i = \ulcorner \forall \xi \Delta \urcorner$  und  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \text{VERS}(\mathfrak{H} \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  und  $A(\mathfrak{H}_{i+1}) = [\beta, \xi, \Delta]$  und  $(i+1, \mathfrak{H}_{i+1}) \in \text{VANS}(\mathfrak{H} \uparrow \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  und  $A(\mathfrak{H}_{\text{Dom}(\mathfrak{H})-2}) = \Gamma$  und  $\beta \notin \text{TTFM}(\{\Delta, \Gamma\})$  und es kein  $j \leq i$  gibt, so dass  $\beta \in \text{TT}(\mathfrak{H}_j)$ , und es kein  $m$  mit  $i+1 < m \leq \text{Dom}(\mathfrak{H})-2$  gibt, so dass  $(m, \mathfrak{H}_m) \in$

$\text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ , und  $\mathfrak{H} = \mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1 \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})-1, \ulcorner \text{Also } \Gamma \urcorner)\}$ . Seien  $\beta, \xi, \Delta, \Gamma, i$  so. Dann ist  $\text{K}(\mathfrak{H}) = \text{K}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) = \Gamma$ . Nach I.V. gilt dann zunächst  $\text{VAN}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \models \Gamma$ . Mit Theorem 3-21-(ix) gilt sodann  $\text{VAN}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) = \text{VAN}(\mathfrak{H}) \cup \{A(\mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1))})\}$  und damit auch  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \cup \{A(\mathfrak{H}_{\max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1))})\} \models \Gamma$ . Weil es kein  $m$  mit  $i+1 < m \leq \text{Dom}(\mathfrak{H})-2$  gibt, so dass  $(m, \mathfrak{H}_m) \in \text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ , ist  $i+1 = \max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)))$ . Also  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \cup \{A(\mathfrak{H}_{i+1})\} \models \Gamma$  und daher  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \cup \{\{\beta, \xi, \Delta\}\} \models \Gamma$ . Nach I. V. gilt außerdem  $\text{VAN}(\mathfrak{H} \upharpoonright i+1) \models \ulcorner \forall \xi \Delta \urcorner$ .

Nun lässt sich zeigen, dass  $\text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright i+1) = \text{VANS}(\mathfrak{H})$ . Nach Theorem 3-21-(ii) ist zunächst  $(i, \ulcorner \forall \xi \Delta \urcorner) \in \text{VERS}(\mathfrak{H})$ , da  $(i, \mathfrak{H}_i) \in \text{VERS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  und  $i < i+1 = \max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)))$ . Also ist  $\ulcorner \forall \xi \Delta \urcorner$  in  $\mathfrak{H}$  bei  $i$  verfügbar. Mit Theorem 3-29-(ii) folgt, dass  $\text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright i+1) \subseteq \text{VANS}(\mathfrak{H})$ . Sei jetzt  $(l, \mathfrak{H}_l) \in \text{VANS}(\mathfrak{H})$ . Nun gibt es kein  $m$  mit  $i+1 < m \leq \text{Dom}(\mathfrak{H})-2$ , so dass  $(m, \mathfrak{H}_m) \in \text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ . Nach Theorem 3-21-(v) ist dann  $(l, \mathfrak{H}_l) \in \text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  und somit  $l \leq \max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)))$ . Mit Theorem 3-21-(iv) ist sodann  $l < \max(\text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1))) = i+1$ . Sei  $\mathfrak{H}'$  nun diejenige Sequenz, so dass  $\mathfrak{H} = \mathfrak{H} \upharpoonright i+1 \hat{\ } \mathfrak{H}'$ . Nach Theorem 2-79 ist dann  $\text{VANS}(\mathfrak{H}) \subseteq \text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright i+1) \cup \{(k+i+1, \mathfrak{H}'_k) \mid k \in \text{Dom}(\mathfrak{H}')\} = \text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright i+1)$ . Nun ist  $l < i+1$  und damit  $(l, \mathfrak{H}_l) \notin \{(k+i+1, \mathfrak{H}'_k) \mid k \in \text{Dom}(\mathfrak{H}')\}$ , sondern  $(l, \mathfrak{H}_l) \in \text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright i+1)$ . Also  $\text{VANS}(\mathfrak{H}) \subseteq \text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright i+1)$  und insgesamt  $\text{VANS}(\mathfrak{H}) = \text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright i+1)$  und mit Theorem 2-74  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) = \text{VAN}(\mathfrak{H} \upharpoonright i+1)$ .

Damit gilt  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \models \ulcorner \forall \xi \Delta \urcorner$ . Zudem ist  $\beta \notin \text{TTFM}(\{\Delta, \Gamma\})$  und es gibt kein  $j \leq i$ , so dass  $\beta \in \text{TT}(\mathfrak{H}_j)$ . Also gibt es auch kein  $j \in \text{Dom}(\text{VANS}(\mathfrak{H} \upharpoonright i+1))$ , so dass  $\beta \in \text{TT}(\mathfrak{H}_j) = \text{TT}(A(\mathfrak{H}_j))$ . Also ist  $\beta \notin \text{TTFM}(\text{VAN}(\mathfrak{H} \upharpoonright i+1)) = \text{TTFM}(\text{VAN}(\mathfrak{H}))$  und damit insgesamt  $\beta \notin \text{TTFM}(\text{VAN}(\mathfrak{H}) \cup \{\Delta, \Gamma\})$  und schließlich  $\beta \notin \text{TTFM}((\text{VAN}(\mathfrak{H}) \setminus \{\{\beta, \xi, \Delta\}\}) \cup \{\Delta, \Gamma\})$ . Nach Theorem 5-30 (wobei  $X$  durch  $\text{VAN}(\mathfrak{H})$  und  $Y$  durch  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \cup \{\{\beta, \xi, \Delta\}\}$  instanziiert wird) folgt daher insgesamt  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \models \Gamma$  bzw.  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \models \text{K}(\mathfrak{H})$ .

*Zweiter Fall:* Sei nun  $\mathfrak{H} \notin \text{AF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \cup \text{SEF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \cup \text{NEF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) \cup \text{PBF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ . Dann ist zunächst nach Theorem 3-28  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) = \text{VAN}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ . Sodann lassen sich nun 13 Unterfälle unterscheiden.

(*SBF, KEF, BEF, BBF, IBF*): Sei  $\mathfrak{H} \in \text{SBF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ . Nach Definition 3-3 gibt es dann  $\Delta, \Gamma \in \text{GFORM}$ , so dass  $\Delta, \ulcorner \Delta \rightarrow \Gamma \urcorner \in \text{VER}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ , und  $\mathfrak{H} = \mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1 \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})-1, \ulcorner \text{Also } \Gamma \urcorner)\}$ . Dann ist  $\Gamma = \text{K}(\mathfrak{H})$ . Wegen  $\Delta, \ulcorner \Delta \rightarrow \Gamma \urcorner \in \text{VER}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  gibt es sodann  $j, l \in \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$ , so dass  $\Delta$  in  $\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$  bei  $j$  und  $\ulcorner \Delta \rightarrow \Gamma \urcorner$  in

$\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$  bei  $l$  verfügbar ist. Aus Theorem 3-8 folgt  $\mathfrak{H} \upharpoonright j+1, \mathfrak{H} \upharpoonright l+1 \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ , wobei  $K(\mathfrak{H} \upharpoonright j+1) = \Delta$  und  $K(\mathfrak{H} \upharpoonright l+1) = \ulcorner \Delta \rightarrow \Gamma \urcorner$ . Laut I.V. folgen dann  $\text{VAN}(\mathfrak{H} \upharpoonright j+1) \models \Delta$  und  $\text{VAN}(\mathfrak{H} \upharpoonright l+1) \models \ulcorner \Delta \rightarrow \Gamma \urcorner$ . Mit Theorem 3-29-(iv) gilt dann  $\text{VAN}(\mathfrak{H} \upharpoonright j+1) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  und  $\text{VAN}(\mathfrak{H} \upharpoonright l+1) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ . Da  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) = \text{VAN}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  gilt sodann  $\text{VAN}(\mathfrak{H} \upharpoonright j+1) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H})$  und  $\text{VAN}(\mathfrak{H} \upharpoonright l+1) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H})$  und mit Theorem 5-13 auch  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \models \Delta$  und  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \models \ulcorner \Delta \rightarrow \Gamma \urcorner$ . Theorem 5-16 ergibt  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \models \Gamma$ , also  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \models K(\mathfrak{H})$ . Analog zeigt man für KEF mit Theorem 5-17, für BEF mit Theorem 5-19, für BBF mit Theorem 5-21 und für IBF mit Theorem 5-32, dass  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \models K(\mathfrak{H})$ .

(KBF, AEF): Sei  $\mathfrak{H} \in \text{KBF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ . Nach Definition 3-5 gibt es dann  $\Delta, \Gamma \in \text{GFORM}$ , so dass  $\ulcorner \Delta \wedge \Gamma \urcorner \in \text{VER}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  oder  $\ulcorner \Gamma \wedge \Delta \urcorner \in \text{VER}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ , und  $\mathfrak{H} = \mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1 \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})-1, \ulcorner \text{Also } \Gamma \urcorner)\}$ . Dann ist  $\Gamma = K(\mathfrak{H})$ . Wegen  $\ulcorner \Delta \wedge \Gamma \urcorner \in \text{VER}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  oder  $\ulcorner \Gamma \wedge \Delta \urcorner \in \text{VER}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  gibt es  $j \in \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$ , so dass  $\ulcorner \Delta \wedge \Gamma \urcorner$  oder  $\ulcorner \Gamma \wedge \Delta \urcorner$  in  $\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$  bei  $j$  verfügbar ist. Aus Theorem 3-8 folgt  $\mathfrak{H} \upharpoonright j+1 \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ , wobei  $K(\mathfrak{H} \upharpoonright j+1) = \ulcorner \Delta \wedge \Gamma \urcorner$  oder  $K(\mathfrak{H} \upharpoonright j+1) = \ulcorner \Gamma \wedge \Delta \urcorner$ . Laut I.V. folgt dann  $\text{VAN}(\mathfrak{H} \upharpoonright j+1) \models \ulcorner \Delta \wedge \Gamma \urcorner$  oder  $\text{VAN}(\mathfrak{H} \upharpoonright j+1) \models \ulcorner \Gamma \wedge \Delta \urcorner$ . Mit Theorem 3-29-(iv) gilt dann  $\text{VAN}(\mathfrak{H} \upharpoonright j+1) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) = \text{VAN}(\mathfrak{H})$  und damit mit Theorem 5-13 auch  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \models \ulcorner \Delta \wedge \Gamma \urcorner$  oder  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \models \ulcorner \Gamma \wedge \Delta \urcorner$ . Theorem 5-18 ergibt in beiden Fällen  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \models \Gamma$ , also  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \models K(\mathfrak{H})$ . Analog zeigt man für AEF mit Theorem 5-22, dass  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \models K(\mathfrak{H})$ .

(ABF): Sei  $\mathfrak{H} \in \text{ABF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ . Nach Definition 3-9 gibt es dann  $B, \Delta, \Gamma \in \text{GFORM}$  so dass  $\ulcorner B \vee \Delta \urcorner, \ulcorner B \rightarrow \Gamma \urcorner, \ulcorner \Delta \rightarrow \Gamma \urcorner \in \text{VER}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  und  $\mathfrak{H} = \mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1 \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})-1, \ulcorner \text{Also } \Gamma \urcorner)\}$ . Dann ist  $\Gamma = K(\mathfrak{H})$ . Sodann gibt es  $j, k, l \in \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$ , so dass  $\ulcorner B \vee \Delta \urcorner$  in  $\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$  bei  $j$  und  $\ulcorner B \rightarrow \Gamma \urcorner$  in  $\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$  bei  $k$  und  $\ulcorner \Delta \rightarrow \Gamma \urcorner$  in  $\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$  bei  $l$  verfügbar ist. Aus Theorem 3-8 folgt  $\mathfrak{H} \upharpoonright j+1, \mathfrak{H} \upharpoonright k+1, \mathfrak{H} \upharpoonright l+1 \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ , wobei  $K(\mathfrak{H} \upharpoonright j+1) = \ulcorner B \vee \Delta \urcorner$  und  $K(\mathfrak{H} \upharpoonright k+1) = \ulcorner B \rightarrow \Gamma \urcorner$  und  $K(\mathfrak{H} \upharpoonright l+1) = \ulcorner \Delta \rightarrow \Gamma \urcorner$ . Laut I.V. gilt dann  $\text{VAN}(\mathfrak{H} \upharpoonright j+1) \models \ulcorner B \vee \Delta \urcorner$  und  $\text{VAN}(\mathfrak{H} \upharpoonright k+1) \models \ulcorner B \rightarrow \Gamma \urcorner$  und  $\text{VAN}(\mathfrak{H} \upharpoonright l+1) \models \ulcorner \Delta \rightarrow \Gamma \urcorner$ . Mit Theorem 3-29-(iv) gilt dann  $\text{VAN}(\mathfrak{H} \upharpoonright j+1) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  und  $\text{VAN}(\mathfrak{H} \upharpoonright k+1) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  und  $\text{VAN}(\mathfrak{H} \upharpoonright l+1) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  und damit  $\text{VAN}(\mathfrak{H} \upharpoonright j+1) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H})$  und  $\text{VAN}(\mathfrak{H} \upharpoonright k+1) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H})$  und  $\text{VAN}(\mathfrak{H} \upharpoonright l+1) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H})$  und somit mit Theorem 5-13 auch  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \models \ulcorner B \vee \Delta \urcorner$  und  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \models \ulcorner B \rightarrow \Gamma \urcorner$  und  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \models \ulcorner \Delta \rightarrow \Gamma \urcorner$ . Theorem 5-23 ergibt  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \models \Gamma$ , also  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \models K(\mathfrak{H})$ .

(*NBF, UBF, PEF*): Sei  $\mathfrak{H} \in \text{NBF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ . Nach Definition 3-11 gibt es dann  $\Gamma \in \text{GFORM}$ , so dass  $\ulcorner \neg\neg\Gamma \urcorner \in \text{VER}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  und  $\mathfrak{H} = \mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1 \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})-1, \ulcorner \text{Also } \Gamma \urcorner)\}$ . Dann ist  $\Gamma = \text{K}(\mathfrak{H})$ . Sodann gibt es  $j \in \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$ , so dass  $\ulcorner \neg\neg\Gamma \urcorner$  in  $\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$  bei  $j$  verfügbar ist. Sei  $j$  so. Aus Theorem 3-8 folgt  $\mathfrak{H} \upharpoonright_{j+1} \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ , wobei  $\text{K}(\mathfrak{H} \upharpoonright_{j+1}) = \ulcorner \neg\neg\Gamma \urcorner$ . Laut I.V. folgt dann  $\text{VAN}(\mathfrak{H} \upharpoonright_{j+1}) \models \ulcorner \neg\neg\Gamma \urcorner$ . Mit Theorem 3-29-(iv) gilt dann  $\text{VAN}(\mathfrak{H} \upharpoonright_{j+1}) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) = \text{VAN}(\mathfrak{H})$  und daher mit Theorem 5-13 auch  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \models \ulcorner \neg\neg\Gamma \urcorner$ . Theorem 5-26 ergibt  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \models \Gamma$ , also  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \models \text{K}(\mathfrak{H})$ . Analog zeigt man für UBF mit Theorem 5-28 und für PEF mit Theorem 5-29, dass dann auch jeweils  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \models \text{K}(\mathfrak{H})$ .

(*UEF*): Sei  $\mathfrak{H} \in \text{UEF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ . Nach Definition 3-12 gibt es dann  $\beta \in \text{PAR}$ ,  $\xi \in \text{VAR}$  und  $\Delta \in \text{FORM}$ , wobei  $\text{FV}(\Delta) \subseteq \{\xi\}$ , so dass  $[\beta, \xi, \Delta] \in \text{VER}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$  und  $\beta \notin \text{TTFM}(\{\Delta\} \cup \text{VAN}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1))$  und  $\mathfrak{H} = \mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1 \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})-1, \ulcorner \text{Also } \wedge \xi \Delta \urcorner)\}$ . Dann ist  $\ulcorner \wedge \xi \Delta \urcorner = \text{K}(\mathfrak{H})$ . Ferner gibt es  $j \in \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$ , so dass  $[\beta, \xi, \Delta]$  in  $\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$  bei  $j$  verfügbar ist. Aus Theorem 3-8 folgt  $\mathfrak{H} \upharpoonright_{j+1} \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$ , wobei  $\text{K}(\mathfrak{H} \upharpoonright_{j+1}) = [\beta, \xi, \Delta]$ . Laut I.V. folgt dann  $\text{VAN}(\mathfrak{H} \upharpoonright_{j+1}) \models [\beta, \xi, \Delta]$ . Mit Theorem 3-29-(iv) gilt dann  $\text{VAN}(\mathfrak{H} \upharpoonright_{j+1}) \subseteq \text{VAN}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) = \text{VAN}(\mathfrak{H})$  und mit Theorem 5-13 auch  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \models [\beta, \xi, \Delta]$ . Mit  $\text{VAN}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1) = \text{VAN}(\mathfrak{H})$  folgt aus  $\beta \notin \text{TTFM}(\{\Delta\} \cup \text{VAN}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1))$  zudem  $\beta \notin \text{TTFM}(\{\Delta\} \cup \text{VAN}(\mathfrak{H}))$ . Theorem 5-27 ergibt  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \models \ulcorner \wedge \xi \Delta \urcorner$ , also  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \models \text{K}(\mathfrak{H})$ .

(*IEF*): Sei  $\mathfrak{H} \in \text{IEF}(\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1)$ . Nach Definition 3-16 gibt es dann  $\theta \in \text{GTERM}$ , so dass  $\mathfrak{H} = \mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1 \cup \{(\text{Dom}(\mathfrak{H})-1, \ulcorner \text{Also } \theta = \theta \urcorner)\}$ . Dann ist  $\ulcorner \theta = \theta \urcorner = \text{K}(\mathfrak{H})$ . Theorem 5-31 führt damit zu  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \models \text{K}(\mathfrak{H})$ .  $\square$

**Theorem 6-2.** *Korrektheit des Redehandlungskalküls gegenüber der Modelltheorie*

Für alle  $X, \Gamma$ : wenn  $X \vdash \Gamma$ , dann  $X \models \Gamma$ .

*Beweis:* Sei  $X \vdash \Gamma$ . Dann gibt es nach Definition 3-21 ein  $\mathfrak{H} \in \text{HL}$ , so dass  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \subseteq X \subseteq \text{GFORM}$  und  $\mathfrak{H}$  ist eine Ableitung von  $\Gamma$  aus  $\text{VAN}(\mathfrak{H})$ . Dann ist  $\mathfrak{H} \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$  und  $\text{K}(\mathfrak{H}) = \Gamma$ . Theorem 6-1 erlaubt damit den Schluss auf  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \models \Gamma$ . Mit Theorem 5-13 und  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \subseteq X$  ergibt sich  $X \models \Gamma$ .  $\square$

## 6.2 Vollständigkeit des Redehandlungskalküls

Im Folgenden wird über den Nachweis, dass konsistente Mengen erfüllbar sind, die Vollständigkeit des Redehandlungskalküls bezüglich der in Definition 5-10 für  $L$  definierten modelltheoretischen Konsequenzschaft gezeigt. Da GFORM, die Menge der geschlossenen  $L$ -Formeln, abzählbar ist, reicht es dabei, diesen Nachweis für abzählbare Mengen zu erbringen. Dazu wird der Beweisweg über die Konstruktion von Hintikka-Mengen und den Nachweis, dass Hintikka-Mengen durch die entsprechende kanonische Termstruktur erfüllt werden, gewählt.<sup>14</sup> Dazu ist  $L$  zu einer Sprache  $L_H$  zu erweitern, die aus  $L$  entsteht, indem das Inventar von  $L$  um abzählbar unendlich viele neue Individuenkonstanten erweitert wird:

**Definition 6-1.** *Das Inventar von  $L_H$  (KONSTERW, PAR, VAR, FUNK, PRÄ, JUNK, QUANT, PERF)*

Das Inventar von  $L_H$  enthält folgende paarweise disjunkte Mengen: die abzählbar unendliche Menge  $KONSTERW = KONST \cup KONSTNEU$ , wobei  $KONSTNEU = \{c^*_i \mid i \in \mathbb{N}\}$  (dabei sei für alle  $i, j \in \mathbb{N}$  mit  $i \neq j$ :  $c^*_i \neq c^*_j$  und  $c^*_i \in \{c^*_i\}$ ) und es sei  $KONST \cap KONSTNEU = \emptyset$ , sowie PAR, VAR, FUNK, PRÄ, JUNK, QUANT, PERF, HZ.

*Hinweis:* Im Folgenden sei für alle mit Definition  $D$  definierten Ausdrücke  $P$   $P_H$  der für  $L_H$  statt  $L$  definierte Ausdruck und  $D_H$  die entsprechende Definition und für alle Theoreme  $T$  sei  $T_H$  das entsprechende Theorem für  $L_H$ . Außerdem gelten folgende Zusammenhänge:

**Bemerkung 6-1.** *Anwendung von  $L_H$ -Begrifflichkeiten auf  $L$ -Gebilde*

- (i) Wenn  $M$  eine in den vorangehenden Kapiteln definierte Menge ist und  $M \subseteq EAUS$  oder  $M \subseteq SEQ$ , dann  $M \subseteq M_H$ .
- (ii) Wenn  $F$  eine in den vorangehenden Kapiteln definierte Funktion ist, so dass  $\text{Dom}(F) \subseteq EAUS$  resp.  $\text{Dom}(F) \subseteq SEQ$ , dann  $F_H \upharpoonright EAUS = F$  resp.  $F_H \upharpoonright SEQ = F$ .

*Beispiele:* (i)  $EAUS \subseteq EAUS_H$ ,  $GTERM \subseteq GTERM_H$ ,  $SEQ \subseteq SEQ_H$ ,  $HL \subseteq HL_H$ . (ii)  $TT_H \upharpoonright EAUS = TT$ ,  $A_H \upharpoonright EAUS = A$ ,  $VAN_H \upharpoonright SEQ = VAN$ ,  $K_H \upharpoonright SEQ = K$ . Viele dieser Zusammenhänge sind ohne technische Schwierigkeiten aber nur mit viel Schreibaufwand zu

---

<sup>14</sup> Siehe etwa GRÄDEL, E.: *Mathematische Logik*, S. 109–119, WAGNER, H.: *Logische Systeme*, S. 97–101, und KLEINKNECHT, R.: *Grundlagen der modernen Definitionstheorie*, S. 154–157.

zeigen. Aus diesen Gründen werden die Beweise hier nicht reproduziert. In jenen Fällen, in denen der Zusammenhang nicht unmittelbar einsichtig ist oder im Beweisgang besondere Komplikationen zu bewältigen sind, werden die Beweise ausgeführt. Zum Beispiel wird der angeführte Zusammenhang  $HL \subseteq HL_H$  in Theorem 6-6 mit gezeigt. In Theorem 6-3-(i) wird gezeigt, dass sich Modelle<sub>H</sub> zu Modellen transformieren lassen, indem die Interpretationsfunktion<sub>H</sub> auf EAUS (bzw. in diesem Fall genauer: KONST  $\cup$  FUNK  $\cup$  PRÄ) beschränkt wird. Auch bei den Substitutionsbegrifflichkeiten ist die Äquivalenz für L-Argumente trivial. Wegen der Gefahr der Indexhäufung hinter eckigen Klammern (vgl. Beweis zu Theorem 6-10), wird daher auf den H-Index bei den Substitutionsklammern verzichtet.

Die folgenden Theoreme sichern zunächst den Zusammenhang zwischen der Erfüllbarkeit in L und L<sub>H</sub> (Theorem 6-3 bis Theorem 6-5) sowie der Konsistenz in L und L<sub>H</sub> (Theorem 6-6 bis Theorem 6-8). Daran schließt sich dann die Hintikka-Mengen-Definition (Definition 6-2) an. Sodann wird gezeigt, dass alle konsistenten L-Aussagenmengen eine Hintikka-Obermenge haben (Theorem 6-9) und dass jede Hintikka-Menge erfüllbar<sub>H</sub> ist (Theorem 6-10). Daraus ergibt sich dann die Vollständigkeit des Redehandlungskalküls (Theorem 6-11).

**Theorem 6-3.** *Beschränkungen von L<sub>H</sub>-Modellen auf L sind L-Modelle*

- (i) Wenn  $(D, I)$  ein Modell<sub>H</sub> ist, dann ist  $(D, I \upharpoonright (\text{KONST} \cup \text{FUNK} \cup \text{PRÄ}))$  ein Modell,
- (ii)  $b$  ist eine Belegung<sub>H</sub> für  $D$  gdw  $b$  ist eine Belegung für  $D$  und
- (iii)  $b'$  ist in  $\beta$  eine Belegungsvariante<sub>H</sub> von  $b$  für  $D$  gdw  $b'$  ist in  $\beta$  eine Belegungsvariante von  $b$  für  $D$ .

*Beweis:* Zu (i): Sei  $(D, I)$  ein Modell<sub>H</sub>. Dann ist nach Definition 5-2<sub>H</sub>  $I$  eine Interpretationsfunktion<sub>H</sub> für  $D$ . Dann ist nach Definition 5-1<sub>H</sub>  $\text{Dom}(I) = (\text{KONSTERW} \cup \text{FUNK} \cup \text{PRÄ})$ . Mit  $\text{KONST} \subseteq \text{KONSTERW}$ , ist dann  $\text{Dom}(I \upharpoonright (\text{KONST} \cup \text{FUNK} \cup \text{PRÄ})) = \text{KONST} \cup \text{FUNK} \cup \text{PRÄ}$  und es ist für alle  $\mu \in \text{KONST} \cup \text{FUNK} \cup \text{PRÄ}$ :  $I \upharpoonright (\text{KONST} \cup \text{FUNK} \cup \text{PRÄ})(\mu) = I(\mu)$  und damit ergibt sich mit Definition 5-1<sub>H</sub> und Definition 5-1, dass  $I \upharpoonright (\text{KONST} \cup \text{FUNK} \cup \text{PRÄ})$  eine Interpretationsfunktion für  $D$  und damit  $(D, I \upharpoonright (\text{KONST} \cup \text{FUNK} \cup \text{PRÄ}))$  ein Modell ist.

Zu (ii): Mit Definition 5-3<sub>H</sub> und Definition 5-3 gilt:  $b$  ist eine Belegung<sub>H</sub> für  $D$  gdw  $b$  ist eine Funktion mit  $\text{Dom}(b) = \text{PAR}$ , so dass für alle  $\beta \in \text{PAR} : b(\beta) \in D$  gdw  $b$  ist eine Belegung für  $D$ .

Zu (iii): Mit Definition 5-4<sub>H</sub>, (ii) und Definition 5-4 gilt:  $b'$  ist in  $\beta$  eine Belegungsvariante<sub>H</sub> von  $b$  für  $D$  gdw  $b'$  und  $b$  sind Belegungen<sub>H</sub> für  $D$  und  $\beta \in \text{PAR}$  und  $b' \setminus \{(\beta, b'(\beta))\} \subseteq b$  gdw  $b'$  und  $b$  sind Belegungen für  $D$  und  $\beta \in \text{PAR}$  und  $b' \setminus \{(\beta, b'(\beta))\} \subseteq b$  gdw  $b'$  ist in  $\beta$  eine Belegungsvariante von  $b$  für  $D$ .  $\square$

**Theorem 6-4.**  $L_H$ -Modelle erfüllen eine  $L$ -Aussage genau dann, wenn ihre Beschränkung auf  $L$  diese Aussage erfüllt

Wenn  $(D, I)$  ein Modell<sub>H</sub> und  $b$  eine Belegung<sub>H</sub> für  $D$  ist, dann gilt für alle  $\theta \in \text{GTERM}$  und  $\Gamma \in \text{GFORM}$ :

- (i)  $\text{TD}_H(\theta, D, I, b) = \text{TD}(\theta, D, I \upharpoonright (\text{KONST} \cup \text{FUNK} \cup \text{PRÄ}), b)$  und
- (ii)  $D, I, b \models_H \Gamma$  gdw  $D, I \upharpoonright (\text{KONST} \cup \text{FUNK} \cup \text{PRÄ}), b \models \Gamma$ .

*Beweis:* Analog zum Koinzidenzlemma Theorem 5-5 durch Induktion über den Term- und Formelaufbau. Dabei wird auf zusätzlich auf Theorem 6-3 zurückgegriffen.  $\square$

**Theorem 6-5.** Eine  $L$ -Aussagenmenge ist genau dann  $L_H$ -erfüllbar, wenn sie  $L$ -erfüllbar ist

Wenn  $X \subseteq \text{GFORM}$ , dann:  $X$  ist erfüllbar<sub>H</sub> gdw  $X$  ist erfüllbar.

*Beweis:* Sei  $X \subseteq \text{GFORM}$ . Sei nun  $X$  erfüllbar<sub>H</sub>, dann gibt es nach Definition 5-17<sub>H</sub>  $D, I, b$ , so dass  $D, I, b \models_H X$ . Mit Theorem 6-4 gilt dann  $D, I \upharpoonright (\text{KONST} \cup \text{FUNK} \cup \text{PRÄ}), b \models X$  und damit ist  $X$  erfüllbar. Sei nun  $X$  erfüllbar, dann gibt es  $D^-, I^-, b^-$ , so dass  $D^-, I^-, b^- \models X$ . Sodann gibt es ein  $a \in D$ . Sei  $a$  so. Sei nun  $I^+ = I^- \cup (\text{KONSTNEU} \times \{a\})$ . Dann ist  $(D, I^+)$  ein Modell<sub>H</sub> und  $b^-$  eine Belegung<sub>H</sub> und  $I^+ \upharpoonright (\text{KONST} \cup \text{FUNK} \cup \text{PRÄ}) = I^-$ . Damit ergibt sich dann mit Theorem 6-4  $D^-, I^+, b^- \models_H X$  und damit ist  $X$  erfüllbar<sub>H</sub>.  $\square$

**Theorem 6-6.** *L-Sequenzen sind genau dann  $HL_H$ -Elemente, wenn sie HL-Elemente sind*

Wenn  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ}$ , dann  $\mathfrak{H} \in \text{HL}_H$  gdw  $\mathfrak{H} \in \text{HL}$ .

*Beweis:* Der Beweis ist durch Induktion über  $\text{Dom}(\mathfrak{H})$  zu führen. Dabei ist der Induktionsanfang mit  $\emptyset \in \text{HL}_H \cap \text{HL}$  gegeben und man überzeugt sich für  $\mathfrak{H} \in \text{SEQ}$  mit  $0 < \text{Dom}(\mathfrak{H})$  leicht, dass wenn die Behauptung für  $\mathfrak{H} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{H})-1$  gilt, sie auch für  $\mathfrak{H}$  gilt.  $\square$

**Theorem 6-7.** *Eine L-Aussage ist genau dann aus einer  $L_H$ -Aussagenmengen ableitbar, wenn sie aus ihr L-ableitbar ist*

Wenn  $X \cup \{\Gamma\} \subseteq \text{GFORM}$ , dann:  $X \vdash_H \Gamma$  gdw  $X \vdash \Gamma$ .

*Beweis:* Sei  $X \cup \{\Gamma\} \subseteq \text{GFORM}$ . Dann ergibt sich die Rechts-Links-Richtung direkt mit Definition 3-20, Theorem 6-6 und Definition 3-20<sub>H</sub>. Für die Links-Rechts-Richtung gelte nun  $X \vdash_H \Gamma$ . Dann gibt es nach Definition 3-20<sub>H</sub> ein  $\mathfrak{H} \in \text{HL}_H$ , so dass  $\text{VAN}_H(\mathfrak{H}) \subseteq X$  und  $\text{K}_H(\mathfrak{H}) = \Gamma$ . Dann lässt sich durch Induktion über die endliche Menge  $|\text{KONSTNEU} \cap \text{TTSEQ}_H(\mathfrak{H})|$  zeigen, dass es ein  $\mathfrak{H}^* \in \text{SEQ} \cap \text{HL}_H$  mit  $\text{VAN}_H(\mathfrak{H}^*) = \text{VAN}_H(\mathfrak{H})$  und  $\text{K}_H(\mathfrak{H}^*) = \text{K}_H(\mathfrak{H})$  gibt. Außerdem gilt mit Bemerkung 6-1  $\text{VAN}_H(\mathfrak{H}^*) = \text{VAN}(\mathfrak{H}^*)$  und  $\text{K}_H(\mathfrak{H}^*) = \text{K}(\mathfrak{H}^*)$ . Mit Theorem 6-6 ist dann ein solches  $\mathfrak{H}^* \in \text{HL}$  und damit ergibt sich:  $X \vdash \Gamma$ .

Sei  $|\text{KONSTNEU} \cap \text{TTSEQ}_H(\mathfrak{H})| = 0$ . Offenbar ist  $\mathfrak{H}$  selbst dann jenes  $\mathfrak{H}^* \in \text{SEQ} \cap \text{HL}_H$  mit  $\text{VAN}_H(\mathfrak{H}^*) = \text{VAN}_H(\mathfrak{H})$  und  $\text{K}_H(\mathfrak{H}^*) = \text{K}_H(\mathfrak{H})$ . Sei nun  $|\text{KONSTNEU} \cap \text{TTSEQ}_H(\mathfrak{H})| = k$  und gelte die Behauptung für alle  $\mathfrak{H}^*$  mit  $|\text{KONSTNEU} \cap \text{TTSEQ}_H(\mathfrak{H}^*)| < k$ . Sei  $\alpha$  die Individuenkonstante mit dem größten Index in  $\text{KONSTNEU} \cap \text{TTSEQ}_H(\mathfrak{H})$ . Sodann gibt es ein  $\beta \in \text{PAR} \setminus \text{TTSEQ}_H(\mathfrak{H})$ . Nach Theorem 4-9<sub>H</sub> gibt es dann ein  $\mathfrak{H}^* \in \text{HL}_H \setminus \{\emptyset\}$  mit  $\alpha \notin \text{TTSEQ}_H(\mathfrak{H}^*)$ ,  $\text{TTSEQ}_H(\mathfrak{H}^*) \setminus \{\beta\} \subseteq \text{TTSEQ}_H(\mathfrak{H})$ ,  $\text{VAN}_H(\mathfrak{H}) = \{[\alpha, \beta, B] \mid B \in \text{VAN}_H(\mathfrak{H}^*)\}$  und  $\text{K}_H(\mathfrak{H}) = [\alpha, \beta, \text{K}_H(\mathfrak{H}^*)]$ . Da wegen  $\text{VAN}_H(\mathfrak{H}) \subseteq X$  gilt, dass  $\alpha \notin \text{TTFM}_H(\text{VAN}_H(\mathfrak{H}))$ , muss  $\beta \notin \text{TTFM}_H(\text{VAN}_H(\mathfrak{H}^*))$  und damit  $[\alpha, \beta, B] = B$  für alle  $B \in \text{VAN}_H(\mathfrak{H}^*)$  gelten. Also  $\text{VAN}_H(\mathfrak{H}) = \text{VAN}_H(\mathfrak{H}^*)$ . Da wegen  $\text{K}_H(\mathfrak{H}) = \Gamma \in \text{GFORM}$  auch  $\alpha \notin \text{TT}_H(\text{K}_H(\mathfrak{H}))$ , muss sodann  $\beta \notin \text{TT}_H(\text{K}_H(\mathfrak{H}^*))$  und damit  $\text{K}_H(\mathfrak{H}) = [\alpha, \beta, \text{K}_H(\mathfrak{H}^*)] = \text{K}_H(\mathfrak{H}^*)$  gelten. Also  $\text{K}_H(\mathfrak{H}) = \text{K}_H(\mathfrak{H}^*)$ . Aus  $\alpha \notin \text{TTSEQ}_H(\mathfrak{H}^*)$  und  $\text{TTSEQ}_H(\mathfrak{H}^*) \setminus \{\beta\} \subseteq \text{TTSEQ}_H(\mathfrak{H})$  folgt zudem  $|\text{KONSTNEU} \cap \text{TTSEQ}_H(\mathfrak{H}^*)| < |\text{KONSTNEU} \cap \text{TTSEQ}_H(\mathfrak{H}^*)|$ . Nach I.V. gibt es dann ein  $\mathfrak{H}'$ , so dass

$\text{VAN}_H(\mathfrak{H}') = \text{VAN}_H(\mathfrak{H}^*) = \text{VAN}_H(\mathfrak{H})$  und  $\text{K}_H(\mathfrak{H}') = \text{K}_H(\mathfrak{H}^*) = \text{K}_H(\mathfrak{H})$  und  $\mathfrak{H}' \in \text{SEQ} \cap \text{HL}_H$ .  $\square$

**Theorem 6-8.** *Eine L-Aussagenmenge ist genau dann  $L_H$ -konsistent, wenn sie L-konsistent ist*  
Wenn  $X \subseteq \text{GFORM}$ , dann:  $X$  ist konsistent $_H$  gdw  $X$  ist konsistent.

*Beweis:* Sei  $X \subseteq \text{GFORM}$  und sei  $X$  nicht konsistent $_H$ . Dann gilt mit Theorem 4-23 für alle  $\Delta \in \text{GFORM}_H$ , dass  $X \vdash_H \Delta$ . Dann gilt  $X \vdash_H \ulcorner c_0 = c_0 \urcorner$  und  $X \vdash_H \ulcorner \neg(c_0 = c_0) \urcorner$ . Nun sind  $\ulcorner c_0 = c_0 \urcorner, \ulcorner \neg(c_0 = c_0) \urcorner \in \text{GFORM}$  und damit ergibt sich mit Theorem 6-7:  $X \vdash \ulcorner c_0 = c_0 \urcorner$  und  $X \vdash \ulcorner \neg(c_0 = c_0) \urcorner$  und somit ist  $X$  nicht konsistent. Sei nun  $X$  nicht konsistent. Dann gibt es  $A \in \text{GFORM} \subseteq \text{GFORM}_H$ , so dass  $X \vdash A$  und  $X \vdash \ulcorner \neg A \urcorner$ . Mit Theorem 6-7 ist dann auch  $X \vdash_H A$  und  $X \vdash_H \ulcorner \neg A \urcorner$ .  $\square$

**Definition 6-2. Hintikka-Menge**

$X$  ist eine Hintikka-Menge

gdw

$X \subseteq \text{GFORM}_H$  und:

- (i) Wenn  $A \in \text{AFORM}_H \cap X$ , dann  $\ulcorner \neg A \urcorner \notin X$ ,
- (ii) Wenn  $A \in \text{GFORM}_H$  und  $\ulcorner \neg \neg A \urcorner \in X$ , dann  $A \in X$ ,
- (iii) Wenn  $A, B \in \text{GFORM}_H$  und  $\ulcorner A \wedge B \urcorner \in X$ , dann  $\{A, B\} \subseteq X$ ,
- (iv) Wenn  $A, B \in \text{GFORM}_H$  und  $\ulcorner \neg(A \wedge B) \urcorner \in X$ , dann  $\{\ulcorner \neg A \urcorner, \ulcorner \neg B \urcorner\} \cap X \neq \emptyset$ ,
- (v) Wenn  $A, B \in \text{GFORM}_H$  und  $\ulcorner A \vee B \urcorner \in X$ , dann  $\{A, B\} \cap X \neq \emptyset$ ,
- (vi) Wenn  $A, B \in \text{GFORM}_H$  und  $\ulcorner \neg(A \vee B) \urcorner \in X$ , dann  $\{\ulcorner \neg A \urcorner, \ulcorner \neg B \urcorner\} \subseteq X$ ,
- (vii) Wenn  $A, B \in \text{GFORM}_H$  und  $\ulcorner A \rightarrow B \urcorner \in X$ , dann  $\{\ulcorner \neg A \urcorner, B\} \cap X \neq \emptyset$ ,
- (viii) Wenn  $A, B \in \text{GFORM}_H$  und  $\ulcorner \neg(A \rightarrow B) \urcorner \in X$ , dann  $\{A, \ulcorner \neg B \urcorner\} \subseteq X$ ,
- (ix) Wenn  $A, B \in \text{GFORM}_H$  und  $\ulcorner A \leftrightarrow B \urcorner \in X$ , dann  $\{A, B\} \subseteq X$  oder  $\{\ulcorner \neg A \urcorner, \ulcorner \neg B \urcorner\} \subseteq X$ ,
- (x) Wenn  $A, B \in \text{GFORM}_H$  und  $\ulcorner \neg(A \leftrightarrow B) \urcorner \in X$ , dann  $\{A, \ulcorner \neg B \urcorner\} \subseteq X$  oder  $\{\ulcorner \neg A \urcorner, B\} \subseteq X$ ,
- (xi) Wenn  $\xi \in \text{VAR}$ ,  $\Delta \in \text{FORM}_H$ , wobei  $\text{FV}_H(\Delta) \subseteq \{\xi\}$  und  $\ulcorner \wedge \xi \Delta \urcorner \in X$ , dann gilt für alle  $\theta \in \text{GTERM}_H$ , dass  $\ulcorner [\theta, \xi, \Delta] \urcorner \in X$ ,
- (xii) Wenn  $\xi \in \text{VAR}$ ,  $\Delta \in \text{FORM}_H$ , wobei  $\text{FV}_H(\Delta) \subseteq \{\xi\}$  und  $\ulcorner \neg \wedge \xi \Delta \urcorner \in X$ , dann gibt es ein  $\theta \in \text{GTERM}_H$ , so dass  $\ulcorner \neg [\theta, \xi, \Delta] \urcorner \in X$ .
- (xiii) Wenn  $\xi \in \text{VAR}$ ,  $\Delta \in \text{FORM}_H$ , wobei  $\text{FV}_H(\Delta) \subseteq \{\xi\}$  und  $\ulcorner \vee \xi \Delta \urcorner \in X$ , dann gibt es ein  $\theta \in \text{GTERM}_H$ , so dass  $[\theta, \xi, \Delta] \in X$ ,
- (xiv) Wenn  $\xi \in \text{VAR}$ ,  $\Delta \in \text{FORM}_H$ , wobei  $\text{FV}_H(\Delta) \subseteq \{\xi\}$  und  $\ulcorner \neg \vee \xi \Delta \urcorner \in X$ , dann gilt für

- alle  $\theta \in \text{GTERM}_H$ , dass  $\ulcorner \neg[\theta, \xi, \Delta] \urcorner \in X$ ,
- (xv) Wenn  $\theta \in \text{GTERM}_H$ , dann  $\ulcorner \theta = \theta \urcorner \in X$ ,
- (xvi) Wenn  $\theta_0, \dots, \theta_{r-1} \in \text{GTERM}_H$ ,  $\theta'_0, \dots, \theta'_{r-1} \in \text{GTERM}_H$ , für alle  $i < r$ :  $\ulcorner \theta_i = \theta'_i \urcorner \in X$  und  $\varphi \in \text{FUNK}$   $r$ -stellig, dann  $\ulcorner \varphi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) = \varphi(\theta'_0, \dots, \theta'_{r-1}) \urcorner \in X$  und
- (xvii) Wenn  $\theta_0, \dots, \theta_{r-1} \in \text{GTERM}_H$ ,  $\theta'_0, \dots, \theta'_{r-1} \in \text{GTERM}_H$ , für alle  $i < r$ :  $\ulcorner \theta_i = \theta'_i \urcorner \in X$  und  $\Phi \in \text{PRÄ}$   $r$ -stellig und  $\ulcorner \Phi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \urcorner \in X$ , dann  $\ulcorner \Phi(\theta'_0, \dots, \theta'_{r-1}) \urcorner \in X$ .

**Theorem 6-9.** *Hintikka-Obermengen für konsistente Aussagenmengen*

Wenn  $X \subseteq \text{GFORM}$  und  $X$  konsistent, dann gibt es ein  $Y \subseteq \text{GFORM}_H$ , so dass

- (i)  $Y$  ist eine Hintikka-Menge und  
(ii)  $X \subseteq Y$ .

*Beweis:* Sei  $X \subseteq \text{GFORM}$  und  $X$  konsistent. Sei nun  $g$  eine Bijektion zwischen  $\mathbb{N}$  und  $\text{GFORM}_H$ . Nun wird unter Rückgriff auf  $g$  mit Hilfe der (Konversen der) CANTORSchen Paarungsfunktion  $C$  eine Aufzählung der  $\Gamma \in \text{GFORM}_H$  definiert, in der jede Aussage abzählbar unendlich oft als Wert auftritt.<sup>15</sup> Sei dazu  $F = \{(k, \Gamma) \mid \text{Es gibt } i, j \in \mathbb{N}, k = \frac{(i+j) \cdot (i+j+1)}{2} + j \text{ und } \Gamma = g(j)\}$ . Dann ist  $F$  eine Funktion von  $\mathbb{N}$  nach  $\text{GFORM}_H$ . Sei nämlich  $k \in \mathbb{N}$ . Dann gilt mit der Surjektivität der CANTORSchen Paarungsfunktion und der von  $g$ , dass es  $i, j \in \mathbb{N}$  und  $\Gamma \in \text{GFORM}_H$  gibt, so dass  $k = \frac{(i+j) \cdot (i+j+1)}{2} + j$  und  $\Gamma = g(j)$ . Also ist  $\text{Dom}(F) = \mathbb{N}$ . Sodann ist nach Definition von  $F$  und  $g$   $\text{Ran}(F) \subseteq \text{GFORM}_H$ . Seien nun  $(k, \Gamma), (k, \Gamma^*) \in F$ . Dann gibt es  $i, j$  und  $i', j'$  so dass  $\frac{(i+j) \cdot (i+j+1)}{2} + j = k = \frac{(i'+j') \cdot (i'+j'+1)}{2} + j'$  und  $\Gamma = g(j)$  und  $\Gamma^* = g(j')$ . Dann ist wegen der Injektivität der CANTORSchen Paarungsfunktion  $i = i'$  und  $j = j'$  und damit mit der Injektivität von  $g$ :  $\Gamma = g(j) = g(j') = \Gamma^*$ . Sodann gilt für alle  $l \in \mathbb{N}$  und alle  $\Gamma \in \text{GFORM}_H$ : Es gibt ein  $k > l$ , so dass  $F(k) = \Gamma$ . Sei nämlich  $l \in \mathbb{N}$  und  $\Gamma \in \text{GFORM}_H$ . Dann gibt es ein  $s \in \mathbb{N}$ , so dass  $\Gamma = g(s)$ . Sei  $s$  so. Dann ist  $l \leq \frac{(l+s) \cdot (l+s+1)}{2} + s < \frac{(l+1+s) \cdot (l+1+s+1)}{2} + s$  und  $F(\frac{(l+1+s) \cdot (l+1+s+1)}{2} + s) = g(s) = \Gamma$ .

<sup>15</sup> Zur CANTORSchen Paarungsfunktion  $C: \mathbb{N} \times \mathbb{N} \xrightarrow{\text{bij}} \mathbb{N}$  mit  $C(i, j) = (i+j) \cdot (i+j+1)/2 + j$  siehe etwa DEISER, O.: *Mengenlehre*, S. 112–113.

Nun wird unter Rückgriff auf  $F$  eine Funktion  $G$  auf  $\mathbb{N}$  definiert, mit der die gewünschte Hintikka-Obermenge zu  $X$  erzeugt wird. Sei dazu  $G(0) = X$ . Für alle  $k \in \mathbb{N}$  sei  $G(k+1)$ : Wenn  $F(k) \in G(k)$ , dann:

(i\*) Wenn  $F(k) = \ulcorner \Phi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \urcorner$ , dann  $G(k+1) = G(k) \cup \{ \ulcorner \Phi(\theta'_0, \dots, \theta'_{r-1}) \urcorner \mid \text{Für alle } i < r: \ulcorner \theta_i = \theta'_i \urcorner \in G(k) \} \cup \{ \ulcorner \varphi(\theta^*_0, \dots, \theta^*_{s-1}) = \varphi(\theta^+_0, \dots, \theta^+_{s-1}) \urcorner \mid \ulcorner \varphi(\theta^*_0, \dots, \theta^*_{s-1}) \urcorner = \theta_0 \text{ und für alle } i < s: \ulcorner \theta^*_i = \theta^+_i \urcorner \in G(k) \}$ ,

(ii\*) Wenn  $F(k) = \ulcorner \neg \Phi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \urcorner$ , dann  $G(k+1) = G(k)$ ,

(iii\*) Wenn  $F(k) = \ulcorner \neg \neg A \urcorner$ , dann  $G(k+1) = G(k) \cup \{A\}$ ,

(iv\*) Wenn  $F(k) = \ulcorner A \wedge B \urcorner$ , dann  $G(k+1) = G(k) \cup \{A, B\}$ ,

(v\*) Wenn  $F(k) = \ulcorner \neg(A \wedge B) \urcorner$ , dann  $G(k+1) = G(k) \cup \{ \ulcorner \neg A \urcorner \}$ , falls  $G(k) \cup \{ \ulcorner \neg A \urcorner \}$  konsistent<sub>H</sub>,  $G(k+1) = G(k) \cup \{ \ulcorner \neg B \urcorner \}$  sonst,

(vi\*) Wenn  $F(k) = \ulcorner A \vee B \urcorner$ , dann  $G(k+1) = G(k) \cup \{A\}$ , falls  $G(k) \cup \{A\}$  konsistent<sub>H</sub>,  $G(k+1) = G(k) \cup \{B\}$  sonst,

(vii\*) Wenn  $F(k) = \ulcorner \neg(A \vee B) \urcorner$ , dann  $G(k+1) = G(k) \cup \{ \ulcorner \neg A \urcorner, \ulcorner \neg B \urcorner \}$ ,

(viii\*) Wenn  $F(k) = \ulcorner A \rightarrow B \urcorner$ , dann  $G(k+1) = G(k) \cup \{ \ulcorner \neg A \urcorner \}$ , falls  $G(k) \cup \{ \ulcorner \neg A \urcorner \}$  konsistent<sub>H</sub>,  $G(k+1) = G(k) \cup \{B\}$  sonst,

(ix\*) Wenn  $F(k) = \ulcorner \neg(A \rightarrow B) \urcorner$ , dann  $G(k+1) = G(k) \cup \{A, \ulcorner \neg B \urcorner \}$ ,

(x\*) Wenn  $F(k) = \ulcorner A \leftrightarrow B \urcorner$ , dann  $G(k+1) = G(k) \cup \{A, B\}$ , falls  $G(k) \cup \{A, B\}$  konsistent<sub>H</sub>,  $G(k+1) = G(k) \cup \{ \ulcorner \neg A \urcorner, \ulcorner \neg B \urcorner \}$  sonst,

(xi\*) Wenn  $F(k) = \ulcorner \neg(A \leftrightarrow B) \urcorner$ , dann  $G(k+1) = G(k) \cup \{A, \ulcorner \neg B \urcorner \}$ , falls  $G(k) \cup \{A, \ulcorner \neg B \urcorner \}$  konsistent<sub>H</sub>,  $G(k+1) = G(k) \cup \{ \ulcorner \neg A \urcorner, B \}$  sonst,

(xii\*) Wenn  $F(k) = \ulcorner \wedge \xi \Delta \urcorner$ , dann  $G(k+1) = G(k) \cup \{ [\theta, \xi, \Delta] \mid \text{Es gibt ein } \Gamma \in G(k), \text{ so dass } \theta \in \text{TT}_H(\Gamma) \cap \text{GTERM}_H \}$ ,

(xiii\*) Wenn  $F(k) = \ulcorner \neg \wedge \xi \Delta \urcorner$ , dann  $G(k+1) = G(k) \cup \{ \ulcorner \neg [\alpha, \xi, \Delta] \urcorner \}$  für das  $\alpha \in \text{KONSTNEU}$  mit dem kleinsten Index, für welches gilt: Wenn  $\Gamma \in G(k)$ , dann  $\text{TT}_H(\Gamma) \cap \{ \alpha \} = \emptyset$ ,

(xiv\*) Wenn  $F(k) = \ulcorner \vee \xi \Delta \urcorner$ , dann  $G(k+1) = G(k) \cup \{ [\alpha, \xi, \Delta] \}$  für das  $\alpha \in \text{KONSTNEU}$  mit dem kleinsten Index, für welches gilt: Wenn  $\Gamma \in G(k)$ , dann  $\text{TT}_H(\Gamma) \cap \{ \alpha \} = \emptyset$ ,

(xv\*) Wenn  $F(k) = \ulcorner \neg \forall \xi \Delta \urcorner$ , dann  $G(k+1) = G(k) \cup \{ \ulcorner \neg [\theta, \xi, \Delta] \urcorner \mid \text{Es gibt ein } \Gamma \in G(k), \text{ so dass } \theta \in \text{TT}_H(\Gamma) \cap \text{GTERM}_H \}$ .

Sodann sei für  $F(k) \notin G(k)$ : Wenn  $F(k) = \ulcorner \theta = \theta \urcorner$  für ein  $\theta \in \text{GTERM}_H$ , dann  $G(k+1) = G(k) \cup \{ \ulcorner \theta = \theta \urcorner \}$ ,  $G(k+1) = G(k)$  sonst.

Man beachte, dass  $G$  wohldefiniert ist, da kein  $\alpha \in \text{KONSTNEU}$  Teilterm eines  $\Gamma \in X \subseteq \text{GFORM}$  ist und da für jedes  $k \in \mathbb{N}$  beim Schritt von  $G(k)$  zu  $G(k+1)$  höchstens ein Element von  $\text{KONSTNEU}$  zu den Teiltermen von Elementen von  $G(k)$  hinzukommen kann: Für alle  $k \in \mathbb{N}$  ist  $\text{KONSTNEU} \setminus (\cup \{ \text{TT}_H(\Gamma) \mid \Gamma \in G(k) \})$  abzählbar unendlich.

Nach Konstruktion von  $G$  gilt nun zunächst:

- a)  $X = G(0) \subseteq \text{URan}(G)$ ,
- b) Für alle  $k \in \mathbb{N}$  ist  $G(k)$  konsistent<sub>H</sub>,
- c) Wenn  $l \leq k$ , dann  $G(l) \subseteq G(k)$ ,
- d) Wenn  $Y \subseteq \text{URan}(G)$  und  $|Y| \in \mathbb{N}$ , dann gibt es ein  $k \in \mathbb{N}$ , so dass  $Y \subseteq G(k)$ ,
- e)  $\text{URan}(G)$  ist konsistent<sub>H</sub>.

a) ergibt sich direkt aus der Definition von  $G$ . *Nun zu b)*:  $G(0) = X \subseteq \text{GFORM}$  ist nach Voraussetzung konsistent und damit mit Theorem 6-8 konsistent<sub>H</sub>. Gelte nun für  $k$ :  $G(k)$  ist konsistent<sub>H</sub>. Wäre nun  $G(k+1)$  inkonsistent<sub>H</sub>. Dann gilt nicht für alle  $\Gamma \in G(k+1)$ , dass  $G(k) \vdash \Gamma$ , da sonst mit Theorem 4-19<sub>H</sub> auch  $G(k)$  inkonsistent<sub>H</sub> wäre. Damit ist der Fall  $G(k+1) \subseteq G(k) \cup \{ \ulcorner \theta = \theta \urcorner \}$  für  $\theta \in \text{GTERM}$  ausgeschlossen. Also ist  $F(k) \in G(k)$ . Für diesen Fall sind aus demselben Grund die Fälle (i\*)-(iv\*), (vii\*), (ix\*), (xii\*) und (xv\*) ausgeschlossen. Also ist  $F(k) \in G(k)$  und  $F(k) = \ulcorner \neg(A \wedge B) \urcorner$  oder  $F(k) = \ulcorner A \vee B \urcorner$  oder  $F(k) = \ulcorner A \rightarrow B \urcorner$  oder  $F(k) = \ulcorner A \leftrightarrow B \urcorner$  oder  $F(k) = \ulcorner \neg(A \leftrightarrow B) \urcorner$  oder  $F(k) = \ulcorner \neg \wedge \xi \Delta \urcorner$  oder  $F(k) = \ulcorner \forall \xi \Delta \urcorner$ . Angenommen  $F(k) = \ulcorner \neg(A \wedge B) \urcorner$ . Dann ist nach (v\*)  $G(k+1) = G(k) \cup \{ \ulcorner \neg A \urcorner \}$ , falls  $G(k) \cup \{ \ulcorner \neg A \urcorner \}$  konsistent<sub>H</sub>,  $G(k+1) = G(k) \cup \{ \ulcorner \neg B \urcorner \}$  sonst. Dann ist  $G(k) \cup \{ \ulcorner \neg A \urcorner \}$  inkonsistent<sub>H</sub> und  $G(k+1) = G(k) \cup \{ \ulcorner \neg B \urcorner \}$  ebenfalls. Dann gilt mit Theorem 4-22<sub>H</sub>:  $G(k) \vdash_H A$  und  $G(k) \vdash_H B$  und somit  $G(k) \vdash_H \ulcorner A \wedge B \urcorner$ . Damit wäre dann auch  $G(k)$  inkonsistent. Widerspruch! Die anderen junktoralen Fälle zeigt man ana-

log. Sei nun  $F(k) = \ulcorner \neg \wedge \xi \Delta \urcorner$ . Dann ist nach (xiii\*)  $G(k+1) = G(k) \cup \{ \ulcorner \neg [\alpha, \xi, \Delta] \urcorner \}$  für das  $\alpha \in \text{KONSTNEU}$  mit dem kleinsten Index, für welches gilt: Wenn  $\Gamma \in G(k)$ , dann  $\text{TT}_H(\Gamma) \cap \{\alpha\} = \emptyset$ . Dann ist  $G(k) \cup \{ \ulcorner \neg [\alpha, \xi, \Delta] \urcorner \}$  inkonsistent<sub>H</sub>. Dann gilt  $G(k) \vdash_H \{[\alpha, \xi, \Delta]\}$ . Dann gilt aber wegen  $\alpha \notin \text{TTFM}_H(G(k))$  und  $\ulcorner \neg \wedge \xi \Delta \urcorner \in G(k)$ , dass  $\alpha \notin \text{TTFM}_H(G(k) \cup \{\Delta\})$  und damit mit Theorem 4-24<sub>H</sub>:  $G(k) \vdash_H \ulcorner \wedge \xi \Delta \urcorner$ . Dann ist  $G(k)$  inkonsistent<sub>H</sub>. Widerspruch! Den Fall  $F(k) = \ulcorner \forall \xi \Delta \urcorner$  zeigt man analog. Also b).

Durch Induktion über  $k$  zeigt man sodann leicht, dass nach der Definition von  $G$  c) gilt. Damit gilt auch d): Sei dazu  $Y \subseteq \text{URan}(G)$  und  $|Y| \in \mathbb{N}$ . Dann gilt für alle  $\Gamma \in Y$ : Es gibt ein  $l \in \mathbb{N}$ , so dass  $\Gamma \in G(l)$ . Sei nun  $k = \max(\{l \mid \text{Es gibt ein } \Gamma \in Y, \text{ so dass } \Gamma \in G(l)\})$ . Dann gilt mit c) für alle  $\Gamma \in Y$ :  $\Gamma \in G(k)$ . Damit gilt auch e). Wäre nämlich  $\text{URan}(G)$  inkonsistent<sub>H</sub>. Dann gäbe es eine endliche inkonsistente<sub>H</sub> Teilmenge  $Y$  von  $\text{URan}(G)$  und damit ein  $k$ , so dass  $G(k)$  inkonsistent<sub>H</sub> wäre, was im Widerspruch zu b) steht.

Damit kann nun gezeigt werden, dass  $\text{URan}(G)$  eine Hintikka-Menge ist. Zunächst gilt mit e) Klausel (i) von Definition 6-2. Sei nun  $\ulcorner \neg \neg A \urcorner \in \text{URan}(G)$ . Dann gibt es mit d) ein  $l$ , so dass  $\ulcorner \neg \neg A \urcorner \in G(l)$ . Sodann gibt es ein  $k > l$ , so dass  $\ulcorner \neg \neg A \urcorner = F(k)$ . Dann ist mit c)  $\ulcorner \neg \neg A \urcorner \in G(k)$ . Dann ist nach (iii\*)  $A \in G(k+1)$  und damit  $A \in \text{URan}(G)$ . Also gilt Klausel (ii) von Definition 6-2. Die anderen junktoralen Fälle (Klauseln (iii)-(x) von Definition 6-2) und die beiden Partikularfälle (Klauseln (xii) und (xiii) von Definition 6-2) zeigt man analog.

Sei nun  $\theta \in \text{GTERM}_H$ . Dann gibt es ein  $k$ , so dass  $\ulcorner \theta = \theta \urcorner = F(k)$ . Dann gilt: Wenn  $\ulcorner \theta = \theta \urcorner \notin G(k)$ , dann  $\ulcorner \theta = \theta \urcorner \in G(k+1)$  und somit in beiden Fällen:  $\ulcorner \theta = \theta \urcorner \in \text{URan}(G)$ . Damit gilt zum einen Klausel (xv) von Definition 6-2. Zum anderen gelten damit die Universalfälle, Klauseln (xi) und (xiv) von Definition 6-2. Sei nämlich  $\ulcorner \wedge \xi \Delta \urcorner \in \text{URan}(G)$ . Sei nun  $\theta \in \text{GTERM}_H$ . Dann ist (wie eben gezeigt)  $\ulcorner \theta = \theta \urcorner \in G(l)$  für ein  $l$  und es ist  $\ulcorner \wedge \xi \Delta \urcorner \in G(i)$  für ein  $i$ . Sodann gibt es ein  $k > l, i$ , so dass  $\ulcorner \wedge \xi \Delta \urcorner = F(k)$ . Dann ist mit c)  $\ulcorner \wedge \xi \Delta \urcorner, \ulcorner \theta = \theta \urcorner \in G(k)$ . Dann ist nach (xii\*)  $[\theta, \xi, \Delta] \in G(k+1)$  und damit  $[\theta, \xi, \Delta] \in \text{URan}(G)$ . Also gilt Klausel (xi) von Definition 6-2. Klausel (xiv) zeigt man analog.

Nun verbleiben noch die IB-Klauseln (xvi) und (xvii) von Definition 6-2. *Zunächst zu (xvi)*: Sei dazu  $\theta^*_0, \dots, \theta^*_{s-1} \in \text{GTERM}_H, \theta^+_0, \dots, \theta^+_{s-1} \in \text{GTERM}_H$ , für alle  $i < s$ :  $\ulcorner \theta^*_i =$

$\theta_i^{+\neg} \in \text{URan}(G)$  und  $\varphi \in \text{FUNK}$   $s$ -stellig. Wie bereits gezeigt, ist  $\ulcorner \varphi(\theta^*_0, \dots, \theta^*_{s-1}) = \varphi(\theta^*_0, \dots, \theta^*_{s-1}) \urcorner \in \text{URan}(G)$ . Damit gibt es mit d) ein  $l$ , so dass für alle  $i < s$ :  $\ulcorner \theta^*_i = \theta_i^{+\neg} \urcorner \in G(l)$  und  $\ulcorner \varphi(\theta^*_0, \dots, \theta^*_{s-1}) = \varphi(\theta^*_0, \dots, \theta^*_{s-1}) \urcorner \in G(l)$ . Dann gibt es ein  $k > l$  für das selbiges gilt und  $F(k) = \ulcorner \varphi(\theta^*_0, \dots, \theta^*_{s-1}) = \varphi(\theta^*_0, \dots, \theta^*_{s-1}) \urcorner$ . Dann ist mit (i\*)  $\ulcorner \varphi(\theta^*_0, \dots, \theta^*_{s-1}) = \varphi(\theta^+_0, \dots, \theta^+_{s-1}) \urcorner \in G(k+1) \subseteq \text{URan}(G)$ .

*Nun zu (xvii):* Sei dazu  $\theta_0, \dots, \theta_{r-1} \in \text{GTERM}_H$ ,  $\theta'_0, \dots, \theta'_{r-1} \in \text{GTERM}_H$ , für alle  $i < r$ :  $\ulcorner \theta_i = \theta_i' \urcorner \in \text{URan}(G)$  und  $\Phi \in \text{PRÄ}$   $r$ -stellig und  $\ulcorner \Phi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \urcorner \in \text{URan}(G)$ . Dann gibt es mit d) ein  $l$ , so dass für alle  $i < r$ :  $\ulcorner \theta_i = \theta_i' \urcorner \in G(l)$  und  $\ulcorner \Phi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \urcorner \in G(l)$ . Dann gibt es ein  $k > l$  für das selbiges gilt und  $F(k) = \ulcorner \Phi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \urcorner$ . Dann ist mit (i\*)  $\ulcorner \Phi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \urcorner \in G(k+1) \subseteq \text{URan}(G)$ .  $\square$

**Theorem 6-10.** *Jede Hintikka-Menge ist  $L_H$ -erfüllbar*

Wenn  $X$  eine Hintikka-Menge ist, dann ist  $X$  erfüllbar $_H$ .

*Beweis:* Sei  $X$  eine Hintikka-Menge. Sei nun  $A = \{(\theta, \theta') \mid (\theta, \theta') \in \text{GTERM}_H \times \text{GTERM}_H \text{ und } \ulcorner \theta = \theta' \urcorner \in X\}$ .

Dann gilt:  $A$  ist eine Äquivalenzrelation über  $\text{GTERM}_H$ . *Zur Reflexivität* gilt nach Definition 6-2-(xv):  $\ulcorner \theta = \theta \urcorner \in X$  und damit  $(\theta, \theta) \in A$ . *Nun zur Symmetrie:* Sei  $(\theta, \theta') \in A$ . Dann ist  $\ulcorner \theta = \theta' \urcorner \in X$  und es ist, wie eben gezeigt,  $\ulcorner \theta = \theta' \urcorner \in X$ . Damit ist dann  $\ulcorner \theta = \theta' \urcorner \in X$  und  $\ulcorner \theta = \theta' \urcorner \in X$  und damit (mit  $\theta = \theta_0, \theta_1, \theta'_1$  und  $\theta' = \theta'_0$  und  $\ulcorner \Phi(\theta_0, \theta_1) \urcorner = \ulcorner \theta = \theta' \urcorner$ ) nach Definition 6-2-(xvii) auch  $\ulcorner \theta' = \theta' \urcorner \in X$ . Also  $(\theta, \theta') \in A$ . *Nun zur Transitivität:* Sei  $(\theta, \theta') \in A$  und  $(\theta', \theta^*) \in A$ . Dann gilt:  $\ulcorner \theta = \theta' \urcorner \in X$  und  $\ulcorner \theta' = \theta^* \urcorner \in X$ . Sodann gilt wie bereits gezeigt  $\ulcorner \theta = \theta' \urcorner \in X$ , womit (mit  $\theta = \theta_0, \theta'_0$ , und  $\theta' = \theta_1$  und  $\theta^* = \theta'_1$  und  $\ulcorner \Phi(\theta_0, \theta_1) \urcorner = \ulcorner \theta = \theta' \urcorner$ ) nach Definition 6-2-(xvii) auch  $\ulcorner \theta = \theta^* \urcorner \in X$  gilt und damit  $(\theta, \theta^*) \in A$ .

Sei nun für alle  $\theta \in \text{GTERM}_H$ :  $[\theta]_A = \{\theta' \mid (\theta, \theta') \in A\}$ . Da  $A$  eine Äquivalenzrelation über  $\text{GTERM}_H$  ist, gilt dann mit  $\text{GTERM}_H/A = \{[\theta]_A \mid \theta \in \text{GTERM}_H\}$ :

(a) Für alle  $\theta \in \text{GTERM}_H$ :  $\theta \in [\theta]_A$ .

(b) Für alle  $\theta, \theta' \in \text{GTERM}_H$ :  $[\theta]_A = [\theta']_A$  gdw  $(\theta, \theta') \in A$  gdw  $\ulcorner \theta = \theta' \urcorner \in X$ .

(c) Für alle  $\theta, \theta' \in \text{GTERM}_H$ :  $[\theta]_A \cap [\theta']_A \neq \emptyset$ , dann  $[\theta]_A = [\theta']_A$ .

Die zweite Äquivalenz in (b) ergibt sich dabei aus der Definition von  $A$ .

Sei nun  $D_X = \text{GTERM}_H/A$ . Sei sodann  $I_X$  eine Funktion mit  $\text{Dom}(I_X) = \text{KONST} \cup \text{KONSTNEU} \cup \text{FUNK} \cup \text{PRÄ}$ , wobei für alle  $\alpha \in \text{KONST} \cup \text{KONSTNEU}$ :  $I_X(\alpha) = [\alpha]_A$  und für alle  $\varphi \in \text{FUNK}$ : Wenn  $\varphi$   $r$ -stellig, dann  $I_X(\varphi) = \{ \langle [\theta_0]_A, \dots, [\theta_{r-1}]_A \rangle, [\theta^*]_A \mid \langle \theta_0, \dots, \theta_{r-1} \rangle, \theta^* \in {}^r\text{GTERM}_H \times \text{GTERM}_H \text{ und } \ulcorner \varphi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) = \theta^* \urcorner \in X \}$  und für alle  $\Phi \in \text{PRÄ}$ : Wenn  $\Phi$   $r$ -stellig, dann  $I_X(\Phi) = \{ \langle [\theta_0]_A, \dots, [\theta_{r-1}]_A \rangle \mid \langle \theta_0, \dots, \theta_{r-1} \rangle \in {}^r\text{GTERM}_H \text{ und } \ulcorner \Phi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \urcorner \in X \}$ . Sei zuletzt  $b_X$  eine Funktion mit  $\text{Dom}(b_X) = \text{PAR}$  und für alle  $\beta \in \text{PAR}$ :  $b_X(\beta) = [\beta]_A$ .

Dann ist nach Definition 5-1<sub>H</sub>  $I_X$  eine Interpretationsfunktion<sub>H</sub> für  $D_X$ . Zunächst gilt für alle  $\alpha \in \text{KONST} \cup \text{KONSTNEU}$ :  $I_X(\alpha) = [\alpha]_A \in D_X$ . Sei nun  $\varphi \in \text{FUNK}$   $r$ -stellig. Dann ist  $I_X(\varphi) = \{ \langle [\theta_0]_A, \dots, [\theta_{r-1}]_A \rangle, [\theta^*]_A \mid \langle \theta_0, \dots, \theta_{r-1} \rangle, \theta^* \in {}^r\text{GTERM}_H \times \text{GTERM}_H \text{ und } \ulcorner \varphi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) = \theta^* \urcorner \in X \}$ . Damit ist  $I_X(\varphi) \subseteq {}^rD_X \times D_X$ . Sei nun  $\langle x_0, \dots, x_{r-1} \rangle \in {}^rD_X$ . Dann gibt es  $\theta_0, \dots, \theta_{r-1} \in \text{GTERM}_H$ , so dass für alle  $i < r$ :  $x_i = [\theta_i]_A$ . Sodann gilt mit Definition 6-2-(xv)  $\ulcorner \varphi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) = \varphi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \urcorner \in X$  und damit  $\langle [\theta_0]_A, \dots, [\theta_{r-1}]_A \rangle, [\varphi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1})]_A \in I_X(\varphi)$  und also  $\langle x_0, \dots, x_{r-1} \rangle \in \text{Dom}(I_X(\varphi))$ . Seien nun  $\langle \langle x_0, \dots, x_{r-1} \rangle, x^* \rangle \in I_X(\varphi)$  und  $\langle \langle x_0, \dots, x_{r-1} \rangle, x^+ \rangle \in I_X(\varphi)$ . Dann gibt es  $\theta_0, \dots, \theta_{r-1}$  und  $\theta^*$ , so dass für alle  $i < r$ :  $x_i = [\theta_i]_A$  und  $x^* = [\theta^*]_A$  und  $\langle \theta_0, \dots, \theta_{r-1} \rangle, \theta^* \in {}^r\text{GTERM}_H \times \text{GTERM}_H$  und  $\ulcorner \varphi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) = \theta^* \urcorner \in X$  und es gibt  $\theta'_0, \dots, \theta'_{r-1}$  und  $\theta^+$ , so dass für alle  $i < r$ :  $x_i = [\theta'_i]_A$  und  $x^+ = [\theta^+]_A$  und  $\langle \theta'_0, \dots, \theta'_{r-1} \rangle, \theta^+ \in {}^r\text{GTERM}_H \times \text{GTERM}_H$  und  $\ulcorner \varphi(\theta'_0, \dots, \theta'_{r-1}) = \theta^+ \urcorner \in X$ . Dann gilt für alle  $i < r$ :  $[\theta_i]_A = x_i = [\theta'_i]_A$ . Damit gilt dann für alle  $i < r$ :  $(\theta_i, \theta'_i) \in A$  und damit  $\ulcorner \theta_i = \theta'_i \urcorner \in X$ . Damit gilt nach Definition 6-2-(xvi):  $\ulcorner \varphi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) = \varphi(\theta'_0, \dots, \theta'_{r-1}) \urcorner \in X$  und damit mit (b):  $[\ulcorner \varphi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \urcorner]_A = [\ulcorner \varphi(\theta'_0, \dots, \theta'_{r-1}) \urcorner]_A$ . Mit  $\ulcorner \varphi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) = \theta^* \urcorner \in X$  und  $\ulcorner \varphi(\theta'_0, \dots, \theta'_{r-1}) = \theta^+ \urcorner \in X$  und (b) gilt sodann auch  $[\ulcorner \varphi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \urcorner]_A = [\theta^*]_A$  und  $[\ulcorner \varphi(\theta'_0, \dots, \theta'_{r-1}) \urcorner]_A = [\theta^+]_A$  und damit insgesamt  $x^* = [\theta^*]_A = [\theta^+]_A = x^+$ . Also ist  $I_X(\varphi)$  insgesamt eine  $r$ -stellige Funktion über  $D_X$ . Ferner gilt für alle  $\Phi \in \text{PRÄ}$ : Wenn  $\Phi$   $r$ -stellig, dann  $I_X(\Phi) \subseteq {}^rD_X$ . Zuletzt gilt  $I_X(\ulcorner = \urcorner) = \{ \langle x, x \rangle \mid x \in D_X \}$ . Sei nämlich  $\langle x, y \rangle \in I_X(\ulcorner = \urcorner)$ . Dann gibt es  $\theta, \theta' \in \text{GTERM}_H$ , so dass  $x = [\theta]_A$  und  $y = [\theta']_A$  und  $\ulcorner \theta = \theta' \urcorner \in X$ .

Damit ergibt sich mit (b):  $x = [\theta]_A = [\theta']_A = y$ . Sei nun  $x \in D_X$ . Dann gibt es ein  $\theta \in \text{GTERM}_H$ , so dass  $x = [\theta]_A$ . Dann gilt nach Definition 6-2-(xv)  $\ulcorner \theta = \theta' \urcorner \in X$  und damit ergibt sich  $\langle x, x \rangle \in I_X(\ulcorner = \urcorner)$ . Damit ist dann gemäß Definition 5-2<sub>H</sub> ( $D_X, I_X$ ) ein Modell<sub>H</sub>. Sodann sieht man leicht ein, dass  $b_X$  eine Belegung<sub>H</sub> für  $D$  ist.

Analog zu dem Nachweis, dass für alle  $\varphi \in \text{FUNK}$  gilt, dass wenn  $\varphi$   $r$ -stellig ist, dann  $I_X(\varphi)$  eine  $r$ -stellige Funktion über  $D_X$  ist, ergibt sich, dass für alle  $\varphi \in \text{FUNK}$  gilt: Wenn  $\varphi$   $r$ -stellig und  $\theta_0, \dots, \theta_{r-1} \in \text{GTERM}_H$ , dann:  $I_X(\varphi)(\langle [\theta_0]_A, \dots, [\theta_{r-1}]_A \rangle) = [\ulcorner \varphi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \urcorner]_A$ . Seien dazu  $\varphi \in \text{FUNK}$   $r$ -stellig und  $\theta_0, \dots, \theta_{r-1} \in \text{GTERM}_H$ . Dann ist  $\langle [\theta_0]_A, \dots, [\theta_{r-1}]_A \rangle \in {}^r D_X$  und somit  $(\langle [\theta_0]_A, \dots, [\theta_{r-1}]_A \rangle, I_X(\varphi)(\langle [\theta_0]_A, \dots, [\theta_{r-1}]_A \rangle)) \in I_X(\varphi)$ . Dann gibt es  $\theta'_0, \dots, \theta'_{r-1}$  und  $\theta^+$ , so dass für alle  $i < r$ :  $[\theta_i]_A = [\theta'_i]_A$  und  $I_X(\varphi)(\langle [\theta_0]_A, \dots, [\theta_{r-1}]_A \rangle) = [\theta^+]_A$  und  $(\langle \theta'_0, \dots, \theta'_{r-1} \rangle, \theta^+) \in {}^r \text{GTERM}_H \times \text{GTERM}_H$  und  $\ulcorner \varphi(\theta'_0, \dots, \theta'_{r-1}) \urcorner = \theta^{+\urcorner} \in X$ . Dann gilt mit (b) für alle  $i < r$ :  $\ulcorner \theta_i = \theta'_i \urcorner \in X$ . Damit gilt nach Definition 6-2-(xvi):  $\ulcorner \varphi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \urcorner = \varphi(\theta'_0, \dots, \theta'_{r-1}) \urcorner \in X$  und damit mit (b):  $[\ulcorner \varphi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \urcorner]_A = [\ulcorner \varphi(\theta'_0, \dots, \theta'_{r-1}) \urcorner]_A$ . Mit  $\ulcorner \varphi(\theta'_0, \dots, \theta'_{r-1}) \urcorner = \theta^{+\urcorner} \in X$  und (b) gilt sodann auch  $[\ulcorner \varphi(\theta'_0, \dots, \theta'_{r-1}) \urcorner]_A = [\theta^+]_A$  und damit insgesamt  $I_X(\varphi)(\langle [\theta_0]_A, \dots, [\theta_{r-1}]_A \rangle) = [\theta^+]_A = [\ulcorner \varphi(\theta'_0, \dots, \theta'_{r-1}) \urcorner]_A = [\ulcorner \varphi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \urcorner]_A$ .

Nun wird gezeigt, dass für alle  $\Phi \in \text{PRÄ}$ : Wenn  $\Phi$   $r$ -stellig und  $\theta_0, \dots, \theta_{r-1} \in \text{GTERM}_H$ , dann:  $\langle [\theta_0]_A, \dots, [\theta_{r-1}]_A \rangle \in I_X(\Phi)$  gdw  $\ulcorner \Phi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \urcorner \in X$ . Seien dazu  $\Phi \in \text{PRÄ}$   $r$ -stellig und  $\theta_0, \dots, \theta_{r-1} \in \text{GTERM}_H$ . Gelte nun zunächst  $\langle [\theta_0]_A, \dots, [\theta_{r-1}]_A \rangle \in I_X(\Phi)$ . Dann gibt es  $\theta'_0, \dots, \theta'_{r-1}$ , so dass für alle  $i < r$ :  $[\theta_i]_A = [\theta'_i]_A$  und  $(\theta'_0, \dots, \theta'_{r-1}) \in {}^r \text{GTERM}_H$  und  $\ulcorner \Phi(\theta'_0, \dots, \theta'_{r-1}) \urcorner \in X$ . Dann gilt mit (b) für alle  $i < r$ :  $\ulcorner \theta_i = \theta'_i \urcorner \in X$ . Mit der oben gezeigten Symmetrie gilt dann für alle  $i < r$ :  $\ulcorner \theta'_i = \theta_i \urcorner \in X$ . Sodann gilt  $\ulcorner \Phi(\theta'_0, \dots, \theta'_{r-1}) \urcorner \in X$  und damit nach Definition 6-2-(xvii) auch  $\ulcorner \Phi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \urcorner \in X$ . Sei nun umgekehrt  $\ulcorner \Phi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \urcorner \in X$ . Dann ergibt sich leicht, dass  $\langle [\theta_0]_A, \dots, [\theta_{r-1}]_A \rangle \in I_X(\Phi)$ .

Sodann ergibt sich mit Theorem 5-2<sub>H</sub> durch Induktion über den Termaufbau für alle  $\theta \in \text{GTERM}_H$ :  $\text{TD}(\theta, D_X, I_X, b_X) = [\theta]_A$ . Sei nämlich  $\alpha \in \text{KONST} \cup \text{KONSTNEU}$ . Dann ist  $\text{TD}(\alpha, D_X, I_X, b_X) = I_X(\alpha) = [\alpha]_A$ . Sei  $\beta \in \text{PAR}$ . Dann ist  $\text{TD}(\beta, D_X, I_X, b_X) = b_X(\beta) = [\beta]_A$ . Gelte die Behauptung nun für  $\theta_0, \dots, \theta_{r-1} \in \text{GTERM}_H$  und sei  $\ulcorner \varphi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \urcorner \in \text{FTERM}_H$ . Dann ist  $\text{TD}_H(\ulcorner \varphi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1}) \urcorner, D_X, I_X, b_X) = I_X(\varphi)(\langle \text{TD}(\theta_0, D_X, I_X, b_X), \dots,$

$\text{TD}_H(\theta_{r-1}, D_X, I_X, \mathbf{b}_X)))$  und damit nach I.V.  $\text{TD}_H(\ulcorner\varphi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1})\urcorner, D_X, I_X, \mathbf{b}_X) = I_X(\varphi)(\langle[\theta_0]_A, \dots, [\theta_{r-1}]_A\rangle) = \ulcorner\varphi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1})\urcorner_A$ .

Damit gilt dann für alle  $A \in \text{AFORM}_H$ :  $D_X, I_X, \mathbf{b}_X \models_H A$  gdw  $A \in X$ . Sei nämlich  $A \in \text{AFORM}_H$ . Dann gibt es  $\Phi \in \text{PRÄ}$ ,  $\Phi$   $r$ -stellig, und  $\theta_0, \dots, \theta_{r-1} \in \text{GTERM}_H$ , so dass  $A = \ulcorner\Phi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1})\urcorner$ . Dann gilt:

$$D_X, I_X, \mathbf{b}_X \models_H A$$

gdw

$$D_X, I_X, \mathbf{b}_X \models_H \ulcorner\Phi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1})\urcorner$$

gdw

$$\langle \text{TD}_H(\theta_0, D_X, I_X, \mathbf{b}_X), \dots, \text{TD}_H(\theta_{r-1}, D_X, I_X, \mathbf{b}_X) \rangle \in I_X(\Phi)$$

gdw

$$\langle [\theta]_0, \dots, [\theta]_{r-1} \rangle \in I_X(\Phi)$$

gdw

$$\ulcorner\Phi(\theta_0, \dots, \theta_{r-1})\urcorner \in X.$$

Nun wird durch Induktion über  $\text{FGRAD}_H(\Gamma)$  gezeigt: Wenn  $\Gamma \in X$ , dann  $D_X, I_X, \mathbf{b}_X \models_H \Gamma$  und wenn  $\ulcorner\neg\Gamma\urcorner \in X$ , dann  $D_X, I_X, \mathbf{b}_X \not\models_H \Gamma$ . Daraus ergibt sich unmittelbar  $D_X, I_X, \mathbf{b}_X \models_H X$  und damit, dass  $X$  erfüllbar<sub>H</sub> ist.

Gelte die Behauptung für alle  $k < \text{FGRAD}_H(\Gamma)$ . Sei nun  $\text{FGRAD}_H(\Gamma) = 0$ . Dann ist  $\Gamma \in \text{AFORM}_H$ . Sei nun  $\Gamma \in X$ . Dann gilt:  $D_X, I_X, \mathbf{b}_X \models_H \Gamma$ . Sei nun  $\ulcorner\neg\Gamma\urcorner \in X$ . Dann gilt mit Definition 6-2-(i),  $\ulcorner\Gamma\urcorner \notin X$  und damit:  $D_X, I_X, \mathbf{b}_X \not\models_H \Gamma$ .

Sei nun  $\text{FGRAD}_H(\Gamma) > 0$ . Dann ist  $\Gamma \in \text{JFORM}_H \cup \text{QFORM}_H$ . Zunächst wird nun gezeigt: Wenn  $\Gamma \in X$ , dann  $D_X, I_X, \mathbf{b}_X \models_H \Gamma$ . Sei dazu  $\Gamma \in X$ . Es können *sieben* Fälle unterschieden werden. *Erstens*: Sei  $\Gamma = \ulcorner\neg B\urcorner$ . Dann ist  $\text{FGRAD}_H(B) < \text{FGRAD}_H(\Gamma)$  und damit nach I.V.  $D_X, I_X, \mathbf{b}_X \not\models_H B$  und somit  $D_X, I_X, \mathbf{b}_X \models_H \ulcorner\neg B\urcorner = \Gamma$ . *Zweitens*: Sei  $\Gamma = \ulcorner A \wedge B\urcorner$ . Dann gilt mit Definition 6-2-(iii):  $A, B \in X$ . Da sodann  $\text{FGRAD}_H(A) < \text{FGRAD}_H(\Gamma)$  und  $\text{FGRAD}_H(B) < \text{FGRAD}_H(\Gamma)$ , gilt damit nach I.V.:  $D_X, I_X, \mathbf{b}_X \models_H A$  und  $D_X, I_X, \mathbf{b}_X \models_H B$  und damit  $D_X, I_X, \mathbf{b}_X \models_H \ulcorner A \wedge B\urcorner = \Gamma$ . Der *dritte* bis *fünfte* Fall verlaufen analog.

*Sechstens:* Sei  $\Gamma = \ulcorner \wedge \xi \Delta \urcorner$ . Dann gilt mit Definition 6-2-(xi)  $[\theta, \xi, \Delta] \in X$  für alle  $\theta \in \text{GTERM}_H$ . Da für alle  $\theta \in \text{GTERM}_H$  nach Theorem 1-8<sub>H</sub>  $\text{FGRAD}_H([\theta, \xi, \Delta]) < \text{FGRAD}_H(\Gamma)$ , gilt damit nach I.V. für alle  $\theta \in \text{GTERM}_H$ :  $D_X, I_X, b_X \models_H [\theta, \xi, \Delta]$ . Sei nun  $\beta \in \text{PAR} \setminus \text{TT}_H(\Delta)$  und sei  $b'$  in  $\beta$  eine Belegungsvariante<sub>H</sub> von  $b_X$  in  $D_X$ . Dann ist  $b'(\beta) \in D_X$  und somit gibt es ein  $\theta \in \text{GTERM}_H$ , so dass  $b'(\beta) = [\theta]_A$ . Dann ist  $\text{TD}_H(\theta, D_X, I_X, b_X) = [\theta]_A$  und somit  $b'(\beta) = \text{TD}_H(\theta, D_X, I_X, b_X)$ . Wegen  $D_X, I_X, b_X \models_H [\theta, \xi, \Delta]$  folgt dann mit Theorem 5-9<sub>H</sub>-(ii):  $D_X, I_X, b' \models_H [\beta, \xi, \Delta]$ . Also gilt für alle  $b'$ , die in  $\beta$  Belegungsvarianten<sub>H</sub> von  $b_X$  in  $D_X$  sind:  $D_X, I_X, b' \models_H [\beta, \xi, \Delta]$  und somit:  $D_X, I_X, b_X \models_H \ulcorner \wedge \xi \Delta \urcorner$ .

*Siebtens:* Sei  $\Gamma = \ulcorner \vee \xi \Delta \urcorner$ . Dann gilt mit Definition 6-2-(xiii): Es gibt ein  $\theta \in \text{GTERM}_H$ , so dass  $[\theta, \xi, \Delta] \in X$ . Da für alle  $\theta \in \text{GTERM}_H$  nach Theorem 1-8<sub>H</sub>  $\text{FGRAD}_H([\theta, \xi, \Delta]) < \text{FGRAD}_H(\Gamma)$  gilt damit nach I.V.:  $D_X, I_X, b_X \models_H [\theta, \xi, \Delta]$ . Sei nun  $\beta \notin \text{TT}_H(\Delta)$ . Sei nun  $b' = (b_X \setminus \{(\beta, b_X(\beta))\}) \cup \{(\beta, [\theta]_A)\}$ . Dann ist  $b'$  in  $\beta$  eine Belegungsvariante<sub>H</sub> von  $b_X$  in  $D_X$  mit  $b'(\beta) = [\theta]_A$ . Sodann ist  $\text{TD}_H(\theta, D_X, I_X, b_X) = [\theta]_A$  und somit  $b'(\beta) = \text{TD}_H(\theta, D_X, I_X, b_X)$ . Wegen  $D_X, I_X, b_X \models_H [\theta, \xi, \Delta]$  folgt dann mit Theorem 5-9<sub>H</sub>-(ii):  $D_X, I_X, b' \models_H [\beta, \xi, \Delta]$ . Also gibt es ein  $b'$ , das in  $\beta$  Belegungsvariante<sub>H</sub> von  $b_X$  in  $D_X$  ist, so dass:  $D_X, I_X, b' \models_H [\beta, \xi, \Delta]$  und somit:  $D_X, I_X, b_X \models_H \vee \xi \Delta$ .

Nun wird gezeigt: Wenn  $\ulcorner \neg \Gamma \urcorner \in X$ , dann  $D_X, I_X, b_X \not\models_H \Gamma$ . Sei nun  $\ulcorner \neg \Gamma \urcorner \in X$ . Es können *sieben* Fälle unterschieden werden. *Erstens:* Sei  $\Gamma = \ulcorner \neg B \urcorner$ . Dann ist mit Definition 6-2-(ii)  $B \in X$  und weil  $\text{FGRAD}_H(B) < \text{FGRAD}_H(\Gamma)$  gilt nach I.V.  $D_X, I_X, b_X \models_H B$ . Mit Theorem 5-4<sub>H</sub>-(ii) folgt  $D_X, I_X, b_X \not\models_H \ulcorner \neg B \urcorner = \Gamma$ . *Zweitens:* Sei  $\Gamma = \ulcorner A \wedge B \urcorner$ . Dann ist mit Definition 6-2-(iv)  $\ulcorner \neg A \urcorner \in X$  oder  $\ulcorner \neg B \urcorner \in X$  und weil  $\text{FGRAD}_H(A) < \text{FGRAD}_H(\Gamma)$  und  $\text{FGRAD}_H(B) < \text{FGRAD}_H(\Gamma)$  gilt nach I.V.  $D_X, I_X, b_X \not\models_H A$  oder  $D_X, I_X, b_X \not\models_H B$ . Mit Theorem 5-4<sub>H</sub>-(iii) folgt  $D_X, I_X, b_X \not\models_H \ulcorner A \wedge B \urcorner = \Gamma$ . Der *dritte* bis *fünfte* Fall verlaufen analog.

*Sechstens:* Sei  $\Gamma = \ulcorner \neg \wedge \xi \Delta \urcorner$ . Dann gilt mit Definition 6-2-(xii): Es gibt ein  $\theta \in \text{GTERM}_H$ , so dass  $\neg[\theta, \xi, \Delta] \in X$ . Da für alle  $\theta \in \text{GTERM}_H$  nach Theorem 1-8<sub>H</sub>  $\text{FGRAD}_H([\theta, \xi, \Delta]) < \text{FGRAD}_H(\Gamma)$ , gilt damit nach I.V.:  $D_X, I_X, b_X \not\models_H [\theta, \xi, \Delta]$ . Sei nun  $\beta \notin \text{TT}_H(\Delta)$ . Sei nun  $b'$  in  $\beta$  die Belegungsvariante<sub>H</sub> von  $b_X$  in  $D_X$  mit  $b'(\beta) = [\theta]_A$ . Dann

ist  $\text{TD}_H(\theta, D_X, I_X, b_X) = [\theta]_A$  und somit  $b'(\beta) = \text{TD}_H(\theta, D_X, I_X, b_X)$ . Wegen  $D_X, I_X, b_X \not\models_H [\theta, \xi, \Delta]$  folgt dann mit Theorem 5-9<sub>H</sub>(ii):  $D_X, I_X, b' \not\models_H [\beta, \xi, \Delta]$ . Also gibt es ein  $b'$ , das in  $\beta$  Belegungsvariante<sub>H</sub> von  $b_X$  in  $D_X$  ist, so dass:  $D_X, I_X, b' \not\models_H [\beta, \xi, \Delta]$  und somit mit Theorem 5-8-(i):  $D_X, I_X, b_X \not\models_H \ulcorner \wedge \xi \Delta \urcorner$ .

*Siebtens:* Sei  $\Gamma = \ulcorner \neg \forall \xi \Delta \urcorner$ . Dann gilt mit Definition 6-2-(xiv) für alle  $\theta \in \text{GTERM}_H$   $\ulcorner \neg [\theta, \xi, \Delta] \urcorner \in X$ . Da für alle  $\theta \in \text{GTERM}_H$  nach Theorem 1-8<sub>H</sub>  $\text{FGRAD}_H([\theta, \xi, \Delta]) < \text{FGRAD}_H(\Gamma)$ , gilt damit nach I.V. für alle  $\theta \in \text{GTERM}_H$ :  $D_X, I_X, b_X \not\models_H [\theta, \xi, \Delta]$ . Sei nun  $\beta \notin \text{TT}_H(\Delta)$  und sei  $b'$  in  $\beta$  eine Belegungsvariante<sub>H</sub> von  $b_X$  in  $D_X$ . Dann ist  $b'(\beta) \in D_X$  und somit gibt es ein  $\theta \in \text{GTERM}_H$ , so dass  $b'(\beta) = [\theta]_A$ . Dann ist  $\text{TD}_H(\theta, D_X, I_X, b_X) = [\theta]_A$  und somit  $b'(\beta) = \text{TD}_H(\theta, D_X, I_X, b_X)$ . Wegen  $D_X, I_X, b_X \not\models_H [\theta, \xi, \Delta]$  folgt dann mit Theorem 5-9<sub>H</sub>(ii):  $D_X, I_X, b' \not\models_H [\beta, \xi, \Delta]$ . Also gilt für alle  $b'$ , die in  $\beta$  Belegungsvarianten<sub>H</sub> von  $b_X$  in  $D_X$  sind:  $D_X, I_X, b' \not\models_H [\beta, \xi, \Delta]$  und somit mit Theorem 5-8-(ii):  $D_X, I_X, b_X \not\models_H \ulcorner \forall \xi \Delta \urcorner$ .

Damit wurde gezeigt: Wenn  $\Gamma \in X$ , dann  $D_X, I_X, b_X \models_H \Gamma$  und wenn  $\ulcorner \neg \Gamma \urcorner \in X$ , dann  $D_X, I_X, b_X \not\models_H \Gamma$ . Allein aus dem ersten Teil ergibt sich bereits gemäß Definition 5-17 und Definition 5-9, dass  $X$  erfüllbar<sub>H</sub> ist.  $\square$

**Theorem 6-11.** *Modelltheoretische Konsequenzschaft impliziert Ableitbarkeit*

Für alle  $X, \Gamma$ : wenn  $X \models \Gamma$ , dann  $X \vdash \Gamma$ .

*Beweis:* Sei  $X \models \Gamma$ . Dann ist nach Definition 5-10  $X \cup \{\Gamma\} \subseteq \text{GFORM}$  und damit auch  $X \cup \{\ulcorner \neg \Gamma \urcorner\} \subseteq \text{GFORM}$ . Sodann ist mit Theorem 5-12  $X \cup \{\ulcorner \neg \Gamma \urcorner\}$  nicht erfüllbar. Wäre nun  $X \cup \{\ulcorner \neg \Gamma \urcorner\}$  konsistent. Dann gäbe es mit Theorem 6-9 eine Hintikka-Menge  $Z$ , so dass  $X \cup \{\ulcorner \neg \Gamma \urcorner\} \subseteq Z$ . Dann gilt mit Theorem 6-10, dass  $Z$  erfüllbar<sub>H</sub> ist, und mit Theorem 5-11<sub>H</sub> wäre damit aber auch  $X \cup \{\ulcorner \neg \Gamma \urcorner\}$  erfüllbar<sub>H</sub>. Damit wäre dann mit Theorem 6-5 aber  $X \cup \{\ulcorner \neg \Gamma \urcorner\}$  erfüllbar. Widerspruch! Also ist  $X \cup \{\ulcorner \neg \Gamma \urcorner\}$  nicht konsistent und damit inkonsistent. Damit gilt aber mit Theorem 4-22:  $X \vdash \Gamma$ .  $\square$

**Theorem 6-12. Kompaktheitssatz**

- (i) Wenn  $X \models \Gamma$ , dann gibt es ein  $Y \subseteq X$ , so dass  $|Y| \in \mathbb{N}$  und  $Y \models \Gamma$ ,
- (ii) Wenn  $X \subseteq \text{GFORM}$ , dann:  $X$  ist erfüllbar gdw für alle  $Y \subseteq X$  mit  $|Y| \in \mathbb{N}$  gilt:  $Y$  erfüllbar.

*Beweis:* Zu (i): Sei  $X \models \Gamma$ . Mit Theorem 6-11 gilt dann  $X \vdash \Gamma$ . Also gibt es nach Definition 3-21 ein  $\mathfrak{H}$ , so dass  $\mathfrak{H}$  eine Ableitung von  $\Gamma$  aus  $\text{VAN}(\mathfrak{H})$  ist und  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \subseteq X$ . Dann ist nach Theorem 3-9  $|\text{VAN}(\mathfrak{H})| \in \mathbb{N}$ . Außerdem gilt nach Definition 3-20  $\mathfrak{H} \in \text{HL} \setminus \{\emptyset\}$  und damit Theorem 6-1 auch  $\text{VAN}(\mathfrak{H}) \models \Gamma$ . Also (i).

Zu (ii): Sei  $X \subseteq \text{GFORM}$ . Die Links-Rechts-Richtung ergibt sich direkt aus Theorem 5-11. Zur Rechts-Links-Richtung: Seien alle  $Y \subseteq X$  mit  $|Y| \in \mathbb{N}$  erfüllbar. Wäre  $X$  nicht erfüllbar, dann gäbe es keine  $D, I, b$ , so dass  $D, I, b \models X$ . Damit gilt nach Definition 5-10  $X \models \ulcorner c_0 = c_0 \urcorner$  und  $X \models \ulcorner \neg(c_0 = c_0) \urcorner$ . Mit (i) gibt es dann  $Y, Z \subseteq X$ , so dass  $|Y| \in \mathbb{N}$  und  $Y \models \ulcorner c_0 = c_0 \urcorner$  und  $|Z| \in \mathbb{N}$  und  $Z \models \ulcorner \neg(c_0 = c_0) \urcorner$ . Wäre nun  $D, I, b \models Y \cup Z$ . Dann ist  $(D, I)$  ein Modell und  $b$  eine Belegung für  $D$ . Sodann wäre auch  $D, I, b \models \ulcorner c_0 = c_0 \urcorner$  und  $D, I, b \models \ulcorner \neg(c_0 = c_0) \urcorner$  und damit mit Theorem 5-4-(ii)  $D, I, b \models \ulcorner c_0 = c_0 \urcorner$  und  $D, I, b \not\models \ulcorner c_0 = c_0 \urcorner$ . Widerspruch! Damit ist  $Y \cup Z$  nicht erfüllbar und es ist  $|Y \cup Z| \in \mathbb{N}$ , was im Widerspruch zur Annahme steht. Also ist  $X$  erfüllbar.  $\square$





## 7 Rück- und Ausblick

Es wurde ein pragmatisierter Kalkül des natürlichen Schließens entwickelt, für den gilt: (i) Jede Sequenz  $\mathfrak{S}$  aus Annahme- und Folgerungssätzen ist keine Ableitung einer Aussage aus einer Aussagenmenge oder es gibt genau eine Aussage  $\Gamma$  und eine Aussagenmenge  $X$ , so dass  $\mathfrak{S}$  eine Ableitung von  $\Gamma$  aus  $X$  ist, wobei dies für jede Satzsequenz ohne Rückgriff auf metasprachliche Kommentarmittel feststellbar ist. (ii) Die klassische modelltheoretische Konsequenzrelation für die erste Stufe ist äquivalent zu der Konsequenzrelation für den Kalkül. Dabei wurde der Bezug auf die Sprache  $L$  fix gehalten, wobei  $L$  allerdings eine beliebig, aber fest gewählte Sprache mit bestimmten Eigenschaften ist: Die Entwicklung des Kalküls und seiner Metatheorie lässt sich also auf alle entsprechenden Sprachen übertragen.

Wir gehen davon aus, dass dieser Kalkül geeignet ist, die Behauptung plausibilisieren, dass sich gängige Folgerungspraxen unter alleinigen Rückgriff auf Regelwerke etablieren bzw. erschließen lassen, wobei bei der Ausübung dieser Praxen keine metasprachliche Begleitpraxen (etwa kommentierender Art) nötig sind. Konfessorisch: Folgern in einer Sprache besteht im Vollzug von (regelgeleiteten) Redehandlungen in dieser Sprache und nicht im Vollzug von Redehandlungen in dieser Sprache *und* begleitenden metasprachlichen Redehandlungen. Kurz: Ableiten in einer Sprache ist Redehandeln in *dieser* Sprache. Diese Thesen sind philosophisch zu substantiieren.

Sodann sind weitere metatheoretische Untersuchungen angebracht, etwa eine Ausweitung des Vollständigkeitsresultats für überabzählbare Sprachen und eine genauere Untersuchung des Zusammenhangs der einzelnen Kalkülregeln – exemplarisch: In welchem Sinne sind die logischen Operatoren interdefinierbar? Sodann ist zu untersuchen, inwieweit sich der hier verfolgte Ansatz ausbauen lässt, um Redehandlungsregeln für das axiomatische Setzen, das Definieren, das Konstatieren, das Anziehen von Aussagen als Gründen, den Umgang mit Kennzeichnungen, modalen Operatoren etc. zu entwickeln. Ferner ist zu prüfen, inwieweit sich das Ableiten im Kalkül durch zulässige Regeln handlicher gestalten lässt. *Last but not least* ist eine propädeutische Fassung des Kalküls vorzulegen, mit der gleichzeitig auch demonstriert werden sollte, dass sich Verfügbarkeitsrede und Kalkülregeln für reine Anwendungszwecke auch ohne Rückgriff auf genuin mengentheoretisches Vokabular entwickeln lassen.



# Literatur

BOSTOCK, D. *Intermediate Logic* (1997): Intermediate Logic. Oxford: Clarendon Press.

DALEN, D. V. *Logic and structure* (2004): Logic and structure. 4. ed. Berlin [u.a.]: Springer.

DEISER, O. *Mengenlehre* (2004): Einführung in die Mengenlehre. Die Mengenlehre Georg Cantors und ihre Axiomatisierung durch Ernst Zermelo. 2. Aufl. Berlin [u.a.]: Springer.

EBBINGHAUS, H.-D. *Mengenlehre* (2003): Einführung in die Mengenlehre. 4. Aufl. Heidelberg [u.a.]: Spektrum, Akad. Verl.

EBBINGHAUS, H.-D.; FLUM, J.; THOMAS, W. *Mathematische Logik* (1996): Einführung in die mathematische Logik. 4. Aufl. Heidelberg [u.a.]: Spektrum, Akad. Verl.

GLOEDE, K. *Mathematische Logik* (2006/07): Skriptum zur Vorlesung Mathematische Logik. Mathematisches Institut der Universität Heidelberg. [http://www.math.uni-heidelberg.de/logic/skripten/math\\_logik/mathlogik.pdf](http://www.math.uni-heidelberg.de/logic/skripten/math_logik/mathlogik.pdf).

GRÄDEL, E. *Mathematische Logik* (2009): Mathematische Logik. SS 2009. Mathematische Grundlagen der Informatik, RWTH Aachen. <http://www.logic.rwth-aachen.de/files/MaLo/script-2up.pdf>.

HINST, P. *Pragmatische Regeln* (1982): Pragmatische Regeln des logischen Argumentierens. In: GETHMANN, C. F. (Hg.): Logik und Pragmatik. 1. Aufl. Frankfurt am Main: Suhrkamp, S. 199–215.

HINST, P. *Logischer Grundkurs* (1997/1998): Logischer Grundkurs I. Logische Propädeutik und Mengenlehre. WS 1997/1998. LMU München.

KALISH, D.; MONTAGUE, R.; MAR, G. *Logic* (1980): Logic. Techniques of formal reasoning. 2. Aufl. San Diego, Ca: Harcourt Brace Jovanovich.

KLEINKNECHT, R. *Grundlagen der modernen Definitionstheorie* (1979): Grundlagen der modernen Definitionstheorie. Königstein/Ts.: Scriptor-Verl.

LINK, G. *Collegium Logicum* (2009): Collegium Logicum: Logische Grundlagen der Philosophie und der Wissenschaften. 2 Bände. Paderborn: Mentis (Bd. 1).

PELLETIER, F. J. *A Brief History of Natural Deduction* (1999): A Brief History of Natural Deduction. In: History and Philosophy of Logic, H. 20.1, S. 1–31. Online unter <http://www.sfu.ca/~jeffpell/papers/NDHistory.pdf>.

PELLETIER, F. J. *A History of Natural Deduction* (2001): A History of Natural Deduction and Elementary Logic Textbooks. 1999. In: WOODS, J.; BROWN, B. (Hg.): Logical Consequence: Rival Approaches. Proceedings of the 1999 Conference of the Society of Exact Philosophy. Oxford: Hermes Science Publishing, S. 105–138. Online unter <http://www.sfu.ca/~jeffpell/papers/pelletierNDtexts.pdf>.

PRAWITZ, D. *Natural deduction* (2006): Natural deduction. A proof-theoretical study. Unabridged republ. of the ed. Almqvist & Wiksell, Stockholm, 1965. Mineola, NY: Dover Publ.

RAUTENBERG, W. *Mathematical Logic* (2006): A Concise Introduction to Mathematical Logic. 2. Aufl. New York [u.a.]: Springer.

SHAPIRO, S. *Classical Logic* (2000ff): Classical Logic. (in: ZALTA, E. N.: The Stanford Encyclopedia of Philosophy, Winter 2009 Edition). <http://plato.stanford.edu/archives/win2009/entries/logic-classical/>.

SIEGWART, G. *Vorfragen* (1997): Vorfragen zur Wahrheit. München: Oldenbourg.

SIEGWART, G. *Denkwerkzeuge* (2002ff): Denkwerkzeuge. Eine Vorschule der Philosophie. <http://www.phil.uni-greifswald.de/bereich2/philosophie/personal/prof-dr-geo-siegwart/skripte.html>.

SIEGWART, G. *Alethic Acts* (2007): Alethic Acts and Alethiological Reflection. An Outline of a Constructive Philosophy of Truth. In: SIEGWART, G.; GREIMANN, D. (Hg.): Truth and speech acts. Studies in the philosophy of language. New York [u.a.]: Routledge, S. 41–58.

TENNANT, N. *Natural logic* (1990): Natural logic. 1. ed., Repr. in paperback with corrections. Edinburgh: Edinburgh Univ. Press.

WAGNER, H. *Logische Systeme* (2000): Logische Systeme der Informatik. WS 2000/2001. Universität Dortmund. [http://lrb.cs.uni-dortmund.de/Lehre/LSI\\_WS9900/lsiws2000.pdf](http://lrb.cs.uni-dortmund.de/Lehre/LSI_WS9900/lsiws2000.pdf).

# Definitionsverzeichnis

<b>Definition 1-1.</b> Das Inventar von $L$ (INV) .....	2
<b>Definition 1-2.</b> Grundaussdrücke (GAUS) .....	2
<b>Definition 1-3.</b> Ausdrücke (AUS; Metavariablen: $\mu, \tau, \mu', \tau', \mu^*, \tau^*, \dots$ ) .....	3
<b>Definition 1-4.</b> Ausdruckslänge (AUSL) .....	3
<b>Definition 1-5.</b> Stelligkeit.....	4
<b>Definition 1-6.</b> Die Menge der Terme (TERM; Metavariablen: $\theta, \theta', \theta^*, \dots$ ).....	5
<b>Definition 1-7.</b> Atomare und funktorale Terme (ATERM und FTERM) .....	5
<b>Definition 1-8.</b> Die Menge der Quantoren (QUANTOR) .....	5
<b>Definition 1-9.</b> Die Menge der Formeln (FORM; Metavariablen: $A, B, \Gamma, \Delta, A', B', \Gamma', \Delta', A^*, B^*, \Gamma^*, \Delta^*, \dots$ )....	6
<b>Definition 1-10.</b> Atomare, junktorale und quantorale Formeln (AFORM, JFORM, QFORM) .....	6
<b>Definition 1-11.</b> Termgrad (TGRAD).....	13
<b>Definition 1-12.</b> Formelgrad (FGRAD) .....	13
<b>Definition 1-13.</b> Zuordnung der Menge der freien Variablen, die in einem Term $\theta$ oder einer Formel $\Gamma$ vorkommen (FV).....	14
<b>Definition 1-14.</b> Die Menge der geschlossenen Terme (GTERM) .....	14
<b>Definition 1-15.</b> Die Menge der geschlossenen Formeln (GFORM).....	14
<b>Definition 1-16.</b> Die Menge der Sätze (SATZ; Metavariablen: $\Sigma, \Sigma', \Sigma^*, \dots$ ).....	14
<b>Definition 1-17.</b> Annahme- und Folgerungssätze (ASATZ und FSATZ) .....	14
<b>Definition 1-18.</b> Satzaussagenzuordnung (A).....	15
<b>Definition 1-19.</b> Die Menge der eigentlichen Ausdrücke (EAUS).....	16
<b>Definition 1-20.</b> Die Teilausdruckfunktion (TA).....	16
<b>Definition 1-21.</b> Die Teiltermfunktion (TT) .....	16
<b>Definition 1-22.</b> Die Teilformelfunktion (TF) .....	16
<b>Definition 1-23.</b> (Satz)Sequenzen (Metavariablen: $\xi, \xi', \xi^*, \dots$ ) .....	16
<b>Definition 1-24.</b> Menge der (Satz)Sequenzen (SEQ).....	17
<b>Definition 1-25.</b> Konklusionszuordnung (K).....	17
<b>Definition 1-26.</b> Zuordnung der Teilmenge einer Sequenz $\xi$ , deren Glieder die Annahmesätze von $\xi$ sind (ANS) .....	17
<b>Definition 1-27.</b> Zuordnung der Menge der Annahmen (AN).....	17
<b>Definition 1-28.</b> Zuordnung der Teilmenge einer Sequenz $\xi$ , deren Glieder die Folgerungssätze von $\xi$ sind (FS) .....	17
<b>Definition 1-29.</b> Reine Folgerungssequenzen .....	17
<b>Definition 1-30.</b> Reine Annahmesequenzen .....	17
<b>Definition 1-31.</b> Zuordnung der Menge der Teilterme der Glieder einer Sequenz $\xi$ (TTSEQ).....	17
<b>Definition 1-32.</b> Zuordnung der Menge der Teilterme der Elemente einer Formelmenge $X$ (TTFM) .....	18

<b>Definition 1-33.</b> <i>Substitution von geschlossenen Termen für atomare Terme in Termen, Formeln und Sätzen</i>	19
<b>Definition 2-1.</b> <i>Abschnitt in einer Sequenz (Metavariablen: <math>\mathfrak{A}, \mathfrak{B}, \mathfrak{C}, \mathfrak{A}', \mathfrak{B}', \mathfrak{C}', \mathfrak{A}^*, \mathfrak{B}^*, \mathfrak{C}^*, \dots</math>)</i>	40
<b>Definition 2-2.</b> <i>Zuordnung der Menge der Abschnitte von <math>\mathfrak{S}</math> (ABS)</i>	40
<b>Definition 2-3.</b> <i>Abschnitt</i>	43
<b>Definition 2-4.</b> <i>Teilabschnitt</i>	43
<b>Definition 2-5.</b> <i>Echter Teilabschnitt</i>	43
<b>Definition 2-6.</b> <i>Reiner Folgerungsabschnitt</i>	43
<b>Definition 2-7.</b> <i>Reiner Annahmeabschnitt</i>	43
<b>Definition 2-8.</b> <i>Passende Folgen natürlicher Zahlen für Teilmengen von Sequenzen</i>	46
<b>Definition 2-9.</b> <i>Abschnittsfolge in nicht-leeren Sequenzen</i>	48
<b>Definition 2-10.</b> <i>Zuordnung der Menge der Abschnittsfolgen für nicht-leeres <math>\mathfrak{S}</math> (ABSF)</i>	48
<b>Definition 2-11.</b> <i>ANS-umfassende Abschnittsfolge für einen Abschnitt in <math>\mathfrak{S}</math></i>	52
<b>Definition 2-12.</b> <i>Zuordnung der Menge der ANS-umfassende Abschnittsfolgen in <math>\mathfrak{S}</math> (ANSUMF)</i>	52
<b>Definition 2-13.</b> <i>SE-artiger Abschnitt</i>	57
<b>Definition 2-14.</b> <i>NE-artiger Abschnitt</i>	57
<b>Definition 2-15.</b> <i>EA-artiger Abschnitt</i>	58
<b>Definition 2-16.</b> <i>Minimaler SE-geschlossener Abschnitt</i>	59
<b>Definition 2-17.</b> <i>Minimaler NE-geschlossener Abschnitt</i>	59
<b>Definition 2-18.</b> <i>Minimaler PB-geschlossener Abschnitt</i>	59
<b>Definition 2-19.</b> <i>Proto-Erzeugungsrelation für ›non-redundant‹ SE-, NE- und EA-artige Abschnitte in Sequenzen (PERZ)</i>	61
<b>Definition 2-20.</b> <i>Erzeugungsrelation für ›non-redundant‹ SE-, NE- und EA-artige Abschnitte in Sequenzen (ERZ)</i>	63
<b>Definition 2-21.</b> <i>Menge der ERZ-induktiven Relationen (GSR)</i>	65
<b>Definition 2-22.</b> <i>Die kleinste ERZ-induktive Relation (GS)</i>	66
<b>Definition 2-23.</b> <i>Geschlossener Abschnitt</i>	67
<b>Definition 2-24.</b> <i>SE-geschlossener Abschnitt</i>	86
<b>Definition 2-25.</b> <i>NE-geschlossener Abschnitt</i>	86
<b>Definition 2-26.</b> <i>PB-geschlossener Abschnitt</i>	86
<b>Definition 2-27.</b> <i>Verfügbarkeit einer Aussage in einer Sequenz an einer Stelle</i>	98
<b>Definition 2-28.</b> <i>Verfügbarkeit einer Aussage in einer Sequenz</i>	99
<b>Definition 2-29.</b> <i>Zuordnung der Menge der verfügbaren Sätze (VERS)</i>	99
<b>Definition 2-30.</b> <i>Zuordnung der Menge der verfügbaren Annahmesätze (VANS)</i>	99
<b>Definition 2-31.</b> <i>Zuordnung der Menge der verfügbaren Aussagen (VER)</i>	99
<b>Definition 2-32.</b> <i>Zuordnung der Menge der verfügbaren Annahmen (VAN)</i>	99

<b>Definition 3-1. Annahmefunktion (AF)</b> .....	123
<b>Definition 3-2. Subjunktoreinführungsfunktion (SEF)</b> .....	124
<b>Definition 3-3. Subjunktorbeseitigungsfunktion (SBF)</b> .....	124
<b>Definition 3-4. Konjunktoreinführungsfunktion (KEF)</b> .....	124
<b>Definition 3-5. Konjunktorbeseitigungsfunktion (KBF)</b> .....	124
<b>Definition 3-6. Bisubjunktoreinführungsfunktion (BEF)</b> .....	124
<b>Definition 3-7. Bisubjunktorbeseitigungsfunktion (BBF)</b> .....	124
<b>Definition 3-8. Adjunktoreinführungsfunktion (AEF)</b> .....	125
<b>Definition 3-9. Adjunktorbeseitigungsfunktion (ABF)</b> .....	125
<b>Definition 3-10. Negatoreinführungsfunktion (NEF)</b> .....	125
<b>Definition 3-11. Negatorbeseitigungsfunktion (NBF)</b> .....	125
<b>Definition 3-12. Universalquantoreinführungsfunktion (UEF)</b> .....	125
<b>Definition 3-13. Universalquantorbeseitigungsfunktion (UBF)</b> .....	126
<b>Definition 3-14. Partikularquantoreinführungsfunktion (PEF)</b> .....	126
<b>Definition 3-15. Partikularquantorbeseitigungsfunktion (PBF)</b> .....	126
<b>Definition 3-16. Identitätseinführungsfunktion (IEF)</b> .....	126
<b>Definition 3-17. Identitätsbeseitigungsfunktion (IBF)</b> .....	127
<b>Definition 3-18. Zuordnung der Menge der Annahme- und Folgerungsfortsetzungen einer Sequenz (HAB)</b> .....	127
<b>Definition 3-19. Die Menge der Ableitungen (HL)</b> .....	129
<b>Definition 3-20. Ableitung</b> .....	131
<b>Definition 3-21. Deduktive Konsequenzschaft</b> .....	135
<b>Definition 3-22. Beweisbarkeit</b> .....	136
<b>Definition 3-23. Konsistenz</b> .....	136
<b>Definition 3-24. Inkonsistenz</b> .....	136
<b>Definition 3-25. Deduktive Konsequenz für Mengen</b> .....	136
<b>Definition 3-26. Beweisbarkeit für Mengen</b> .....	136
<b>Definition 3-27. Der Abschluss einer Aussagenklasse unter deduktiver Konsequenz</b> .....	136
<b>Definition 5-1. Interpretationsfunktion</b> .....	212
<b>Definition 5-2. Modell</b> .....	212
<b>Definition 5-3. Belegung</b> .....	212
<b>Definition 5-4. Belegungsvariante</b> .....	212
<b>Definition 5-5. Termdenotationsfunktionen für Modelle und Belegungen</b> .....	213
<b>Definition 5-6. Termdenotationsoperation (TD)</b> .....	213
<b>Definition 5-7. Erfüllungsfunktionen für Modelle und Belegungen</b> .....	214
<b>Definition 5-8. Vierstelliger modelltheoretischer Erfüllungsprädikator ('<math>\cdot</math> .., .., .., <math>\models</math> ..')</b> .....	215

<b>Definition 5-9.</b> <i>Vierstellige modelltheoretische Erfüllung für Mengen</i> .....	227
<b>Definition 5-10.</b> <i>Modelltheoretische Konsequenz</i> .....	228
<b>Definition 5-11.</b> <i>Allgemeingültigkeit</i> .....	228
<b>Definition 5-12.</b> <i>Erfüllbarkeit</i> .....	228
<b>Definition 5-13.</b> <i>Dreistellige modelltheoretische Erfüllung</i> .....	228
<b>Definition 5-14.</b> <i>Dreistellige modelltheoretische Erfüllung für Mengen</i> .....	228
<b>Definition 5-15.</b> <i>Modelltheoretische Konsequenz für Mengen</i> .....	228
<b>Definition 5-16.</b> <i>Allgemeingültigkeit für Mengen</i> .....	229
<b>Definition 5-17.</b> <i>Erfüllbarkeit für Mengen</i> .....	229
<b>Definition 5-18.</b> <i>Der Abschluss einer Aussagenklasse unter modelltheoretischer Konsequenz</i> .....	229
<b>Definition 6-1.</b> <i>Das Inventar von <math>L_H</math> (KONSTERW, PAR, VAR, FUNK, PRÄ, JUNK, QUANT, PERF)</i> .....	247
<b>Definition 6-2.</b> <i>Hintikka-Menge</i> .....	251

# Theoremverzeichnis

<b>Theorem 1-1.</b> <i>AUSL ist eine Funktion auf AUS</i> .....	3
<b>Theorem 1-2.</b> <i>Eindeutige Anfangs- und Endausdrücke</i> .....	4
<b>Theorem 1-3.</b> <i>Kein Ausdruck enthält sich selbst echt</i> .....	5
<b>Theorem 1-4.</b> <i>Terme resp. Formeln haben keine Terme resp. Formeln als echte Anfangsausdrücke</i> .....	6
<b>Theorem 1-5.</b> <i>Eindeutige Lesbarkeit ohne Sätze (a – Eindeutige Kategorie)</i> .....	10
<b>Theorem 1-6.</b> <i>Eindeutige Lesbarkeit ohne Sätze (b – Eindeutige Zerlegbarkeit)</i> .....	11
<b>Theorem 1-7.</b> <i>Eindeutige Kategorie und eindeutige Lesbarkeit für Sätze</i> .....	15
<b>Theorem 1-8.</b> <i>Formelgraderhaltung bei Substitution</i> .....	20
<b>Theorem 1-9.</b> <i>Für alle Substituenda und Substitutionsorte gilt, dass entweder alle geschlossenen Terme Teilterme des jeweiligen Substitutionsergebnisses sind oder für alle geschlossenen Terme das jeweilige Substitutionsergebnis mit dem Substitutionsort identisch ist</i> .....	21
<b>Theorem 1-10.</b> <i>Basen für die Substitution von geschlossenen Termen in Termen</i> .....	22
<b>Theorem 1-11.</b> <i>Basen für die Substitution von geschlossenen Termen in Formeln</i> .....	23
<b>Theorem 1-12.</b> <i>Alternative Basen für die Substitution von geschlossenen Termen für Variablen in Termen</i>	24
<b>Theorem 1-13.</b> <i>Alternative Basen für die Substitution von geschlossenen Termen für Variablen in Formeln</i> .....	25
<b>Theorem 1-14.</b> <i>Eindeutige Substitutionsorte (a) für Terme</i> .....	26
<b>Theorem 1-15.</b> <i>Eindeutige Substitutionsorte (a) für Formeln</i> .....	27
<b>Theorem 1-16.</b> <i>Eindeutige Substitutionsorte (a) für Sätze</i> .....	28
<b>Theorem 1-17.</b> <i>Eindeutige Substitutionsorte (b) für Terme</i> .....	28
<b>Theorem 1-18.</b> <i>Eindeutige Substitutionsorte (b) für Formeln</i> .....	29
<b>Theorem 1-19.</b> <i>Kürzung von Parametern bei der Substitution</i> .....	30
<b>Theorem 1-20.</b> <i>Eine hinreichende Bedingung für die Kommutativität einer Substitution in Termen und Formeln</i> .....	31
<b>Theorem 1-21.</b> <i>Substitution in Substitutionsergebnissen</i> .....	33
<b>Theorem 1-22.</b> <i>Mehrfache Substitution von neuen und paarweise verschiedenen Parametern für paarweise verschiedene Parameter in Termen und Formeln</i> .....	34
<b>Theorem 1-23.</b> <i>Mehrfache Substitution von geschlossenen Termen für paarweise verschiedene Variablen in Termen und Formeln (a)</i> .....	35
<b>Theorem 1-24.</b> <i>Mehrfache Substitution von geschlossenen Termen für paarweise verschiedene Variablen in Formeln (b)</i> .....	37
<b>Theorem 2-1.</b> <i>Es gibt genau dann einen Abschnitt in <math>\xi</math>, wenn <math>\xi</math> eine nicht-leere Sequenz ist</i> .....	40
<b>Theorem 2-2.</b> <i>Das Abschnittsprädikat ist bezüglich Teilmengenschaft zwischen Sequenzen monoton</i> .....	40
<b>Theorem 2-3.</b> <i>Abschnitte in Beschränkungen</i> .....	42
<b>Theorem 2-4.</b> <i>Abschnitte mit gleichem Anfang und Ende sind identisch</i> .....	43
<b>Theorem 2-5.</b> <i>Inklusionsverhältnisse zwischen Abschnitten</i> .....	43

<b>Theorem 2-6.</b> <i>Beschränkungen eines Abschnitts, die Abschnitte sind, haben denselben Anfang wie der beschränkte Abschnitt.....</i>	44
<b>Theorem 2-7.</b> <i>Zwei Abschnitte sind genau dann elementfremd, wenn einer von beiden vor dem anderen liegt .....</i>	44
<b>Theorem 2-8.</b> <i>Zwei Abschnitte sind genau dann nicht elementfremd, wenn der Anfang von einem von beiden in dem anderen liegt.....</i>	45
<b>Theorem 2-9.</b> <i>Existenz passender Folgen natürlicher Zahlen .....</i>	46
<b>Theorem 2-10.</b> <i>Bijektivität passender Folgen natürlicher Zahlen.....</i>	47
<b>Theorem 2-11.</b> <i>Eindeutigkeit passender Folgen natürlicher Zahlen.....</i>	47
<b>Theorem 2-12.</b> <i>Nicht-rekursive Charakterisierung der passenden Folge für einen Abschnitt .....</i>	47
<b>Theorem 2-13.</b> <i>Existenz von nicht-leeren Abschnittsfolgen für nicht-leere Sequenzen.....</i>	48
<b>Theorem 2-14.</b> <i><math>\emptyset</math> ist eine Abschnittsfolge für alle nicht-leeren Sequenzen.....</i>	49
<b>Theorem 2-15.</b> <i>Eigenschaften von Abschnittsfolgen .....</i>	49
<b>Theorem 2-16.</b> <i>Existenz von Abschnittsfolgen, die alle Elemente einer Menge von disjunkten Abschnitten aufzählen.....</i>	50
<b>Theorem 2-17.</b> <i>Hinreichende Bedingungen für die Identität der Argumente einer Abschnittsfolge .....</i>	51
<b>Theorem 2-18.</b> <i>Verschiedene Glieder einer Abschnittsfolge sind elementfremd .....</i>	51
<b>Theorem 2-19.</b> <i>Existenz von ANS-umfassenden Abschnittsfolgen für alle Abschnitte .....</i>	52
<b>Theorem 2-20.</b> <i>Existenz von ANS-umfassenden Abschnittsfolgen für nicht-leere Sequenzen.....</i>	52
<b>Theorem 2-21.</b> <i>Eigenschaften von ANS-umfassenden Abschnittsfolgen.....</i>	53
<b>Theorem 2-22.</b> <i>Nichtleere Beschränkungen von ANS-umfassenden Abschnittsfolge sind ANS-umfassende Abschnittsfolgen.....</i>	53
<b>Theorem 2-23.</b> <i>Alle Glieder einer ANS-umfassenden Abschnittsfolge liegen innerhalb des betreffenden Abschnitts.....</i>	54
<b>Theorem 2-24.</b> <i>Alle Glieder einer ANS-umfassenden Abschnittsfolge sind Teilmengen des betreffenden Abschnitts.....</i>	54
<b>Theorem 2-25.</b> <i>Hinreichende Bedingungen für die Identität der Argumente einer ANS-umfassenden Abschnittsfolge.....</i>	55
<b>Theorem 2-26.</b> <i>Verschiedene Glieder einer ANS-umfassenden Abschnittsfolge sind elementfremd .....</i>	55
<b>Theorem 2-27.</b> <i>Kein Abschnitt ist zugleich SE- und NE- oder SE- und EA-artiger Abschnitt .....</i>	58
<b>Theorem 2-28.</b> <i>Das letzte Glied eines SE- oder NE- oder EA-artigen Abschnitts ist kein Annahmesatz .....</i>	58
<b>Theorem 2-29.</b> <i>Alle Annahmesätze in einem SE- oder NE- oder EA-artigen Abschnitt liegen innerhalb eines echten Teilabschnitts, der das letzte Glied nicht umfasst .....</i>	59
<b>Theorem 2-30.</b> <i>Mächtigkeit von SE-, NE-, und EA-artigen Abschnitten .....</i>	59
<b>Theorem 2-31.</b> <i>SE-, NE- und EA-artige Abschnitte mit nur einem Annahmesatz haben einen minimalen SE-, NE- oder PB-geschlossenen Abschnitt zum Anfangsabschnitt .....</i>	60

<b>Theorem 2-32.</b> <i>Verhältnis von Folgerungs- und Annahmesätzen in minimalen SE-, NE- und PB-geschlossenen Abschnitten</i> .....	60
<b>Theorem 2-33.</b> <i>Einige wichtige Eigenschaften von PERZ</i> .....	61
<b>Theorem 2-34.</b> <i>Einige häufiger benutzte Konsequenzen aus Definition 2-20</i> .....	63
<b>Theorem 2-35.</b> <i>ERZ-erzeugte Abschnitte sind mächtiger als die Glieder der entsprechenden Folge</i> .....	64
<b>Theorem 2-36.</b> <i>Hilfssatz für Theorem 2-38 (a)</i> .....	64
<b>Theorem 2-37.</b> <i>Hilfssatz für Theorem 2-38 (b)</i> .....	65
<b>Theorem 2-38.</b> <i>Hilfssatz für Theorem 2-39</i> .....	65
<b>Theorem 2-39.</b> <i>GS ist die kleinste ERZ-induktive Relation</i> .....	66
<b>Theorem 2-40.</b> <i><math>\emptyset</math> ist kein geschlossener Abschnitt</i> .....	67
<b>Theorem 2-41.</b> <i>Geschlossene Abschnitte sind minimal oder ERZ-erzeugt</i> .....	67
<b>Theorem 2-42.</b> <i>Geschlossene Abschnitte sind SE- oder NE- oder EA-artige Abschnitte</i> .....	68
<b>Theorem 2-43.</b> <i>Geschlossene Abschnitte sind wenigstens zwei-elementig</i> .....	69
<b>Theorem 2-44.</b> <i>Jeder geschlossene Abschnitt hat einen minimalen SE- oder NE- oder PB-geschlossenen Abschnitt zum Teilabschnitt</i> .....	70
<b>Theorem 2-45.</b> <i>Verhältnis von Folgerungs- und Annahmesätzen in geschlossenen Abschnitten</i> .....	70
<b>Theorem 2-46.</b> <i>Jeder Annahmesatz in einem geschlossenen Abschnitt <math>\mathfrak{A}</math> liegt an dessen Anfang oder am Anfang eines echten geschlossenen Teilabschnitts von <math>\mathfrak{A}</math></i> .....	72
<b>Theorem 2-47.</b> <i>Jeder geschlossene Abschnitt ist ein minimaler SE- oder NE- oder PB-geschlossener Abschnitt oder ein SE- oder NE- oder EA-artiger Abschnitt, dessen Annahmesätze am Anfang oder in echten geschlossenen Teilabschnitten liegen</i> .....	74
<b>Theorem 2-48.</b> <i>Geschlossene Abschnitte sind <math>\langle</math>non-redundant<math>\rangle</math>, d.h. echte Anfangsabschnitte von geschlossenen Abschnitten sind keine geschlossenen Abschnitte</i> .....	74
<b>Theorem 2-49.</b> <i>Geschlossene Abschnitte sind durch ihren Anfang eindeutig bestimmt</i> .....	76
<b>Theorem 2-50.</b> <i>ANS-umfassende Abschnittsfolgen für ein und denselben Abschnitt, deren Werte ausschließlich geschlossene Abschnitte sind, sind identisch</i> .....	77
<b>Theorem 2-51.</b> <i>Liegt der Anfang eines geschlossenen Abschnitts <math>\mathfrak{A}'</math> in einem geschlossenen Abschnitt <math>\mathfrak{A}</math>, dann ist <math>\mathfrak{A}'</math> ein Teilabschnitt von <math>\mathfrak{A}</math></i> .....	78
<b>Theorem 2-52.</b> <i>Geschlossene Abschnitte sind durch ihre Ende eindeutig bestimmt</i> .....	78
<b>Theorem 2-53.</b> <i>Echte Teilabschnittscharft zwischen geschlossenen Abschnitten</i> .....	79
<b>Theorem 2-54.</b> <i>Echte und unechte Teilabschnittscharft zwischen geschlossenen Abschnitten</i> .....	79
<b>Theorem 2-55.</b> <i>Inklusionsverhältnisse zwischen nicht-disjunkten geschlossenen Abschnitten</i> .....	79
<b>Theorem 2-56.</b> <i>Geschlossene Abschnitte sind entweder disjunkt oder einer ist Teilabschnitt des anderen</i> . 80	
<b>Theorem 2-57.</b> <i>Ein minimaler geschlossener Abschnitt <math>\mathfrak{A}'</math> ist mit einem geschlossenen Abschnitt <math>\mathfrak{A}</math> elementfremd oder Teilabschnitt von <math>\mathfrak{A}</math></i> .....	80
<b>Theorem 2-58.</b> <i>ERZ-Material-Bereitstellungs-Theorem</i> .....	81

<b>Theorem 2-59.</b> Sind alle Folgenglieder einer ANS-umfassenden Abschnittsfolge für $\mathfrak{A}$ geschlossene Abschnitte, dann ist jeder geschlossene Teilabschnitt von $\mathfrak{A}$ Teilabschnitt eines Folgengliedes .....	85
<b>Theorem 2-60.</b> SE-, NE- und PB-geschlossene Abschnitte und nur diese sind geschlossene Abschnitte .....	86
<b>Theorem 2-61.</b> Monotonie der '(F-)geschlossener Abschnitt'-Prädikate .....	86
<b>Theorem 2-62.</b> Geschlossene Abschnitte bleiben in Verkettungen in der Anfangssequenz geschlossen .....	87
<b>Theorem 2-63.</b> (F-)geschlossene Abschnitte in Beschränkungen .....	87
<b>Theorem 2-64.</b> Vorbereitungstheorem für Theorem 2-66, Theorem 2-67 und Theorem 2-68 .....	88
<b>Theorem 2-65.</b> Jeder geschlossene Abschnitt ist ein minimaler SE- oder NE- oder PB-geschlossener Abschnitt oder ein SE- oder NE- oder PB-geschlossener Abschnitt, dessen Annahmesätze am Anfang oder in echten geschlossenen Teilabschnitten liegen.....	89
<b>Theorem 2-66.</b> Vorbereitungstheorem für Theorem 2-90.....	90
<b>Theorem 2-67.</b> Vorbereitungstheorem für Theorem 2-91.....	92
<b>Theorem 2-68.</b> Vorbereitungstheorem für Theorem 2-92.....	95
<b>Theorem 2-69.</b> Verhältnis von VANS, VERS und jeweiliger Sequenz .....	99
<b>Theorem 2-70.</b> Verhältnis von VAN und VER.....	100
<b>Theorem 2-71.</b> VERS-Inklusion impliziert VANS-Inklusion .....	100
<b>Theorem 2-72.</b> VANS-Verringerung impliziert VERS-Verringerung .....	100
<b>Theorem 2-73.</b> VERS-Inklusion impliziert VER-Inklusion.....	100
<b>Theorem 2-74.</b> VANS-Inklusion impliziert VAN-Inklusion .....	100
<b>Theorem 2-75.</b> VAN ist höchstens so groß wie VANS .....	101
<b>Theorem 2-76.</b> VAN ist dann und nur dann leer, wenn auch VANS leer ist .....	101
<b>Theorem 2-77.</b> Bei non-redundantem VANS ist jede Annahme an genau einer Stelle als Annahme verfügbar .....	101
<b>Theorem 2-78.</b> VERS, VANS, VER und VAN in Verkettungen mit ein-gliedrigen Sequenzen.....	102
<b>Theorem 2-79.</b> VERS, VANS, VER und VAN in Verkettungen mit beliebigen Sequenzen .....	103
<b>Theorem 2-80.</b> VERS, VANS, VER und VAN in Beschränkungen auf $\text{Dom}(\mathfrak{S})-1$ .....	103
<b>Theorem 2-81.</b> Die Konklusion ist immer verfügbar.....	104
<b>Theorem 2-82.</b> Zusammenhang von Nichtverfügbarkeit und der Entstehung eines geschlossenen Abschnitts beim Übergang von $\mathfrak{S} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{S})-1$ auf $\mathfrak{S}$ .....	104
<b>Theorem 2-83.</b> VERS-Verringerung beim Übergang von $\mathfrak{S} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{S})-1$ zu $\mathfrak{S}$ dann und nur dann, wenn dabei ein neuer geschlossener Abschnitt erzeugt wird .....	107
<b>Theorem 2-84.</b> VANS-Verringerung beim Übergang von $\mathfrak{S} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{S})-1$ zu $\mathfrak{S}$ dann und nur dann, wenn dabei ein neuer geschlossener Abschnitt erzeugt wird, dessen erstes Glied gerade der nun unverfügbare Annahmesatz und das maximale Glied in $\text{VANS}(\mathfrak{S} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{S})-1)$ ist.....	108

<b>Theorem 2-85.</b> Ist das letzte Glied eines geschlossenen Abschnitts $\mathfrak{B}$ in $\mathfrak{S}$ mit dem letzten Glied von $\mathfrak{S}$ identisch, dann ist das erste Glied von $\mathfrak{B}$ das maximale Glied von $\text{VANS}(\mathfrak{S} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{S})-1)$ und in $\mathfrak{S}$ nicht mehr verfügbar .....	109
<b>Theorem 2-86.</b> Beim Übergang von $\mathfrak{S} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{S})-1$ zu $\mathfrak{S}$ verringert sich die Anzahl der verfügbaren Annahmesätze maximal um eins. ....	110
<b>Theorem 2-87.</b> Beim Übergang von $\mathfrak{S} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{S})-1$ zu $\mathfrak{S}$ impliziert echte VAN-Inklusion echte VANS-Inklusion .....	110
<b>Theorem 2-88.</b> Vorbereitungstheorem (a) für Theorem 2-90, Theorem 2-91 und Theorem 2-92.....	110
<b>Theorem 2-89.</b> Vorbereitungstheorem (b) für Theorem 2-90, Theorem 2-91 und Theorem 2-92.....	111
<b>Theorem 2-90.</b> SE-Schließt!-Theorem .....	112
<b>Theorem 2-91.</b> NE-Schließt!-Theorem.....	112
<b>Theorem 2-92.</b> PB-Schließt!-Theorem .....	113
<b>Theorem 3-1.</b> HAB-Fortsetzungen von Sequenzen sind Sequenzen .....	127
<b>Theorem 3-2.</b> HAB ist für keine Sequenz leer .....	128
<b>Theorem 3-3.</b> Die Elemente von $\text{HAB}(\mathfrak{S})$ sind Fortsetzungen von $\mathfrak{S}$ um genau einen Satz.....	128
<b>Theorem 3-4.</b> HAB-Fortsetzungen von Sequenzen sind genau um eins mächtiger als die Ausgangssequenz .....	128
<b>Theorem 3-5.</b> Eindeutige HAB-Vorgänger.....	129
<b>Theorem 3-6.</b> Eine Sequenz $\mathfrak{S}$ ist genau dann in HL, wenn sie leer oder HAB-Fortsetzung von $\mathfrak{S} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{S})-1$ und $\mathfrak{S} \upharpoonright \text{Dom}(\mathfrak{S})-1$ ein HL-Element ist.....	129
<b>Theorem 3-7.</b> Die regelmäßige Fortsetzung eines HL-Elements führt zu einem nicht-leeren HL-Element .	130
<b>Theorem 3-8.</b> Nicht-leere Sequenzen sind genau dann HL-Elemente, wenn es auch alle ihre nicht-leeren Anfangsabschnitte sind.....	130
<b>Theorem 3-9.</b> Eigenschaften von Ableitungen .....	131
<b>Theorem 3-10.</b> In nicht-leeren HL-Elementen, sind alle nicht-leeren Anfangsabschnitte -Ableitungen ihrer Konklusion .....	131
<b>Theorem 3-11.</b> Eindeutigkeitssatz für den Redehandlungskalkül .....	132
<b>Theorem 3-12.</b> $\Gamma$ ist genau dann deduktive Konsequenz aus einer Aussagenmenge $X$ , wenn es ein nicht-leeres $\mathfrak{S}$ aus HL gibt, so dass $\Gamma$ die Konklusion von $\mathfrak{S}$ und $\text{VAN}(\mathfrak{S}) \subseteq X$ ist .....	135
<b>Theorem 3-13.</b> Aussagenmengen sind genau dann inkonsistent, wenn sie nicht konsistent sind .....	136
<b>Theorem 3-14.</b> VERS, VANS, VER und VAN in HAB .....	137
<b>Theorem 3-15.</b> VERS, VANS, VER und VAN bei AR.....	137
<b>Theorem 3-16.</b> VANS-Vermehrung nur bei AR .....	139
<b>Theorem 3-17.</b> VERS, VANS, VER und VAN bei Übergängen ohne AR.....	139
<b>Theorem 3-18.</b> Nicht-leeres VANS ist hinreichend für SE .....	139

<b>Theorem 3-19.</b> <i>VERS, VANS, VER und VAN bei SE</i> .....	140
<b>Theorem 3-20.</b> <i>VERS, VANS, VER und VAN bei NE</i> .....	141
<b>Theorem 3-21.</b> <i>VERS, VANS, VER und VAN bei PB</i> .....	142
<b>Theorem 3-22.</b> <i>Ist die zuletzt angenommene Aussage nur einmal als Annahme verfügbar, dann wird sie bei SE, NE und PB eliminiert</i> .....	143
<b>Theorem 3-23.</b> <i>VANS-Verringerung bei und nur bei SE, NE und PB</i> .....	144
<b>Theorem 3-24.</b> <i>VERS-Verringerung bei und nur bei SE, NE und PB</i> .....	146
<b>Theorem 3-25.</b> <i>VERS unter Ausschluss von SE, NE und PB</i> .....	146
<b>Theorem 3-26.</b> <i>VERS, VANS, VER und VAN bei KE, BE, AE, UE, PE, IE</i> .....	146
<b>Theorem 3-27.</b> <i>VERS, VANS, VER und VAN bei SB, KB, BB, AB, NB, UB, IB</i> .....	147
<b>Theorem 3-28.</b> <i>Ohne AR, SE, NE oder PB gibt es keine VAN-Veränderung</i> .....	148
<b>Theorem 3-29.</b> <i>VAN und VANS bleiben aus Beschränkungen, deren Konklusion verfügbar bleibt, in der unbeschränkten Sequenz erhalten.</i> .....	148
<b>Theorem 3-30.</b> <i>VERS, VANS, VER und VAN in Ableitungen</i> .....	149
<b>Theorem 4-1.</b> <i>Non-redundantes VANS</i> .....	154
<b>Theorem 4-2.</b> <i>SE-Vorbereitungstheorem</i> .....	156
<b>Theorem 4-3.</b> <i>Blockierende Annahmen</i> .....	158
<b>Theorem 4-4.</b> <i>Verkettung parameterfremder HL-Elemente mit eingeschobener blockierender Annahme</i> .....	159
<b>Theorem 4-5.</b> <i>Geglückte KB-Fortsetzung</i> .....	166
<b>Theorem 4-6.</b> <i>Verfügbare Aussagen als Konklusionen</i> .....	167
<b>Theorem 4-7.</b> <i>Eliminierbarkeit einer Annahme von <math>\lceil \alpha = \alpha \rceil</math></i> .....	168
<b>Theorem 4-8.</b> <i>Einfache Substitution eines neuen Parameters für einen Parameter ist HL-treu</i> .....	170
<b>Theorem 4-9.</b> <i>Einfache Substitution eines neuen Parameters für eine Individuenkonstante ist HL-treu</i> .....	178
<b>Theorem 4-10.</b> <i>Mehrfache Substitution von neuen und paarweise verschiedenen Parametern für paarweise verschiedene Parameter ist HL-treu</i> .....	185
<b>Theorem 4-11.</b> <i>UE-Fortsetzung einer Sequenz</i> .....	186
<b>Theorem 4-12.</b> <i>UB-Fortsetzung einer Sequenz</i> .....	187
<b>Theorem 4-13.</b> <i>Induktionsbasis für Theorem 4-14</i> .....	189
<b>Theorem 4-14.</b> <i>SB-, KE-, BE-, BB- und IB-Vorbereitungstheorem</i> .....	192
<b>Theorem 4-15.</b> <i>Erweiterte Reflexivität (AR)</i> .....	194
<b>Theorem 4-16.</b> <i>Monotonie</i> .....	194
<b>Theorem 4-17.</b> <i>Principium non contradictionis</i> .....	194
<b>Theorem 4-18.</b> <i>Abgeschlossenheit unter Einführung und Beseitigung</i> .....	195
<b>Theorem 4-19.</b> <i>Transitivität</i> .....	204
<b>Theorem 4-20.</b> <i>Cut</i> .....	205
<b>Theorem 4-21.</b> <i>Deduktionstheorem und Umkehrung</i> .....	206

<b>Theorem 4-22.</b> <i>Inkonsistenz und Ableitbarkeit</i> .....	206
<b>Theorem 4-23.</b> <i>Eine Aussagenmenge ist genau dann inkonsistent, wenn sich alle Aussagen aus ihr ableiten lassen</i> .....	206
<b>Theorem 4-24.</b> <i>Generalisierungstheorem</i> .....	207
<b>Theorem 4-25.</b> <i>Mehrfache IB</i> .....	208
<b>Theorem 5-1.</b> <i>Für jedes Modell <math>(D, I)</math> und Belegung <math>b</math> für <math>D</math> gibt es genau eine Termdenotationsfunktion</i> .....	213
<b>Theorem 5-2.</b> <i>Termdenotate für Modelle und Belegungen</i> .....	214
<b>Theorem 5-3.</b> <i>Für jedes Modell <math>(D, I)</math> und Belegung <math>b</math> für <math>D</math> gibt es genau eine Erfüllungsfunktion</i> .....	215
<b>Theorem 5-4.</b> <i>Übliche Erfüllungskonzeption</i> .....	215
<b>Theorem 5-5.</b> <i>Koinzidenzlemma</i> .....	216
<b>Theorem 5-6.</b> <i>Substitutionslemma</i> .....	220
<b>Theorem 5-7.</b> <i>Koreferenzialität</i> .....	226
<b>Theorem 5-8.</b> <i>Invarianz der Erfüllung von Quantorformeln bzgl. Parameterwahl</i> .....	226
<b>Theorem 5-9.</b> <i>Einfaches Substitutionslemma für Belegungen</i> .....	227
<b>Theorem 5-10.</b> <i>Erfüllung überträgt sich auf Untermengen</i> .....	229
<b>Theorem 5-11.</b> <i>Erfüllbarkeit überträgt sich auf Untermengen</i> .....	229
<b>Theorem 5-12.</b> <i>Konsequenzschaft und Erfüllbarkeit</i> .....	229
<b>Theorem 5-13.</b> <i>Modelltheoretische Monotonie</i> .....	231
<b>Theorem 5-14.</b> <i>Modelltheoretische Entsprechung zu AR</i> .....	231
<b>Theorem 5-15.</b> <i>Modelltheoretische Entsprechung zu SE</i> .....	231
<b>Theorem 5-16.</b> <i>Modelltheoretische Entsprechung zu SB</i> .....	232
<b>Theorem 5-17.</b> <i>Modelltheoretische Entsprechung zu KE</i> .....	232
<b>Theorem 5-18.</b> <i>Modelltheoretische Entsprechung zu KB</i> .....	232
<b>Theorem 5-19.</b> <i>Modelltheoretische Entsprechung zu BE</i> .....	233
<b>Theorem 5-20.</b> <i>Modelltheoretische Entsprechung zu BE*</i> .....	233
<b>Theorem 5-21.</b> <i>Modelltheoretische Entsprechung zu BB</i> .....	233
<b>Theorem 5-22.</b> <i>Modelltheoretische Entsprechung zu AE</i> .....	234
<b>Theorem 5-23.</b> <i>Modelltheoretische Entsprechung zu AB</i> .....	234
<b>Theorem 5-24.</b> <i>Modelltheoretische Entsprechung zu AB*</i> .....	235
<b>Theorem 5-25.</b> <i>Modelltheoretische Entsprechung zu NE</i> .....	235
<b>Theorem 5-26.</b> <i>Modelltheoretische Entsprechung zu NB</i> .....	235
<b>Theorem 5-27.</b> <i>Modelltheoretische Entsprechung zu UE</i> .....	236
<b>Theorem 5-28.</b> <i>Modelltheoretische Entsprechung zu UB</i> .....	236
<b>Theorem 5-29.</b> <i>Modelltheoretische Entsprechung zu PE</i> .....	237

<b>Theorem 5-30.</b> <i>Modelltheoretische Entsprechung zu PB</i> .....	237
<b>Theorem 5-31.</b> <i>Modelltheoretische Entsprechung zu IE</i> .....	238
<b>Theorem 5-32.</b> <i>Modelltheoretische Entsprechung zu IB</i> .....	238
<b>Theorem 6-1.</b> <i>Hauptbeweis der Korrektheit</i> .....	242
<b>Theorem 6-2.</b> <i>Korrektheit des Redehandlungskalküls gegenüber der Modelltheorie</i> .....	246
<b>Theorem 6-3.</b> <i>Beschränkungen von <math>L_H</math>-Modellen auf <math>L</math> sind <math>L</math>-Modelle</i> .....	248
<b>Theorem 6-4.</b> <i><math>L_H</math>-Modelle erfüllen eine <math>L</math>-Aussage genau dann, wenn ihre Beschränkung auf <math>L</math> diese Aussage erfüllt</i> .....	249
<b>Theorem 6-5.</b> <i>Eine <math>L</math>-Aussagenmenge ist genau dann <math>L_H</math>-erfüllbar, wenn sie <math>L</math>-erfüllbar ist</i> .....	249
<b>Theorem 6-6.</b> <i><math>L</math>-Sequenzen sind genau dann <math>HL_H</math>-Elemente, wenn sie <math>HL</math>-Elemente sind</i> .....	250
<b>Theorem 6-7.</b> <i>Eine <math>L</math>-Aussage ist genau dann aus einer <math>L_H</math>-Aussagenmengen ableitbar, wenn sie aus ihr <math>L</math>-ableitbar ist</i> .....	250
<b>Theorem 6-8.</b> <i>Eine <math>L</math>-Aussagenmenge ist genau dann <math>L_H</math>-konsistent, wenn sie <math>L</math>-konsistent ist</i> .....	251
<b>Theorem 6-9.</b> <i>Hintikka-Obermengen für konsistente Aussagenmengen</i> .....	252
<b>Theorem 6-10.</b> <i>Jede Hintikka-Menge ist <math>L_H</math>-erfüllbar</i> .....	256
<b>Theorem 6-11.</b> <i>Modelltheoretische Konsequenzschaft impliziert Ableitbarkeit</i> .....	261
<b>Theorem 6-12.</b> <i>Kompaktheitssatz</i> .....	262

# Regelverzeichnis

Handlungsanleitung 3-1. Annahmeregeln (AR) .....	117
Handlungsanleitung 3-2. Subjunktorführungsregeln (SE) .....	117
Handlungsanleitung 3-3. Subjunktorbeseitigungsregeln (SB) .....	118
Handlungsanleitung 3-4. Konjunktoreführungsregeln (KE) .....	118
Handlungsanleitung 3-5. Konjunktorbeseitigungsregeln (KB) .....	118
Handlungsanleitung 3-6. Bisubjunktoreführungsregeln (BE) .....	118
Handlungsanleitung 3-7. Bisubjunktorbeseitigungsregeln (BB) .....	118
Handlungsanleitung 3-8. Adjunktoreführungsregeln (AE) .....	118
Handlungsanleitung 3-9. Adjunktorbeseitigungsregeln (AB) .....	119
Handlungsanleitung 3-10. Negatoreführungsregeln (NE) .....	119
Handlungsanleitung 3-11. Negatorbeseitigungsregeln (NB) .....	119
Handlungsanleitung 3-12. Universalquantoreführungsregeln (UE) .....	120
Handlungsanleitung 3-13. Universalquantorbeseitigungsregeln (UB) .....	120
Handlungsanleitung 3-14. Partikularquantoreführungsregeln (PE) .....	120
Handlungsanleitung 3-15. Partikularquantorbeseitigungsregeln (PB) .....	120
Handlungsanleitung 3-16. Identitätseführungsregeln (IE) .....	121
Handlungsanleitung 3-17. Identitätsbeseitigungsregeln (IB) .....	121
Handlungsanleitung 3-18. Interdiktionärklausele (IDK) .....	121