



HAL
open science

Dynamisch microbelgedrag onder invloed van ultrageluid

Michiel Postema

► **To cite this version:**

Michiel Postema. Dynamisch microbelgedrag onder invloed van ultrageluid. MagICINe, 2003, 2003 (3), pp.9-11. 10.5281/zenodo.4771041 . hal-03559152

HAL Id: hal-03559152

<https://hal.science/hal-03559152>

Submitted on 6 Feb 2022

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.



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

Dynamisch microbelgedrag onder invloed van ultrageluid

Michiel Postema

14 september 2003

Wie op het ICIN dagje uit na het zeilen een biertje gedronken heeft is het misschien opgevallen: de schuimkraag van Amstel Bright slaat eerder dood dan die van Palm. In dit artikel leg ik uit wat het verdwijnen van een schuimkraag te maken heeft met echografie, en wat het diagnostisch en therapeutisch nut van het observeren van bierschuim is.

Het observeren van belletjes is voor de meeste mensen een dagelijkse bezigheid: water koken of een glaasje fris inschenken is al voldoende om belletjes te laten vormen. Dit soort belletjes verdwijnen meestal snel. Uit de verdwijntijd kunnen we het een en ander afleiden, waarover later meer. Belletjes die niet snel verdwijnen en zich ophopen vormen een schuim. Een schuimkraag op een biertje is niets anders dan een enorme verzameling belletjes die zich onder invloed van opwaartse krachten (buoyancy forces) aan het bieroppervlak ophopen. Het observeren van bel-bel interacties moet dus al zo oud zijn als bierbrouwen zelf, zo'n 5000 jaar. Wetenschappelijke bestudering van schuim werd echter pas mogelijk met de popularisering van glas als plaatsvervanger van hout, aardewerk en tin. Toch beklagde *nota bene* Erasmus zich erover dat hij in herbergen uit glas moest drinken.

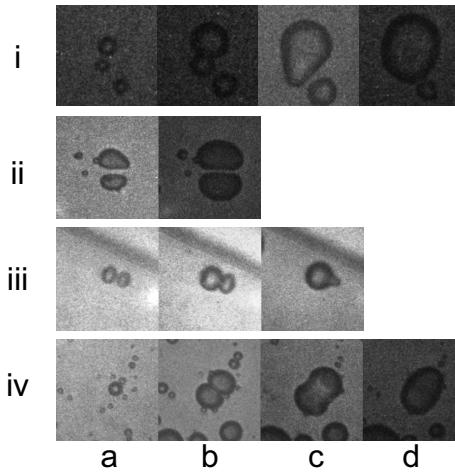
De wetenschappelijke bestudering van schuim werd in de zestiende eeuw echter wel van overheidswege gemotiveerd. Zo waren zowel hoogleraren als studenten aan de Universiteit van Franeker vrijgesteld van belasting op bier. Toen de Staten van Friesland in 1550 de hoeveelheid belastingvrij bier voor professoren wilden *beperven* tot $155\frac{1}{2}$ kan per maand brak er een golf van protest uit [1].

Marcel Minnaert beschreef in 1933 waarom bellen geluid maken en hoe deze tonen afhangen van de grootte van de bellen [2]: hoe groter de bel, desto lager de *resonantie-frequentie*. Contrast-echografie is op dit principe gebaseerd. Het uitgezonden geluid is boven de gehoorgrens (ultrageluid) en de belletjes op resonantie-grootte zijn alleen met een microscoop zichtbaar (microbellen). Door met een transducer naar resonerende bellen te luisteren, kan de doorbloeding en de stroomsnelheid van het bloed bepaald worden. Observaties bij lage acoustische drukken werden gepresenteerd in [3].

Maar onder invloed van ultrageluid blijken contrastbellen ook heel ander — vaak spectaculair — gedrag te vertonen. Dit gedrag kunnen we, zij het op een iets grotere schaalverdeling, ook zien in de schuimkraag van een biertje.

De observaties van contrast microbellen werden als volgt gedaan: Met een snelle camera (8 opnames op een snelheid van 3 miljoen plaatjes per seconde) werden plaatjes gemaakt door een microscoop. Een 0.5 MHz ultrageluidstransducer werd gefocuseerd op het optisch focus van de microscoop. De toegepaste acoustische drukken komen overeen met een mechanische index $0.9 < MI < 1.2$. Hieronder volgen enkele voorbeelden van de waargenomen fenomenen. Een beknopt overzicht van alle waarnemingen is gepubliceerd in [4].

Tijdens de expansiefase van een trillende contrastbel kan samensmelting met een andere contrastbel optreden. Als expanderende gasbellen el-



kaar naderen treedt eerst afvlakking van de rakende oppervlakken op (a), daarna drainage van de vloeibare film tussen deze oppervlakken (b), waarna zich een samengesmolten bel vormt (c) die ellipsoïde van vorm wordt (d). Ieder kader in opname (i) heeft een oppervlakte van $21 \times 21 \mu\text{m}^2$. De overige kaders zijn $30 \times 30 \mu\text{m}^2$. De tijd tussen ieder kader is $0.33 \mu\text{s}$.

De tijd τ die het duurt om twee bellen te laten samensmelten is in eerste benadering [5]:

$$\tau \approx \frac{3\eta R_f^2 R_m}{8\sigma h_c^2},$$

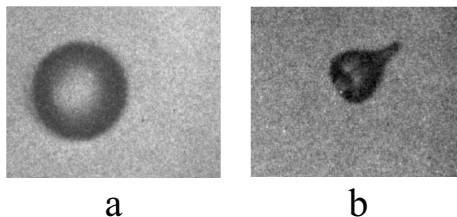
waarbij η de viscositeit van vloeistof is, R_f de straal van de film, R_m de gemiddelde straal van de bellen, σ de oppervlaktespanning en h_c de (critische) dikte waarbij de film tussen de bellen knapt.

Alle vloeibare films worden instabiel tussen 10 nm en 100 nm. Aangezien alle bier bij benadering de viscositeit van water heeft, kunnen we concluderen dat Palm langzamer dood slaat dan Amstel Bright omdat het een lagere oppervlaktespanning heeft. Voor contrastvloeistoffen geldt hetzelfde: hoe groter de bel en hoe lager de oppervlaktespanning, desto langzamer samensmelting met een andere bel plaatsvindt.

Het veroorzaken van belsamensmelting met ultrageluid (controlled coalescence) kan toegepast worden om lokaal een embolie te veroorzaken en zo de bloedtoevoer naar een tumor af te sluiten. Wanneer contrastbellen met lipide schillen kunnen samensmelten met celmembranen kunnen ze ook ingezet worden voor lokale medicijnbezorging.

Belletjes in met koolzuurgas verzadigd bier ontstaan wanneer het volume vergroot, de druk afneemt en/of de temperatuur toeneemt. Kortom: wanneer een flesje uit de koelkast wordt gehaald en wordt ontkroonkurkt. Microbelletjes van een niet-lichaamseigen gas zullen daarentegen na injectie in de (onverzadigde) bloedbaan verdwijnen. De verdwijntijd van een belletje is afhankelijk van zijn grootte, van de bloeddruk, van het bloedvolume (constant) en van de temperatuur (bij benadering constant). Het oplossen en daarmee krimpen van een gasbelletje is dus gerelateerd aan de bloeddruk. En dat krimpen is weer gerelateerd aan de resonante toonhoogte. Met andere woorden: met ultrageluid kunnen we — theoretisch althans — het oplossen van een gasbel in een vloeistof, en daarmee de druk in die vloeistof, bepalen [6].

Wanneer een bel onder invloed van ultrageluid snel contraheerd, kan vloeistof als een kolk door de bel heen schieten. Dergelijke kolken worden *jets* genoemd. Ze worden bij hoge uitzondering waargenomen in contrastbellen [7].



De contrastbel in kader (a) contraheert. In kader (b) is een *jet* zichtbaar die van linksonder naar rechtsboven door de bel heenschiet. De kaders zijn $38 \times 30 \mu\text{m}^2$. De tijd tussen de kaders is $0.33 \mu\text{s}$.

Jets richten zich naar vaste of vrije oppervlakken, bijvoorbeeld naar celmembranen. Ze zouden kunnen worden gebruikt als micro-injectienaalden, om hoog-toxische stoffen lokaal te bezorgen [8]. Het volume van de *jet* is bij benadering 60 femtoliter, oftewel 60×10^{-15} liter. De impact op een oppervlakje dat geraakt wordt door de *jet* is ongeveer 1100 atmosfeer.

Gelukkig is dit fenomeen nog nooit in bier waargenomen.

Dit project wordt ondersteund door de stichting STW (RKG.5104).

Referenties

- [1] W. Born (Ed.). *Merckwaardige Bierologie*. Amsterdam: Uitgeverij van Lindonk, 1966.
- [2] M. Minnaert. On musical air bubbles and the sound of running water. *Philos. Mag.* S. 16:235-248, 1933.

- [3] M. Postema, A. Bouakaz, C.T. Chin, N. de Jong. Simulations and measurements of optical images of insonified ultrasound contrast microbubbles. *IEEE Trans. Ferroelec. Freq. Contr.* 50:523-536, **2003**.
- [4] M. Postema, A. Bouakaz, C.T. Chin, N. de Jong. Optical observations of ultrasound contrast agent destruction. *Acta Acustica.* 89:728, **2003**.
- [5] M. Postema, P. Marmottant, C.T. Lancée *et al.* Ultrasound-induced microbubble coalescence. *submitted for publication*.
- [6] M. Postema, A. Bouakaz, N. de Jong. Noninvasive microbubble-based pressure measurements: a simulation study. *submitted for publication*.
- [7] M. Postema, A. Bouakaz, N. de Jong. *IEEE Trans. Ferroelec. Freq. Contr.* 49(3): cover page, **2002**.
- [8] C.D. Ohl, R. Ikink. Shock-wave-induced jetting of micron-size bubbles. *Phys. Rev. Lett.* 90:214502, **2003**.