



Universiteit  
Leiden  
The Netherlands

## Flow of Foams

Katgert, G.

### Citation

Katgert, G. (2008, December 11). *Flow of Foams. Casimir PhD Series*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/13329>

Version: Corrected Publisher's Version

License: [Licence agreement concerning inclusion of doctoral thesis in the Institutional Repository of the University of Leiden](#)

Downloaded from: <https://hdl.handle.net/1887/13329>

**Note:** To cite this publication please use the final published version (if applicable).

---

# Samenvatting

---

Schuim is een agglomeraat van luchtbellens die omringd zijn door een dun laagje vloeistof. Deze bellens zijn van nature instabiel, maar het toevoegen van een oppervlakte-actieve stof zoals afwasmiddel of zeep aan de vloeistof kan de levensduur van bellens verlengen tot uren. Individuele schuimbellen houden zich aan redelijk eenvoudige interactiewetten; zo zijn schuimbellen elastisch, dat wil zeggen als ze vervormd worden zullen ze willen terugveren teneinde hun evenwichtsvorm te hervinden, en als schuimbellen langs een ander object glijden zullen ze een wrijvingskracht ervaren. Verder zijn schuimbellen over het algemeen macroscopisch (0.1 - 10 mm) en dus zullen ze bij kamertemperatuur geen thermische beweging laten zien.

Ondanks het eenvoudige gedrag van zijn bouwstenen vertoont een schuim complex gedrag: Beschouw bijvoorbeeld de collectie van bellens die een klodder scheerschuim is. Dit conglomeraat kan zijn eigen gewicht dragen en zal terugveren als je er met een vinger tegenaan duwt, terwijl het zal stromen als een vloeistof wanneer voldoende kracht wordt uitgeoefend. De kritieke spanning die tot stroming leidt wordt vaak de *yield stress* (=lett. bezwijkspanning) genoemd. Verder is het zo, dat des te sneller je een schuim aandrijft, des te minder weerstand tegen stroming het schuim zal uitoefenen, wat ook wel *shear-thinning* gedrag genoemd wordt. Dit gedrag komt algemeen voor in een ruime klasse van materialen zoals zandhopen, emulsies (mayonaise), pasta's (pindakaas) en colloïdale systemen (tandpasta) die allemaal bestaan uit wanordelijke pakkingen van vele deeltjes.

De grote uitdaging in het veld van de wanordelijke materialen waartoe schuim behoort is om de eigenschappen van de individuele deeltjes te relateren aan het gedrag van het materiaal als geheel. Teneinde dit te kunnen doen zou je tegelijk het globale gedrag en de beweging en toestand van alle individuele deeltjes moeten meten. Echter, de witte kleur van de meeste van deze materialen geeft al aan dat deze media licht sterk verstrooien, en dus kan je niet zomaar binnenin kijken.

In dit proefschrift hebben we ons inzicht aangaande de connectie tussen lokaal en globaal gedrag in schuim vergroot door ons te beperken tot twee dimensies. In hoofdstuk 2 beschrijven we een experiment waarin we een lineaire afschuifstroming (*shear flow*) veroorzaken in een enkele laag schuimbellen die opgesloten zit tussen de oppervlakte van een vloeistof die bestaat uit een oplossing van afwasmiddel in water en een glasplaat. We meten gemiddelde snelheidsprofielen als functie van de uitgeoefende afschuifnelheid (de *shear rate*) en daarbovenop verkrijgen we informatie over het lokale stromingsgedrag uit heel gevoelige metingen van de relatie tussen spanning (*stress*) en deformatie (*strain*) met een reometer. We ontdekken dat we de waargenomen vorm van de snelheidsprofielen kunnen verklaren door alleen maar aan te nemen dat de visceuze wrijvingskrachten die de bellen voelen, moeten balanceren. Deze wrijvingskrachten zijn het gevolg van het glijden van de bellen ten opzichte van de glasplaat en ten opzichte van andere bellen. Uit de krachtenbalans die we opstellen kunnen we een uitdrukking voor de gemiddelde wrijvingskracht tussen schuivende bellen afleiden die we kunnen vergelijken met directe metingen die we hebben gedaan met de reometer.

Verassend genoeg vinden we dat de gemiddelde lokale wrijvingskracht tussen naburige bellen in een wanordelijk, stromend schuim verschilt van de werkelijke lokale wrijvingskracht tussen bellen die op een nette, ordelijke manier langs elkaar heen bewegen en die we kunnen meten met de reometer.

We schrijven het verschil tussen de twee toe aan de wanordelijke stroming die optreedt in het wanordelijke schuim en die de gemiddelde hoeveelheid wrijving op een schuimbel tijdens stroming doet toenemen. We kunnen deze interpretatie versterken door een schuifstroming op een geordend schuim uit te oefenen, en in dat geval leiden we uit onze wrijvingskrachtenbalans af dat de lokale wrijving tussen bellen in het experiment inderdaad dezelfde is als die in de reometer.

In hoofdstuk 3 gaan we voort op de ingeslagen weg, maar ditmaal brengen we een afschuiving aan op wanordelijke, tweedimensionale bel-lenlagen in een circulaire geometrie, genaamd de Couette cel. In deze geometrie bevindt het schuim zich tussen twee concentrische cilind-ers, waarvan de binnenste ronddraait. Deze geometrie maakt het mogelijk ex-perimenten te doen waarbij het schuim wel of niet bedekt is met een glas-plaat zodat we het effect van de wrijvingskracht uitgeoefend door de glas-plaat verder kunnen onderzoeken. Verder zouden we de effecten van de *yield stress*, die in de lineaire geometrie onzichtbaar waren in deze cylin-drische opstelling moeten kunnen zien.

We meten wederom gemiddelde snelheidsprofielen en door ons wrij-vingskrachtmodel aan te passen aan het gekromde coördinatenstelsel kun-nen we weer het gedrag van de wrijvingskracht tussen bellen afleiden. We vinden dat het schuim zich veel meer *shear thinning* gedraagt als het niet is afgesloten met de glasplaat dan wanneer het dat wel is, en we speculeren dat de aanwezigheid van de glasplaat de fluctuaties in het schuim verandert, op dezelfde manier als de wanorde dat deed in hoofd-stuk 2. Verrassend genoeg zien we in beide configuraties geen effecten van een *yield stress*. Het is zelfs zo dat we, door tegelijkertijd snelheidsprofi-elen en de globale *stress-strain*-relatie te meten, vinden dat het schuim lokaal nog steeds stroomt wanneer het globaal gezien beneden de *yield stress* zou moeten zijn.

In hoofdstuk 4 verleggen we de aandacht en richten we ons op de toepasbaarheid van schuimsystemen in het onderzoeken van de fysische aard van de *jamming*-overgang. Het *jamming*-fasediagram is recent geïn-troduceerd met als doel het gedrag van verschillende klassen van mate-rialen die een overgang tussen vast en vloeibaar gedrag laten zien, onder één noemer te vangen. We hebben al gezien dat schuim zijn elastische gedrag kan verliezen door een spanning groter dan de *yield stress* uit te oefenen. Een alternatieve route is echter het verlagen van de dichtheid van de schuimbellen. We kunnen deze dichtheid variëren door de afstand tussen het vloeistofoppervlak en de glasplaat — die in hoofdstuk 2 en 3 constant was — te vergroten of te verkleinen. Op deze manier kunnen we dus de *jamming*-overgang als functie van de dichtheid verkennen in schuim.

We beschrijven eerst technieken die we ontwikkeld hebben om de bel-lendichtheid in ons experiment te karakteriseren, waarna we de viscositeit

van het schuim als functie van de afstand tot de *jamming*-overgang onderzoeken. Tenslotte verkennen we mechanische en statistische maten die inzicht verschaffen in het fysische wezen van de *jamming*-overgang. We vinden veelbelovende aanwijzingen dat schuim inderdaad uitstekend geschikt is om het deze overgang te gaan begrijpen.