

Coalescentie van vloeistofdruppels

Citation for published version (APA):

Nijsters, P. M. H. C. (1993). *Coalescentie van vloeistofdruppels*. (DCT rapporten; Vol. 1993.054). Technische Universiteit Eindhoven.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1993

Document Version:

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.tue.nl/taverne

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.

Coalescentie van vloeistofdruppels.

P.M.H.C. Nijsters

Stage periode : oktober 1992 - januari 1993
Stage begeleider : ir. J. Janssen
WFW-rapportnummer : 93.054

Coalescentie van vloeistofdruppels
Technische Universiteit Eindhoven
januari 1993

Inhoudsopgave.

	pagina
- Samenvatting	5
- Inleiding en theorie	6
- Opstelling	10
- Materiaalkarakterisering	12
- Experimenten	13
- Conclusie	19
- Literatuur	20

Samenvatting.

Het blenden van polymeren in een extruder is onder andere vanwege het viscoelastisch gedrag van polymeerblends een zeer complex proces. De eindmorfologie wordt bepaald door het dynamische samenspel van opbreken van grote druppels en het coalesceren van kleinere druppels in een complex niet-isotherm, tijdsafhankelijk stromingsveld. Dit onderzoek heeft zich toegespitst op het verifiëren van modellen met betrekking tot het coalescentie-proces. Opgemerkt moet worden dat er in deze stage gewerkt werd met een sterk vereenvoudigd systeem: een bekend isotherm stromingsveld en constitutief eenvoudige materialen.

Experimenten zijn uitgevoerd in het zogenaamde opposed jets apparaat dat aan de TU Eindhoven is ontwikkeld. Vanuit twee overgestelde zijden wordt de continue fase naar binnen gepompt zodat in het centrum van het apparaat een stagnatiestroming ontstaat, waarmee niet mengbare druppels in botsing kunnen worden gebracht. Coalescentietijden zijn ook bepaald door druppels te laten vallen in een bekersglas. Onder invloed van de gravitatiekracht vallen de druppels naar een vrij oppervlak en coalesceren daar met een druppel met een oneindige grote straal. Dezelfde vrije val proeven zijn ook uitgevoerd waarbij het vrije oppervlak in trilling werd gebracht.

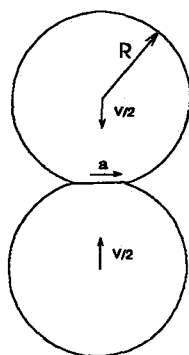
De resultaten van de coalescentie-experimenten laten duidelijk zien dat de modellen die uitgaan van volledig mobiele en volledig immobiele grensvlakken de praktijksituatie niet beschrijven. Het model met partieel mobiele grensvlakken is wellicht een betere benadering van de werkelijkheid. Helaas vertonen de meetdata een grote spreiding waardoor het verifiëren onmogelijk wordt. De orde van grootte van tijden komt echter al een stuk meer in de richting wanneer men dit model gebruikt, dan wanneer men de twee extreme modellen gebruikt. De oorzaak van de slechte reproduceerbaarheid van de coalescentie-experimenten ligt waarschijnlijk in een toevallige spreiding op de kritische filmdikte, de aanwezigheid van stof in de gebruikte modelvloeistoffen en het niet konstant zijn van de grensvlakspanning. Om de invloed van toevallige spreiding op de kritische filmdikte na te gaan, zijn de experimenten uitgevoerd waarbij het vrije oppervlak in trilling werd gebracht met een amplitude groter dan de amplitude van de toevallige spreiding.

Een betere methode om de modellen te verifiëren zou de meting zijn van de afname-snelheid van de filmdikte, maar dit stuit echter op een aantal praktische problemen.

Inleiding en theorie.

Deze stage is een experimenteel onderzoek dat onderdeel uit maakt van het onderzoek naar het dispergeren van niet-mengbare vloeistoffen. De meeste combinaties van gesmolten polymeren zijn vanwege thermodynamische redenen onmengbaar op moleculair niveau. Omdat de eindmorfologie van een polymeerblend van grote invloed is op de uiteindelijke materiaaleigenschappen, is het van belang te weten hoe deze morfologie tot stand komt in bijvoorbeeld een extruder. Dit onderzoek wordt gedaan aan een sterk vereenvoudigd systeem omdat de praktijksituatie een zeer complex, niet isotherm, tijdsafhankelijk systeem is. De proeven zijn voornamelijk gedaan in het opposed jets apparaat (zie "Opstelling") met bekende vloeistoffen in een goed bekend stromingsveld.

De eerste stap bij het opzetten van een model dat het coalescentieproces beschrijft is het opsplitsen van de stroming in een intern en een extern stromingsveld. Het externe stromingsveld, dit is de continue fase stroming waarin de druppels liggen ingebed, bepaalt de frequentie, kracht en duur van de botsingen. Waarbij de laatste twee de randvoorwaarden creëren van het interne stromingsveld, de stroming in de film tussen twee druppels. Het proces van film drainage wordt bepaald door de deformatie van de naderende grensvlakken en hun mobiliteit. Een botsing tussen twee druppels leidt slechts dan tot coalescentie indien de beschikbare botsingstijd voldoende is om de film te draineren tot de kritische filmdikte, waarna de film breekt en de twee druppels samenvloeien. Dit onderzoek heeft zich volledig toegespitst op het interne stromingsveld.



Figuur 1: *modellering botsende druppels*

In een "review of current understanding" behandelt Chesters modellen voor het coalescentiegedrag in vloeistofdispersies. Hieronder volgen de modellen met de gemaakte aannames. Voor de volledigheid volgt hier eerst de nomenclatuur van de gebruikte variabelen.

a	film radius	[m]	R	druppelradius	[m]
F	interaktiekracht	[N]	R_{eq}	equivalente radius	[m]
h	filmdikte	[m]	σ	grensvlakspanning	[Nm ⁻¹]
h_0	initiële filmdikte	[m]	η_c	viscositeit continue	[Pa.s]
h_c	kritische filmdikte	[m]	η_d	viscositeit disperse	[Pa.s]
t_c	coalescentietijd	[s]			

Voor alle modellen geldt dat de grootte van het afgeplatte gebied veel kleiner moet zijn dan de straal van de druppel, zie figuur 1. Op het eerste gezicht lijkt dit een grote beperking op te leggen aan de experimenten die men kan uitvoeren, omdat grote druppels al snel aan deze beperking voorbij gaan. Echter, de focus van deze stage ligt op druppels met zeer kleine afmetingen zodat in de meeste gevallen de experimenten voldoen aan deze aannamen. Verder gaan de modellen ervan uit dat de filmdikte weer veel kleiner is dan het afgeplatte vlak.

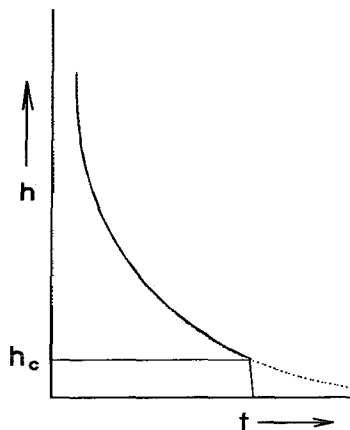
In de praktijk zijn twee coalescerende druppels nooit even groot. De modellen veronderstellen echter wel dat beide druppels even groot zijn. Chesters heeft aangetoond dat voor de situatie waarin beide druppels ongelijke stralen hebben de volgende vergelijking bestaat, die de druppelstralen omrekent naar een equivalente druppelstraal. Deze vergelijking is alleen geldig in het geval van axisymmetrische film drainage.

$$R_{eq}^{-1} = (R_1^{-1} + R_2^{-1})/2 \quad (1)$$

Uit deze vergelijking blijkt dat wanneer een druppel met straal R naar een vrij oppervlak valt, dit gelijk is aan een experiment waarin druppels met straal 2R coalesceren.

Voorts gaan alle modellen uit van eenvoudige randvoorwaarden: ze gaan of wel uit van een konstante interaktiekracht dan wel van konstante naderingssnelheid. In de praktijk zullen zowel de naderingssnelheid als de interaktiekracht niet konstant zijn.

Wanneer de dikte van de film beneden een bepaalde grens is gekomen, wordt de film instabiel als gevolg van de Van der Waals-krachten in de film. Figuur 2 laat zien hoe de filmdikte als functie van de tijd afneemt. De gestippelde lijn doet dit voor het geval dat de Van der Waals-krachten afwezig zouden zijn. De getrokken lijn geeft de praktijksituatie weer.



Figuur 2: *filmdikte als functie van de tijd.*

Drainage tussen vervormbare druppels met immobiele grensvlakken.

Dit model gaat uit van zeer hoge viscositeit van de disperse fase omdat er gesteld wordt dat de grensvlakken volledig immobiel zijn. Uit onderstaande uitdrukking voor de afnamesnelheid van de filmdikte tussen twee druppels blijkt dat bij toenemende interactiekracht de afnamesnelheid ook afneemt. Dit heeft tot gevolg dat de coalescentietijd stijgt, hieruit volgt dat het coalesceren van druppels eerder plaats vindt bij rustige botsingen.

$$-\frac{dh}{dt} = \frac{2h^3 F}{3\pi\mu a^4} \quad (2)$$

Integratie van bovenstaande uitdrukking levert onderstaande relatie voor de totale coalescentie tijd. De filmdikte loopt hierbij van h_0 tot h_c waarbij breuk optreedt.

$$\tau_c \sim \frac{3\eta_c R_{co}^2 F}{16\pi\sigma^2} \left[\frac{1}{h_c^2} - \frac{1}{h_0^2} \right] \quad (3)$$

In de opposed jets opstelling kan als uitdrukking voor de kracht bij aanname van Stokes-stroming de volgende worden genomen.

$$F = 6\pi\eta_c R \Delta v \quad (4)$$

De experimenten die zijn uitgevoerd door het laten vallen van druppels naar een vrij oppervlak, hebben als uitdrukking voor de interactiekracht:

$$F = \frac{4}{3}\pi R^3 \Delta \rho g \quad (5)$$

Drainage tussen vervormbare druppels met partieel-mobiele grensvlakken

In veel zuivere vloeistof-vloeistof dispersies wordt de drainage beïnvloedt door de beweging van het grensvlak van de druppel. De interne stroming in de druppel heeft grote invloed op het drainage proces hetgeen de uitdrukking "partieel mobiel" tot gevolg heeft. Bij het opstellen van dit model is uitgegaan van de aanname dat de zwaartekracht-effecten te verwaarlozen zijn. Aan deze aanname zal alleen voldaan worden bij coalescentie van kleine druppels of druppels waarbij het verschil in dichtheid ten opzichte van de continue fase klein is. In het opposed jets apparaat geldt de volgende uitdrukkingen voor de filmdikte-afnamesnelheid en de coalescentietijd.

$$-\frac{dh}{dt} \sim \left[2(2\pi\sigma/R)^{\frac{3}{2}} / \pi\mu a F^{\frac{1}{2}} \right] h^2 \quad (6)$$

$$t_c \sim \frac{\eta_d \pi \sqrt{F}}{2(2\pi \frac{\sigma}{R})^{3/2}} \left[\frac{1}{h_c} - \frac{1}{h_0} \right] \quad (7)$$

Drainage tussen vervormbare druppels met volledig mobiele grensvlakken

Wanneer men uitgaat van een disperse fase met relatief lage viscositeit ten opzichte van de continue fase, wordt drainage niet langer bepaald door het partieel mobiele model maar door de weerstand van de film tegen deformatie en versnelling. De uitdrukkingen voor de filmdikte-afnamesnelheid en de coalescentietijd laten zien dat bij dit specifieke model de grootte van de afplating geen parameter is. Dit heeft tot gevolg dat de interactiekracht F ook geen parameter is.

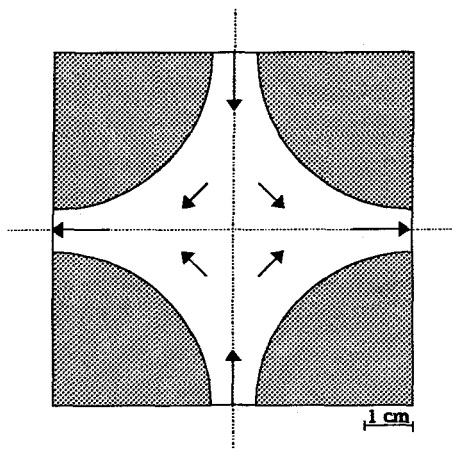
$$-\frac{dh}{dt} \sim \frac{2\sigma h}{3\mu R} \quad (8)$$

$$t_c \sim \frac{3\eta_c R}{2\sigma} \ln\left(\frac{h_0}{h_c}\right) \quad (9)$$

Gezien het feit dat de initiële filmdikte (orde druppelgrootte) in het algemeen zeer groot is ten opzichte van de kritische filmdikte (orde 100 Angstrom), is de reciproke waarde van de initiële filmdikte deze dus verwaarloosbaar ten opzichte van de reciproke waarde van de kritische filmdikte. Men kan respectievelijk voor de bovenstaande modellen de volgende trends waarnemen, $t_c \sim R \ln(R)$, $t_c \sim F^{0.5} R^{1.5}$ en $t_c \sim FR^2$.

Opstelling

Het grootste deel van de experimenten is uitgevoerd in het zogenaamde opposed jets apparaat (zie figuur 3 en 4). Het apparaat bestaat uit een plexiglas cel van enkele centimeters groot welke uit vier vaste blokken bestaat tussen twee parallelle wanden. Vanuit twee tegenovergestelde zijden wordt de continue fase naar binnen gepompt door een tandradpomp die wordt aangedreven door een elektromotor met fasevariabele aansturing. De continue fase komt in het centrum van de cel in botsing en er ontstaat daar een stagnatiepunt. In het stagnatiepunt is sprake van een twee dimensionale hyperbolische rekstroming waarvan het snelheidsveld wordt gegeven door $u = Gx$, $v = -Gy$, $w = 0$, waarin G [s^{-1}] de snelheidsgradient is. De snelheidsgradient blijkt evenredig te zijn met het debiet en dus de ingestelde pompstand PS [-]: $G = 0.0254 \cdot PS$. Met behulp van een injectienaald kan een niet mengbare druppel van de disperse fase worden geïnjecteerd in het middenvlak tussen de



Figuur 3: plexiglas cel van opposed jets opstelling

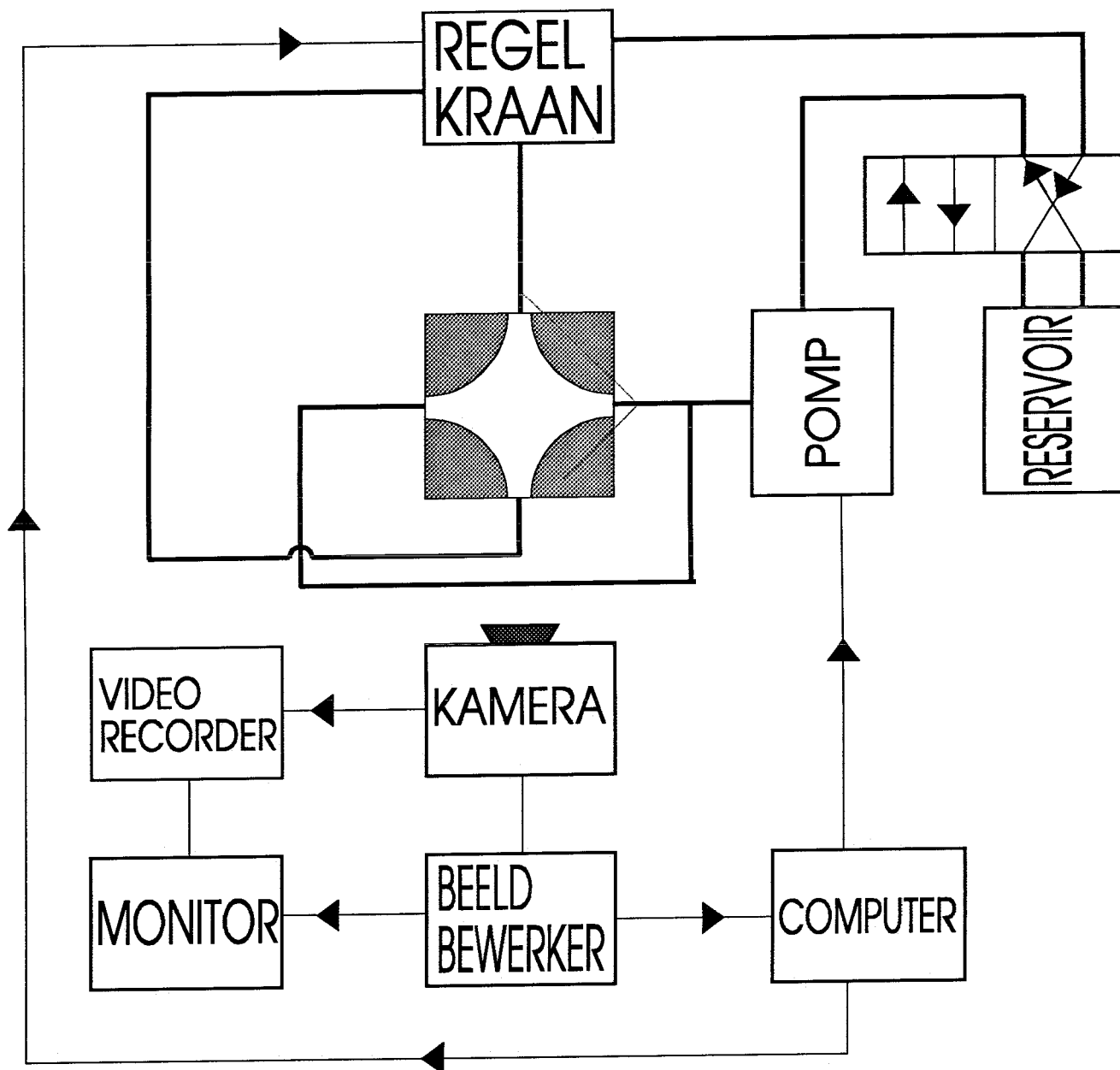
parallelle voor- en achterwand. Na de injectie van de druppel wordt de injectienaald verwijderd om het stromingsveld in de cel niet te verstoren.

De positie van de druppel in het stagnatiepunt is instabiel met betrekking tot zeer kleine verstoringen. Als gevolg van een kleine verstoring zal de druppel exponentieel naar een van de uitgangen gaan en uit beeld verdwijnen. Om de druppel in het stagnatiepunt te houden, is er een regelsysteem aangebracht dat de positie van de druppel via een videokamera terugkoppelt. De videokamera stuurt haar signaal naar een beeldbewerker die het middelpunt van de druppel berekent. De beeldbewerker stuurt de coördinaten van het middelpunt naar de aangesloten computer die op zijn beurt de gewenste regel-

actie berekend. Het uiteindelijke regelen geschiedt door het aanbrengen van debietverschillen tussen de twee uitgangen van de cel waarbij het totale debiet konstant wordt gehouden. Het stagnatiepunt verschuift dan over de x-as. De regeling is op een beeldpixel nauwkeurig en gebeurt alleen langs de x-as.

Aan de videokamera is een videorecorder gekoppeld zodat men de experimenten op videocassette kan zetten en op een later tijdstip kan verwerken. De vergroting naar de monitor kan worden ingesteld tussen 17 en 100 maal zodat details tot 10 micrometer zichtbaar worden.

Om druppels te kunnen laten botsen is een kraan in het systeem aangebracht waarmee men instantaan de stromingsrichtingen van de aan- en afvoerleidingen kan omdraaien. Voorts zijn er coalescentie-experimenten uitgevoerd door het laten vallen van druppels naar een vrij oppervlak. Het vrij oppervlak waarnaar de druppels vallen kan met behulp van een pennetje van buitenaf in trilling worden gebracht.



Figuur 4: schematische weergeven meetopstelling

Materiaalkarakterisering

Om de experimenten in bruikbare meetdata om te zetten is het noodzakelijk dat de gebruikte vloeistoffen en stromingen goed gekarakteriseerd zijn. Als continue fase werd siliconen-olie gebruikt met een viscositeit van 1 Pa.s. De waarden van de relevante parameters van de gebruikte vloeistoffen staan vermeld in tabel 1 (D.J. Harbrecht)

Tabel 1: *materiaal parameters*

vloeistof	η_d [Pa.s]	$\sigma \times 10^{-3}$ [Nm ⁻¹]	ρ [kgm ⁻³]
Cs 70/30	0.073	24.4	958.8
Cs 80/20	0.35	28.0	1272.8
Cs 90/10	3.4	29.5	1322.4

In de tabel staan vermeld achtereenvolgens de viscositeit, de grensvlakspanning ten opzichte van siliconen-olie.

Experimenten

Overzicht van de experimenten.

- Bepalen van coalescentietijden in de opposed jets opstelling. De coalescentietijd is de tijd die nodig is om twee botsende druppels waarvan de onderlinge afstand kleiner is dan de straal van de druppels, te laten samenvloeien.
- Bepalen van coalescentietijden in een bekeerglas waarbij de druppel naar een vrij oppervlak valt. Het voordeel van deze methode ten opzichte van het coalesceren in het opposed jets apparaat, is dat de kracht waarmee de botsing plaatsvindt exact bekend is via de wet van Archimedes. Dit in tegenstelling tot het gebruik van het opposed jets apparaat waarbij men de kracht niet exact kent maar verdisconteert via een formule die geldt voor druppels in een Stokes-stroming.
- Bepalen van coalescentietijden in een bekeerglas waarbij de druppel naar een vrij oppervlak valt dat van buitenaf in trilling wordt gebracht waarvan de amplitude groter is dan de spreiding op de kritische filmdikte. Het in trilling brengen van het oppervlak is gedaan om zo de kritische filmdikte, dit is de filmdikte waarbij de film breekt, op te leggen en konstant te houden voor alle experimenten.

Bepalen coalescentietijden in opposed jets opstelling

Bij deze experimenten is gebruik gemaakt van siliconen-olie als continue fase en castor olie als disperse fase. Zowel de continue fase als de disperse fase gedragen zich Newtons.

De proeven werden als volgt uitgevoerd. Er werd een druppel geïnjecteerd die werd opgerekt tot een draad die weer opbrak. Van de overblijvende druppels ving men er een in het regelsysteem en trok deze druppel tot een draad van zulke lengte dat deze opbrak in twee druppels. Vervolgens draaide men met behulp van de kraan het stromingsveld instantaan van richting om en liet het systeem aan zichzelf over omdat er niets te positioneren valt aan twee druppels. Nadeel van deze opzet was eerst het verkrijgen van twee druppels en nog wel de grootste moeilijkheid was het laten botsen van deze twee druppels. De praktijk leerde dat de druppels om elkaar heen draaiden en vervolgens meestroomden naar de uitgang.

De proeven zijn in tweede instantie uitgevoerd door vele kleine druppels te laten coalesceren. Het voordeel van deze methode was dat men met een experiment redelijk zeker wist dat men meetdata kon verzamelen, omdat in de wirwar van druppels altijd wel enkele druppels waren die coalesceerden. Nadeel van deze methode is dat de druppels in elkaars "schaduw" van de stroming kunnen liggen. Bij de verdiscontering van de kracht maakt men gebruik van -

aannames over het stromingsveld. Deze zullen in een verstoord stromingsveld waarschijnlijk niet meer gelden.

De resultaten van deze experimenten zijn grafisch weergegeven in figuur 5 en 6. Uit figuur 5 blijkt dat het model uitgaande van volledig mobiele grensvlakken de praktijk niet goed benadert. Het partieel mobiele model zit er ook behoorlijk naast maar is in vergelijking met de andere twee modellen een beter benadering van de realiteit. Omdat in de formule voor de filmdikteafnamesnelheid het "is evenredig"-teken staat, is het dus geoorloofd om deze uitdrukking met een konstante faktor te vermenigvuldigen. Als men deze uitdrukking vervolgens integreert, komt er nog een integratiekonstante bij. Ik heb getracht een lijn te fitten door de data door gebruik te maken van de twee te variëren konstanten. Het blijkt dat er bij benadering een gebied is waarbinnen de waarden van de coalescentietijden blijven. De uitdrukking van de fit:

$$t_c = 2.2 \frac{\eta_d \pi \sqrt{F}}{2(2\pi \frac{\sigma}{R})^{3/2}} \frac{1}{h_c} + 10$$

In figuur 6 is bovenstaande fit met de getrokken lijn aangegeven, de grenzen van het gebied waartussen vrijwel alle experimenteel bepaalde coalescentietijden liggen, zijn met een gestreepte lijn weergegeven. Het gebied ligt tussen $1/2t_c$ en $2t_c$. De gefitte curve en de bijbehorende band hebben een discontinu verloop vanwege het feit dat de snelheid waarmee de druppels elkaar naderen niet dezelfde waarde heeft bij de diverse experimenten.

Bepalen van coalescentietijden in een bekerglas waarbij de druppel naar een vrij oppervlak valt.

Deze experimenten zijn uitgevoerd nadat bleek dat het bepalen van coalescentietijden met behulp van de opposed jets opstelling moeilijk was, omdat zowel de interactiekracht als de kritische filmdikte niet goed bekend waren. De meetdata van de experimenten, uitgevoerd met de opposed jets opstelling vertonen scatter. Om het probleem van de onbekende interactiekracht te onderwerpen zijn deze "vallende druppel"-experimenten uitgevoerd. Nu is de kracht wel eenduidig bekend.

Het experiment werd uitgevoerd door met een injectienaald druppels te injecteren in de continue fase vlak boven het vrije oppervlak. Het verloop van de experimenten werd met behulp van video-apparatuur op videocassette gezet, zodat in een later stadium de coalescentie-tijden konden worden bepaald.

De resultaten van deze experimenten zijn grafisch weergegeven in figuur 7. Ook bij deze experimenten vallen de modellen uitgaande van volledig mobiele of volledig immobiele grensvlakken af vanwege de slechte benadering van de realiteit. Opgemerkt moet worden dat de experimenten van eindige duur waren. Dit verklaart voor een deel waarom er geen coalescentietijden hoger dan 2000 seconden zijn waargenomen.

Bij deze experimenten geldt dat de resultaten ook weer in een bepaalde band

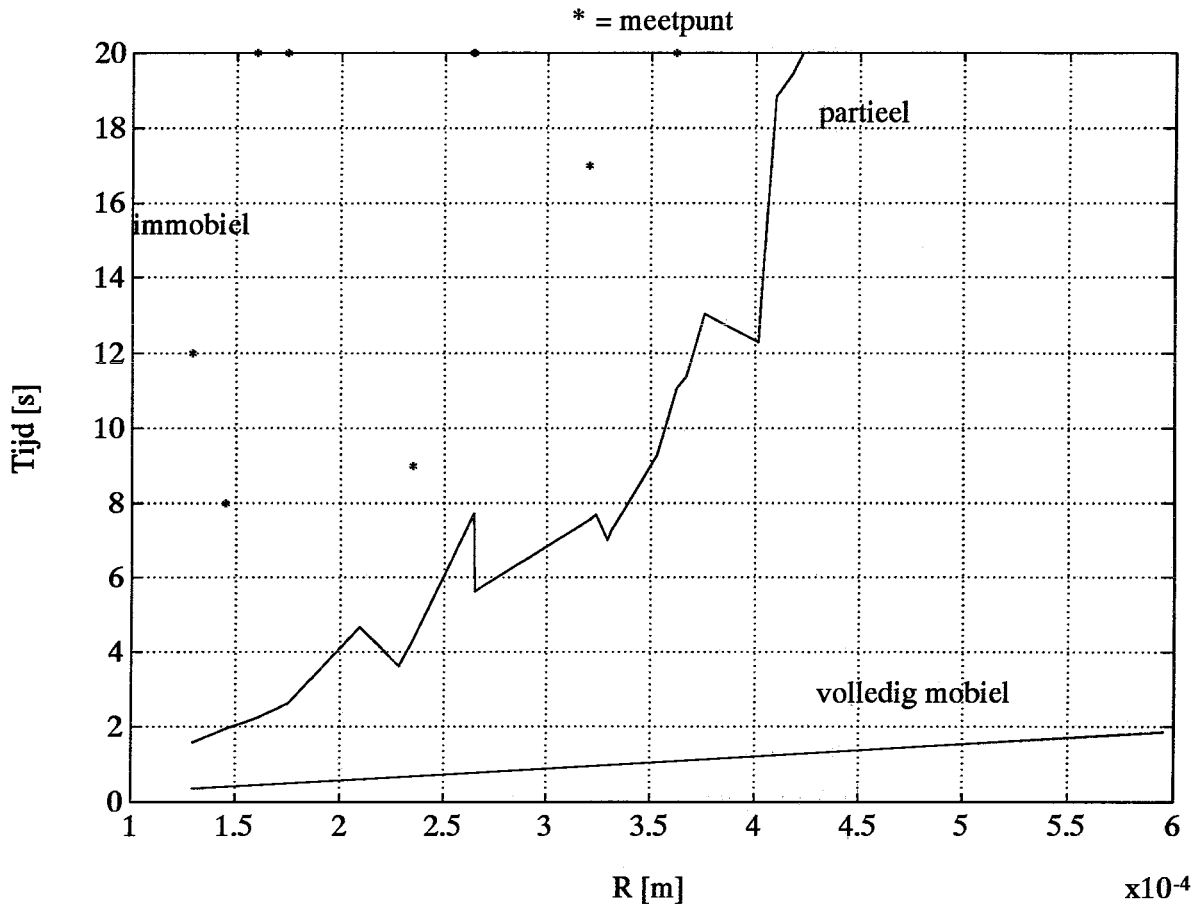
kunnen worden geplaatst. Opvallend is dat men de gefitte curve uit het vorige experiment met dezelfde band wederom kan gebruiken om het grootste deel van de data binnen de band te vangen.

Bepalen van coalescentietijden waarbij een druppel naar een trillend vrij oppervlak valt.

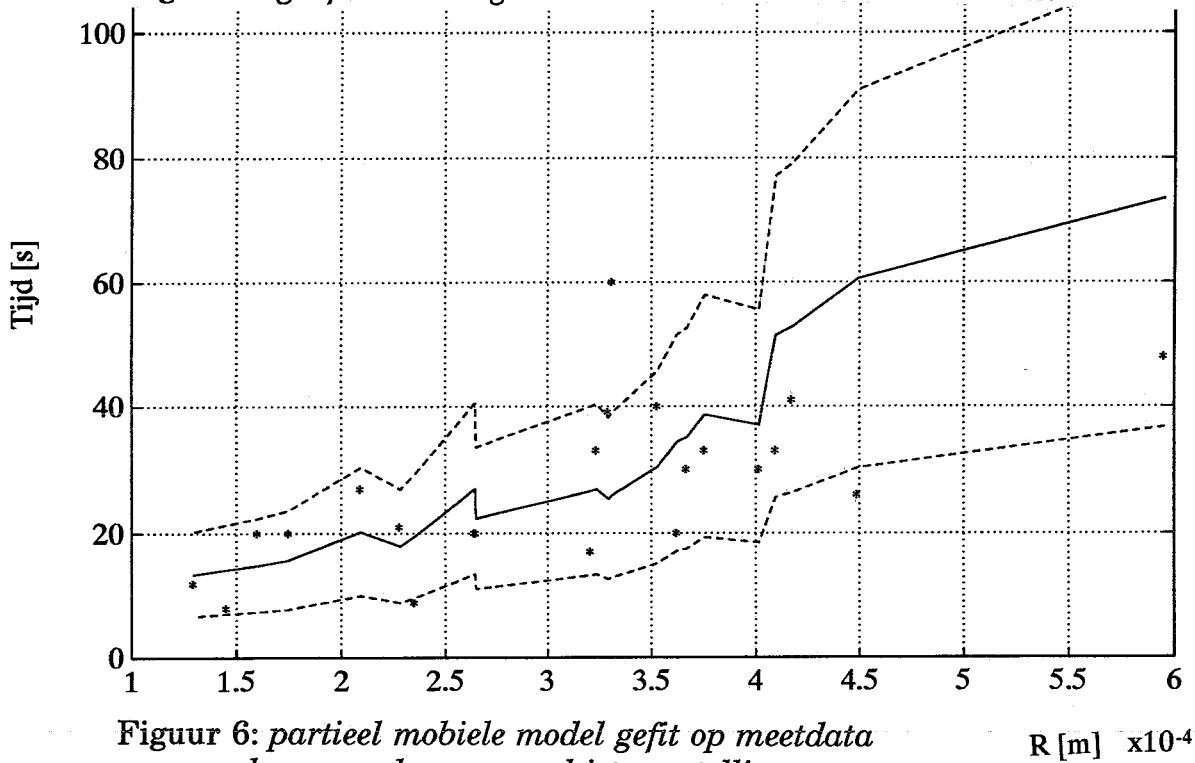
Na uitvoering van de experimenten zoals hierboven beschreven waarbij een druppel naar een vrij oppervlak viel, bleef het bezwaar bestaan dat de kritische filmdikte niet bekend was. De ervaring leerde dat het coalescentie-proces erg gevoelig is voor veranderingen in de grootte van de kritische filmdikte. Teneinde het probleem te ondervangen, werd het vrije oppervlak in trilling gebracht om zo een constante kritische filmdikte af te dwingen. Hier bleek de hoge viscositeit van de modelvloeistoffen het grote nadeel te zijn. De trillingen van buitenaf opgelegd dempen vrijwel meteen uit, zodat het effect hiervan niet waarneembaar was.

De resultaten van deze experimenten verschillen in essentie niet van de resultaten van het hierboven beschreven experiment. De uitkomsten zijn grafisch weergegeven in figuur 8. Ook nu is het weer mogelijk om dezelfde curve met band te fitten op de data.

In figuur 9 staat een figuur met de gefitte curve en bijbehorende band, waarin de data van alle vallende druppel-experimenten zijn verwerkt.

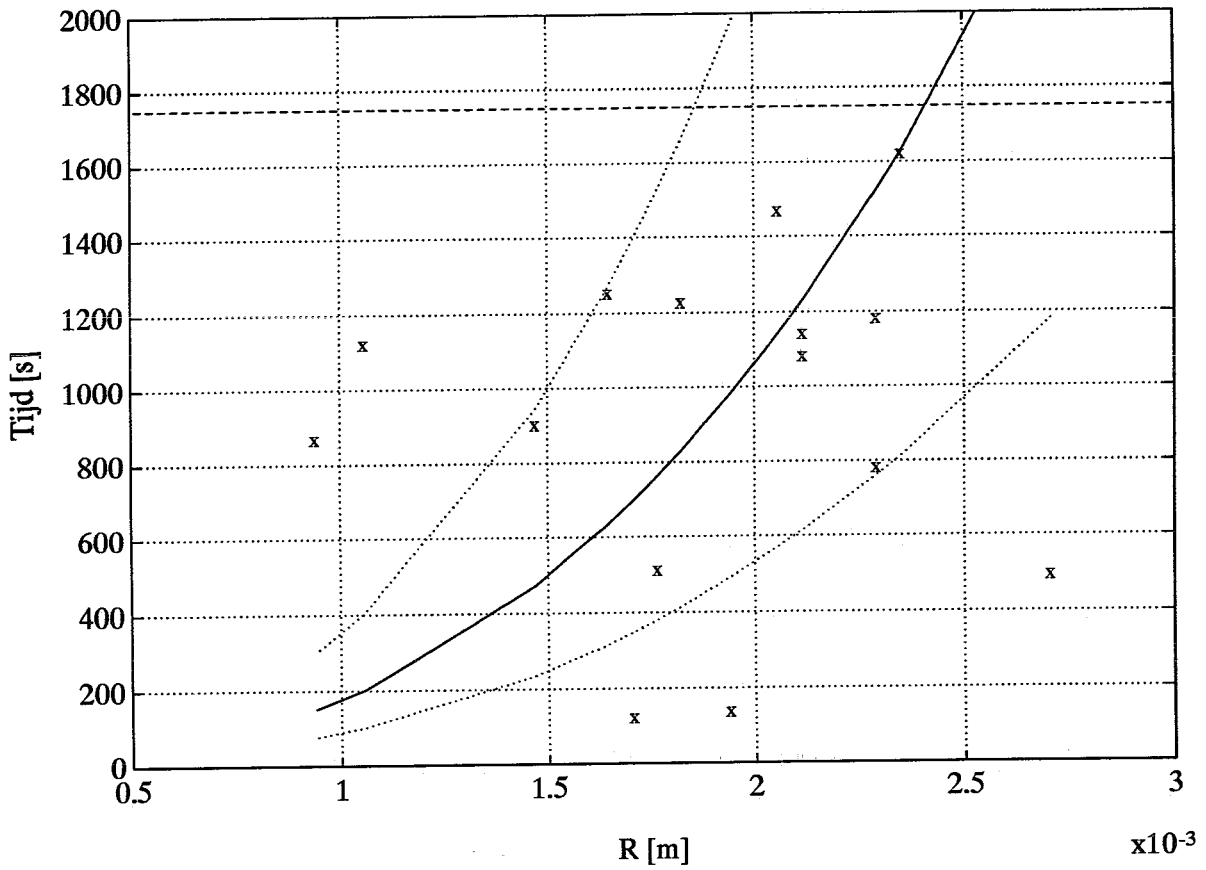


Figuur 5: grafische weergave van de drie coalescentiemodellen

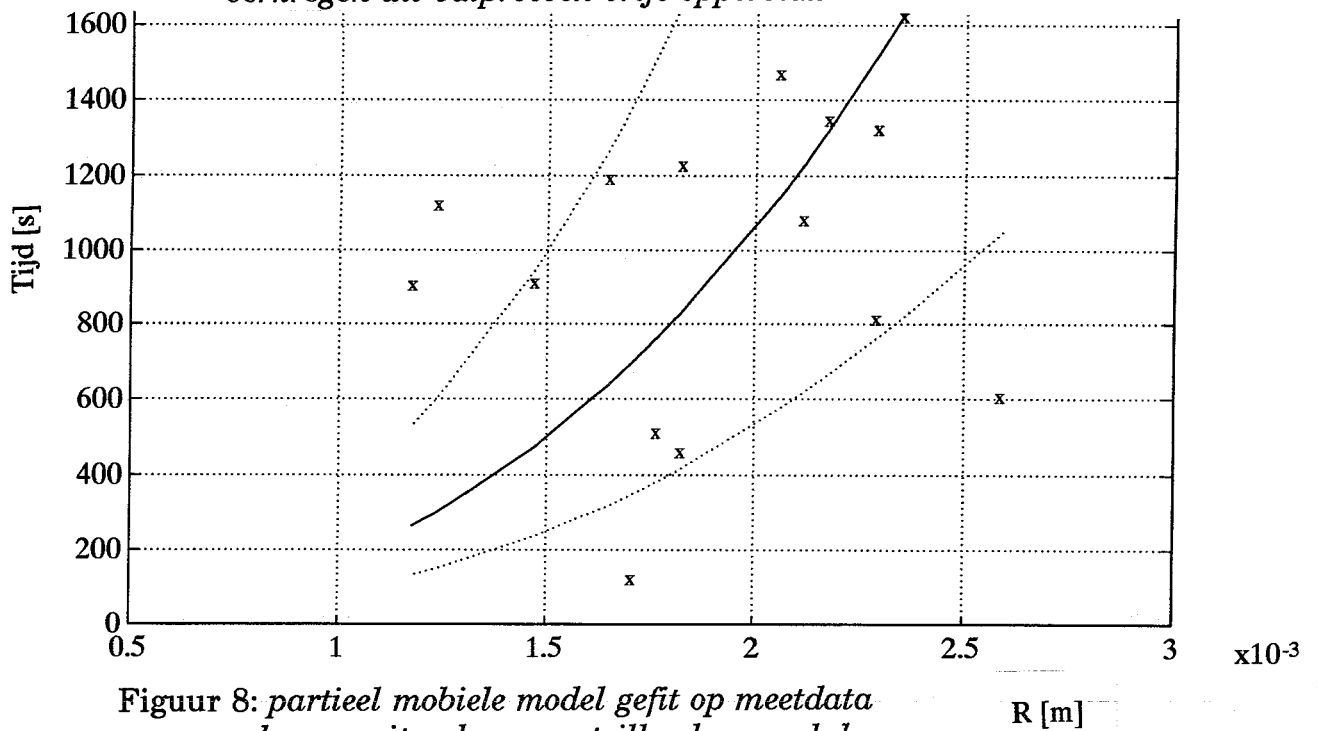


Figuur 6: partieel mobiele model geeft op meetdata verkregen m.b.v. opposed jets opstelling

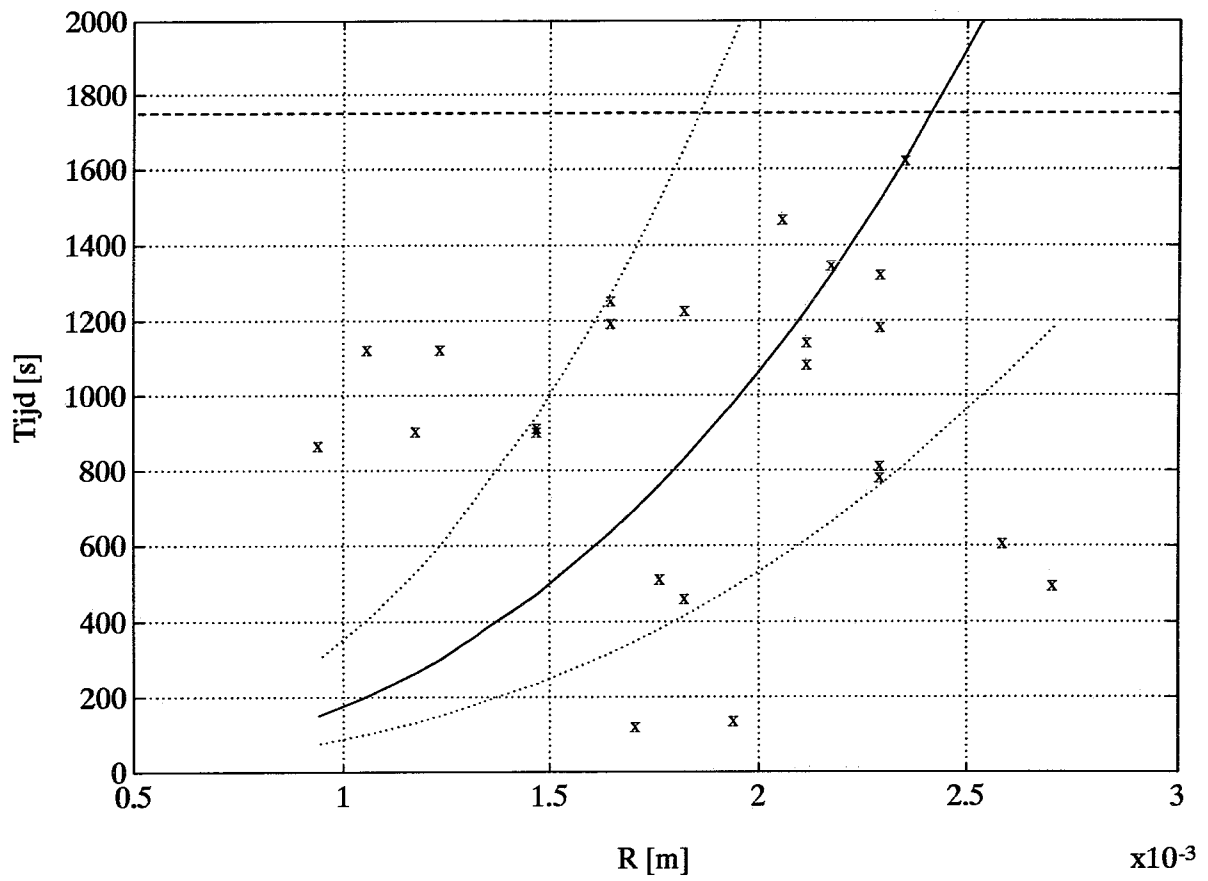
R [m] x10⁻⁴



Figuur 7: *partieel mobiele model gefit op meetdata verkregen uit valproeven vrije oppervlak*



Figuur 8: *partieel mobiele model gefit op meetdata verkregen uit valproeven trillend oppervlak*



Figuur 9: *partieel mobiele model gefit op meetdata verkregen uit beide oppervlakproeven*

Conclusie

Het direct meten van coalescentietijden is geen goede manier om te controleren of een van de drie modellen de realiteit goed beschrijft. Het tijdstip waarop men begint met meten is niet eenduidig vastgelegd, de kritische filmdikte waarbij coalescentie optreedt vertoont een grote spreiding waarschijnlijk als gevolg van de aanwezigheid van stofdeeltjes in de film. De stofdeeltjes prikken als het ware de film door wanneer de filmdikte in de orde grootte komt van de karakteristieke afmetingen van het stofdeeltje. Chesters geeft in zijn collegedictaat van het college "meerfasenstroming" aan dat de grensvlakspanning bij zeer kleine filmdikte niet meer constant is, maar een functie is van de filmdikte. De invloed van de niet constante grensvlakspanning en de aanwezigheid van stofdeeltjes in de film is, gezien het feit dat de filmdikte bij het coalescentieproces in de grootte orde van 100 Angstrom ligt, een merkbare invloed.

Doordat trillingen in de gebruikte modelvloeistoffen snel uitdempen als gevolg van de ten opzichte van bijvoorbeeld water relatief hoge viscositeiten, was het niet mogelijk na te gaan of de kritische filmdikte inderdaad een grote spreiding vertoont als gevolg van ongewenste externe trillingen.

Een betere manier om te bepalen of de modellen voldoen is het verifiëren van de relaties die gegeven worden voor de filmdikte-afnamesnelheid, omdat de uitdrukkingen voor de coalescentietijden worden verkregen door het integreren van de filmdikte-afnamesnelheid. Het meten van de afnamesnelheid van de filmdikte stuit op de nodige praktische problemen omdat de film erg dun is en door het vervormen van de druppels waarschijnlijk niet op een vaste positie in de ruimte blijft.

Wat wel bereikt is, is dat de modellen voor volledig mobiele en volledig mobiele grensvlakken buiten beschouwing kunnen worden gelaten als het gaat om vloeistoffen van vergelijkbare viscositeit. Men zal ook genoeg moeten nemen met het feit dat de uitkomst van de experimenten binnen een behoorlijk brede band rond de gefitte curve liggen.

Literatuur

A.K. Chesters; College dictaat, Introduction to multiphase flow, TU Eindhoven., 1992

A.K. Chesters; The modelling of coalescence processes in fluid-liquid dispersions, a review of current understanding, Trans IChemE, Vol 69, Part A (1991)

D.J. Harbrecht; Opbreekgedrag van druppels in rekstroming, WFW rapport 92060, TU Eindhoven (1992)