

Chaotische stroming in een caviteit

Citation for published version (APA):

Dam, van, J. (1993). *Chaotische stroming in een caviteit: een experimenteel onderzoek*. (DCT rapporten; Vol. 1993.051). 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.

Chaotische stroming in
een caviteit: een
experimenteel onderzoek

Stagiaire: J. van Dam
Stagebegeleider: G. Peters

Rapport nr.: 93.051

Inhoudsopgave

Inleiding	1
Doel	1
Beschrijving van het apparaat	1
Aanpassingen en uitbreidingen aan de opstelling van DSM	2
Karakteristieke kenmerken van de cavieteitstroming met betrekking tot menging	5
Experimenten	7
Verstoringsbronnen	9
Conclusie en aanbevelingen	10
Literatuur	12
Bijlage	

Chaotische stromingen in een caviteit: een experimenteel onderzoek

Inleiding

Voor de bestudering van distributief menggedrag in een laminaire stroming wordt vaak gebruik gemaakt van modelstromingen. Deze modelstromingen bieden de mogelijkheid om de essenties van menggedrag te bestuderen. Bovendien kan bij numerieke simulaties van betreffende stromingen de aandacht volledig gericht worden op het menggedrag aangezien er geen sprake is van complexe geometriën. Een bekende modelstroming is een caviteitstroming. Dit is een twee dimensionale stroming in een rechthoekig vlak. De begrenzing bestaat uit statische en bewegende wanden. Bij de uitgevoerde experimenten bestond de begrenzing uit twee tegenover elkaar liggende statische wanden en twee tegenover elkaar liggende bewegende wanden. Er is een opstelling gebouwd aan de hand van gegevens uit [1]. Hierbij kan de snelheid van de bewegende wanden afzonderlijk worden geregeld.

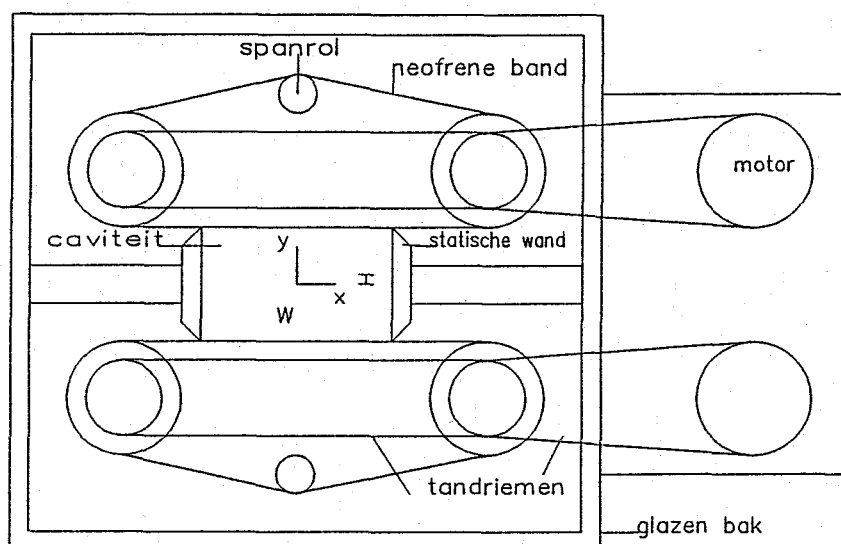
Doel

Het beschreven onderzoek is uitgevoerd in het kader van een stage binnen de vakgroep WFW van de afdeling Werktuigbouwkunde, TUE. Uitgangspunt was een opstelling die gebouwd was bij DSM. Het voornaamste doel van deze stage was om de opstelling zodanig uit te bouwen dat de experimenten zoals beschreven in [1] herhaald konden worden.

Beschrijving van het apparaat

Een schematische weergave van het apparaat staat in figuur 1. Het bestaat uit een glazen bak met afmetingen 26,5x21,5x23 cm. De bak is volledig gevuld met glycerine. In de bak staan twee paar

rollen met daar omheen twee neofrene banden. De banden doen dienst als bewegende wanden. Deze banden worden elk aangedreven met een aparte electromotor. De electromotoren kunnen via een tijd klok aan en uit geschakeld worden. De aandrijving van de rollen gebeurt met behulp van tandriemen. De rollen van een band zijn met een tandriem met elkaar verbonden waardoor een gelijkmatige snelheid verkregen wordt. Tussen de banden zijn spanrollen geplaatst. Deze spanrollen zorgen ervoor dat de banden strak om de rollen blijven liggen. Twee rechthoekige platen van plexiglas dienen als statische wanden. De plaats van de statische wanden kan ten opzichte van elkaar worden ingesteld.

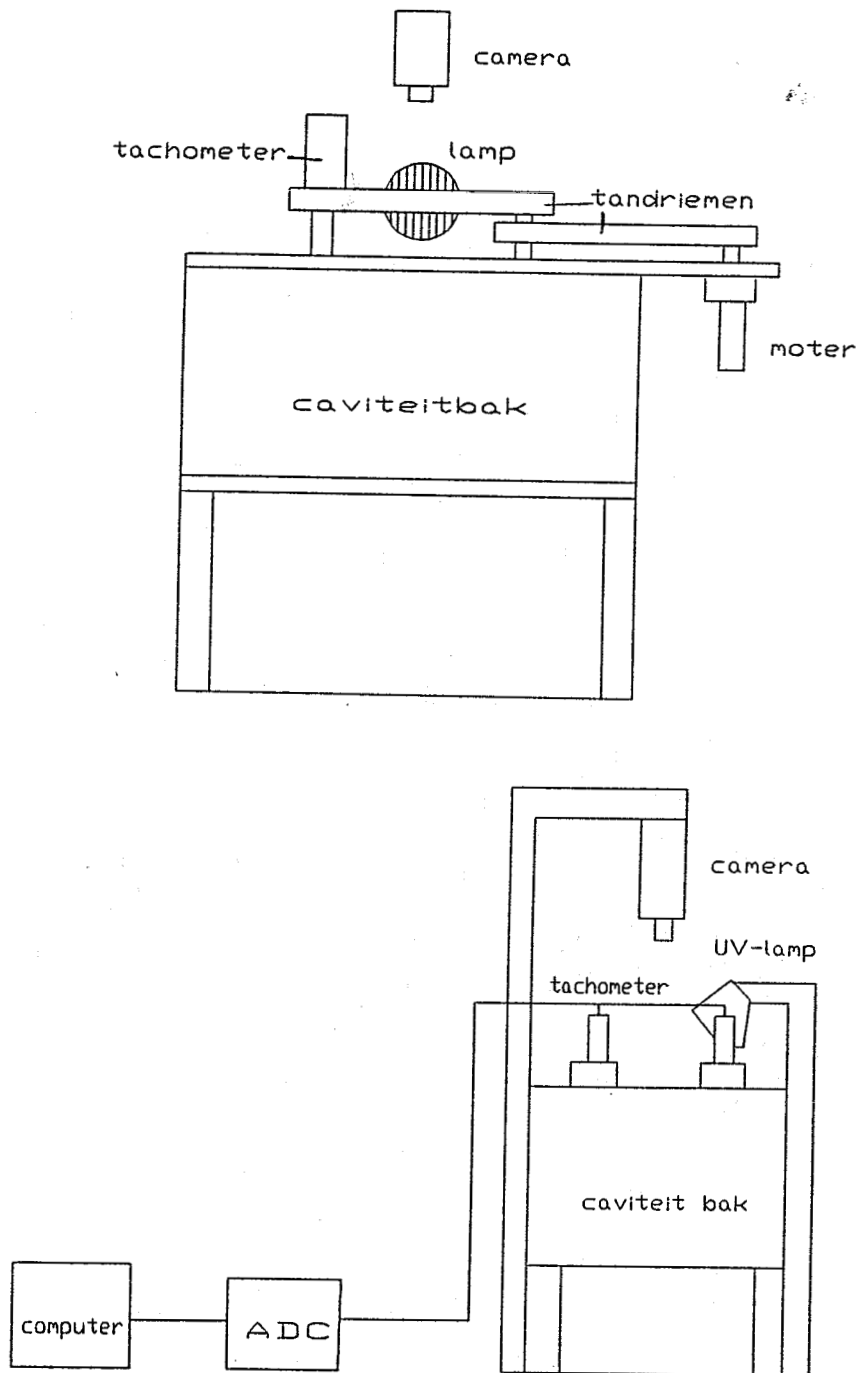


Figuur 1, schematische weergave van het bovenaanzicht van de caviteitsbak.

Aanpassingen en uitbreidingen aan de opstelling van DSM

De volgende aanpassingen en uitbreidingen zijn gedaan aan de opstelling die gebouwd was bij DSM (zie figuur 2 voor een

schematische weergave van de opstelling).



Figuur 2, schematische weergave van de voor- en zijaanzicht van de opstelling.

- Er is voor gezorgd dat er een gecontroleerde snelheid van de bewegende wanden kon worden ingesteld. Hiervoor zijn de rollen waar omheen de neofrene banden draaien voorzien van profiel zodat er geen slib meer tussen de band en de wand optreedt. Daarnaast zijn de rollen die een band aandrijven verbonden met elkaar door middel van een tandriem waardoor de band gelijkmatig wordt aangedreven.
- De opstelling werd voorzien van opnemers zodanig dat de bandsnelheid geregistreerd kon worden op een PC. Er werden daarvoor twee tachometers op de aangedreven rollen geplaatst. De tachometers geven een spanning af die een maat is voor de snelheid van de band. Deze afgegeven spanning wordt via een ADC (Analoog Digitaal Converter) geregistreerd op de PC. Deze opgeslagen gegevens kunnen gebruikt worden bij het doen van numerieke simulaties. De resultaten van de numerieke simulaties zijn dan vergelijkbaar met de experimenten.
- Er is een visualisatie systeem ontworpen. Om het menggedrag te kunnen bestuderen is met behulp van een injectienaald glycerine gemengd met Fluoresceïn sodium salt (FW376.28; Aldrich) geïnjecteerd in de caviteit 2-5 mm onder het oppervlak. De visualisatie van de glycerine gemengd met Fluoresceïn sodium salt gebeurt door op deze vloeistof UV-licht te stralen. Voor de experimenten werd gebruik gemaakt van de volgende UV-lamp: Westinghouse H44-4GS, Lifeguard, Mercury Spot, 100 W, USA. In figuur 2 is schematisch te zien hoe de lamp is opgehangen. De lamp bescheen onder een hoek het vloeistof oppervlak. De camera werd recht boven het vloeistof oppervlak geplaatst. Hierdoor werd voorkomen dat reflecties van de lamp aan het oppervlak in de camera terecht kwamen. De ruimte waarin geëxperimenteerd is werd gedurende de experimenten donker gemaakt, zodat omgeving reflecties vermeden werden.
- De bewegende wanden kunnen een vooraf ingestelde tijd bewegen (tot op de 0.1s nauwkeurig). Dit is verwezenlijkt door een

tijdklok tussen de electromotor en de voedingsbron te plaatsen.

Karakteristieke kenmerken van de caviteitstroming met betrekking tot menging

Het kenmerk van effectief mengen is dat het materiaal opgerekt en daarna gevouwen en geörienteerd wordt, vervolgens weer opgerekt en daarna gevouwen en geörienteerd wordt enzovoorts. Periodieke stromingen zijn hier uitermate geschikt voor. Bij de caviteitstroming betekent dit dat de bewegende wanden een periodieke beweging uitvoeren. Om het een en ander nader te kunnen toelichten in deze stromingen is het nodig om stil te staan bij het begrip periodiek punt.

Een periodiek punt is een punt waar materiaaldeeltes na een vast tijdbestek (een periode tijd T) weer terugkeren. Er kunnen drie typen periodieke punten onderscheiden worden.

a) Hyperbolische punten; bij een hyperbolisch punt stroomt in een richting vloeistof toe en in een andere richting stroomt er vloeistof vanaf.

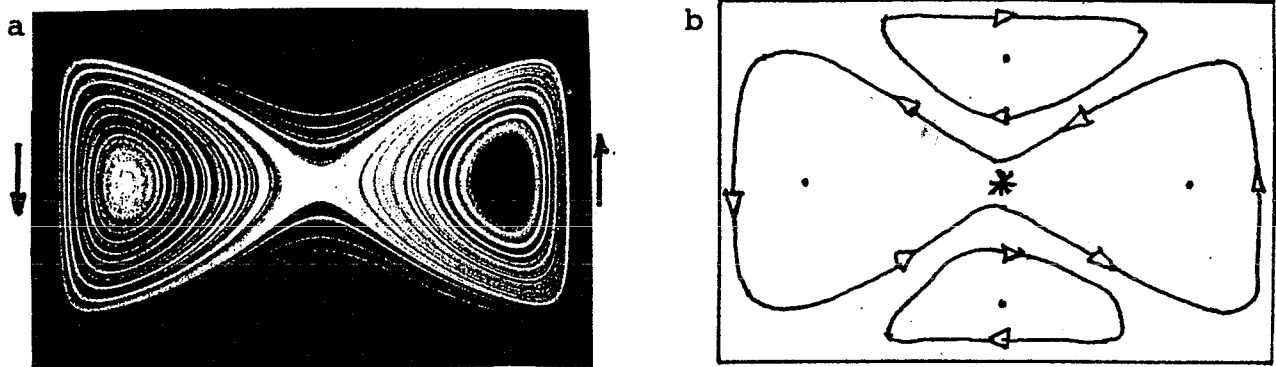
b) Elliptische punten; het elliptisch punt kenmerkt zich doordat er vloeistof omheen draait.

c) Parabolische punten; deze zijn voor de caviteitstroming van ondergeschikt belang (zie [3]).

Het hierna volgend voorbeeld gaat in op een stroming waarbij periodieke punten aanwezig zijn (zie figuur 3). Dit voorbeeld is ontleend aan [2]. Initieel is een lijn gelegd langs de middenlijn, in het verlengde van de statische wanden. De bewegende wanden bewegen met een constante snelheid in tegengestelde richting. Er ontstaat een stroming zoals weergegeven is in figuur 3a. In figuur 3b staat weergegeven waar zich in de stroming de periodieke punten bevinden en zijn er een paar karakteristieke stroomlijnen getekend. In het hyperbolisch punt stroomt in een richting vanuit twee kanten vloeistof toe en

in een andere richting vanuit twee kanten vloeistof vanaf. Hierdoor wordt in dit punt vloeistof opgerekt. Het elliptisch punt kenmerkt zich als een soort eiland. Vloeistof dat zich in een eiland bevindt blijft erin en maakt een roterende beweging. Vloeistof dat zich buiten het eiland bevindt draait om het eiland heen.

Door het invoeren van periodiciteit van de wanden wordt er chaos geïntroduceerd. Ottino gaat hier uitgebreid op in (zie [1]). Hier wordt slechts in het kort een kenmerk van chaos genoemd. Bij een periodieke stroming wordt een 'horseshoe map' gevormd. Een 'horseshoe map' wordt gevormd als een vloeistofelement in een periode gestrekt en gevouwen wordt en weer naar zijn uitgangspositie teruggebracht wordt. Bij een periodieke beweging van de wanden kan deze volgorde verwezenlijkt worden. In het voorgaande voorbeeld is al aangetoond dat de gekleurde vloeistof gestrekt en gevouwen wordt. Bij stationaire stromingen is het niet mogelijk om de vloeistof te oriënteren. De vloeistof zit vast in z'n stroomlijnen patroon. Bij de periodieke stroming wordt de vloeistof op zich ook niet geïoriënteerd (naar z'n uitgangspositie), maar het stroomlijnen patroon verandert door de ene wand stil te zetten en de andere wand te laten bewegen. Hierdoor wordt eenzelfde effect verkregen en ontstaat er een chaotische menging. Als dit proces zich voordoet dan treedt er exponentiële oprekking van het vloeistofelement op. Dit resulteert in een effectief menggedrag.



Figuur 3, een voorbeeld van een stroming met een hyperbolisch punt en twee elliptische punten (uit [2]);
 .: elliptisch punt, *: hyperbolisch punt.

Experimenten

Van alle hieronder beschreven experimenten zijn video opname gemaakt. Deze opname zijn beschikbaar bij de vakgroep WFW van de afdeling Werktuigbouwkunde, TUE.

Allereerst werd er een contole uitgevoerd op de twee dimensionaliteit van de stroming. De twee dimensionaliteit is op twee manieren gecontroleerd. Ten eerste werd vanaf de zijkant van de caviteitbak gekeken of de gekleurde glycerine in een vlak bleef liggen tijdens het experiment. Op de tweede plaats is van bovenaf de caviteitbak gekeken of de lijnen van de gekleurde glycerine, die tijdens de experimenten door oprekking ontstonden, elkaar niet kruisden. De gekleurde glycerine bleek geïnjecteerd 2-5 mm onder het oppervlak goed twee dimensionaal te blijven.

In de eerste drie experimenten wordt initieel een lijn gelegd langs de de y-as (zie figuur 2). Het doel van deze experimenten is om te laten zien dat een stationaire twee dimensionale begrensde stroming slecht mengt.

In experiment 1 wordt alleen de bovenste wand bewogen. De snelheid van de wand is $u_{top} = 1,86$ cm/s.

In experiment 2 wordt zowel de bovenste als de onderste wand in dezelfde richting bewogen. Hierbij is de snelheid $u_{top} = u_{bot} = 1,86$

cm/s.

In experiment 3 worden de beide wanden in tegengestelde richting bewogen met een snelheid $u_{\text{top}} = -u_{\text{bot}} = 1,86 \text{ cm/s}$.

De slechte menging van deze stationaire stroming ligt voornamelijk aan het feit dat de stroomlijnen (raaklijnen aan de plaatselijke snelheden) samenvallen met de stroombanen (baan die een vloeistof aflegt). Hierdoor zit de vloeistof vast aan het zich ingestelde stroomlijnen patroon.

In de experimenten 4 t/m 8 is er initieel één blob (of meer) in de caviteit gelegd. Het doel van de onderstaande experimenten is om te laten zien dat een periodieke stroming een efficiënt menggedrag kan vertonen.

De beweging van de wanden is periodiek. Eerst wordt de bovenste wand van links naar rechts bewogen gedurende een halve periode, vervolgens wordt de bovenste wand van rechts naar links bewogen gedurende een halve periode. Om de onderstaande experimenten te kunnen onderscheiden wordt de volgende dimensieloze parameter ingevoerd: $D = T*U/W$

met: D : dimensieloze wandverplaatsing,

T : periode,

U : snelheid van de wand,

W : breedte van de caviteit.

De totale wandverplaatsing wordt geschreven als: $N_d = D*P$

met: N_d : totale wandverplaatsing,

D : dimensieloze wandverplaatsing,

P : totaal aantal periodes.

De gegevens van de experimenten 4 t/m 8 staan weergegeven in de onderstaande tabel.

Experimentnummer	D-waarde	N-waarde	Initiële conditie
experiment 4	8,9	159,2	blob buiten eiland
experiment 5	8,9	122,8	blob in eiland
experiment 6	12,6	86,6	blob buiten eiland
experiment 7	15,2	86,2	blob buiten eiland
experiment 8.	8,9	86,1	blob op eiland (roze) blob buiten eiland (groen)

In de experimenten waar de blob buiten een eiland worden gelegd (experimenten 4, 6, 7 en 8) is de menging veel beter dan in de experimenten waar de blob op een eiland is gelegd. Deze experimenten laten zien dat er in de caviteitstroming periodieke punten zijn en dat er in de eilanden geen menging optreedt.

Bij het vergelijken van de experimenten 4, 6, 7 en 8 met de eerste drie experimenten is duidelijk te zien dat de periodieke stroming beter mengt dan de stationaire stroming.

Bij de experimenten 4, 6 en 7 is de D-waarde verschillend. In de video opname is te zien dat na 4 tot 5 periodes alle drie de stromingen even goed gemengd zijn. Dit betekent dat het te ver opschroeven van de D-waarde niet slim is uit het oogpunt van efficiënt mengen.

Verstoringsbronnen

Het ideale geval gaat uit van de volgende veronderstellingen:

- a) Er treedt geen diffusie op van de gekleurde glycerine met de omringende glycerine. Dit komt goed overeen met de werkelijkheid daar de diffusiecoëfficiënt van de kleurstof laag is (10^{-8} cm²/s)
- b) De wanden bewegen in een rechte lijn. De neofreen banden zijn flexibel, hierdoor zullen de wanden niet helemaal in een rechte lijn bewegen.
- c) De hoeken van de caviteit lekken niet. In een hoek kan via de band glycerine naar buiten stromen. Om dit zo klein mogelijk te maken is de statische wand afgeschuind daar waar hij de bewegende wand raakt.

Tenslotte moet nog opgemerkt worden dat kleine verstoringen in een chaotische stroming exponentieel worden vergroot.

Conclusie en aanbevelingen

De opstelling is in staat om de experimenten die gedaan zijn in [1] uit te voeren. Daarnaast is laten zien dat een periodieke stroming leidt tot een efficiënt manier van mengen.

De volgende aanbevelingen worden gedaan om de opstelling verder uit te breiden om goed gedefinieerde experimenten te kunnen uitvoeren:

- De caviteit belichten van twee kanten, zodat er geen schaduw meer in de caviteit te zien is.
- De tachometers geven nu een lage spanning af. Tussen de tachometer en de aandrijfrol kan een toerentalversneller geplaatst worden.
- Om de plaats en de grootte van de blob goed gedefinieerd te maken dient een apparaat ontworpen te worden welke de positie van de blob nauwkeurig vastlegt en de grootte van de blob.
- Na een experiment moet de caviteit schoongemaakt worden. Nu gebeurt dat nog met het leeg spuiten van het vervuilde deel van de caviteit. Dit kan verbeterd worden door een apparaat te ontwerpen dat de caviteit tot 10 mm onder het oppervlak in een

keer 'leeglepelt'.

- De aansturing van de motoren is nu direct via een voedingsbron die ingesteld staat op een constante waarde. Hierdoor is de snelheid constant in de tijd. Er kan een aansturing ontwikkeld worden zodanig dat de snelheid continue in de tijd kan variëren. Hierbij kan gedacht worden om een sinusvormig signaal op de banden te zetten.

LITERATUUR

- [1] Ottino, J.M., The kinematics of Mixing: Stretching, Chaos, and Transport, Cambridge Univ. Press, Cambridge, 1990.
- [2] Leong, C.W., and Ottino, J.M., "Experiments on mixing due to chaotic advection in a cavity". J. Fluid Mech. (1989), vol. 209, pp. 463-499.
- [3] Ottino, J.M., "The mixing of fluids", Sci. Am. (1989), 260, 56-57.

BIJLAGE

Van de experimenten zijn video opname gemaakt op een VHS videorecorder. Deze opname zijn beschikbaar bij de vakgroep WFW van de afdeling Werktuigbouwkunde, TUE. Hieronder staat een tabel weergegeven met de plaats van de verschillende experimenten op de band.

Experiment nummer	Tijd (min.s)
1	0.00 - 5.00
2	5.00 - 9.53
3	9.53 - 15.01
4	15.01 - 20.05
5	20.05 - 25.30
6	25.30 - 30.21
7	30.21 - 35.45
8	35.45 - 40.49