

archief
3212-222

TECHNISCHE HOGESCHOOL DELFT

DRUPPELGROOTTEVERDELING EN TOTAALOPPERVLAK
VAN VLOEISTOF-VLOEISTOF DISPERSIE IN GEROERDE
VATEN

slecht origineel

A.C.W. LEENARDS
J.J.M. RUEMKENS
AFSTUDEERVERSLAG

LABORATORIUM VOOR FYSISCHE TECHNOLOGIE

TECHNISCHE HOGESCHOOL DELFT

"DRUPPELGROOTTEVERDELING EN TOTAALOPPERVLAK VAN

VLOEISTOF-VLOEISTOF DISPERGIE IN GEROERDE VATEN".

Laboratorium voor Fysische Technologie

A.C.W. Leenards

J.J.M. Ruemkens.

januari 1967.

INHOUD

Pag.

1.	Inleiding; Doelstelling; Aansluiting literatuur.	1.
2.1	Opzet; Meetmethode en Telapparaat.	1.
2.2	Werkwijze; Verwerking.	4.
2.3	Beschrijving van de apparatuur; Gegevens waaronder de experimenten zijn verricht.	7.
3.	Metingen in het grote vat. Invloed van invoer, plaats en snelheid. Verschillende toerentallen.	10.
4.	Metingen in het kleine vat.	14.
4.1	Invloed invoer; plaats en snelheid.	15.
4.2	Meetresultaten laag toerental	17.
4.3	Meetresultaten hoog toerental. - standaardinvoer - invoer elders	18.
4.4	Totaal oppervlak als functie van het toerental	19.
5.	Diskussie	21.
6.	Konklusies	24.
7.	Aanbevelingen	24.
8.	Literatuur, symbolen, definities.	25.
Appendix I	Manuaal	43
"	II Algolprogramma	46
"	III Theorie van de lokale isotropie	49

1. Inleiding

Het onderzoek aan een vloeistof-vloeistof dispersie in een geroerd-gesloten vat is bij één fractie disperse fase ladingsgewijs gedaan in twee vaten van verschillende grootte met dezelfde geometrie.

Bij één toerental van de roerder is de invloed nagegaan van de plaats en de snelheid van de invoer op de deeltjesgrootteverdeling van de disperse fase.

Verder zijn metingen bij verschillende toerentallen uitgevoerd waarbij de disperse fase uit de bodem van het vat onder de roerder met één bepaalde snelheid is ingevoerd.

Doelstelling

Het onderzoek heeft tot doel de bepaling van de druppelgrootteverdeling en het specifiek grensvlak van een benzeen in waterdispersie in geometrisch gelijkvormige vaten bij verschillende toerentallen.

Aansluiting met de literatuur

Overeenkomstig berekeningen van Shinnar en Church (1), die uitgaan van Kolmogoroff's theorie van de lokale isotropie bij turbulentie, zijn voor de verschillende toerentallen Weber- en Reynolds getallen berekend waarbij is aangenomen dat de diameter van de deeltjes disperse fase veel groter is dan de "mikroschaal van turbulentie".

2.1 Opzet

Het benzeen wordt gelijkmatig uit de bodem van een gesloten vat onder de turbineroerder ingevoerd. Dit gebeurt om te zorgen dat al het benzeen eerst de "jetstroom" van de roerder

passeert alvorens in het bovencompartiment van het vat terecht te komen. Zodoende is de kans het geringst dat onder het deksel van het vat zich een benzeenlaag vormt. De inkomende benzeenstroom breekt bij het binnenkomen van het vat direct op in grote druppels. Deze druppels worden meegesleurd door een verticale, wervelachtige stroom naar de roerder toe. In de "jetstroom" worden de grote druppels "verstoven" tot druppeltjes die een bepaalde grootteverdeling zullen hebben welke eventueel nog afhankelijk is van het optreden van koalescentie elder in het vat. De ingestelde verdeling wordt gefixeerd met een nylon-6-10 vormende, grensvlakpolykondensatie. Deze kondensatie is een reactie, die zich afspeelt tussen de reactiecomponenten sebacyldichloride en hexamethyleen diamine, in het grensvlak van benzeen en water. De reactiecomponenten zijn respectievelijk afkomstig uit de disperse benzeenfase en uit de continue waterfase. Het macromolekuul dat bij de reactie wordt gevormd heet nylon-6-10. Het bestaat uit afwisselend achtermekaar geschakelde reactiecomponenten (3). Met het vorderen van de reactie vormen al deze macromolekulen, die noch in benzeen noch in water oplosbaar zijn, in het grensvlak een vast huidje van nylon-6-10. Zodoende worden de benzeendruppeltjes ingepakt tot bolletjes. Van de gefixeerde verdeling worden door een mikroskoop foto's gemaakt. Hierbij wordt ook een standaard-milimeter gefotografeerd. De deeltjesgrootteverdeling van de bolletjes wordt opgemeten aan de hand van de, op een scherm geprojecteerde, opnamen.

Meetmethode en telapparaat

Het bepalen van de grootteverdeling van de bolletjes gebeurt door ze in te delen in klassen naar diameter en per klasse het aantal bolletjes te tellen.

Hierbij wordt de vergroting door de projector ingesteld met de standaard-milimeter.

Met deze geprojecteerde milimeter wordt op het scherm een schaalverdeling "geijkt", die zich bevindt op een lineaal.

Wanneer nu bijvoorbeeld de lengte van 100 schaaldelen van de lineaal overeenkomt met de standaardmilimeter, dan zal de lengte van een schaaldeel overeenkomen met 10μ . De eerste klasse bevindt zich tussen de 0 en de 10μ , de tweede tussen 10 en 20μ , etc.

De vervolgens op het scherm geprojecteerde bolletjes worden met behulp van de "geijkte" lineaal opgemeten en geteld.

Het tellen van de bolletjes is als volgt vergemakkelijkt. De schaalverdeling, die de klassen aangeeft, is aangebracht aan de onderkant van een perspexlineaal. Met iedere klasse korrespondeert in de lineaal een kontaktpunt dat het begin is van een elektrisch circuit waarin achtereenvolgens voorkomen: een telefoonteller, die het aantal bolletjes in de betreffende klasse moet tellen, een telefoonteller die het totaal aantal bolletjes moet tellen, een gelijkstroom voedingsapparaat en een kontaktstift, waarmee het circuit gesloten kan worden, om te tellen. Het resultaat van de telling van de verdeling wordt op de telefoontellers verzameld.

In figuur 1. is de gehele schakeling weergegeven. (pag 27)

2.2. Werkwijze

Het vat is gevuld met een 0,1 molair oplossing van natriumhydroxide in water omdat de reactie tussen sebacyldichloride en hexamethyleendiamine alleen goed verloopt in een basisch milieu.

Bij de sluiting van het vat is de aanwezige lucht verwijderd om geen last te krijgen van luchtballen. Dit is ook de reden waarom er met gesloten vaten is gewerkt.

Bij een temperatuur van 20°C en het gewenste toerental wordt onder de roerder met een bepaalde, konstante snelheid een 0,1 molair oplossing van sebacyldichloride in benzeen ingevoerd tot een fractie, groot 0,042, van het vatvolume.

Wanneer de verdeling zich, na ongeveer 45 minuten, heeft ingesteld, worden de benzeen-druppeltjes gefixeerd. Dit gebeurt door de gelijkmatige toevoeging van zoveel in water opgelost hexamethyleendiamine, dat de concentratie in het vat 0,02 molair wordt. Bij deze oplossing is een bepaalde hoeveelheid van een 1%-oplossing van natriumlaury-sulfaat in water gedaan om te voorkomen dat bij de fixatie de bolletjes samenklonteren.

Na de toevoeging wordt het toerental zover teruggenomen dat zo min mogelijk bolletjes worden stukgeslagen en toch de inhoud van het vat goed gemengd blijft.

Na ongeveer vier minuten, wanneer het nylonhuidje om de benzeen-druppels stevig genoeg is, wordt een monster genomen dat direkt wordt gefotografeerd. Dit direkt fotograferen is nodig omdat door het nylonhuidje benzeen naar buiten kan verdwijnen waardoor de diameter van de bolletjes verandert. Als het erg lang (24 uur) duurt zelfs in die mate dat de bolletjes ineengeschrompeld zijn.

De opgenomen film wordt ontwikkeld en het fotonegatief van de bolletjes wordt door middel van een projektor via een spiegel op een scherm geprojecteerd. Om het tellen te vergemakkelijken is het scherm schuin geplaatst ten opzichte van de horizontaal. Van een proef wordt een aantal bollen geteld tussen de 500 en 1.000. Een uitgebreider schema van handelingen is gegeven in appendix 1.

Verwerking

Het resultaat van een proef is een aantalverdeling waaruit met behulp van de gemiddelde diameter van iedere klasse een oppervlakteverdeling is te berekenen. Gezien de aard van beide verdelingen zal de grootste bijdrage tot het oppervlak, in de oppervlakteverdeling, liggen bij een grotere klasse dan de grootste bijdrage tot het aantal in de aantalverdeling.

Bij vloeistof-vloeistof dispersies, waar de interesse uitgaat naar de grootte van het grensvlak tussen de beide fasen, geeft daarom de oppervlakteverdeling een beter beeld van de resultaten.

Een andere reden om de oppervlakteverdeling te gebruiken is van experimentele aard. Bij het tellen van de bolletjes kunnen in de eerste klassen grote fouten ten aanzien van de werkelijke verdeling worden gemaakt. De vertekening die daardoor ontstaat in de aantalverdeling neemt in de oppervlakteverdeling aanzienlijk af omdat daar de bijdrage uit de kleinere klassen minder is. Dit komt ook overeen met gedane waarnemingen.

Bij het uitzetten van de oppervlaktebijdragen tegen de bijbehorende gemiddelde diameter van de klasse vertonen de verdelingen steeds een a-symmetries beeld met een naar links verschoven maximum. Dit beeld vertoont overeenkomst met het beeld van een Erlang-verdelingsfunctie. Daarom

wordt nagegaan of de gevonden verdelingen met zo'n
functie overeenkomen.

De functie die de oppervlakteverdeling moet geven is af-
geleid in het verslag van de Bree (3).

De gedaante van deze functie is:

$$\left(\frac{3A^* (r_i)^2}{A^*} \right) = \frac{m}{(m-1)!} \cdot \left(m \cdot \frac{A^* \cdot r_i}{3} \right)^{m-1} \cdot \exp -m \left(\frac{A^* \cdot r_i}{3} \right)$$

Hierin zijn A^* en m de parameters van de verdeling die als
volgt zijn gedefiniëerd :

$$A^* = \frac{\sum_{i=1}^n a_i \cdot n \cdot d_i^2}{\sum_{i=1}^n a_i \cdot \frac{n \cdot d_i^3}{6}} \quad \left[\frac{1}{m} \right]$$

n = aantal klassen
 d_i = gemiddelde diameter
van klasse i .
 a_i = aantal bolletjes in
klasse i .

$$m = \frac{1}{1 - \frac{A^*}{R^*}} \quad , R^* = \frac{6n \cdot \sum_{i=1}^n a_i \cdot d_i}{\sum_{i=1}^n a_i \cdot \frac{n \cdot d_i^3}{6}} \quad \left[\frac{1}{m^2} \right]$$

Verder is:

$$A^*(r_i) = \frac{a_i \cdot n \cdot d_i^2}{\sum_{i=1}^n a_i \cdot \frac{n \cdot d_i^3}{6}} \quad \left[\frac{1}{m^2} \right]$$

Uit de gemeten verdelingen volgen experimentele waarden voor
 A^* en m .

Om de resultaten van de verschillende proeven met elkaar te vergelijken wordt

$$\frac{3 \cdot A^*(r_i)}{A^{*2}} \quad \text{uitgezet tegen}$$

$$\frac{A^* \cdot r_i}{3}$$

De aanpassing zal goed zijn als blijkt dat de verdelingen de theoretische curves volgen.

Voor de bovengenoemde berekeningen is een Algol-programma gemaakt (Appendix 2). De grootte-verdeling van de dispersie wordt bepaald door de gezamenlijke werking van traagheids-, viskeuze- en grensvlakspanningskrachten. Daarom worden voor de diverse gevallen de getallen van Reynolds en Weber bekeken.

Op de roerderdiameter betrokken is Re:

$$Re \text{ I} = \frac{N \cdot D^2}{\nu}$$

Als karakteristieke lengte in Re en We kan ook een gemiddelde druppeltjesdiameter worden genomen. Re en We zijn dan betrokken op de disperse fase. Voor de karakteristieke lengte wordt genomen:

$$\bar{d} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{a_i \cdot n \cdot d_i^2}{\sum_{i=1}^n a_i \cdot n d_i^2} \cdot d_i \right)$$

(= "surface Sauter mean")

$$= \frac{6}{A^*}$$

Als de deeltjesdiameter veel groter is dan de "lokale graad van turbulentie"* dan levert de theorie van de lokale isotropie voor turbulentie (1) de volgende formulerings op:

$$Re_{II} = \frac{N \cdot D^{\frac{2}{3}} \cdot \bar{d}^{\frac{4}{3}}}{\nu}$$

$$We = \frac{N^2 D^{\frac{4}{3}} \bar{d}^{\frac{5}{3}}}{\sigma}$$

Als Weber konstant is dan zal, omdat $\bar{d} \propto A^{*-1}$, A^* evenredig zijn met $N^{\frac{6}{5}}$. Met toenemend toerental zal Re_{II} dan af moeten nemen.

* Dit is in Appendix 3 aannemelijk gemaakt.

2.3. Beschrijving van de apparatuur

In figuur 2^(*) is een schets weergegeven van de gebruikte apparatuur. Ter onderscheiding van de andere vaten in de beschrijving wordt het "geroerde vat", proefvat genoemd. De temperatuur in het proefvat wordt konstant gehouden door water rond te pompen via een thermostaatbak en de dubbele wand van het proefvat.

Het vat E (zie figuur-2)-dient voor het invoeren van het benzeen. Dit gebeurt door eerst het vat E te vullen met benzeen via vat C en met behulp van de geopende kraan 6.

Het invoeren van het benzeen in het "proefvat" vindt plaats met behulp van perslucht in vat B. De rotameter dient om de invoersnelheid konstant te houden. Tijdens de invoer van het benzeen wordt zo met kraan 7 gemanipuleerd, dat het proefvat niet overloopt. Dit kan omdat het waterniveau in vat A lager is dan het niveau in het proefvat.

Het naar vat F meegevoerde benzeen kan tijdens de proef weer naar boven stijgen en in het vat terecht komen. Het hexamethyleendiamine voor het fikseren wordt toegevoegd via vat D met behulp van perslucht.

Het toerental van de roerder wordt gemeten met een Tachometer.

Gegevens waaronder de experimenten zijn verricht.

De geometrie van de vaten is ontleend aan de standaardisatie toegepast door Voncken (2).

In figuur 3^(**) is de tekening van een vat weergegeven. De gegevens zijn in tabel 1^(***) samengevat.

In appendix 1 worden de handelingen beschreven die bij een proef horen.

* pag 29
** pag 30
*** pag 28

3. Metingen in het grote vat

In het stadium van de proefnemingen waarin met geopend vat is gemeten, is bij 900 rpm de invloed op het specifiek grensvlak bepaald van de insteltijd; die ligt tussen invoer en fixatie.

Dit is gedaan voor vier insteltijden, 15, 30, 45 en 60 minuten bij invoer in het "circulatioog" met een snelheid van 1 ml.s^{-1} . Bij 45 minuten bleek de verdeling zich te hebben ingesteld. Het specifiek grensvlak is dan vrijwel konstant.

De invloed van de invoersnelheid is bij een fixatietijd van 15 minuten eenmaal onderzocht met een invoersnelheid van $3,0 \text{ ml.s}^{-1}$. Het specifiek grensvlak was niet duidelijk verschillend.

Wat de plaats van de benzeeninvoer betreft, bleek invoer vlak bij de roerder in de "jetstream" een beduidend kleiner specifiek oppervlak op te leveren.

In tabel 2 zijn ter vergelijking drie gemiddelde waarnemingen bij 900 r.p.m. weergegeven.

TABEL 2

Invloed, plaats en invoersnelheid bij geopend vat en 900 rpm.

invoer	specifiek grensvlak	fixatietijd	aantal proeven
bij de roerder	$5,7 \pm 0,4$	6	3
in het "circulatie- oog"	$6,4 \pm 0,2$	15	3
	$7,2 \pm 0,4$	45	4

ie tabel I, pag 28

$[10^4 \cdot \text{m}^2 \cdot \text{m}^{-3}]$

$[\text{min.}]$

De waargenomen verdelingen strekken zich gemiddeld uit van 0 tot 180 μ .

De proeven in het gesloten vat zijn uitgevoerd met de invoer van het benzeen uit de bodem van het vat onder de roerder, omdat daarvan betere resultaten werden verwacht. Voor de fixatietijd is de eerder gevonden 45 minuten aangehouden.

Op de eerste plaats is de invloed van de invoersnelheid op de verdeling bepaald bij 900 r.p.m.

In tabel 3 zijn de waarnemingen samengebracht.

TABEL 3

Invloed van de invoersnelheid bij gesloten vat, 900 r.p.m. en 45 minuten fixatietijd.

Invoer snelheid	Specifiek grensvlak	Erlang parameter m	aantal proeven
0,2	7,6 $\pm$ 0,4	7	2
0,4	8,2 $\pm$ 0,3	6	3
0,9	6,7 $\pm$ 0,3	6	2
1,25	7,4 $\pm$ 0,6	6	3
2,0	7,0 $\pm$ 0,4	7	2
2,6	7,6 $\pm$ 0,3	6	2
[ml.s ⁻¹]	[10 ⁴ .m ² .m ⁻³]	[-]	[-]

In tabel 3 zijn in de kolom voor het specifieke grensvlak de gebieden aangegeven waarbinnen de waarnemingen liggen.

Het blijkt dat bij de invoersnelheid van $0,4 \text{ ml.s}^{-1}$ gemiddeld het grootste specifieke grensvlak wordt gevonden. Overigens valt niet uit de waarnemingen te konkluderen dat de invoersnelheid van invloed is op de verdeling. Dit komt overeen met de waarneming, gedaan in het open vat.

In grafiek 8. zijn de verdelingen uitgezet met als x en y de variabelen uit de Erlang-vergelijking.

Uit de grafiek blijkt dat de verdelingen goed passen en dat ze de theoretische kromme voor $m = 6$ redelijk volgen.

De reproduceerbaarheid van een aantal proeven is weergegeven in grafiek 9. De reproduceerbaarheid van de opnamen - d.i. het vergelijken van twee series opnamen van hetzelfde monster - is weergegeven in grafiek 10.

Het blijkt dat de spreiding als gevolg van de verschillende opnamen overeenkomt met de spreiding tussen de proeven. Dit blijkt ook bij het vergelijken van de specifieke grensvlakken.

Een aantal proeven zijn uitgevoerd met andere toerentallen bij een invoersnelheid van $0,4 \text{ ml.s}^{-1}$.

In tabel 4 zijn de resultaten en berekeningen samengevoegd.

TABEL 4

Proeven bij verschillende toerentallen in het grote vat.

toeren- tal	Specifiek grensvlak	Erlang parameter m	We betrokken op d	Re ^I betr. op D	Re ^{II} betr. op d
700	6,4	5	13,1	2,7	6,57
900	8,2	6	14,4	3,4	6,39
1000	8,4	5	17,2	3,8	6,44
1050	9,9	9	14,6	4,0	5,45
1200	8,8	6	22,0	4,6	7,31
1400	12,1	4	18,4	5,4	5,57
1600	15,8	7	15,6	6,2	4,48
1800	17,1	4	17,0	6,8	4,53
2000	25,8	5	10,8	7,7	2,92

[min^{-1}]

[$10^4 \cdot \text{m}^2 \cdot \text{m}^{-3}$]

[-]

[10^{-3}]

Uit tabel 3 volgt dat het We-getal een grote spreiding vertoont vooral bij 1.200 en 2.000 toeren.
Het gemiddelde van alle waarden is $16 \cdot 10^{-3}$.

In grafiek 12 is het specifiek grensvlak (A^*) uitgezet tegen het toerental (N). Tevens zijn hier de resultaten ~~van de Pree (3) weergegeven en de resultaten~~ van het kleine vat.

De lijn heeft een helling $6/5$. Hier moeten de punten op-
liggen als We konstant is.

De verdelingen zijn in grafiek 11 weergegeven. De punten
liggen om de theoretische kromme voor $m = 6$.

De getallen van Reynolds **II** in tabel 4. vertonen een dalende
tendens, wat verwacht mag worden als We konstant is.

4. Metingen in het kleine vat.

Verschillende parameters zijn getest op hun invloed op de verdeling. In het kleine vat (1,53 l.) bleek vooral de snelheid van invoeren van de discontinue fase (benzeen) van veel belang te zijn.

Voordat werd overgegaan op werkelijke metingen werd eerst een serie waarnemingen gedaan om na te gaan hoe lang het systeem nodig had om tot een constante verdeling te komen. Gebleken is dat 45 min. voldoende is. De deeltjes grootte verdeling kan daarna nog iets verder veranderen zonder dat dit nog veel invloed heeft op de oppervlakte-verdelingscurve en op het specifiek oppervlak zoals uit de twee volgende tabellen VIA en VIB te zien is.

Tabel VIA heeft betrekking op de metingen waarbij invoer van de disperse fase uit de bodem geschiedde bij 1000 rpm.

Tabel VIB geeft de waarden van die serie metingen waarbij in het "circulatie-oog" werd ingevoerd bij 800 rpm.

TABEL VIA

Spec. opp. en m als functie van de insteltijd bij 1000 rpm.

Insteltijd in min.	m	spec. opp. in m^2/m^3
15	11	$6,7 \cdot 10^4$
30	19	$8,7 \cdot 10^4$
45	13	$9,8 \cdot 10^4$
60	14	$10,5 \cdot 10^4$
90	10	$9,6 \cdot 10^4$

TABEL VI B

Spec. opp. en m als functie van de insteltijd bij 800 rpm.

Insteltijd in min.	m	spec. opp. in m^2/m^3
10	8	$6,8 \cdot 10^4$
20	9	$7,4 \cdot 10^4$
30	11	$7,8 \cdot 10^4$
60	9	$8,0 \cdot 10^4$

Invloed van de invoer

Daar het vermoeden bestaat dat bij de lage benzeen-fracties waarmee gewerkt wordt weinig of geen coalescentie optreedt tussen de benzeen druppeltjes kan de initiële verdeling van groot belang zijn voor de uiteindelijke verdeling.

Deze initiële verdeling zal voor een belangrijk deel bepaald worden door de wijze van invoeren van de disperse fase. Op twee manieren is dit onderzocht nl. door de plaats van invoer in het vat en de snelheid waarmee dit gebeurt te variëren.

Invloed van de plaats van invoer.

Deze invloed werd beschouwd in een open en een gesloten vat zodat de resultaten alleen relatieve waarde hebben.

In het open vat werd ingevoerd direct op de roerder en in het "circulatie-oog". In fig. 1 zijn deze twee plaatsen weergegeven door resp. een 1 en een 2. Beide invoeren geschieden door een smal pijpje (diameter ongeveer 4 mm.) bij een toerental van 900 rpm.

Opvallend is dat bij invoer direct op de roerder een zeer brede verdeling ontstaat die loopt van 10 μ tot 300 μ diameter, terwijl bij de invoer in het oog slechts deeltjes voorkomen met een diameter tussen 40 μ en 150 μ . De factor m voor beide metingen was 13 resp. 20, wat er ook op duidt dat de eerste verdeling breder is dan de tweede.

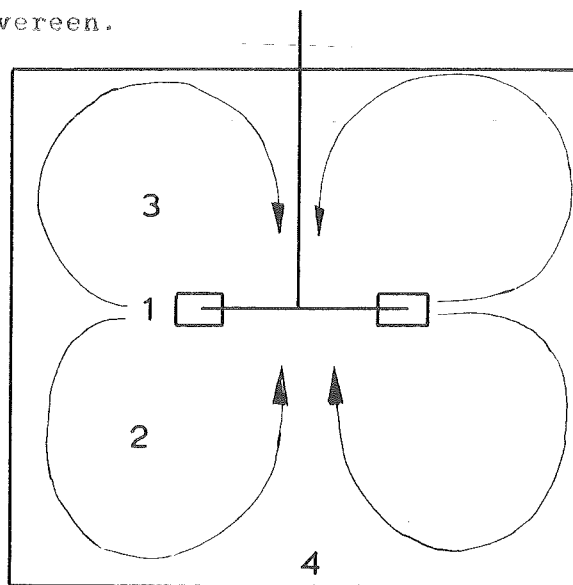
Ook het specifiek oppervlak verschilt behoorlijk, ongeveer een factor 2. Voor de eerste meting was dit nl.

$$3,2 \cdot 10^4 \text{ m}^2/\text{m}^3, \text{ voor de andere } 6,4 \cdot 10^4 \text{ m}^2/\text{m}^3.$$

In het open vat werd ook nog een meting gedaan waarbij het benzeen werd ingevoerd in het oog terwijl het toerental van de roerder 650 rpm was, waarna de snelheid werd verhoogd tot 900 rpm en het systeem de gelegenheid kreeg zich in te stellen.

Het resultaat hiervan was ook een iets bredere verdeling ($m=15$), maar nu met een belangrijk hoger specifiek oppervlak nl. $7,8 \text{ m}^2/\text{m}^3$.

Het tweede systeem waarbij de invloed van de plaats van invoer werd bepaald was in een gesloten vat. Hier werd op drie verschillende plaatsen ingevoerd, eenmaal in een oog in het benedencompartiment van het vat, eenmaal in een oog van het bovencompartiment en eenmaal uit een gat in de bodem. In fig. 4 zijn deze plaatsen weergegeven door resp. de nrs. 2, 3 en 4. Hierbij werden geen noemenswaardige verschillen gevonden. Zowel de waarden van m . als van het specifiek oppervlak kwamen vrij goed overeen.



figuur 4.

Schematische voorstelling van de
circulatiestroming.

4.1.2. Invloed van de snelheid van invoer.

Bij de proeven in het gesloten vat met invoer in het oog van de circulatiestroming was gebleken dat bij langzame invoer een zeer brede verdeling ontstond. Dit was een aanleiding om ook de invloed van deze parameter te beschouwen.

In het invoersysteem is een rota-meter gebouwd zodat de invoersnelheid vrij nauwkeurig bepaald kon worden. Gebleken is nu dat bij zeer langzame en bij zeer snelle invoer iets bredere verdelingen ontstaan. Daartussen blijkt een traject van invoersnelheden te zijn, waar de verdeling bijna niet afhankelijk is van deze parameter.

De oppervlakte-verdelingscurves vallen vrijwel samen, maar uit het specifiek oppervlak is duidelijk te zien dat de snelheid van invoer zeer belangrijk is. Dit is geïllustreerd in tabel VII.

TABEL VII

Invloed van invoersnelheid op waarde m
en specifiek oppervlak.

Stand Rotameter	invoersnelheid in ml/sec.	m	spec. opp. in m^2/m^3 .
2	0,06	8	$7,2 \cdot 10^4$
4	0,20	8	$8,5 \cdot 10^4$
5	0,36	9	$9,5 \cdot 10^4$
6	0,55	9	$9,2 \cdot 10^4$
10	1,4	9	$5,5 \cdot 10^4$

Twee series metingen zijn uitgevoerd bij een gemiddelde invoersnelheid (debiet 0,36 ml/sec), een invoer resp. in het oog van het stromingsbeeld en een vanuit de bodem. Het systeem kreeg steeds tussen de 45 tot 60 minuten om zich in te stellen alvorens de verdeling gefixeerd werd.

4.2 Metingen bij lage toerentallen.

Duidelijk is bij deze twee series metingen gebleken dat de uiteindelijke oppervlakte-verdeling over de deeltjes door twee verschillende mechanismen bepaald wordt. Eén mechanisme bij lage toerentallen en één bij hoge toerentallen.

Allereerst volgen in tabel VIII de resultaten van de proeven bij lage toerentallen. (van 700 rpm tot 1100 rpm).

TABEL VIII (lage toerentallen)

Specifiek oppervlak en m als functie van het toerental.

Toerental in rpm	Spec. opp. in m^2/m^3		m	
	invoer vanuit de bodem	invoer in het "oog".	invoer uit de bodem	invoer in het "oog".
700	$6,7 \cdot 10^4$	$6,6 \cdot 10^4$	10	9
750	$6,7 \cdot 10^4$		9	
800	$7,3 \cdot 10^4$	$8,2 \cdot 10^4$	9	9
900	$7,9 \cdot 10^4$	$8,4 \cdot 10^4$	8	8
1000	$10,5 \cdot 10^4$	$9,4 \cdot 10^4$	10	9
1100	$10,2 \cdot 10^4$	$10,1 \cdot 10^4$	7	10

Ook hier is dus duidelijk te zien dat de plaats van invoer weinig invloed heeft.

4.3 Meetresultaten bij hogere toerentallen.

De berekeningen van de oppervlakte verdelingen geven hier een veel lagere waarde van m., dus een plattere verdeling, zoals uit tabel IX blijkt.

TABEL IX (hoge toerentallen (1200 - 2000 rpm)).

Specifiek oppervlak en m als functie van het toerental.

Toerental in rpm.	Spec. opp. in m^2/m^3		m	
	invoer vanuit de bodem	invoer in het "oog".	invoer uit de bodem	invoer in het "oog".
1200		$12,5 \cdot 10^4$		6
1250	$15,3 \cdot 10^4$		5	
1300		$10,4 \cdot 10^4$		11
1400		$12,3 \cdot 10^4$		4
1500	$15,6 \cdot 10^4$	$18,0 \cdot 10^4$	6	6
1750	$16,5 \cdot 10^4$	$24,7 \cdot 10^4$	4	3
2000	$28,9 \cdot 10^4$	$35,9 \cdot 10^4$	5	3

Behoudens een enkele afwijking liggen de waarden van m een stuk lager dan bij lage toerentallen.

Voor de afwijkende waarden die optreden bij de spec. opp. bij invoer uit de bodem resp. in het "oog". Zie Discussie.

4.4 Totaal oppervlak als functie van het toerental.

Een van de belangrijkste redenen voor dit onderzoek was om te komen tot een mathematische vergelijking die de afhankelijkheid weergeeft tussen het toerental van de roerder en het specifiek grensvlak van de disperse fase.

Als de gemiddelde diameter $\bar{d}$ van de bolletjes veel groter is dan de microschaal van de turbulentie, dan spelen de visceuze krachten geen rol en wordt de verdeling alleen bepaald door de verhouding van de traagheidskrachten en de capillaire krachten (Litt. 1.) De verhouding van deze twee krachten wordt gegeven door het getal van Weber:

$$We = \frac{n^2 D^{4/3} \bar{d}^{5/3} \rho}{\sigma} \quad (\text{zie appendix III})$$

Daarnaast zijn in dezelfde tabel de getallen van Reynolds gegeven welke berekend zijn volgens de betrekking

$$Re^I = \frac{ND^2}{\nu} \quad (\text{betrokken op de roerder})$$

en volgens

$$Re^{II} = \frac{ND^{2/3} \bar{d}^{4/3}}{\nu} \quad (\text{betrokken op de druppels})$$

waarin voor $\bar{d}$ weer is genomen $\frac{6}{A^*}$.

TABEL X

We-getallen en Re-getallen bij verschillende toerentallen.

Toerental in rpm.	We		$Re^I = ND^2/\nu$	$Re^{II} = ND^{2/3} \bar{d}^{4/3}/\nu$	
	invoer uit bodem	invoer in "oog"		invoer uit bodem	invoer in "oog"
700	$8,5 \cdot 10^{-3}$	$9,2 \cdot 10^{-3}$	$1,64 \cdot 10^4$	5,25	5,28
750	$9,6 \cdot 10^{-3}$	—	$1,76 \cdot 10^4$	5,63	
800	$9,7 \cdot 10^{-3}$	$8,1 \cdot 10^{-3}$	$1,88 \cdot 10^4$	5,32	2,70
900	$10,8 \cdot 10^{-3}$	$10,0 \cdot 10^{-3}$	$2,10 \cdot 10^4$	5,45	5,02
1000	$8,2 \cdot 10^{-3}$	$10,3 \cdot 10^{-3}$	$2,35 \cdot 10^4$	4,04	4,82
1100	$10,4 \cdot 10^{-3}$	$11,8 \cdot 10^{-3}$	$2,58 \cdot 10^4$	4,75	4,78
1200		$11,1 \cdot 10^{-3}$	$2,80 \cdot 10^4$	3,94	
1250	$7,2 \cdot 10^{-3}$		$2,93 \cdot 10^4$		
1300		$14,4 \cdot 10^{-3}$	$3,06 \cdot 10^4$		
1400		$12,8 \cdot 10^{-3}$	$3,29 \cdot 10^4$		4,60
1500	$9,9 \cdot 10^{-3}$	$8,6 \cdot 10^{-3}$	$3,52 \cdot 10^4$	3,67	3,02
1750	$11,2 \cdot 10^{-3}$	$6,1 \cdot 10^{-3}$	$4,11 \cdot 10^4$	3,92	2,29
2000	$6,7 \cdot 10^{-3}$	$3,9 \cdot 10^{-3}$	$4,70 \cdot 10^4$	2,13	1,61

De getallen van Re^I (betrokken op de roerder) zijn in deze tabel gegeven om de resultaten van de twee vaten en de literatuur met elkaar te kunnen vergelijken.

De Re^{II} -getallen (betrokken op de druppels) zijn belangrijk, omdat hieruit geconcludeerd kan worden of de visceuze krachten inderdaad geen rol spelen bij de instelling van de verdeling. Dan spelen alleen nog de traagheidskrachten en de capillaire krachten een rol en moet het We-getal dus onafhankelijk van Reynolds zijn (Zie appendix III).

Met een enkele uitzondering blijkt het getal van Weber vrijwel constant te zijn.

5. Discussie

De snelheid van invoer blijkt bij het grote vat veel minder bepalend te zijn voor de uiteindelijke verdeling en voor het specifieke grensvlak, dan bij het kleine.

Dit kan zijn oorzaak vinden in het feit dat de invoeropening bij de kleine reactor relatief veel groter is, dus dat dit een "scaling-up" probleem is dat bij grotere vaten verdwijnt.

Uit de metingen die gedaan zijn om de afhankelijkheid van de verdeling aan te tonen als functie van de plaats van invoer en de snelheid waarmee dit gebeurt, is gebleken dat de initiële verdeling van de disperse fase zeer belangrijk is voor het uiteindelijke resultaat. Hieruit mag geconcludeerd worden dat bij deze lage fracties discontinue fase vrijwel geen coalescentie optreedt.

De experimenten die zijn uitgevoerd bij verschillende toeren-tallen geven twee waarden van m te zien. De hoge waarde ($m = 9$) wil dus zeggen dat we hier met de relatief scherpere verdeling te maken hebben dan bij de lage waarde ($m = 5$).

Deze verschillen treden echter alleen op in het kleine vat.

De waarnemingen in het grote vat geven alleen de lage waarden ($m = 5$). Endoh en Oyama (litt. 4.) hebben een soortgelijk onderzoek gedaan in het systeem tributylfosfaat-water. Worden de resultaten, die hier gegeven zijn, uitgezet op de in de "Verwerking" aangegeven wijze dan levert ook dit lage m -waarden op ($m = 4$).

Berekenen we voor deze drie gevallen de Reynolds getallen ($Re = \frac{ND^2}{\nu}$) dan blijken de lage waarden van m die gevonden worden allen thuis te horen in hetzelfde Re -gebied zoals in Tabel XI is geïllustreerd.

TABEL XI

Waarden van m als functie van Reynolds.

Re	m		
	Kleine vat	Grote vat	Literatuur
$1,6 \cdot 10^4$	9		
$2,1 \cdot 10^4$	8		
$2,3 \cdot 10^4$	9		4
$2,8 \cdot 10^4$	6 -----	5	4
$3,5 \cdot 10^4$	5	5	4
$5,2 \cdot 10^4$	5 (bij $Re=4,7$)	4	

In het kleine vat treden bij de hoge toerentallen belangrijke verschillen op tussen de specifieke oppervlakken welke gevonden worden als op twee verschillende plaatsen wordt ingevoerd. De waarden welke zijn gevonden bij de invoer vanuit de bodem zijn het meest betrouwbaar omdat hier bij het opmeten van de boldiameter een andere procedure is gevolgd. Eerst werden op de normale wijze 500 bollen opgemeten. De meeste hiervan kwamen echter terecht in de eerste 6 klassen zodat in de laatste klassen per klasse slechts 1 of 2 bollen geteld werden. Hierdoor worden grote fouten geïntroduceerd en de spreiding van de punten in de grafieken wordt daardoor zeer groot.

Dit is geïllustreerd in grafiek 6.

Daarom werden van de overige klassen, dus zonder de eerste zes, nog eens 500 bollen extra geteld en het aantal bollen uit de eerste zes klassen werd nu evenredig vermenigvuldigd.

Dit leverde een veel beter aangepaste kromme op zoals uit grafiek 7 blijkt.

Zowel in het grote vat als in het kleine vat blijkt het getal van Weber vrijwel constant te zijn. Dit betekent dat het specifiek oppervlak evenredig is met $N^{6/5}$.

de Bree (Litt. 3.) geeft als conclusie dat het specifiek oppervlak evenredig is met N^2 . Hij baseert dit echter slechts op

4 waarnemingen. Berekenen we voor deze waarnemingen de We-getallen en ook de We-getallen voor de experimenten van Endoh en OYAMA (Litt.4.) dan kunnen we zeggen dat deze We-getallen, zoals uit de waarnemingen van de Bree berekend, niet duidelijk afnemen. Bij meer waarnemingen zal het We-getal ook hier wel eens constant kunnen blijken te zijn. Een en ander is in Tabel 12 weergegeven.

TABEL XII

We-getallen als functie van het toerental.

toerental in rpm	We (Door de Bree)
1000	$3,26 \cdot 10^{-2}$
1250	$2,84 \cdot 10^{-2}$
1500	$1,89 \cdot 10^{-2}$
1750	$2,08 \cdot 10^{-2}$

Waarschijnlijk spelen de visceuze krachten toch nog wel een rol, zodat we voor verschillende vaten niet dezelfde We-getallen vinden.

6. Conclusie

1. De plaats van invoer van de disperse fase is niet belangrijk, mits niet te dicht op de roerder.
2. De snelheid van invoer is alleen belangrijk in het kleine vat. In een bepaald gebied van snelheden echter is de verdeling minder gevoelig voor kleine schommelingen.
3. Omdat we het meest zijn geïnteresseerd in het oppervlak van de bollen, geeft de oppervlakte verdeling een beter beeld van de situatie dan de aantallen verdeling.
4. De oppervlakteverdeling is goed te beschrijven met een Erlang-verdeling.

$$\frac{3A^*(r)}{A^{*2}} = \frac{m}{(m-1)!} \left(\frac{mA^*r}{3}\right)^{m-1} \exp - \frac{mA^*r}{3}$$

5. Alleen in het kleine vat treden verschillende m waarden op. Boven Reynolds = $2,8 \cdot 10^4$ blijkt een m waarde van 5 redelijk te voldoen. Daarbeneden is $m = 9$.
6. Het specifiek oppervlak is evenredig met $N^{6/5}$, omdat het getal van Weber constant blijft.

7. Aanbevelingen

1. Bij relatief veel kleine bollen (welke behoren in de eerste 30% van het totaal aantal klassen), relatief veel grote bollen tellen, daarna de verdeling aanpassen.
2. Bij grotere fracties disperse fase meten. Vooral bij die fracties waar zeker coalescentie optreedt.
3. Invloed van invoersnelheid bepalen in grotere vaten, om te kijken of dit probleem daar inderdaad verdwenen is.
4. Ende versaeckt niet.

8. LITERATUUR

1. R. Shinnar; J.M. Church., Ind. Eng. Chem. 52 (3), 253, (1960)
2. R.M. Voncken, diss. Delft, 1966. -21.
3. S. de Bree, afstudeerverlag, april 1966.
4. K. Endoh; Y. Oyama; Scientific papers o/t Inst. of Phys. and Chem. Res.

52 (no.1486), (1958), 131 - 42.

SYMBOLLEN

A^*	specifiek grensvlak	$\left[\frac{m^2}{m} \right]$
a_i	aantal deeltjes in klasse i	$[-]$
D^1	vatdiameter	$\left[\frac{m}{m} \right]$
D	roerderdiameter	$\left[\frac{m}{m} \right]$
d_i	diameter van klasse i	$\left[\frac{m}{m} \right]$
N	toerental	$\left[\frac{1}{s} \right]$
n	aantal klassen	$[-]$
R^*	genormaliseerde som van de stralen	$\left[\frac{m}{m} \right]$
Re^r	getal van Reynolds betrokken op de ^{roerder} diameter	$[-]$
Re^d	getal van Reynolds betrokken op de deeltjesdiameter	$[-]$
Δr	klassebreedte	$\left[\frac{m}{m} \right]$
V_{tot}	totale volume van de disperse fase	$\left[\frac{m^3}{m^3} \right]$
We	getal van Weber betrokken op de deeltjesdiameter	$[-]$
ν	kinematische viscositeit	$\left[\frac{m^2}{s} \right]$
σ	grensvlakspanning	$\left[\frac{N}{m} \right]$

DEFINITIONS

$$A^* = \frac{\sum_{i=1}^m \pi \cdot d_i^2 \cdot a_i}{V_{tot.}}$$

$$\left[\frac{1}{m} \right]$$

$$A^*(r_i) = \frac{\pi \cdot d_i^2 \cdot a_i}{\Delta r \cdot V_{tot.}}$$

$$\left[\frac{1}{m^2} \right]$$

$$R^* = \frac{6\pi \cdot \sum_{i=1}^m d_i \cdot a_i}{V_{tot.}}$$

$$\left[\frac{1}{m^2} \right]$$

$$Re^1 = \frac{N \cdot D^2}{\sqrt{}}$$

$$[-]$$

$$Re^2 = \frac{N \cdot D^{\frac{2}{3}} \cdot \bar{d}^{\frac{4}{3}}}{\sqrt{}}$$

$$[-]$$

$$V_{tot.} = \sum_{i=1}^m \frac{1}{6} \cdot \pi \cdot d_i^3 \cdot a_i$$

$$\left[\frac{1}{m^3} \right]$$

$$V^*(r_i) = \frac{\frac{1}{6} \cdot \pi \cdot d_i^3 \cdot a_i}{\Delta r \cdot V_{tot.}}$$

$$\left[\frac{1}{m} \right]$$

$$We = \frac{N^2 \cdot D^{\frac{4}{3}} \cdot \bar{d}^{\frac{5}{3}}}{\sigma}$$

$$[-]$$

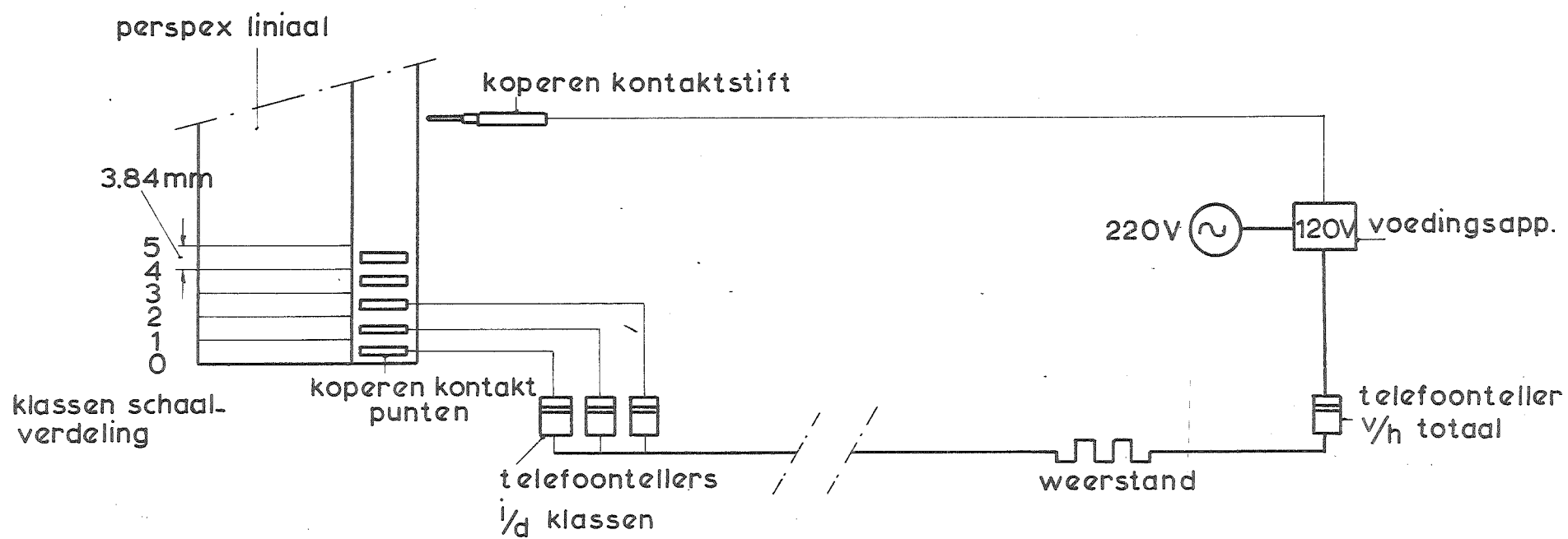


Fig. 1. Schakeling telapparaat.

TABEL I

ALGEMEEN			KONCENTRATIES			
Temp.	benzeen- fractie (1-ε)	$\frac{D}{D^1}$	IN BENZEEN	IN HET GEROERDE VAT		
			Sebacoyl- dichloride	hexamethy- leendiamine	NaOH	Natrium- laurylsulfaat
20°C	0,042	0,30	0,1 molair	0,02 molair	0,1 mol.	0,2 gew. o/oo

	GROTE VAT	KLEINE VAT
D ¹	1,6 cm	12,5 cm
volume	3,2 l	1,5 l
D	4,8 cm	3,75 cm
gemiddelde insteltijd van de verdeling	45 min.	60 min.
fiksatiетijd	3 min.	3 min.

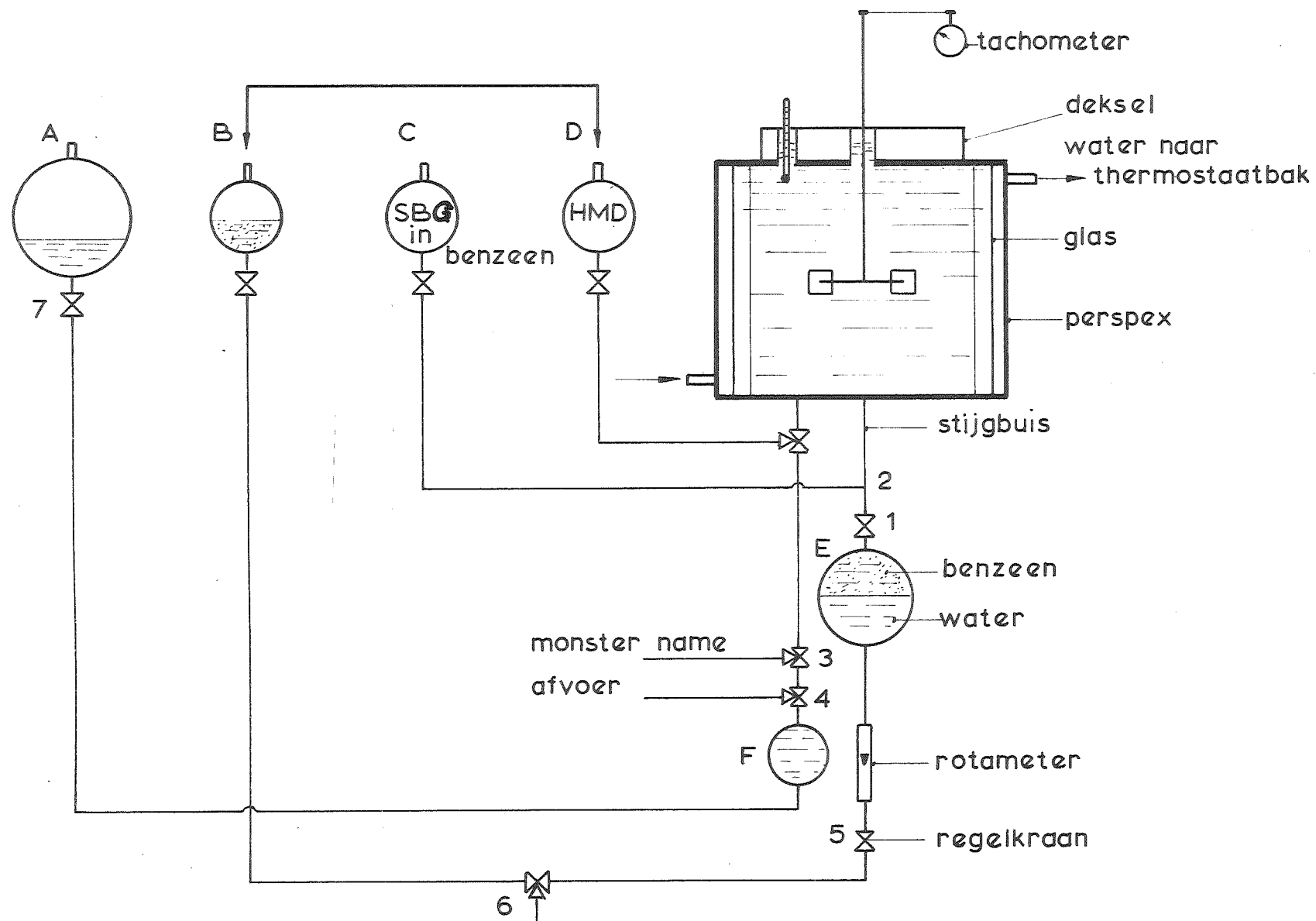


Fig. 2.

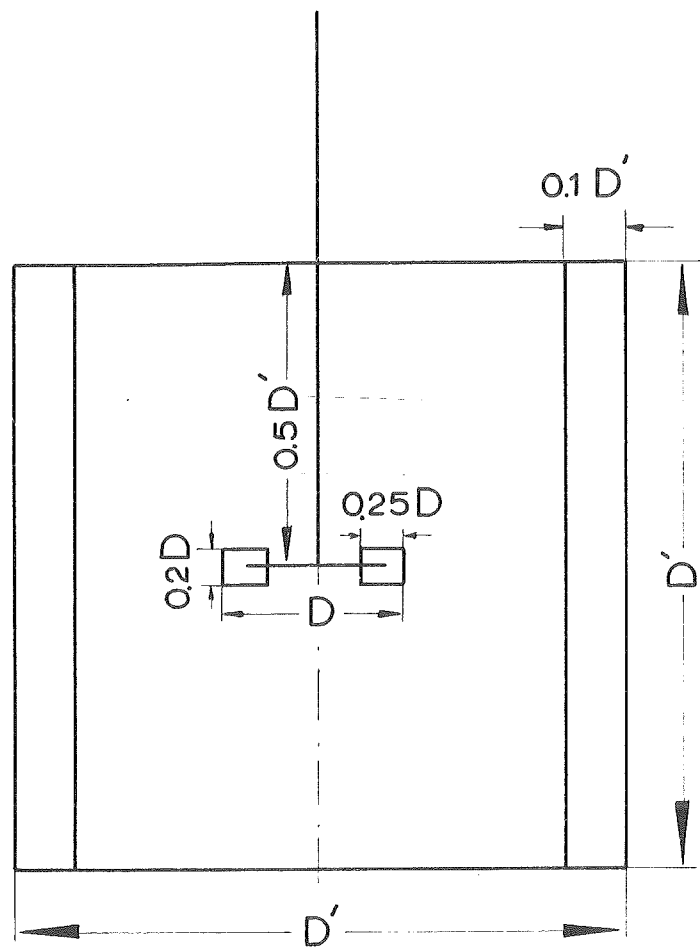
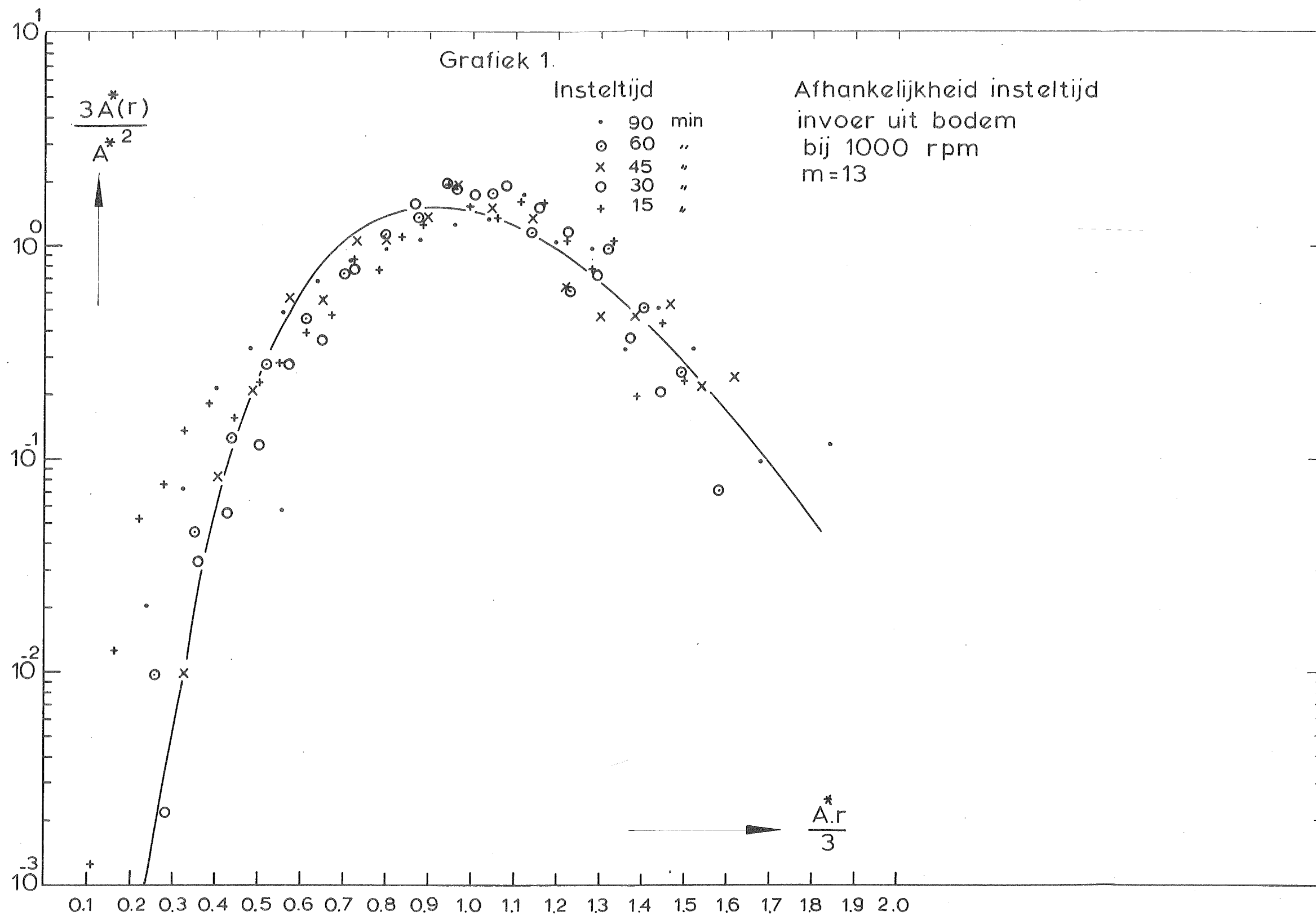
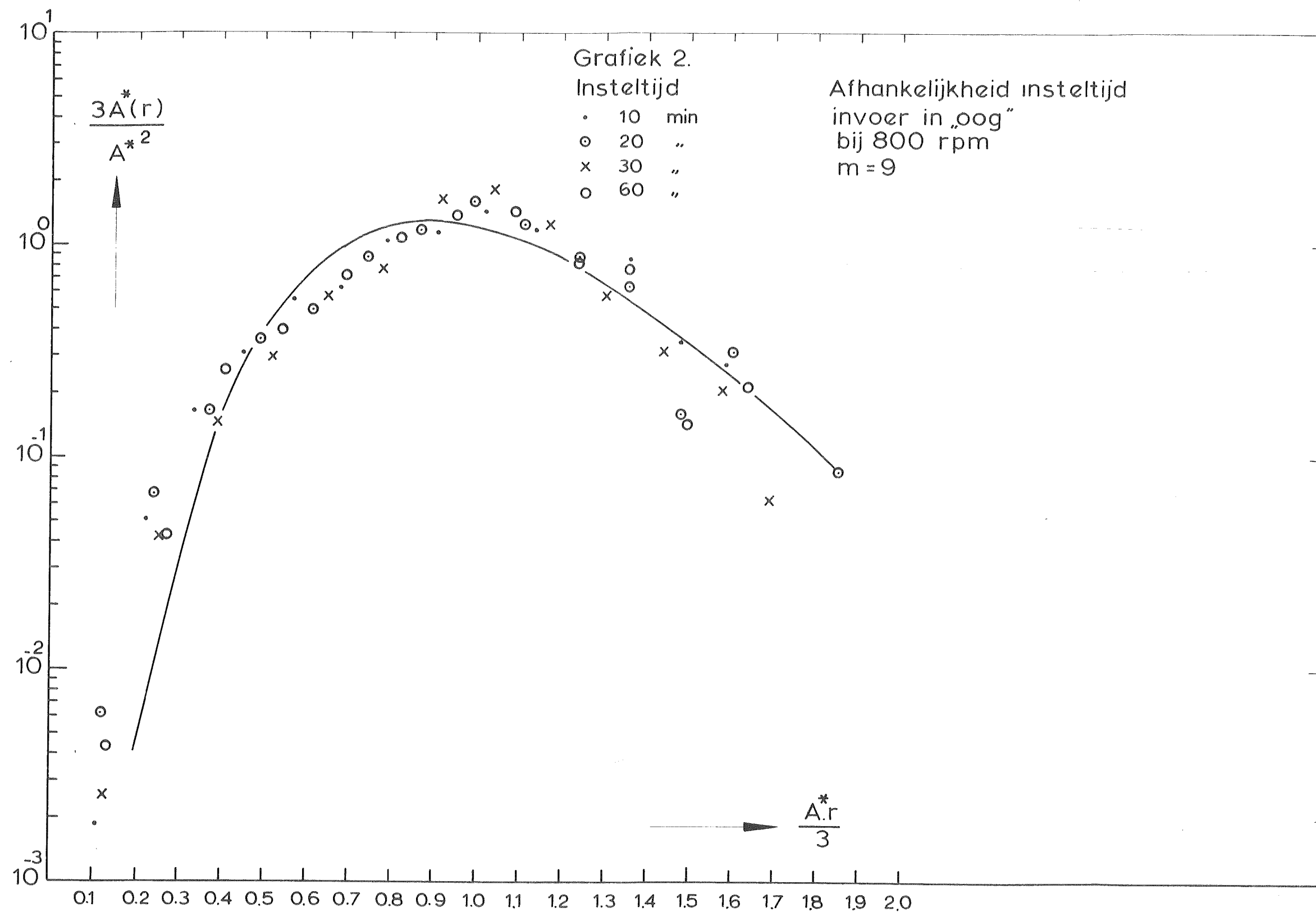
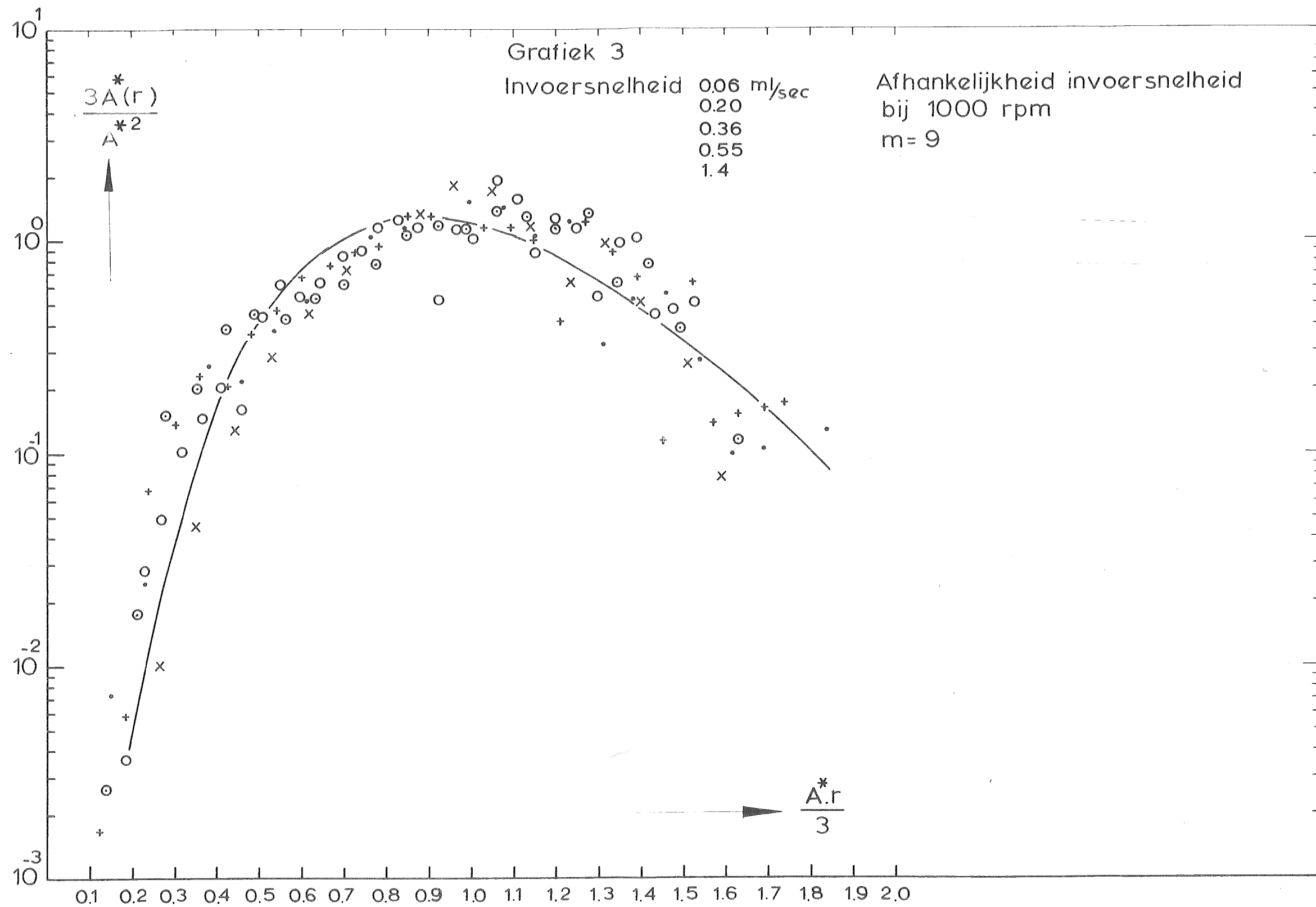
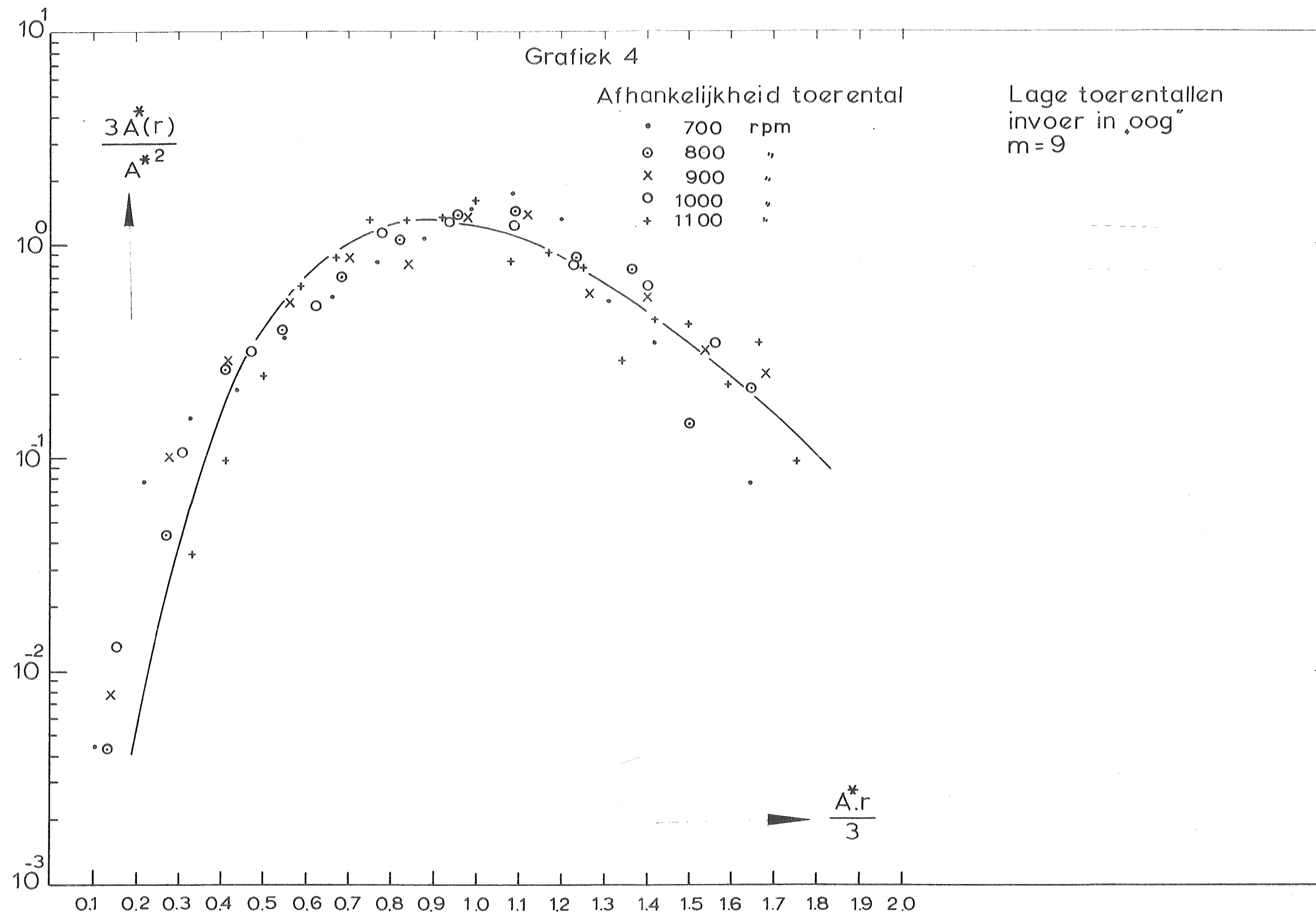


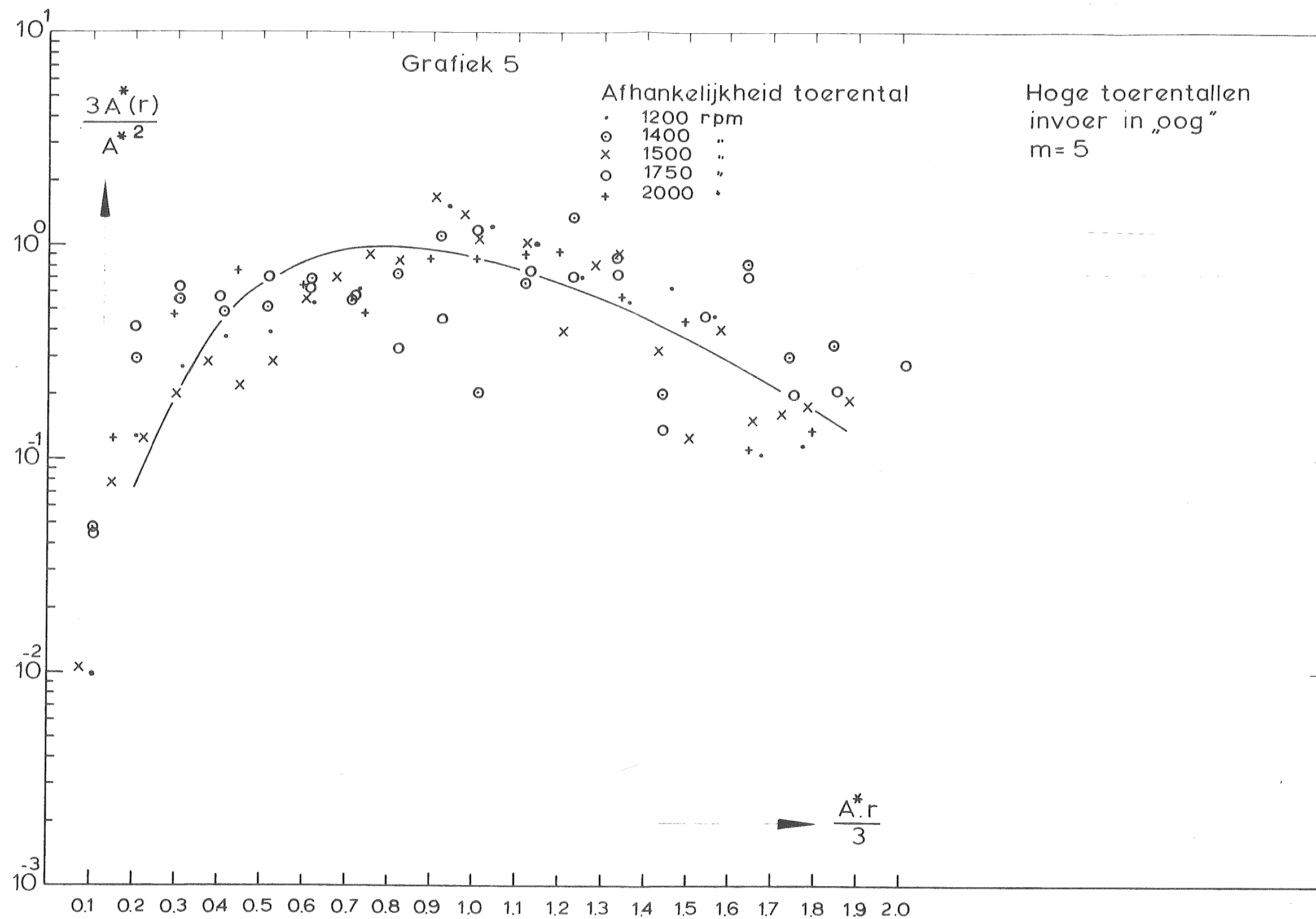
Fig 3. Schets van het vat.

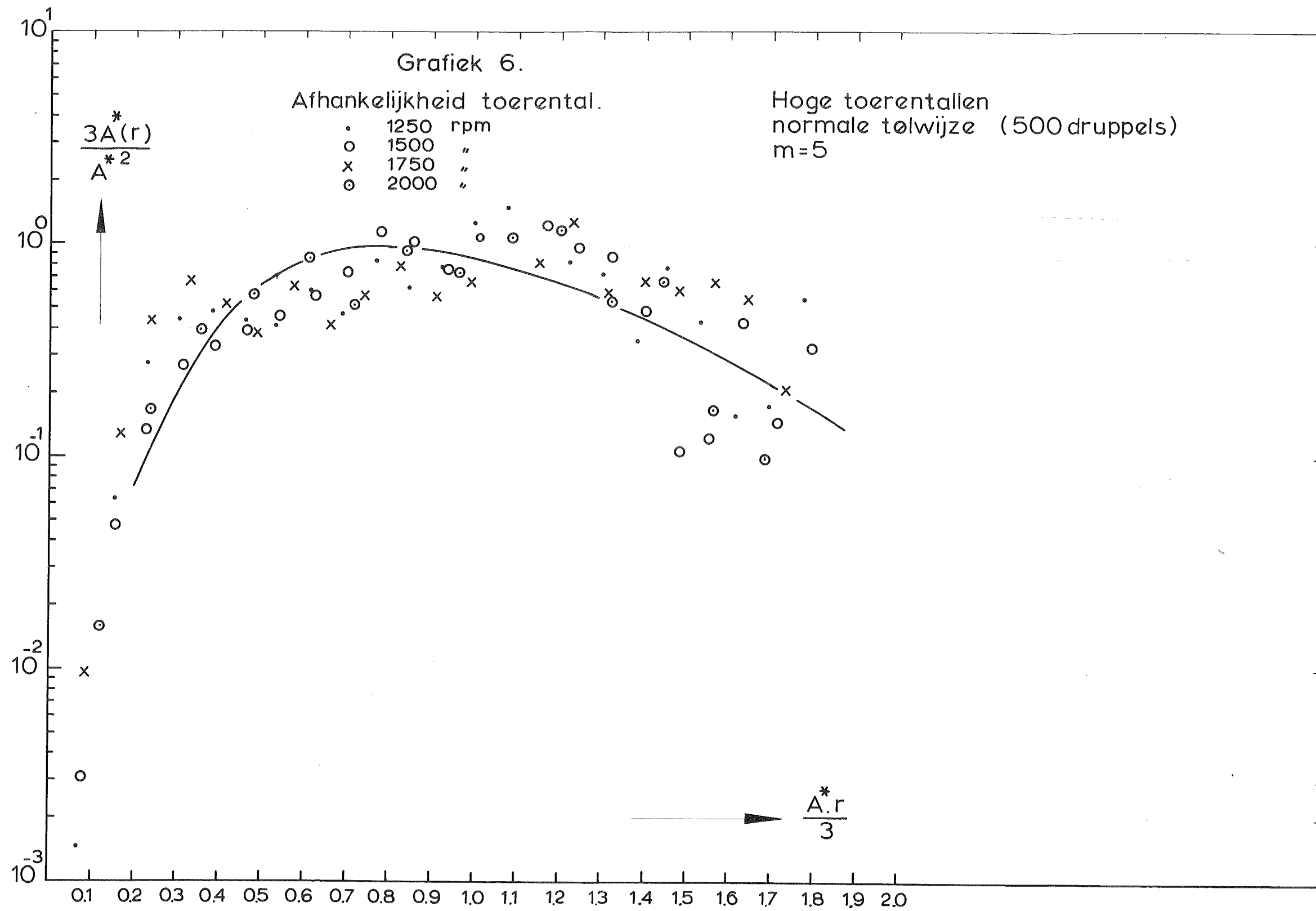


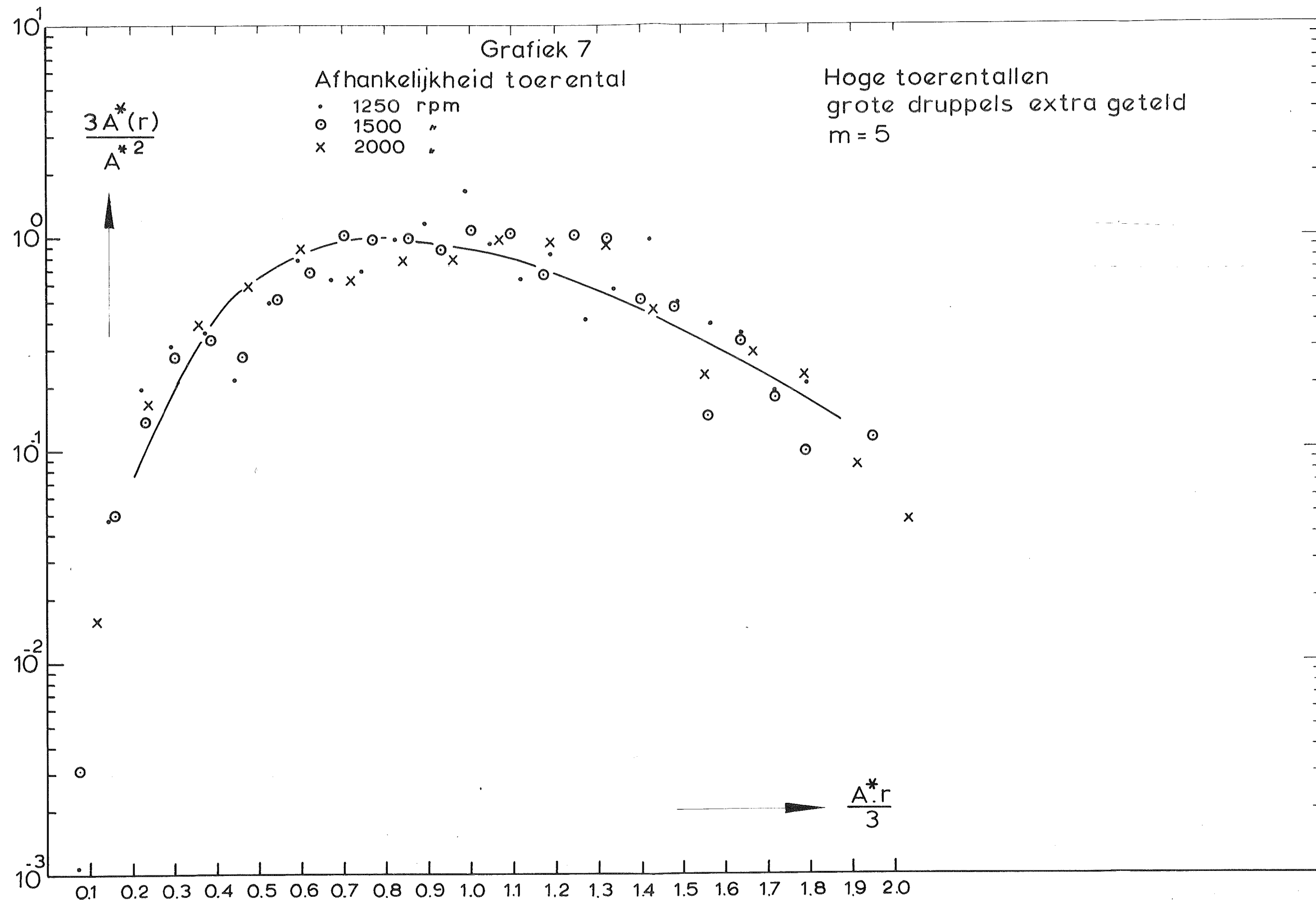


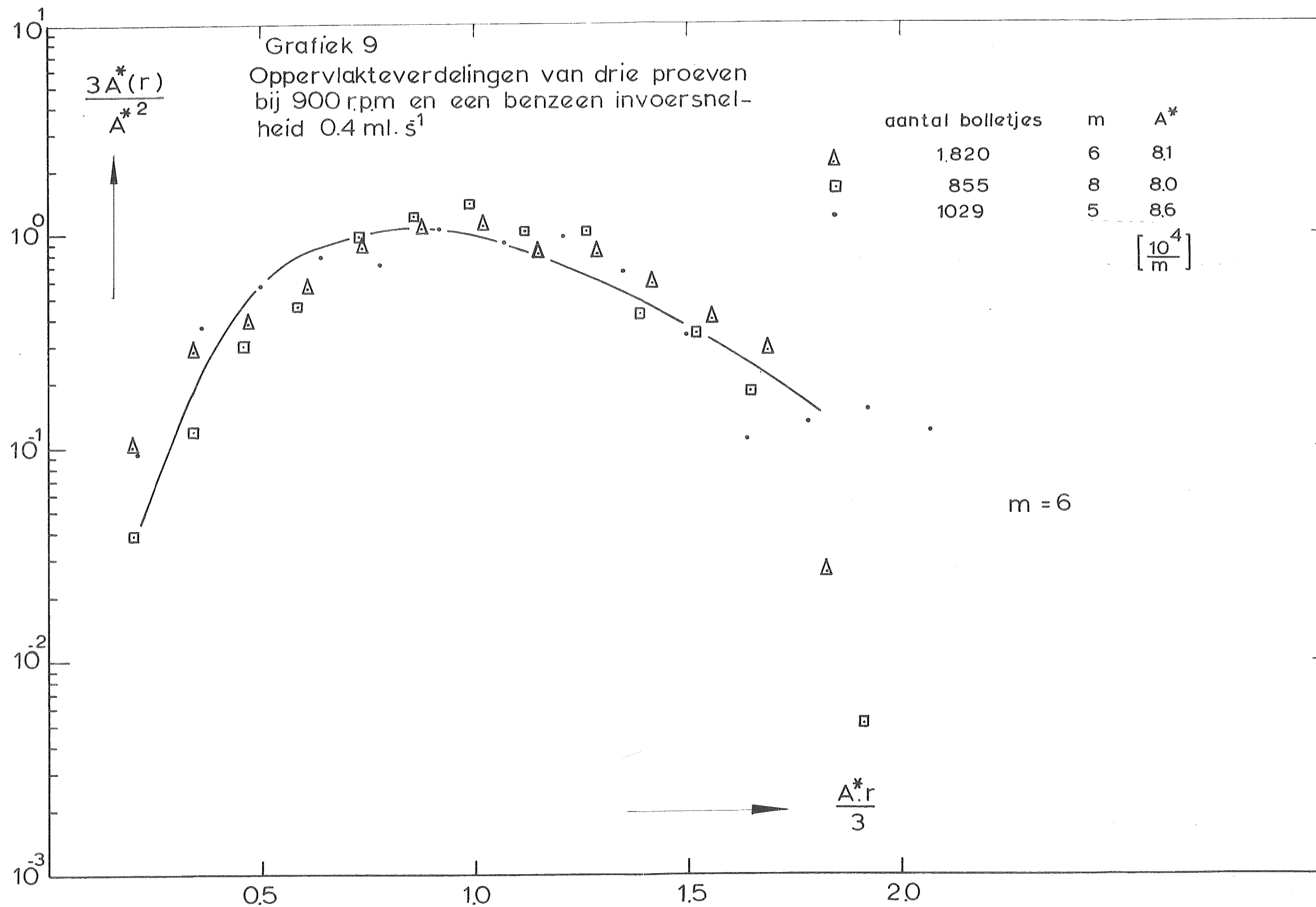


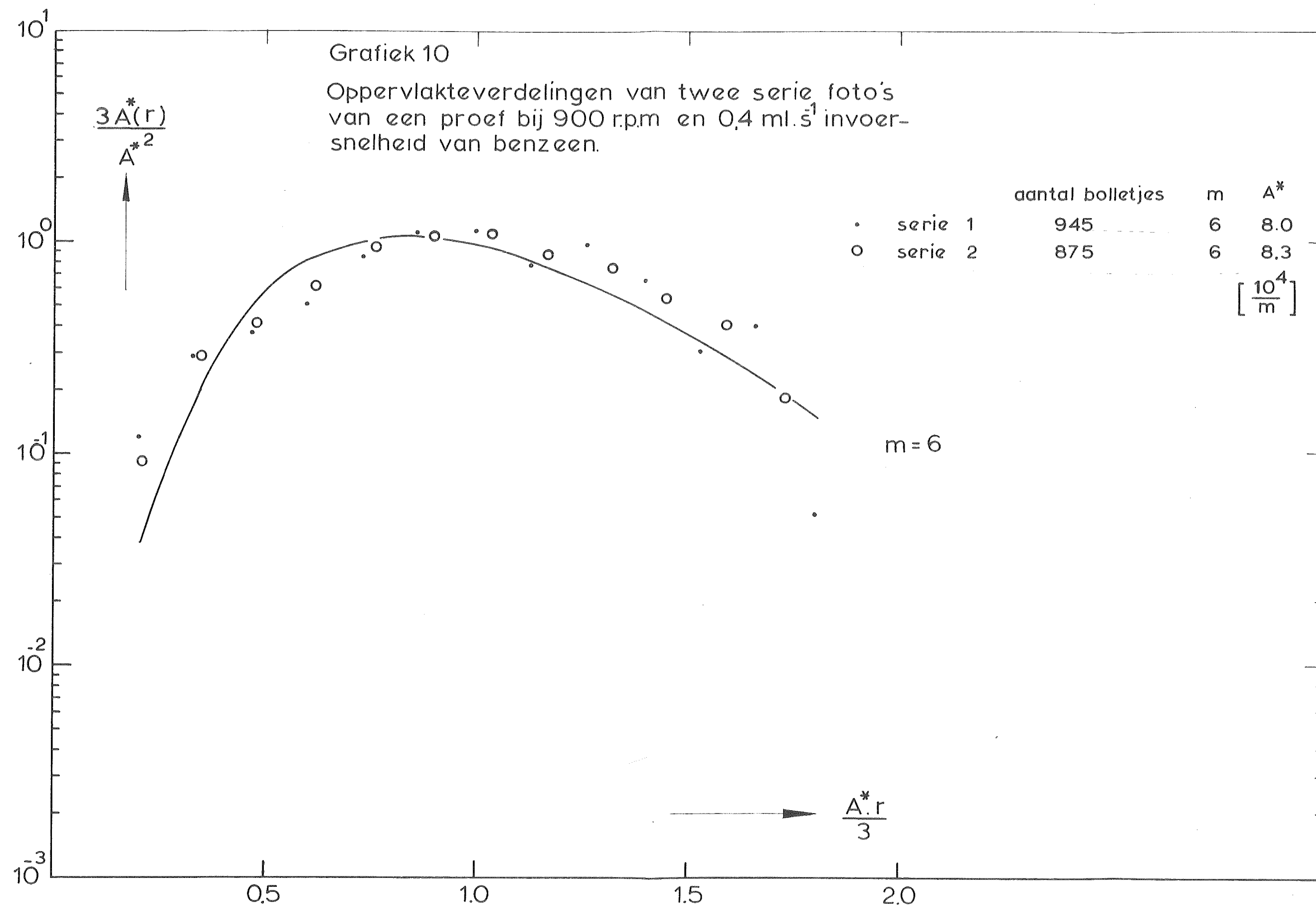


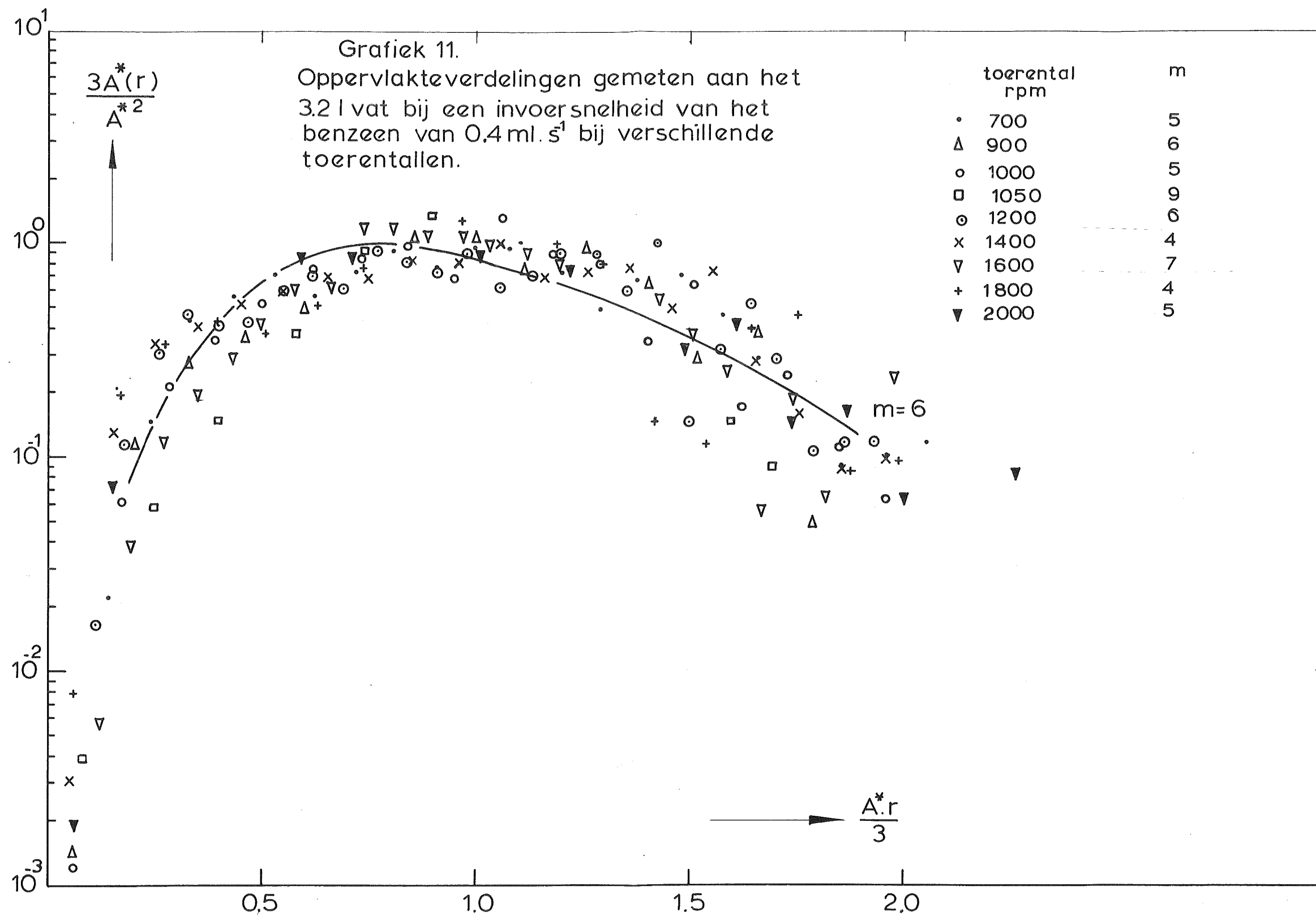


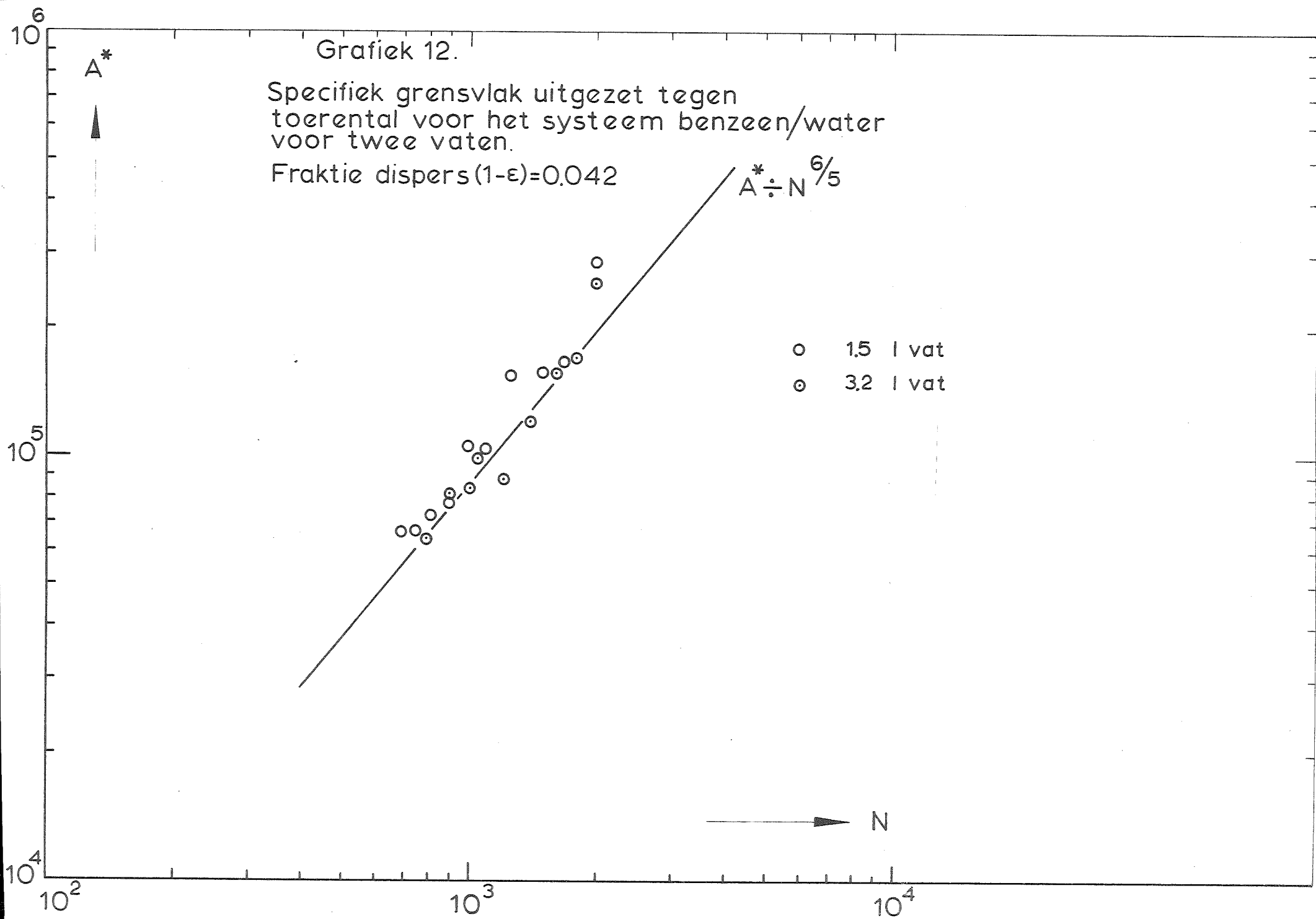












APPENDIX I - MANUAAL

De handelingen die bij een proef horen worden puntsgewijs besproken. (Zie figuur 2 en tabel 5)*

1. Voorbereiding

- a) Geconcentreerde oplossingen van NaOH en hexamethyleendiamine worden ineens gemaakt voor een aantal proeven. Het hexamethyleendiamine (Hmd) is goed houdbaar. Van natriumlaurylsulfaat (NaLS) wordt een 1% oplossing gemaakt. Een oplossing van sebacyldichloride in benzeen is niet houdbaar.
- b) Het proefvat wordt gevuld met gedestilleerd water en een bepaalde hoeveelheid loog.
Het vat wordt gesloten met een deksel die iets taps toeloopt om te zorgen dat de lucht uit het vat gemakkelijk is te verwijderen.
Het verdringen van de lucht kan bij gesloten vat gedaan worden met behulp van water in vat D, eventueel met perslucht.
Als de lucht is verwijderd kan het toerental worden ingesteld en de gewenste temperatuur.
- c) Het sebacyldichloride (Sbc) wordt opgelost in de hoeveelheid toe te voegen benzeen (zie tabel 5.). Het benzeen wordt na vat C in vat E gedaan met een voldoende hoeveelheid lucht om later de rotameter in te kunnen stellen (zie 2-a).
Dit gebeurt door de regelkraan (5) en kraan 6 open te zetten.

2. Proef

- a) De toevoeging van het benzeen gebeurt door op vat E perslucht te zetten (10 cm Hg) en zo het benzeen uit vat E te verwijderen.
Terwijl het benzeenniveau in vat E stijgt wordt met de regelkraan (5) de juiste rotameterstand ingesteld. Als net alle lucht via vat C is verwijderd wordt met kraan 2 de verbinding met het proefvat gemaakt.

* resp. pag 29 en 43

(na het fikseren wordt het Forerental teruggenomen,
om nomin. mogelijk bolletjes stuk te sloen)

Het benzeen komt via de stijgbuis het vat binnen onder de roerder. Door openen van kraan 7 wordt ervoor gezorgd dat het vat niet overloopt.

- b) Het fikseren vindt plaats als de insteltijd* is verlopen. Het samen toevoegen van de hexamethyleendiamine-oplossing en de Na-laurylsulfaat-oplossing geschiedt via vat D eventueel met perslucht. ().
Na de fiksatietijd** wordt via kraan 3 een monster genomen.

3. Meting.

- a) Uit het monster van het proefvat wordt met een steekhevel-tje een monster getrokken. Van dit monster worden op een microscopeerglaasje druppels gelegd waarop een dekglasje komt. Van deze monsters worden opnamen gemaakt zodat ongeveer 1000 bolletjes kunnen worden geteld. Door de microscopie wordt een opname gemaakt van de standaardmillimeter.
- b) De film wordt ontwikkeld, gefixeerd, gespoeld en gedroogd.
- c) De standaardmillimeter wordt op het scherm geprojecteerd via een spiegel. Op het scherm is een lengte aangebracht die overeenkomt met 100 klassen. De klassebreedte wordt ingesteld door de millimeter te vergelijken met deze lengte. Dit moet zo gebeuren, dat de verdeling zich uitstrekt over 15 tot 20 klassen.
De instelling moet met horizontaal zowel als met vertikaal geprojecteerde millimeter hetzelfde zijn. Vertekening wordt opgeheven door de stand van het scherm of van de spiegel te wijzigen.
- d) Voor de telling wordt de werking van de tellers gecontroleerd. Het meten gebeurt door met de liniaal te bepalen binnen welke klassegrenzen een bolletje ligt.

* 45 à 60 minuten

** ± 4 minuten

Na het tellen van ongeveer 1000 bolletjes wordt de som van de bolletjes vergeleken met de stand van de somteller. Wanneer er zeer veel kleine bolletjes zijn worden eerst 500 bolletjes geteld over alle klassen. Daarna nog eens 500 bolletjes over de klassen groter dan de 5e klasse. Beide tellingen worden aan elkaar aangepast tot een verdeling.

TABEL 5

benzeenfractie (1-c)	0,042	
<u>concentraties</u>		
Sbc in benzeen	0,1 mol	23,9 g/l
Hmd in het vat	0,02 mol	2,32 g/l
NaOH in het vat	0,1 mol	4 g/l
NaLS in het vat	0,2 gewichts °/oo.	

appendix2, algolprogramma

betekenis en volgorde van de door de machine in te lezen symbolen.

eenmaal noteren:

t (:=aantal te berekenen verdelingen.)

voor iedere proef noteren:

p (:=proefnummer.)

geg (:=te vermelden bijzonderheden aangaande de
proef; de zin (snoer of string) mag 240
posities (2 regels op de uitvoer) bevatten;
in de getallenband moet de zin worden
geplaatst tussen dubbele apostroffen.)

n (:=het aantal klassen in een verdeling.)

kb (:=de klassebreedte van de verdeling in m.)

averd (:=de getelde frekwentieverdeling.)

voorbeeld: verdeling nummer 16 met klassebreedte
10 mu is: 5, 10, 80, 3.

de getallenband wordt:

1; 16; 'geen bijzonderheden';
4; 10⁻⁶; 5; 10; 80; 3;

```
==a1,
```

```
{begin} {integer} p,r,l,n; {array} pos[1:4,1:0];
      {end} {l:=0;
```

```
vol:=0;
```

```
      read(p,pos,n);
```

```
      {begin} {integer} z,ans;
```

```
      {read} r,r1,r2,r3,atot,vtot,astot,u,q,rcost;
```

```
      {array} d,averd,area,volume,xarea,yarea,xvol,yvol[1:n];
```

```
      read(r,av,ad);
```

```
      p1:=3.1415926536;
```

```
      ans:=0; r1tot:=r2tot:=vtot:=0;
```

```
      {for} z:=1 {do} {for} i:=1 {until} n {do}
```

```
      {begin} {d[i]:=av*ad[i]+ans;
```

```
      d[i]:=d[i]-r0/2;
```

```
      r1tot:=d[i]*d[i]+av*ad[i]+r1tot;
```

```
      area[i]:=p1*d[i]*d[i]+av*ad[i];
```

```
      test('area',area[i]);
```

```
      atot:=area[i]+atot; test('atot',atot);
```

```
      volume[i]:=d[i]*area[i]/6; test('volume',volume[i]);
```

```
      vtot:=volume[i]+vtot; test('vtot',vtot);
```

```
      {end};
```

```
      rcost:=r1tot/vtot; test('rcost',rcost);
```

```
      astot:=astot/vtot; test('astot',astot);
```

```
      m:=1/(1-(astot/rcost-2)/rcost);
```

```
      q:=m+1;
```

```
      {for} z:=1 {do} {for} i:=1 {until} n {do}
```

```
      {begin} {xarea[i]:=astot*d[i]/6;
```

```
      yarea[i]:=3*(area[i]/vtot)/((astot/rcost-2)*z/q);
```

```
      test('yarea',yarea[i]);
```

```
      xvol[i]:=((1-1)*xarea[i])/q;
```

```
      yvol[i]:=3*(volume[i]/vtot)/((1-1)*astot)*z/q;
```

```
      test('yvol',yvol[i]);
```

```
      {end};
```

```
      print(''
```

```
      print('perimeter:'); vasko(3,0,p);
```

```
      print('diameter:'); vasko(4,0,d);
```

```
      print('radius:'); vasko(4,0,r);
```

```
      print(''
```

```
      {total upper vol in m3 : ' ',atot;
```

```
      {total total vol in m3 : ' ',vtot; vasko(4,0,unit);
```

```
      print('total volume in m3 : ' ',vtot;
```

```
      {total diameter vol in m3 : ' ',r1tot;
```


APPENDIX III

Theorie van locale isotropie.

In een turbulent systeem treden instabiliteiten op waardoor wervels ontstaan. Deze wervels zijn ook instabiel en er ontstaan kleinere wervels enz. totdat de wervels zo klein zijn dat de totale energie door visceuze dissipatie in warmte wordt omgezet. De richting waarin de energie wordt overgedragen is volkomen willekeurig. Die kleine wervels zijn dan, wat de richting betreft, onafhankelijk van de hoofdstroom. De laatste energie dissipatie per massa-eenheid noemen we ϵ en de relatieve snelheid tussen twee punten op een afstand r noemen we $u(r)$. Als deze r klein genoeg is, is de $u(r)$ onafhankelijk van de hoofdstroom. We kunnen nu zeggen dat $u(r) = f(\epsilon, \nu, r)$

ν = ~~dynamische~~ ^{kinematische} viscositeit. Als r veel groter is dan de microschaal λ van turbulentie (dit is dan de orde van grootte van de kleinste wervels) dan is $u(r)$ onafhankelijk van ν . Met dimensie analyse is nu te vinden $u^2(r) = c_1 \epsilon^{2/3} r^{2/3}$.

Als $r \gg \lambda$ dan is $u^2(r) = c_2 \frac{\epsilon}{\nu} r^2$.

Voor een vat met een turbine roerder is $\epsilon = K.N.^3 D^2$.

Nemen we nu i.p.v. r de diameter van de benzeendruppeltjes d dan is

$$u^2(d) = K.N.^2 D^{4/3} d^{2/3} \quad (\text{voor } d \gg \lambda)$$

en

$$u^2(d) = K_2 N^3 D^2 \frac{d^2}{\nu} \quad (\text{voor } d \ll \lambda).$$

Het getal van Weber in de verhouding van de traagheidskrachten en de capillaire krachten, dus

$$We = \frac{u^2(d) \rho d}{\sigma}.$$

Het getal van Reynolds is de verhouding van de traagheidskrachten en visceuze krachten, dus

$$Re = \frac{u^2(d) \cdot d}{\nu}$$

Dit levert voor $d \gg \lambda$:

$$We = \frac{K_1 N^2 D^{4/3} d^{5/3} \rho}{\sigma} \quad \text{en} \quad Re = \frac{K_1^{1/2} N D^{2/3} d^{4/3}}{\nu}$$

en voor $d \ll \lambda$:

$$We = \frac{K_2 N^3 D^2 d^3 \rho}{\sigma} \quad \text{en} \quad Re = \frac{K_2^{1/2} N^{1,5} D d^2}{\nu^{3/2}}$$

Voor de kleinste wervels is $Re = 1$. Kunnen we nu voor ons systeem aantonen dat $Re \gg 1$ dan mogen we de eerste uitdrukking voor We gebruiken.

Uit de tabel 10 is gebleken dat $Re = 3$. We kunnen echter aannemen dat de deeltjesgrootte bepaald wordt door de krachten in de jetstream. Hier is de energiedissipatie natuurlijk veel groter dan in de rest van het systeem. Hier zal dan ook dit Reynolds-getal veel groter zijn, zodat we mogen concluderen dat $Re \gg 1$ en $We = \frac{N^2 D^{4/3} d^{5/3} \rho}{\sigma}$



Technische Hogeschool Delft, Laboratorium voor Fysische Technologie,
Afstudeerverslag januari 1967
vloei-stof-vloei-stof dispersie in gerorde vaten
Leenders A.C.W. en Riemkens J.J.M. Druipelgrootteverdeling en totaalopbevalak van

