

14

Archief exemplaar

Laboratorium voor
PHYSISCHE TECHNOLOGIE
der Technische Hogeschool
Pr. Bernhardlaan 6 - DELFT

Afstudeerverslag No.

door

G. M. Baars.

14 A

Laboratorium voor
PHYSISCHE TECHNOLOGIE
der Technische Hogeschool
Pr. Bernhardlaan 6 - DELFT

Verslag van de werkzaamheden, verricht door de speurwerk-
assistent G. M. Baars in het cursusjaar 1951-1952 in het
Laboratorium voor Physische Technologie betreffende:

"De snelheid van menging van vloeistoffen in vaten
met roerinrichting".

- a. De invloed van de hoeveelheid en concentratie
van de ingeworpen vloeistof op de mengtijd.
- b. De invloed van evenredige vergroting van vat en
roerder op de mengtijd.
- c. De mengtijd bij gebruik van enkele verschillende
typen roerders.
- d. Het voor het roeren benodigde vermogen.

Overzicht

In het afgelopen cursusjaar zijn door Knoll in het Laboratorium voor Fysische Technologie proeven gedaan ter bepaling van de invloed van verschillende variabelen op de tijd, benodigd voor het mengen van een kleine hoeveelheid geconcentreerde zoutoplossing door een verdunde zoutoplossing in een vat met roerder. (3)

Als variabelen waren gekozen, de hoogte en de plaats van de roerder, de draairichting en het toerental daarvan en het al of niet aanwezig zijn van verticale keerschotten.

Bedoeld als vervolg hierop zijn nu proeven genomen ter bepaling van de invloed, die de concentratie en de hoeveelheid van de ingeworpen vloeistof op de mengtijd hebben en wel onder uit de voorgaande proeven reeds bekende standaardcondities, echter telkens bij twee verschillende toerentallen van de roerder.

Hieruit is gebleken, dat de kortste mengtijden over het gehele onderzochte gebied steeds gevonden worden onder die omstandigheden, waarvan door voorgaande proeven reeds was komen vast te staan, dat ze de beste menging gaven. Bovendien is hierbij opgevallen, dat voor dezelfde hoeveelheid zout, opgelost in verschillende hoeveelheden water, de mengtijd gelijk is, althans in het beschouwde gebied, waarin de ingeworpen volumina nog altijd klein zijn t.o.v. de inhoud van het mengvat.

De meetmethode

Om tot vergelijkbare waarden te kunnen komen zijn de metingen onder dezelfde omstandigheden en met dezelfde apparatuur verricht als die van het afgelopen cursusjaar. Zo werd weer als electrolyt KCl gebruikt en er werd gemengd in een cilindrisch vat van 32 cm

middellijn, dat is gevuld met een oplossing van 2,5 g KCl per liter tot een hoogte van 32 cm. Gemeten werd door middel van twee platina geleidbaarheidscellen in brugschakeling met een wisselspanning van 1000 Hz. De van het midden van de brug komende spanning werd versterkt, gelijkgericht en geregistreerd op een Brush-oscillograaf, waarop ook het tijdstip van inwerpen en een signaal van 1 ‰ concentratieverschil, dat op de brug wordt ingesteld, kan worden aangegeven. Alles, zoals beschreven in het verslag van het hierboven aangehaalde onderzoek. De methode met twee cellen is gekozen, omdat deze t.o.v. het meten met één cel het voordeel heeft, dat de invloed van uitwendige storingen gecompenseerd wordt en ook de invloed van de meer of minder gunstige plaats van de cel in de mengende vloeistof wordt verkleind. Met een oneindig aantal cellen zou de meting in dit opzicht pas ideaal zijn.

Resultaten van het onderzoek

Gemeten is onder de volgende omstandigheden:

1. Roerder centraal op $\frac{3}{8}$ van de vloeistofhoogte zonder verticale keerschotten.
2. Als 1., echter met verticale keerschotten.
3. Roerder excentrisch op $\frac{1}{4}$ van de diameter van het vat en op halve vloeistofhoogte.

Alles bij twee toerentallen van de roerder, terwijl voor elk geval de ingeworpen hoeveelheid werd gevarieerd en wel tussen 2, 5, 10 en 20 cm³ met concentraties van 20, 40 en 80 g per liter. De meetcellen werden geplaatst op $\frac{1}{8}$ en op $\frac{7}{8}$ van de vloeistofhoogte d.w.z. op de plaats, waar met één cel de langste mengtijd was gemeten en zo ver mogelijk daarvan verwijderd. Dit ter verkrijging van de maximale mengtijd. Elke meting werd weer 15 maal verricht, daar we volgens de mathe-

matische statistiek bij een ook voor deze waarnemingen gevonden middelbare fout van 15% dan zeker zijn, dat 99% van de als gemiddelden hiervan gevonden waarden binnen de 10% nauwkeurigheid liggen. De resultaten van de metingen zijn verenigd in de volgende tabel:

Waarden van C, uitgedrukt in het aantal omwentelingen van de roerder, benodigd voor volledige menging:

Ingeworpen vloeistof		2 cm ³	5 cm ³	10 cm ³	20 cm ³	aant. omw. roerder per minuut
roerder centraal	80 g/l	--	70	86	95	600
	o	--	66 ⁻⁶	88 ⁺²	94 ⁻¹	1000
Vert. keer-schotten	40 g/l	--	55	73	90	600
	+	--	48 ⁻¹	70 ⁻⁴	82 ⁻⁹	1000
$H = \frac{3D}{2}$	20 g/l	--	--	50	68	600
	Δ	--	--	54 ⁺⁵	72 ⁺⁶	1000
roerder centraal	80 g/l	68	109	123	163	600
	o	78 ⁺¹⁰	99 ⁻¹⁰	115 ⁺⁸	157 ⁻⁴	800
Geen keer-schotten	40 g/l	58	72	112	116	600
	+	45 ⁻²⁰	66 ⁻⁹	96 ⁻¹⁶	112 ⁻⁴	800
$H = \frac{3D}{8}$	20 g/l	28	50	72	97	600
	Δ	22 ⁻²⁰	48 ⁻⁴	61 ⁻⁷	96 ⁻¹	800
exc. = $\frac{1}{2}D$	80 g/l	53	44	77	78	600
	o	46 ⁻¹⁴	58 ⁺²⁶	78 ⁺²	88 ⁺¹²	800
Geen keer-schotten	40 g/l	34	49	62	72	600
	+	26 ⁻²⁰	46 ⁻⁶	64 ⁺³	62 ⁻¹⁵	800
$H = \frac{D}{2}$	20 g/l	--	32	48	53	600
	Δ	--	24 ⁻⁶	37 ⁺³	51 ⁻¹⁰	800

*gem. lang
bevestigd
C 60, 1000
aan 600
1000 tot
2000?*

*25
8
1000
1000*

De waarde van C blijkt ook bij deze serie metingen bij verandering van het toerental van de roerder, wanneer de andere omstandigheden gelijk blijven, constant te zijn binnen de meetnauwkeurigheid.

Voor vergelijking zijn de zo juist genoemde waarden grafisch uitgezet tegen de hoeveelheid KCl, die is toegevoegd, zowel tweezijdig lineair (grafiek I) als tweezijdig logaritmisch (grafiek II). De meetmethode was de oorzaak van het feit, dat er een mengtijd nul werd gevonden na het inwerpen van de kleinste in de tabel genoemde hoeveelheden KCl, daar dan de afwijking van de eindconcentratie ter plaatse van de cel niet boven de 1⁰/₀₀ kwam, terwijl dit elders in het mengvat toch wel het geval moet zijn geweest, daar de concentratie van de ingeworpen vloeistof toch minstens 6 maal zo groot was als de concentratie in het vat. Voor de kleinere hoeveelheden toegevoegd KCl wordt de meetmethode dan ook te onbetrouwbaar en men zal zich dan hieruit geen juist beeld van de menging meer kunnen vormen.

In de grafieken zijn bovendien nog enkele waarden opgenomen die verkregen zijn bij toevoeging van iets grotere hoeveelheden KCl.

Bespreking van de resultaten.

Wanneer we de mengkrommen bekijken, die op de stroken van de Brush-oscillograaf geregistreerd staan, valt direct op, dat deze voor dezelfde meting geheel verschillend van gedaante kunnen zijn, zodat we hieruit over het verloop van de menging niets kunnen afleiden. Gemeten wordt in twee ten opzichte van het grote vat zeer kleine gebiedjes, die weliswaar genomen zijn op zodanige plaatsen, dat de gemeten waarden een maat zijn voor de maximale mengtijd, doch die niet de gemiddelde waarden van de concentratieverschillen over het gehele vat aangeven. De vrij grote verschillen in de gemeten mengtijden onder overigens gelijke omstandigheden kunnen gedeeltelijk hierdoor worden verklaard en tevens door het feit, dat door het roeren in

de vloeistof steeds wisselende turbulente stroming aanwezig is, waarbij we ons kunnen indenken, dat het stromingspatroon de ene keer zo is, dat de ingeworpen vloeistof sneller de roerder bereikt dan dit een andere keer het geval is. Dit treedt voor het oog duidelijker naar voren, wanneer er een kolk is, waarvan de as zich langzaam om de as van de roerder beweegt.

De vrij grote middelbare afwijking maakt het moeilijker om zich een beeld van de menging zelf te vormen.

1. Het was opvallend, dat van de ingeworpen vloeistof de hoeveelheid oplosmiddel bij een zelfde aantal mg. KCl niet van invloed was op de mengtijd, althans niet binnen de nauwkeurigheid van de verrichte metingen. Bij hoeveelheden, die klein zijn t.o.v. de inhoud van het vat lag dit voor de hand, daar we ons kunnen voorstellen, dat de tijd, die nodig is voor de verdunning tot een tweemaal of viermaal zo groot volume zeer klein is in verhouding tot de gehele mengtijd, waarbij de ingeworpen vloeistof moet worden verdund tot een volume, dat 2500 maal zo groot is als het oorspronkelijke.

Om na te gaan in hoeverre deze waarden constant bleven zijn oplossingen van 1 gram KCl genomen van resp. 160, 80, 40 en 20 cm³ bij twee verschillende toerentallen van de roerder n.l. 800 en 600 omw/min. De roerder was centraal geplaatst op 3/8 van de vloeistofhoogte, terwijl verticale keerschotten langs de wand waren geplaatst. De daarbij gevonden waarden waren als volgt. (Waarden van C)

1 g KCl in	160 cm ³	80 cm ³	40 cm ³	20 cm ³
800 omw/min	68	69	72	72
600 "	71	71	70	71

Deze waarden zijn echter niet te vergelijken met andere waarden, die overigens onder dezelfde omstandigheden zijn opgenomen, daar hier uit de aard der zaak gebruik is gemaakt van een inwerpvaatje, waarvan de lineaire afmetingen tweemaal zo groot waren. Het eerste

vaatje had een inhoud van 20 cm^3 . Voor het geheel leegstromen daarvan was pl.m. 1 sec. nodig, wat bij 600 omw./min. van de roerder overeenkomt met een waarde van 10 eenheden in C. Dit gaat bij het grote vaatje veel sneller, daar de uitstroomopening hiervan een viermaal zo groot oppervlak had. Hoewel deze waarden dus op zichzelf staan, geven ze wel een beeld van de constantheid van de mengtijd, zelfs bij 8 maal verdunnen.

2. Dat de mengtijd afhankelijk is van het aantal mg KCl in de ingeworpen vloeistof, doet vermoeden, dat de maximale afwijking van de eindconcentratie voor b.v. 2 gram ingeworpen KCl gedurende de gehele menging twee maal zo groot blijft als bij inwerpen van 1 gram. De mengtijd, die we vinden, wanneer we $2^0/00$ afwijking van de eindconcentratie als einde van de menging beschouwen, zal dan gelijk moeten zijn aan de mengtijd voor de helft van deze hoeveelheid KCl. Ter contrôle is dit voor een zestal series metingen bepaald door een $2^0/00$ signaal op de brug in te stellen en dit voor verschillende gevoeligheden met het $1^0/00$ signaal op de oscillograaf te vergelijken, zodat we bij de reeds verrichte metingen alsnog een $2^0/00$ signaal konden uitzetten.

De resultaten hiervan waren als volgt:

Waarde van C bepaald met $2^0/00$ signaal als eindpunt.

Ingeworpen hoeveelheid in 20 cc.	2000mg.	2500mg.
met verticale keerschotten	86(89)	92(93)
met excentrische roerder	68(76)	89(81)
met centrale roerder	122(126)	128(133)

Tussen haakjes zijn de waarden van C geplaatst, die uit het verloop van de grafiek volgen. In één geval is de afwijking meer dan 10% en ook in één geval vinden we een hogere waarde, terwijl de andere steeds lager liggen dan met de grafiek overeenkomt.

We kunnen dus verwachten, dat een hoeveelheid zout bij menging door een met verdunde oplossing gevuld vat zich in alle richtingen door de inhoud van het vat zal verspreiden en deze spreiding een regelmatig verloop heeft, zodat er steeds dezelfde tijd nodig is om de fluctuaties in de concentratie tot de helft van hun waarde terug te brengen. De menging zou in dat geval een exponentieel verloop hebben. Om dit nog verder na te gaan is de mengtijd tegen de hoeveelheid ingeworpen KCl op eenzijdig logaritmisch papier uitgezet (grafiek III).

Hoewel deze krommen niet kunnen worden gelijkgesteld aan de mengkrommen, die zouden ontstaan, wanneer we de afwijkingen van de eindconcentratie van de KCl, gemiddeld over het gehele vat, zouden uitzetten tegen de tijd en die dus een beeld zouden geven van het verloop van de menging, kunnen we hier toch wel het een en ander uit afleiden, zij het dan ook slechts kwalitatief. Het meest opvallende in het verloop van de lijnen in grafiek III is niet alleen, dat rechte lijnen een aardige benadering zijn voor het verloop van de gemeten mengtijden onder de verschillende omstandigheden, maar ook dat deze lijnen in één punt eindigen.

De concentratie van de verdunde oplossing in het vat is 2,5 gram per liter. Dit komt overeen met 25 mg per 10 cm³. We zouden dus verwachten, dat het punt, dat het einde weergeeft van de menging, die we in de grafiek als van rechts naar links verlopend kunnen beschouwen, voor de hoeveelheden, die in 10 cm³ waren opgelost, op 25 mg zou liggen en voor 20 cm³ op 50 mg enz. Dat dit niet het geval is zou als volgt kunnen worden verklaard.

In het begin zal de menging, vooral door het snelle uiteenslaan van de ingeworpen vloeistof sneller dan zuiver exponentieel verlopen,

Later wordt de invloed van de wanden merkbaar en vindt de menging regelmatig over het vat verdeeld plaats. We zouden dus in een grafiek, die de gemiddelde fluctuaties t.o.v. de tijd bij de menging weergeeft, verwachten, dat het eerste stuk een afwijking van de rechte lijn vertoonde. In grafiek III zit in alle gemeten mengtijden deze afwijking reeds begrepen en daardoor zal de lijn iets te veel naar rechts staan. Dit zal moeten worden gezien als de reden voor het feit, dat de met het 2 0/00 signaal als eindpunt gevonden waarden lager liggen dan met de grafiek overeenkomt, omdat door het weglaten van het laatste deel van de menging, de snelle menging aan het begin van groter invloed wordt op de totaal gemeten mengtijd. De lijn zal dus iets te veel naar rechts staan en we zullen een eindpunt vinden, dat iets lager ligt dan de concentratie van de oplossing in het vat doet vermoeden. Bij grotere concentraties, dus bij kleinere hoeveelheden ingeworpen vloeistof kunnen we aannemen, dat het relatief langer duurt voordat de menging meer regelmatig over het gehelevat gaat verlopen. Het gevolg zal zijn, dat deze wat lager uitkomen op het punt mengtijd = 0 dan met hun concentratie overeenkomt. Dit zou er toe kunnen leiden, dat we bij onze meetnauwkeurigheid de lijnen op logaritmisch-lineair papier alle door één punt kunnen laten gaan.

Wanneer we de grafiek echter alleen beschouwen als een weergave van het verloop van de mengtijd onder verschillende omstandigheden en niet van de menging als zodanig, zien we, dat de meest ruwe theorie voor de bepaling van de mengtijd is, dat de fluctuaties als volgt van de tijd afhangen:

$$f = f_0 e^{-\lambda t} \quad f_0 = \text{beginfluctuatie}$$

De mengtijd t is hier steeds gedefinieerd aan het bereiken van een

eindwaarde f_1 (10/100 van de concentratie), dus

$$\frac{f_0}{f_1} = e^{\alpha T} \quad \text{of} \quad \ln f_0 = \alpha T + \ln f_1$$

De mengtijd is dus afhankelijk van de beginfluctuatie en α is een maat voor de mengsnelheid.

Dit komt overeen met de grafiek, d.w.z. onder voorwaarde, dat:

1. de concentratie van de ingeworpen vloeistof \gg de concentratie van de vloeistof in het vat;
2. de hoeveelheid ingeworpen vloeistof \ll de hoeveelheid vloeistof in het vat.

Dit geldt overigens tussen 50 en 2500 mg KCl, terwijl in het vat zit 65000 mg KCl.

Zo vinden we voor α resp.

$$\frac{\text{Log } K}{C} \quad \frac{16,5}{12} = 1,38 \quad (\text{centraal z.keersch.})$$

$$\frac{16,5}{8,75} = 1,89 \quad (\text{centraal m.keersch.})$$

$$\frac{16,5}{7,5} = 2,20 \quad (\text{excentrisch})$$

Proeven met een vat van groter afmetingen.

Voor het ontwerpen van een discontinue vloeistofmenger zijn de hiervoor staande gegevens nog onvoldoende, daar deze slechts betrekking hebben op één combinatie van roerder en vat van geringe afmeting. Wij zullen daarom dan ook moeten overgaan tot het meten van de invloed van gelijkvormige vergroting op de mengtijd. Daartoe zijn de lineaire afmetingen van vat en roerder tweemaal zo groot genomen, zodat het vat dus een achtmaal zo grote inhoud kreeg. Met deze combinatie zijn van een serie standaardmetingen met het kleine vat herhalingen verricht met het vat van groter afmetingen. Ook zijn in het grote vat twee andere typen roeders onderzocht. De omstandigheden zijn steeds zoveel mogelijk in overeenstemming gebracht met die bij het gebruik van het kleine vat, zo is ook de afstand van het inwerpvaatje tot het vloeistofoppervlak tweemaal zo groot genomen. Het vaatje zelf is ook gelijkvormig vergroot. De meting geschiedde op dezelfde wijze, terwijl de meetcellen dezelfde zijn gebleven, daar de invloed hiervan op de mengtijd wel verwaarloosd kan worden. Hierbij zijn de volgende waarnemingen verricht, terwijl de ingeworpen hoeveelheid steeds $8 \times 10 \text{ cm}^3 = 80 \text{ cm}^3$ heeft bedragen en de concentratie 100 g. per liter. De concentratie van het vat is op 2,5 g. per liter gehouden.

Bij de eerste proeven bleek al direct, dat er bij de verschillende omstandigheden steeds sneller last van kolkvorming en luchtinsluiting werd ondervonden dan in het kleine vat. Om deze reden zijn lagere roersnelheden gebezigd. Met keerschotten werd bij 600 omwentelingen per minuut en zonder keerschotten bij 400 omw./min. last van lucht ondervonden.

Aantal omwentelingen roerder per minuut.

	Hoogte roerder	300	400	500	600	
roerder cen- traal Vert. keer- schot- ten	$\frac{D}{2}$	90	94	91	--	(83)
	$\frac{3D}{8}$	98	94	102	106	(92)
roer- der cen- traal Geen keer- schot- ten	$\frac{D}{2}$	170	183	--	--	(130)
	$\frac{3D}{8}$	174	180	--	--	(121)
exc. = $\frac{1}{4}D$ Geen keer- schot- ten	$\frac{D}{2}$	114	112	104	--	(92)
	$\frac{3D}{8}$	136	139	145	--	(135)
	$\frac{7D}{16}$	--	136	134	--	
	$\frac{D}{4}$	145	--	--	--	(157)
exc. = $\frac{1}{8}D$ Geen keer- schot- ten	$\frac{D}{2}$	137	147	--	--	(117)
	$\frac{3D}{8}$	154	169	--	--	(121)
	$\frac{7D}{16}$	149	148	--	--	
	$\frac{D}{4}$	217	218	--	--	(182)
roer- der 30° scheef exc. = $\frac{1}{4}D$	$\frac{D}{2}$	87	91	--	--	(79)
	$\frac{2D}{3}$	84	86	--	--	

Dit geeft dus een slechtere menging dan bij scheve stand in het midden van het vat.

Wanneer we bij de laatste meting de scheve stand op 15° brengen, dan blijft de waarde van de mengtijd praktisch gelijk n.l.

bij 300 omw./m. $C = 107$

400 " $C = 116$

De roerderas centraal doch 15° scheef met roerder op $\frac{1}{2}D$ van de bodem geeft:

bij 300 omw./m. $C = 92$

400 " $C = 96$

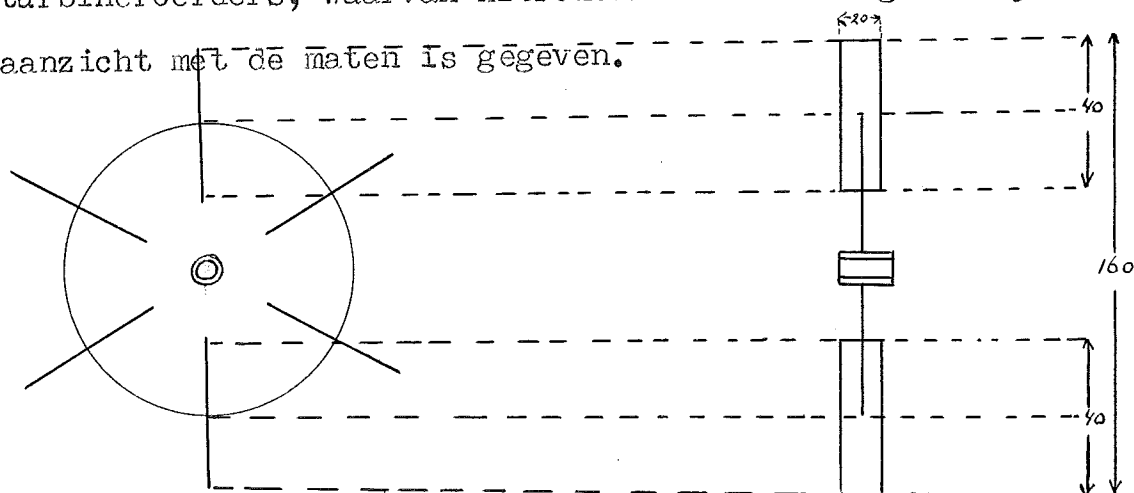
dus iets minder gunstig dan bij 30° scheve stand.

Bovendien is nog gemeten met keerschotten op $D/10$ van de wand van het vat en wel bij roerderhoogte van

	$\frac{D}{2}$	$\frac{3D}{8}$
300 omw./m.	--	121 (98)
500 "	105 (91)	116 (102)
600 "	102	119 (106)

De tussen haakjes geplaatste cijfers geven de waarden aan bij normale keerschotten. We zien dus dat deze verplaatsing van de keerschotten de menging niet bevordert.

Tenslotte zijn nog twee andere roeders beproefd en wel turbineroeders, waarvan hieronder een tekening in zij- en bovenaanzicht met de maten is gegeven.



Hiermede zijn de volgende waarnemingen verricht:

		Aantal omwentelingen roerder per minuut	
Hoogte roerder		300	400
roerder cen- traal Vert. keer- schot- ten	$\frac{D}{2}$	138	143
	$\frac{3D}{8}$	118	119
	$\frac{D}{4}$	116	111
roer- der cen- traal keer- schotten D/10 v. wand	$\frac{D}{2}$	86	86
	$\frac{3D}{8}$	79	80
	$\frac{D}{4}$	77	73

De menging met deze turbineroerder is dus minder snel dan bij gebruik van de propellor . Hier geeft echter verplaatsing van de keerschotten een aanmerkelijke verbetering , zelfs zo dat de menging dan sneller geschiedt dan door middel van een propellor.

De andere roerder, die nog gebruikt is, is van dezelfde afmetingen als de vorige doch de bladen zijn onder een hoek van 30° ten opzichte van de radialen geplaatst en wel tegenovergesteld aan de draairichting in die zin dat bij draaiing van de roerder het water naar buiten wordt gedreven. De mengtijden, die hiermede gemeten zijn, lagen nog iets gunstiger dan in het laatste geval en wel

roer- der cen- traal keer- schotten D/10 v. wand	$\frac{D}{2}$	64	66
	$\frac{D}{4}$	59	66

Ook in het grote vat is voor één bepaald geval de invloed van de hoeveelheid (in oplossing) ingeworpen KCl op de mengtijd bepaald.

De proef is gedaan onder de volgende omstandigheden

Met verticale keerschotten, roerder centraal op $\frac{1}{2}D$ van de bodem bij 400 omw./m.

Waarden van C:	102	99	94	72	55	42
Ingeworpen hoeveelheid: in grammen KCl	16	12	8	4	2	1

Wanneer we deze waarden uitzetten in grafiek III, die betrekking heeft op het kleine vat, blijkt ook dit weer een rechte lijn te geven, die hetzelfde eindpunt heeft als de andere lijnen. Hierbij is de ingeworpen hoeveelheid vanzelfsprekend door 8 gedeeld.

Eenzelfde serie metingen is gedaan met de turbineroerder met scheef staande bladen op $D/4$ van de bodem in het vat met keerschotten op $D/10$ van de wand bij 300 omw./min.

Hierbij kregen we de volgende resultaten:

Waarden van C:	72	62	52	35	23
Ingeworpen hoeveelheid: in grammen KCl	16	8	4	2	1

Wanneer we deze waarden uitzetten blijkt ook hier een rechte, die ook weer door hetzelfde punt gaat, een goed beeld van het verloop te geven.

*In grafiek III
wil zeker ongeveer
kruislijn als fractie vat
alleen.*

Het vermogen, benodigd voor roeren.

Daar behalve de tijd, benodigd voor volledige menging, tevens de hiervoor gebruikte energie van groot belang, is ook hieraan enige aandacht besteed.

Over de invloed van verschillende variabelen bij de menging op het vermogen, is reeds vrij veel bekend. Een groot gebied wordt bestreken in de publicaties van Rushton (1). Hierin wordt het vermogen opgegeven voor allerlei soorten roerders in verschillende afmetingen in diverse tanks en vloeistoffen.

De vergelijking van het vermogen onder de verschillende omstandigheden wordt gegeven in dimensieloze groepen. Dit wordt $N_p = f(Re, Fr \text{ en dimensieloze groepen, waarin de afmetingen e.d. zitten})$.

$$\text{Hierin is } N_p = \frac{P}{\rho n^3 d^5}$$

P is het vermogen, ρ de dichtheid
 n het toerental en d de diam. van de
roerder.

$$Re = \frac{\rho d^2 n}{\eta}$$

, het getal van Reynolds (η is de viscositeit van de vloeistof)

$$Fr = \frac{dn^2}{g}$$

, het getal van Froude (g is de versnelling van de zwaartekracht).

Genoemde publicatie geeft een uitgebreid overzicht van het functionele verband tussen deze variabelen voor een groot aantal gevallen.

Wij interesseren ons uiteraard voor de resultaten bij propellers. Aangezien nagenoeg voor alle menggevallen met water Re ligt tussen 10^4 en 10^6 , zitten we in het turbulente gebied. Fr speelt slechts een rol in de vergelijking, wanneer we met de invloed van de zwaartekracht rekening moeten houden, dus wanneer er een kolk optreedt.

Wij trachten echter steeds kolkvorming te vermijden, daar dit de metingen ongunstig beïnvloedt. N_p bleek onafhankelijk te zijn van Re , wat bij de hierna volgende metingen voor het gebied, waarin deze metingen werden verricht, werd bevestigd. We krijgen dan voor een bepaalde opstelling

$$P = \text{const.} \cdot e \cdot n^3 d^5$$

De constante wordt bepaald door de afmetingen van het vat, type roerder enz. in het betreffende geval. In het turbulente gebied blijkt er dus onafhankelijkheid van de viscositeit. Onder deze zgn. "fully baffled conditions" is het verbruikte vermogen onafhankelijk van de afmetingen van het vat en aantal en breedte van de keerschotten (2).

Werd zonder keerschotten de propellor excentrisch in de optimale stand gebruikt, d.w.z. die stand, waarbij het vloeistofoppervlak horizontaal is en maximaal vermogen toegevoerd kan worden, dan vond Rushton voor P dezelfde waarden als in het geval van centrale as met 4 keerschotten ter breedte van 10% van de diameter van het vat. Dit kon bij onze metingen niet geheel worden bevestigd.

De metingen zijn steeds verricht aan het grote vat, daar met onze meetmethode geen betrouwbare gegevens konden worden verkregen over het betrekkelijk geringe vermogen bij het kleine vat.

Meetmethode.

De aandrijfkop van het roermechanisme was als koppelmeter ingericht. De meting hiermede verliep in het kort als volgt:

In de cilindervormige kop van de roerder was een horizontaal liggende ring vast aan de wand aangebracht, die zo geslepen was, dat deze rand 4 verticale regelmatige golvingen vertoonde, die pl.m.

1 cm hoog waren. Op deze ring rustten 4 verticale kogellagers, die de uiteinden vormden van een horizontaal kruis, dat zodanig op het vierkante bovineinde van de werkelijke roeras was aangebracht, dat het zich langs deze as enigszins op en neer kon bewegen, doch niet t.o.v. de as kon draaien. Wanneer we dus de roeras draaien, lopen de vier kogellagertjes regelmatig op en neer over de golven van de stilstaande ring aan de binnenzijde van de cilindrische kop. Deze beweging wordt echter verhinderd, daar boven dit mechanisme een stalen plaat horizontaal in de cylinder is vastgeklemd, die omhoog gedrukt zou moeten worden, willen de lagertjes over de golven van de ring heen komen. De kracht, die hiervoor nodig is, is echter veel groter dan de krachten, die hierin tijdens het roeren optreden. Wanneer we nu de beweging van het midden van de verende plaat meten door boven op de cylinder een meetklokje te zetten, dat niet met de roerder meedraait, hebben we, na ijking van dit mechanisme een mogelijkheid om de koppels, die bij de menging optreden, te bepalen. De ijking is stationnair geschied door bij een bepaald moment, dat aan de roeras werd gegeven, de uitslag van het meetklokje af te lezen. Door vergelijking van deze waarden is een ijkgrafiek verkregen.

In de volgende tabel zijn voor de verschillende gevallen de benodigde vermogens uitgedrukt in het "power-number" $\phi = \frac{P g^2}{\rho n^3 d^5}$ terwijl tussen haakjes is geplaatst het vermogen, uitgedrukt in Nm/sec.

$$P = \text{watt} = \text{J/sec} = \text{Nm/sec}$$

$$= \frac{\text{kg m}^2}{\text{sec}^2 \text{ sec}}$$

	300 omw./min.	400 omw./min.	500 omw./min.	600 omw./min.
	Re = 46800	Re = 62400	Re = 78000	Re = 93600
I	0,42 (0,56)	0,38 (1,20)	0,36 (2,25)	0,38 (4,05)
II	0,25 (0,34)	0,27 (0,85)		
III	0,36 (0,45)	0,35 (1,10)	0,34 (2,13)	
IV	0,36 (0,45)	0,33 (1,05)		
V	2,76 (3,68)	2,73 (8,66)		
VI	4,69 (6,26)	4,70 (14,9)		

waarbij:

- I. = roerder centraal met verticale keerschotten
- II. = idem zonder keerschotten
- III. = roerder excentrisch op D/4 uit het midden zonder keerschotten
- IV. = als III, echter op D/8 uit het midden
- V. = als I, echter met gebruik van de turbineroerder met radiaal staande bladen
- VI. = als V, echter met roerderbladen onder een hoek van 30° met de radiaal en de keerschotten op D/10 van de wand.

De bovenstaande waarden zijn op lineair millimeterpapier uitgezet in grafiek IV, waarbij blijkt, dat het verbruikte vermogen, uitgedrukt in het powernumber vrijwel onafhankelijk is van Re. Het powernumber voor het geval, dat keerschotten worden gebruikt, blijkt iets groter te zijn dan bij excentrische plaatsing van de roerder op D/4 uit het midden. De vermogens, die benodigd zijn voor het roeren met de turbineroorders, zijn resp. pl.m. 8 en 13 maal zo groot als bij gebruik van de propallor, terwijl de mengtijd niet veel korter is.

LITTERATUUR

(1) J.H. Rushton, E.W. Costich, H.J. Everett.

Chem. Eng. Progress 46, 395 - 405 (1950)

" " " 46, 467 - 477 (1950)

(2) F.P. O'Connell, D.E. Mack.

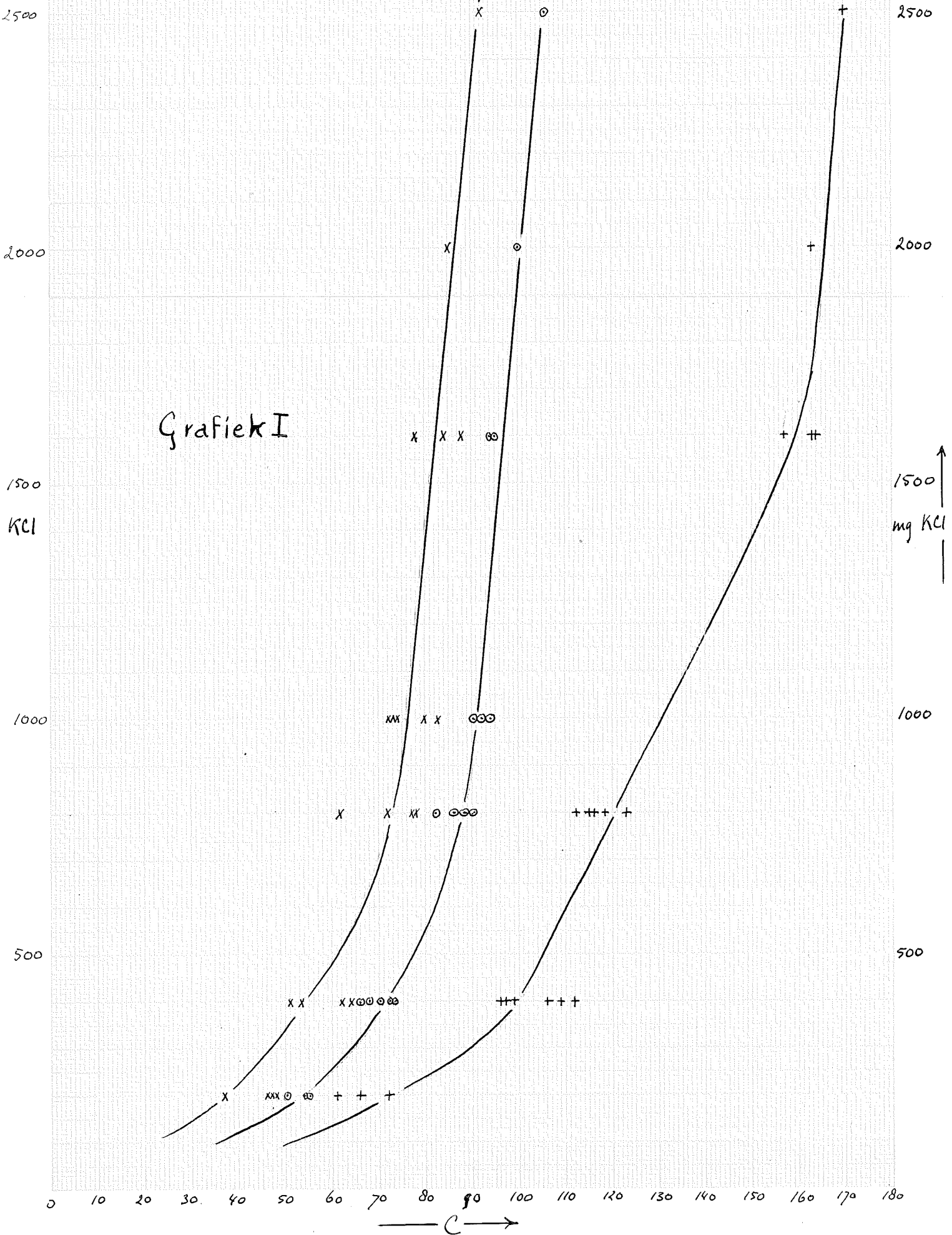
Chem. Eng. Progress 46, 359 (1950).

(3) W.H. Knoll, afstudeerverslag 1951

De snelheid van menging van vloeistoffen
in vaten met roerinrichting.

(Archief Prof. Ir. H. Kramers, Lab. v. Phys. Techn.)

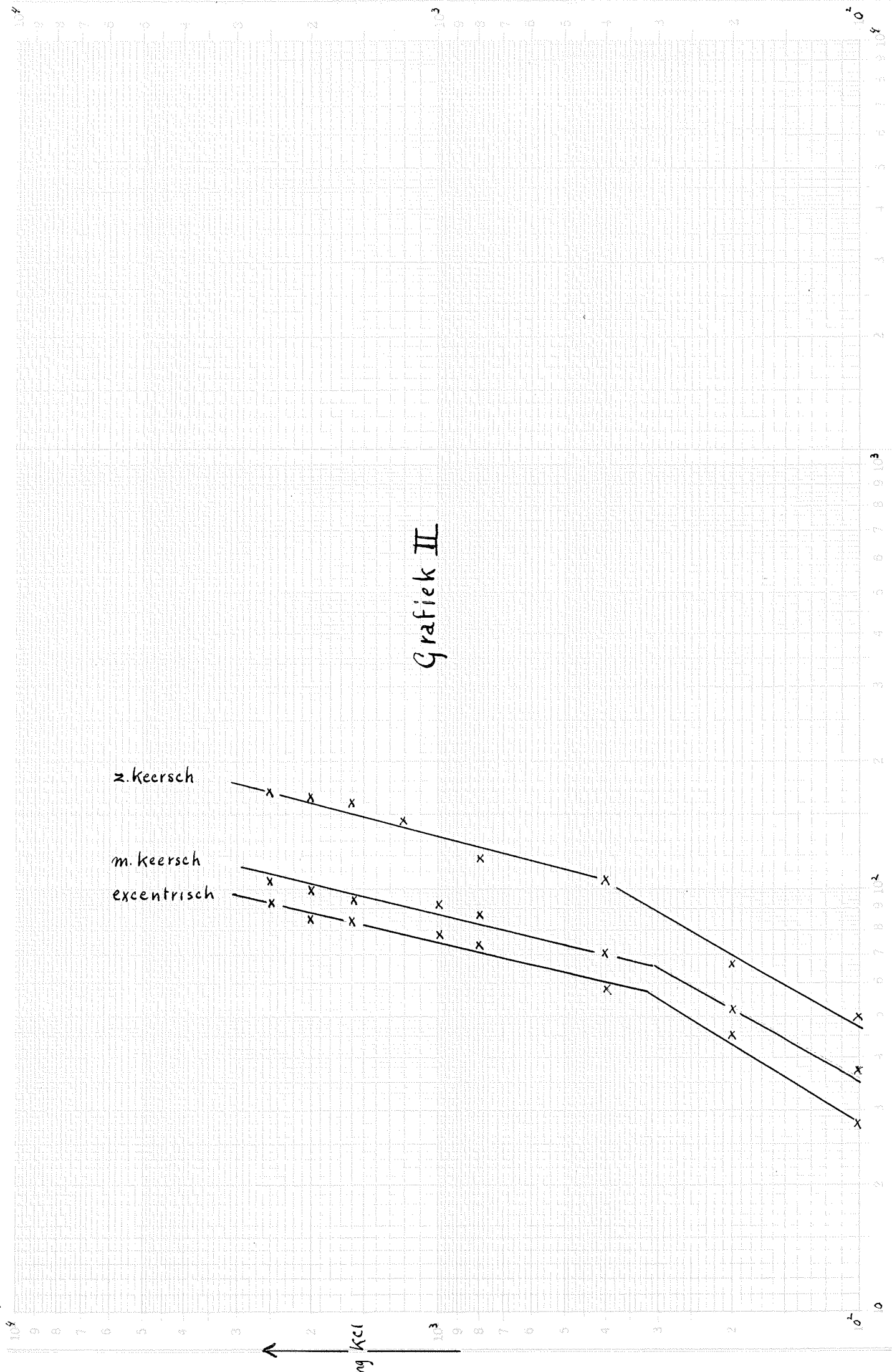
Grafiek I



z. keersch

m. keersch
excentrisch

Grafiek II



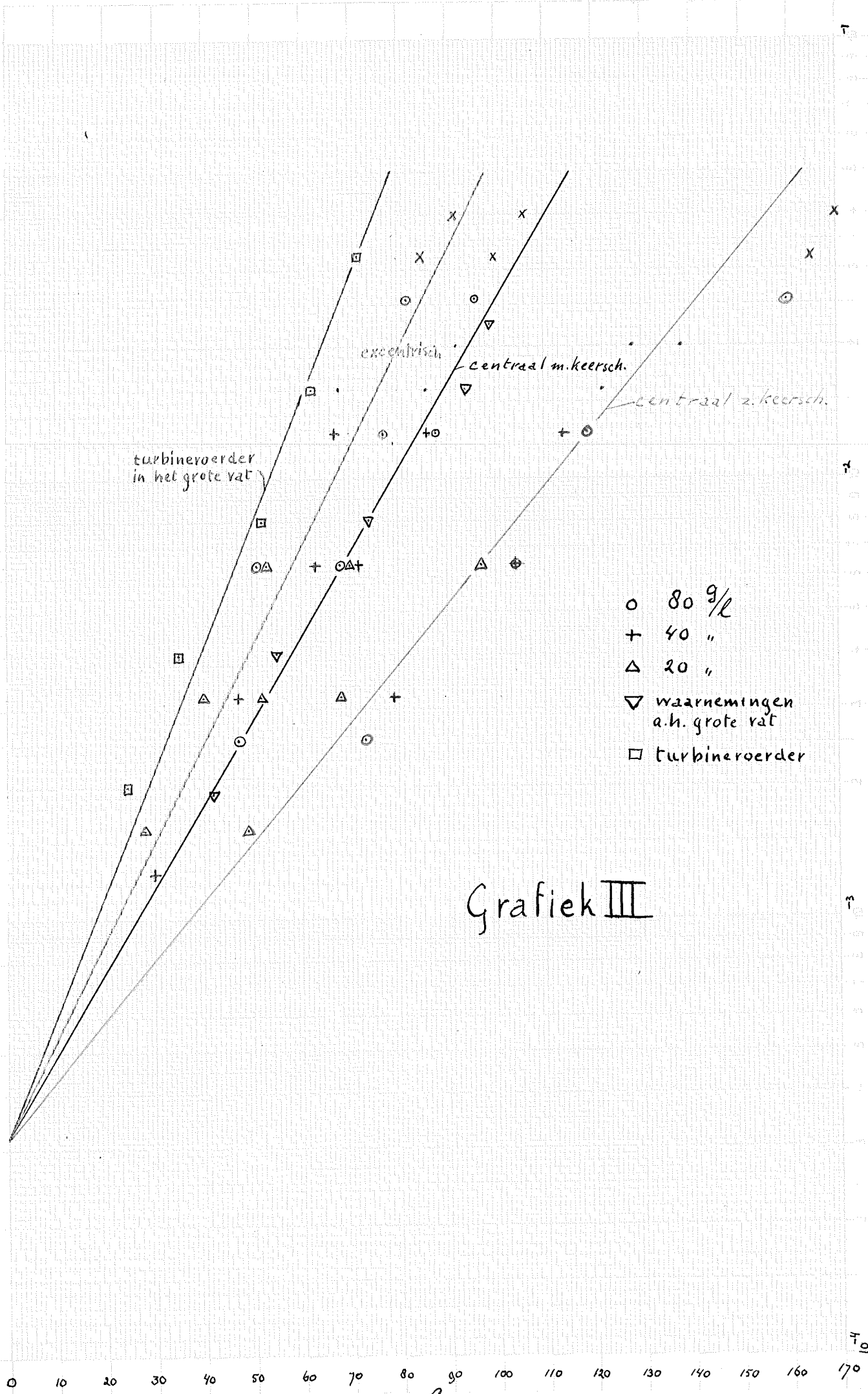
Ingeworpen hoeveelheid als fractie van de vulling van het vat

10^1

10^2

10^{-3}

10^{-4}



Grafiek III

DRUKKERIJ MERCOURUS, WORMERVEER, NO. 10. Ingeworpen hoeveelheid als fractie van de vulling van het vat.

\uparrow ϕ

50

40

30

20

10

$x \rightarrow$

\uparrow

\uparrow

x

0

0

+

$\leftarrow x$

0

$4 \cdot 10^4$

41800

$5 \cdot 10^4$

$6 \cdot 10^4$ 62400

$7 \cdot 10^4$

78000 $8 \cdot 10^4$

$9 \cdot 10^4$ 93600

10^5

— Re — \rightarrow

GRAFIEK IV