

GASABSORPTIE MET GEDWONGEN GRENSVLAKVERVERSING.

- A. Verversing van een stilstaand grensvlak met vertikaal bewegende pennen.
B. Verversing van het grensvlak in een wervelkamer met en zonder schoep in de inlaat.

versch. behelpt met (versch. dekken)

versch. behelpt met (versch. dekken K112)

*na half uur geen ev. meer
laanboenen
versch. u.o. probleem, a conclusie dat
schoep niet helpt dan ook juist?*

Waar en tijd zijn dit

Waar en tijd zijn dit

Waar en tijd zijn dit

Waar en tijd zijn dit

Waar en tijd zijn dit

J.A. Warnars

Laboratorium voor
Fysische Technologie
Delft.

*Pe. 22
/ 20-1/11-18
Pe 22 Kocant*

<u>INHOUD.</u>	<u>BIZ.</u>
A. Verversing van een stilstaand grensvlak met vertikaal bewegende pennen.	3
I. Samenvatting.	3
II. Inleiding.	4
III. Experimenteel gedeelte.	6
III-1. Het meetvat.	6
III-2. Uitvoering van de metingen.	6
III-3. Metingen en berekeningen.	7
III-3.1. Absorptie aan een stilstaand oppervlak.	7
III-3.2. Absorptie aan een verstoord oppervlak.	8
IV. Konklusie.	14
B. Verversing van het grensvlak in een wervelkamer met en zonder schoep in de inlaat.	15
I. Samenvatting.	15
II. Experimenteel gedeelte.	15
II-1. De wervelkamer.	15
II-2. Uitvoering van de metingen.	16
II-3. Metingen en berekeningen.	16
III. Konklusie.	17
Literatuur.	18
Lijst van de gebruikte symbolen.	19

Tabellen, grafieken en figuren zijn zonder pagina-nummering achter in het verslag opgenomen.

A. VERVERSING VAN EEN STILSTAAND GRENSVLAK MET VERTIKAAL BEWEGENDE PENNEN.

I. SAMENVATTING.

Bij de metingen van de absorptiesnelheid van gas in een vloeistof werd nagegaan of de penetratietheorie toepasbaar is, voor het geval de vloeistof geheel in rust is en wat de invloed is van gedwongen grensvlakverversing op de absorptiesnelheid. De metingen werden uitgevoerd met acetyleneegas en water, de absorptiesnelheid werd gemeten aan een stilstaand oppervlak en aan een door vertikaal bewegende pennen verstoord oppervlak.

De resultaten maakten het noodzakelijk een Reynoldsgetal voor de pennen te definiëren. Gebleken is, dat voor een stilstaand oppervlak de penetratietheorie geheel opgaat en dat ook de absorptiesnelheid bij de metingen met kleine Reynoldsgetallen beschreven kan worden met het penetratiemodel, mits een ~~korrektiefaktor~~ wordt ingevoerd.

Bij de metingen met grote Reynoldsgetallen bleek de absorptiesnelheid, beschreven te moeten worden met een konstante stofoverdrachtscoëfficiënt.

II. INLEIDING.

Gasabsorptie kan men onderscheiden in fysische en chemische gasabsorptie. Onder fysische absorptie verstaat men de absorptie van een gas in een vloeistof welke geen, ten opzichte van het gas chemisch reactieve bestanddelen bevat. De gasabsorptie, die plaats vindt in de in dit verslag beschreven proeven, is zuiver fysisch.

De gasabsorptie treedt op doordat in de vloeistof een gasconcentratie heerst, die kleiner is dan de verzadigingsconcentratie in het grensvlak, die overeenkomt met de druk van het gas boven de vloeistof. Voor de snelheid van de gasabsorptie kan men stellen:

$$\phi_m'' = K (C^* - C) \quad [1]$$

waarin ϕ_m'' de stofstroomdichtheid ($\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$), C^* de verzadigingsconcentratie, C de gemiddelde gasconcentratie in de vloeistof (kg/m^3) en K de totale stofoverdrachtscoëfficiënt (m/s) voorstelt.

De totale stofoverdrachtscoëfficiënt is samengesteld uit een overdrachtscoëfficiënt in de vloeistoffase K_1 en een in de gasfase K_g , waarvoor geldt:

$$1/K = 1/K_1 + 1/K_g \quad [2]$$

Is het gas geheel zuiver dan is er geen gasfase weerstand en geldt $K = K_1$.

Penetratietheorie. Voor de absorptie van een zuiver gas in een geheel in rust zijnde vloeistof kan worden afgeleid (1), dat voor de stofstroomdichtheid geldt:

$$\phi_m'' = (C^* - C_0) \sqrt{ID/\pi t} \quad [3]$$

waarin ID de diffusiecoëfficiënt van het gas (m^2/s), t de contacttijd van het gas met de vloeistof, C_0 de concentratie van het gas in de vloeistof bij $t = 0$ en C^* de verzadigingsconcentratie in het grensvlak bij $t > 0$. De formule geldt in wezen slechts voor een half oneindig medium en

mag dus alleen toegepast worden gedurende die contacttijd waarin de begrenzing van het medium nog niet merkbaar is.

Men ziet hieruit, dat voor een geheel in rust zijnde vloeistof de totale stofoverdrachtscoëfficiënt K uit betrekking [1], beschreven kan worden door:

$$K = \sqrt{D/\pi t} \quad [4]$$

Deze betrekking geldt zolang de vloeistof door het penetrerende gas nog als oneindig kan worden "gezien".

III. EXPERIMENTEEL GEDEELTE.

De absorptiesnelheid werd gemeten van acetyleneegas in water. Aanvankelijk werd gemeten aan een stilstaand oppervlak en een geheel in rust verkerende vloeistof om de geldigheid van de penetratietheorie te controleren, vervolgens aan een door vertikaal trillende pennen verstoord oppervlak. Nagegaan werd nu in hoeverre aantal pennen, frekwentie en amplitude van de trilling, de absorptie snelheid beïnvloedden.

Koolzuurgas voldoet voor deze metingen niet omdat met CO₂ verzadigd water, waaruit de grenslaag verondersteld wordt te bestaan, een grotere dichtheid heeft dan water en derhalve deze grenslaag ^{zo vast} door vrije konvektie voortdurend ververst wordt. De penetratietheorie voorspelt een stoftransport evenredig $1/\sqrt{t}$. Voorbereidende proeven met CO₂-gas gaven een ^{door deze vrij konvektie} nagenoeg konstante absorptiesnelheid te zien, weinig afhankelijk van de tijd. Acetyleen daarentegen voldeed geheel aan het penetratiemodel.

III-1. Het meetvat. Figuur 1 geeft schematisch het zeshoekige meetvat weer. Bovenin het vat is een zeshoekige plaat bevestigd, dusdanig, dat deze een longitudinale trilling kan uitvoeren. Aan de schijf zijn pennen bevestigd; in de middenstand van de schijf raken de voetjes van de pennen juist het vloeistofoppervlak. Er werd gemeten met 7 en met 19 pennen. Figuur 1 geeft de configuraties hiervan.

III-2. Uitvoering van de metingen. Het vat wordt gevuld met schoon, gedestilleerd water tot de juiste hoogte. Boven de vloeistof bevindt zich stikstof. Als de wervels in de vloeistof uitgedempt zijn wordt de motor van het trilmechaniek aangezet en met een snelle acetyleen gasstroom de stikstof verdreven. Dan wordt de gasstroom gesloten en de absorptiesnelheid met behulp van een zeepvliesburet gemeten. Figuur 2 geeft een schema van de opstelling.

De volgorde van handelen is als volgt: In het systeem is zuiver acetyleneegas aanwezig. In de zeepvliesburet worden enkele zeepvliesen tot boven in de buret gebracht, dan wordt met de driewegkraan 2 de gasburet afgesloten en de gasstroom direkt afgevoerd. Acetyleen wordt verdreven met stikstof (driewegkraan 1) en schoon water in het meetvat gebracht. Na ongeveer 10 minuten zijn er geen wervels meer in het water. De motor wordt aangezet en er wordt gedurende 50 seconden acetyleen met een gasstroom van 100 ml/sec., afleesbaar met behulp van een rotameter, door het systeem gevoerd. De stikstof is dan verdreven tot ongeveer 1%. De gasstroom wordt gesloten en de gasburet weer aangesloten. Door de absorptie van het gas in het meetvat ontstaat een kleine onderdruk; de zeepvliesen in de gasburet zullen dalen en hiermee de absorptiesnelheid aangeven.

III-3. Metingen en berekeningen. De absorptiesnelheid werd gemeten aan een stilstaand oppervlak en aan een door pennen verstoord oppervlak, waarbij aantal pennen, frekwentie en amplitude van de beweging werden gevariëerd.

III-3.1. Absorptie aan een stilstaand oppervlak. Men vindt voor de stofstroom:

$$\phi_m = F \cdot C^* \cdot \sqrt{ID/\pi t} \quad [5]$$

waarin ϕ_m de stofstroom (kg/s) en F het vloeistofoppervlak (m^2) voorstelt en de beginconcentratie $C_0 = 0$ is.

De moeilijkheid is, dat men geen exacte waarde weet voor de begintijd van de meting. De stikstofatmosfeer boven de vloeistof kan niet momentaan vervangen worden door die van acetyleen; er is een bepaalde tijd voor nodig, afhankelijk van de doorvoerstream. De kromme in grafiek 1 geeft de absorptiesnelheid weer aan het stilstaand vloeistofoppervlak. Voor de begintijd is genomen het moment waarop acetyleen wordt ingevoerd. De kromme blijkt te voldoen aan de vergelijking:

$$\phi_m = F \cdot C^* \cdot \sqrt{D/\pi} (t-x) \quad [6]$$

waarin x voorstelt een correctie op de aangenomen begintijd. Men kan stellen, dat x seconden na het aanzetten van de acetyleen-gasstroom de acetyleenconcentratie in het vloeistofoppervlak de verzadigingsconcentratie bereikt heeft en dus de theoretische begintijd bereikt is.

Bij de hier beschreven proeven was de gasdoorvoertijd 50 sec.; de verzadigingsconcentratie C^* 1,2 kg/m³; het vloeistofoppervlak F 1,46 · 10⁻² m²; voor x werd gevonden 35 sec. en voor de diffusiecoëfficiënt D 2,56 · 10⁻⁹ m²/s. (de literatuur (2) geeft voor de diffusiecoëfficiënt van acetyleen in water: $D = 1,56 \cdot 10^{-9}$ m²/s.).

Vergelijking [5] kan men nu schrijven als:

$$\phi_m = 5,0 \cdot 10^{-7} t^*^{-\frac{1}{2}} \quad [7]$$

waarin t^* de gecorrigeerde tijd voorstelt. Al de volgende proeven zijn gecorrigeerd met de gevonden waarde voor x .

III-3.2. Absorptie aan een verstoord oppervlak. Hiervoor staan, afhankelijk van de meetvariabelen, twee mechanismen ter beschikking om de stofoverdracht te beschrijven. Men kan zich voorstellen, dat bij geringe verstoring van het grensvlak het penetratiemodel nog toepasbaar is, bij heftige verstoring echter niet meer. In het laatste geval kan men de stofoverdracht beschrijven met een konstante stofoverdrachtscoëfficiënt K als in formule [1].

Om de begrippen „geringe verstoring” en „heftige verstoring” nader te beschrijven wordt er een Reynoldsgetal voor de pennen ingevoerd:

$$Re = \frac{\rho \nu a^2}{\eta} \quad [8]$$

waarin ν de frekwentie (sec⁻¹), a de amplitude (m) van de trilling, ρ de dichtheid (kg/m³) en η de dynamische viscositeit (Nsec/m²) van de vloeistof voorstelt.

Zet men het Reynoldsgetal van de pennen voor de verschillende meetvariabelen uit tegen het aantal pennen n ,

grafiek 2, dan blijkt dat voor de metingen onder die omstandigheden waarvoor het Re-getal beneden de lijn PQ in grafiek 2 ligt, het penetratiemodel nog toepasbaar is. Voor de getallen boven de lijn PQ in de grafiek moet de stofoverdracht beschreven worden met een konstante overdrachtscoëfficiënt.

Absorptie aan een gering verstoord oppervlak. De resultaten van een aantal metingen zijn weergegeven in grafiek 3 (de gebruikte frekwenties van de trilling lagen buiten de eigen frekwentie van het water). De absorptiesnelheid is uitgezet tegen $t^* - \frac{1}{2}$. De kromme uit grafiek 1, vergelijking [6], is hierin terug te vinden als een rechte door de oorsprong. De andere lijnen zijn gedurende enige tijd eveneens min of meer recht en voldoen dan aan de vergelijking:

$$\phi_m = A t^* - \frac{1}{2} + B \quad [9]$$

De konstanten A en B volgen uit de grafiek. A geeft de helling van de lijnen en komt ongeveer overeen met de helling van de lijn gemeten aan het stilstaand oppervlak [6] en is dus niet afhankelijk van de meetvariabelen. B is het stuk, dat van de Y-as afgesneden wordt voor $t^* = 0$ en is wel afhankelijk van de meetvariabelen. Men kan dus veronderstellen, dat er absorptie optreedt aan het gehele vloeistofoppervlak volgens het penetratiemodel en een extra absorptie, B, konstant met de tijd, alleen op die plaatsen waar het oppervlak verstoord wordt.

Veronderstelt men bij het omhoog gaan van de pennen een langs het voetje van elke pen omlaag stromende vloeistoffilm, figuur 3, dan kan men schrijven (3) voor de gemiddelde valsnelheid van de film:

$$\langle v \rangle = \frac{\sqrt{2}}{3\eta} \rho g \quad [10]$$

en stelt men:

$$\langle v \rangle = a \nu \quad [11]$$

waarin a de amplitude en ν de frekwentie van de trilling, $\bar{\delta}$ de gemiddelde filmdikte, η de dynamische viscositeit, en ρ de dichtheid van de vloeistof en g de versnelling van de zwaartekracht voorstelt. Voor de gemiddelde filmdikte volgt dan:

$$\bar{\delta} = \sqrt{\frac{3 \eta a \nu}{\rho g}} \quad [12]$$

Voor de volumestroom van de vallende vloeistoffilm langs alle pennen kan men schrijven:

$$\phi_v = 2 \pi R \cdot a \cdot \bar{\delta} \cdot n \cdot \nu \quad [13]$$

waarin R de straal van het pennevoetje en n het aantal pennen voorstelt. Veronderstelt men verder, dat gedurende een halve trillingstijd, die nodig is om de pennen eenmaal uit de vloeistof te heffen, de afstromende vloeistoffilm geheel verzadigd is met het geabsorbeerde acetyleen, dan kan men schrijven voor de extra stofstroom B :

$$B = 2 \pi R \cdot a \cdot \bar{\delta} \cdot n \cdot \nu \cdot C^* \quad [14]$$

Tabel 1 geeft voor de verschillende meetvariabelen de gemeten waarden voor A en B en tevens de op bovenstaande wijze berekende waarde voor B .

Absorptie aan een heftig verstoord oppervlak. Het berekenen van de overdrachtscoëfficiënten geschiedde op grond van de volgende beschouwing. Voor de absorptiesnelheid op een moment t , waarop in de vloeistof de gasconcentratie heerst moet gelden:

$$\phi_m = K \cdot F \cdot (C^* - C) = V \frac{dc}{dt} \quad [15]$$

waarin V het volume van de vloeistof en $\frac{dc}{dt}$ de concentratie-verandering per tijdseenheid voorstelt. Oplossing van deze differentiaalvergelijking met de randvoorwaarde $C = 0$ voor $t = 0$ geeft:

$$C^* - C = C^* \cdot e^{-\frac{K F}{V} t} \quad [16]$$

zodat:

$$\phi_m = K F \cdot C^* \cdot e^{-\frac{K F}{V} t} \quad [17]$$

of:

$$\log \phi_m = \log C^* \cdot K \cdot F - \frac{K F}{V} t \log e \quad [18]$$

Hieruit blijkt, dat $\log \phi_m$ uitgezet tegen t een rechte lijn zal moeten geven, waarvan de helling een maat is voor $K F$ (in het vervolg $K F_h$ genoemd), terwijl extrapolatie naar $t = 0$ (gecorrigeerde begintijd) eveneens een waarde voor $K F$ geeft ($K F_{t=0}$).

De grafieken 4, 5 en 6 geven voor een aantal metingen onder verschillende omstandigheden de gemeten lijnen weer. Tabel 2 korrespondeert met deze grafieken en geeft de gemeten waarden voor $K F_h$ en $K F_{t=0}$ en de daaruit berekende en gemiddelde waarden voor K voor de verschillende meetvariabelen.

Uit de tabel blijkt, dat de stofoverdrachtscoëfficiënt K weinig afhankelijk is van het aantal pennen n . Laat men de invloed van het aantal pennen weg en worden de beide K -waarden voor de twee verschillen pennen-aantallen gemiddeld, dan is de stofoverdrachtscoëfficiënt K nog slechts afhankelijk van de amplitude en de frekwentie van de trilling, tabel 3.

Men kan nu stellen dat:

$$K = (a, \nu, D, g) \quad [19]$$

waarin D de diffusiecoëfficiënt (m^2/s) van het gas, g de versnelling van de zwaartekracht (m/s^2), a de amplitude (m) en ν de frekwentie (sec^{-1}) van de trilling voorstelt. Een dimensie-analyse leert, dat het verband tussen deze grootheden kan worden geschreven als:

$$\frac{K a}{D} = c \cdot \left(\frac{a \nu}{g}\right)^2 p \cdot \left(\frac{a^2 \nu}{D}\right)^q \quad [20]$$

waarin $\frac{K a}{D}$ een Sherwoodgetal, $\frac{a \nu}{g}$ een Froudegetal en $\frac{a^2 \nu}{D}$ een Bodensteingetal voorstelt:

$$Sh = C \cdot (Fr)^p \cdot (Bo)^q \quad [21]$$

Uit de ^{evenredigheden} betrekkingen tussen de stofoverdrachtscoëfficiënt K en de amplitude a en de frekwentie ν van de trilling, tabel 3, zijn globaal de exponenten p en q en de konstante C te berekenen. Werkend met gemiddelden vindt men:

$$\frac{K a}{ID} = 3 \cdot 10^{-3} \left(\frac{a \nu^2}{g} \right)^{0,3} \left(\frac{a^2 \nu}{ID} \right)^{0,9} \quad [22]$$

Over deze uitkomst is weinig te zeggen.

Het is echter wèl zo, dat de frekwentie-afhankelijkheid van de stofoverdrachtscoëfficiënt een geringere spreiding vertoonde dan de amplitude-afhankelijkheid. Gebleken is een evenredigheid van K met $\nu^{1,5}$. Hiervan uitgaande kan voor betrekking [20] worden geschreven:

$$\frac{K a}{ID} = C \left(\frac{a \nu^2}{g} \right)^p \left(\frac{a^2 \nu}{ID} \right)^{1,5-2p} \quad [23]$$

of:

$$\frac{K a}{ID} \left(\frac{ID}{a^2} \right)^{1,5} = C \left(\frac{ID^2}{a^3 g} \right)^p \quad [24]$$

Dankwerts (3) leidt voor de stofoverdrachtscoëfficiënt van een gas en een vloeistof een betrekking af:

$$K = \sqrt{ID S} \quad [25]$$

waarin S een maat voor de oppervlakteverversing (sec^{-1}) voorstelt. Uit de evenredigheid van K met $ID^{\frac{1}{2}}$ volgt:

$$\frac{K a}{ID} \text{ evenredig met } \left(\frac{a^2 \nu}{ID} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Als ook de evenredigheid van K met $\nu^{1,5}$ aangehouden wordt dan kan worden afgeleid:

$$\frac{K a}{ID} \left(\frac{ID}{a^2 \nu} \right)^{1,5} = C \left(\frac{ID^2}{a^3 g} \right)^{0,5} \quad [26]$$

Grafiek 7 laat zien de meetpunten en de lijnen die correleren met de betrekkingen [24] en [26], in betrekking [24] is voor de exponent p de gevonden gemiddelde waarde 0,3 genomen.

Een duidelijke overeenkomst van de experimenten met de theorie van Danckwerts is hierin niet te zien.

IV. KONKLUSIE.

Uit de proeven is gebleken, dat bij de absorptie van acetyleneegas in water voor een geheel in rust zijnde vloeistof de penetratietheorie nauwkeurig opgaat.

Wordt het oppervlak verstoord door middel van verticaal bewegende pennen en men definiëert een Reynoldsgetal voor de pennen dan zal voor kleine Reynoldsgetallen de gasabsorptie in de vloeistof worden bepaald door een absorptie in het vlakke gedeelte van het vloeistofoppervlak, waarvoor de penetratie-theorie blijft gelden, plus een extra absorptie in de bij elke periode van de trilling van de pennen afstromende vloeistof. In dit geval wordt dus de absorptiesnelheid van het gas in de vloeistof bepaald door een tijdsafhankelijke grootte, overeenkomstig het penetratiemodel in het vlakke gedeelte van het vloeistofoppervlak en een tijds-onafhankelijke grootte, die wordt bepaald door een konstante verversing van de vloeistoffilm om de pennen, afhankelijk van amplitude en frekwentie van de trilling.

Voor grote Reynoldsgetallen is het penetratiemodel niet meer toepasbaar en moet de gasabsorptie worden beschreven met een konstante stofoverdrachtscoëfficiënt. Overeenkomst met een door Danckwerts (3) opgestelde theorie over oppervlakteverversing is hierbij niet gebleken.

B. VERVERSING VAN HET GRENSVLAK IN EEN WERVELKAMER
MET EN ZONDER SCHOEP IN DE INLAAT.

I. SAMENVATTING.

In een wervelkamer of cycloon, waarin geen kolkvorming optrad, werd de absorptiesnelheid van koolzuurgas in water gemeten. Nagegaan werd of het mogelijk was de absorptiesnelheid te beïnvloeden door aan de inkomende tangentielle vloeistofstroom een extra wervel mee te geven. Deze extra wervel werd opgewekt door een schroefvormige schoep in de inlaatbuis van de wervelkamer.

De absorptiesnelheid werd gemeten bij verschillende debieten met en zonder schoep. Het resultaat was, dat de op deze wijze opgewekte extra turbulentie weinig invloed had op de absorptiesnelheid

II. EXPERIMENTEEL GEDEELTE.

De gasabsorptie aan het vloeistofoppervlak in een wervelkamer kan worden beschreven door:

$$\phi_m = K \cdot F \cdot (C^* - C) \quad [1]$$

waarin ϕ_m de stofstroom (kg/s), F het vloeistofoppervlak (m^2), C^* de verzadigingsconcentratie en C de gemiddelde concentratie in de vloeistof (kg/m^3) voorstelt.

II-1. De wervelkamer. Figuur 4 geeft schematisch een beeld van de wervelkamer en in detail de inlaatbuis met de schroefvormige schoep. Het Y-vormige inzetstuk in de uitlaat van de wervelkamer dient om de doorgaans optredende kolk te onderdrukken. Het vloeistofoppervlak is tijdens de vloeistofdoorstroming vlak en enigszins gegolfd. De schoep heeft een lengte van 10 cm en is over deze lengte 90° gedraaid. Het vloeistofoppervlak tijdens de proeven wordt op 8 cm boven de hartlijn van de inlaat ingesteld.

↑
belangrijke variabele

II-2. Uitvoering van de metingen. Figuur 5 geeft een schema van de meetopstelling. Het water, dat door de wer-
 velkamer stroomt wordt rondgepompt via een buffervat. Het
 debiet wordt gemeten met een meetflens en ingesteld met
 kraan K_1 . Met het vloeistofniveau in het buffervat wordt
 ook het niveau in de wervelkamer ingesteld. Alvorens met
 een meting te beginnen wordt korte tijd met behulp van CO_2
 gas de lucht boven de vloeistof in de wervelkamer verdre-
 ven (gasstroom afleesbaar op rotameter r_2). Is de lucht
 verdreven dan wordt kraan K_2 gesloten, de motor gestart
 en de gasstroom door de verzadiger en rotameter r_1 geleid.
 De gasstroom, in de wervelkamer door de vloeistof geabsor-
 beerd, wordt gemeten met een natte gasmeter (gevuld met olie),
 rotameter r_1 dient slechts om de gasstroom ruwweg in te
 stellen (2 à 3 maal de in de wervelkamer geabsorbeerde hoe-
 veelheid). De overmaat gas ontwijkt via een „bellenvaatje”
 en met het vloeistofniveau hierin kan men de gasdruk rege-
 len en konstant houden.

Het voordeel van deze meetmethode is, dat men „inte-
 grerend” meet, d.w.z. men meet een volume gas, dat geduren-
 de een bepaalde tijd (voor de beschreven proeven 10-20 minu-
 ten) geabsorbeerd wordt. Kleine veranderingen in de vloe-
 istofstroom, veroorzaakt door onregelmatig lopen van de pomp,
 veroorzaken druk- en niveauveranderingen in de wervelkamer,
 die een rotameter- of zeepvliesburet-aflezing zouden be-
 moeilijken. De verzadiger wordt op dezelfde temperatuur ge-
 houden als de vloeistof in de wervelkamer, en kan daarom
 in het buffervat worden opgesteld.

II-3. Metingen en berekeningen. Er is bij drie verschil-
 lende debieten gemeten, elk met en zonder de schoep in de
 inlaatbuis. Tabel 4 geeft het resultaat van de metingen.
 Korrekties moesten worden aangebracht voor het opwarmen
 van de vloeistof door de pomp en voor het dalen van het
 niveau in de wervelkamer door lekken van de afdichting in
 de pomp. De verzadigingsconcentratie van koolzuur in water
 is sterk temperatuur afhankelijk, zoals grafiek 8 laat zien
 (5). De gemiddelde koolzuurconcentratie van de vloeistof
 volgt uit de geabsorbeerde hoeveelheid gas gedurende de
 meetperiode.

III. KONKLUSIE.

Het blijkt duidelijk uit tabel 4, dat de schoep in de inlaatbuis weinig invloed heeft op de absorptiesnelheid van het gas in de vloeistof in de wervelkamer. Kennelijk zijn de, door de tangentiaal inkomende vloeistofstroom opgewekte wervels aan het vloeistofoppervlak, zo veelvuldig, dat de extra opgewekte wervel door de schoep in de inlaatbuis daar weinig meer toe bijdraagt.

LITERATUUR.

1. H.Kramers, Fysische Transportverschijnselen, 186
2. J.H.Perry, Chemical Engineers' Handbook, 540 (London 1953)
3. H.Kramers, Fysische Transportverschijnselen, 47
4. P.V.Danckwerts, Ind. Eng. Chem. 43. 1460 (1951) en
Am. Inst. Chem. Eng. 1. 456 (1955)
5. A.Seidell en W.F.Linke, Solubilities of Inorganic
and Organic Compounds, Supplement to third Edition,
New York 1951

LIJST VAN GEBRUIKTE SYMBOLEN.

ϕ_m''	absorptiesnelheid per eenheid van oppervlak	kg/m ² s
ϕ_m	absorptiesnelheid	kg/s
K	totale stofoverdrachtscoëfficiënt	m/s
K_l	stofoverdrachtscoëfficiënt in de vloeistoffase	m/s
K_g	stofoverdrachtscoëfficiënt in de gasfase	m/s
C^*	verzadigingsgasconcentratie in de vloeistoffase	kg/m ³
C	gasconcentratie in de vloeistoffase	kg/m ³
C_o	aanvangsconcentratie in de vloeistoffase	kg/m ³
D	diffusiecoëfficiënt van gas in vloeistof	m ² /s
t	tijd	s
F	oppervlak	m ²
$\langle v \rangle$	gemiddelde snelheid	m/s
$\bar{\delta}$	gemiddelde filmdikte	m
ρ	dichtheid	kg/m ³
g	versnelling van de zwaartekracht	m/s ²
η	dynamische viscositeit van de vloeistof	Ns/m ²
a	amplitude van de trilling	m
ν	frequentie van de trilling	1/s
R	straal van het pennevoetje	m
V	vloeistofvolume	m ³
s	maat voor de oppervlakteverversing	1/s
ϕ_v	volumestroom	m ³ /s
Re,	$\frac{\rho v a^2}{\eta}$ getal van Reynolds	
Sh,	$\frac{K a}{D}$ getal van Sherwood	
Fr,	$\frac{a v^2}{g}$ getal van Froude	
Bo,	$\frac{a^2 v}{D}$ getal van Bodenstein	

TABEL 1.

ν min^{-1}	n	2a mm	Re	A $\text{kg/s}^{-\frac{1}{2}}$	B kg/s	$2\pi Ra \nu n C^*$ kg/s
100	19	5	10,4	$6,1 \cdot 10^{-7}$	$4,0 \cdot 10^{-8}$	$5,3 \cdot 10^{-8}$
200	19	5	20,8	6,1	13,5	15,0
300	19	3	11,2	6,0	9,0	12,7
400	19	3	15,0	6,2	12,0	19,8
300	7	3	20,8	5,0	1,5	4,7
400	7	3	15,0	4,8	8,5	7,3
600	7	3	22,5	5,0	14,5	13,3

TABEL 2.

$K_{t=0}$ K_h

min^{-1}	n	2 a mm	Re	$K_{t=0}$ $10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$	K_h $10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$	\bar{K} 10^{-5} m/s
800	19	5	83	8,9	9,8	6,4
800	19	4	53	4,2	3,9	2,8
800	19	3	30	3,0	4,4	2,5
800	7	5	83	8,1	8,6	5,7
800	7	4	53	6,2	6,7	4,4
800	7	3	30	3,9	4,6	2,9
700	7	5	73	6,9	7,7	5,0
600	19	5	63	5,3	5,7	3,8
600	19	4	40	3,4	3,1	3,3
600	19	3	23	2,5	3,3	2,9
600	7	5	63	4,4	4,3	4,4
600	7	4	40	3,2	4,2	3,7
600	7	3	23	2,5	5,4	-
500	19	5	52	3,6	3,6	2,5
500	7	5	52	4,1	3,6	2,6
400	19	5	42	2,5	2,7	1,8
400	7	5	42	2,7	3,0	2,0

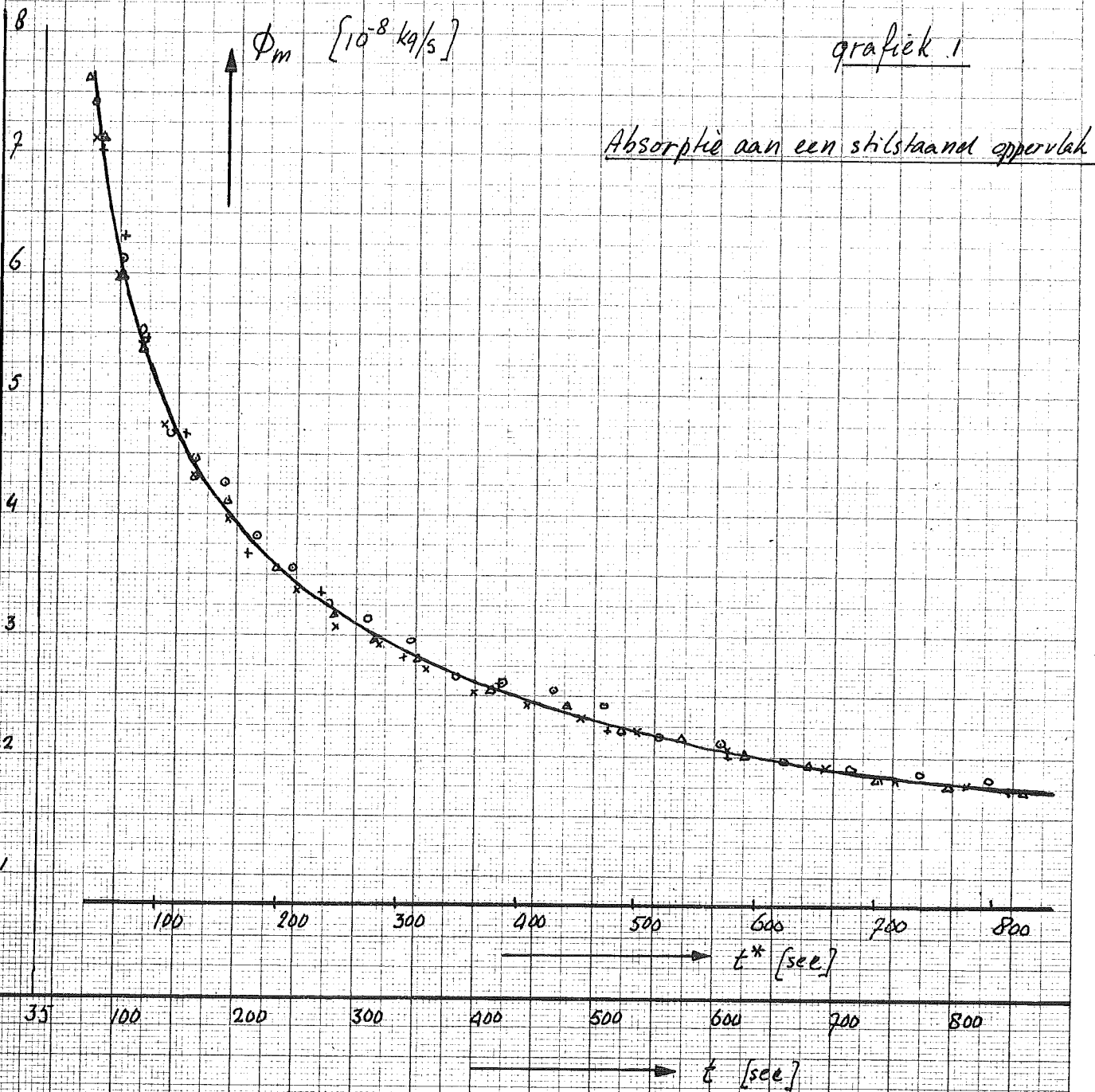
TABEL 3.

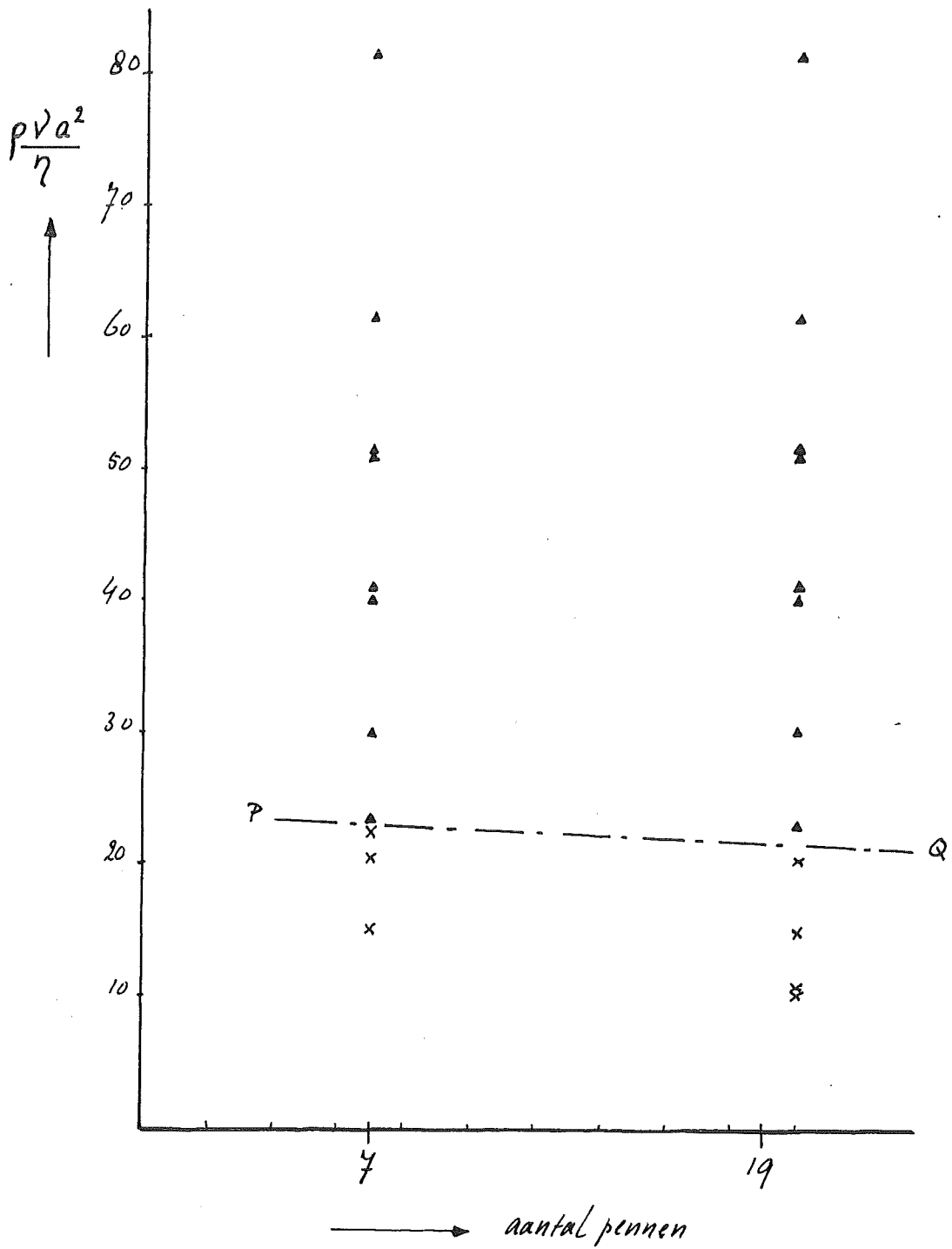
ω min^{-1}	$2a$ mm	\bar{K} 10^{-5} m/s
800	5	6,1
800	4	3,6
800	3	2,7
700	5	5,0
600	5	4,1
600	4	3,5
600	3	2,9
500	5	2,6
400	5	1,9

TABEL 4.

	ϕ_{vw} ltr/sec	K zonder schoep 10^{-5} m/s	K met schoep 10^{-5} m/s
	1,0	3,06 3,03 3,26 2,98 3,90 3,36 4,10	3,95 2,77 3,52 2,92 3,46 4,05 3,65
	gemiddeld:	<u>3,4</u>	<u>3,5</u>
	1,5	6,15 5,8 7,3 6,9	6,8 6,0 7,1 6,1 5,9
	gemiddeld:	<u>6,5</u>	<u>6,4</u>
	1,8	8,8 7,7 6,9 7,2 8,0 7,8	9,7 9,4 8,8 9,1 9,5 8,6
	gemiddeld:	<u>7,7</u>	<u>9,2</u>

*met
dan
gemiddeld*



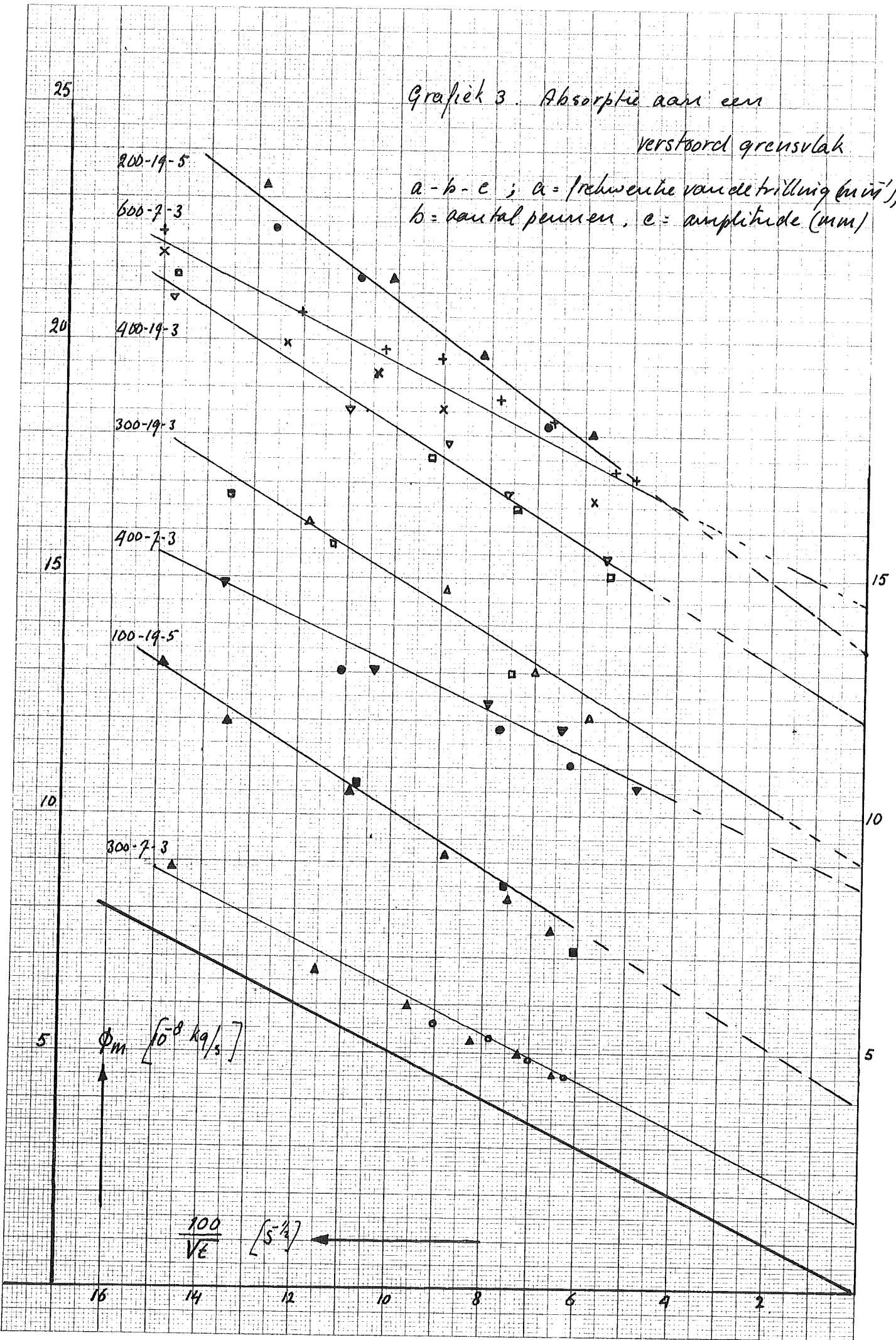


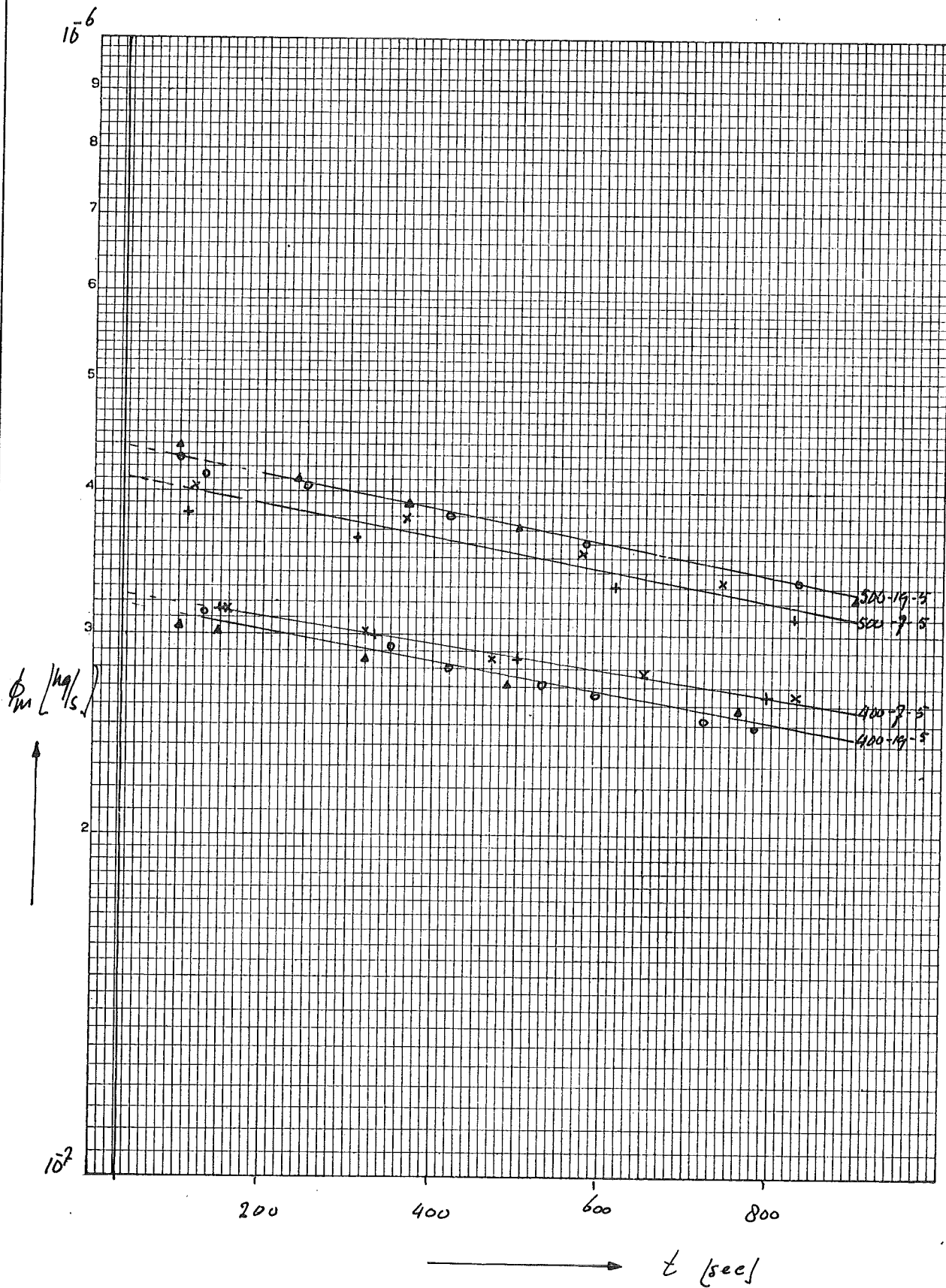
Grafiek 2 Reynolds getal voor de pennen

Grafiek 3. Absorptie aan een

verstoord grensvlak

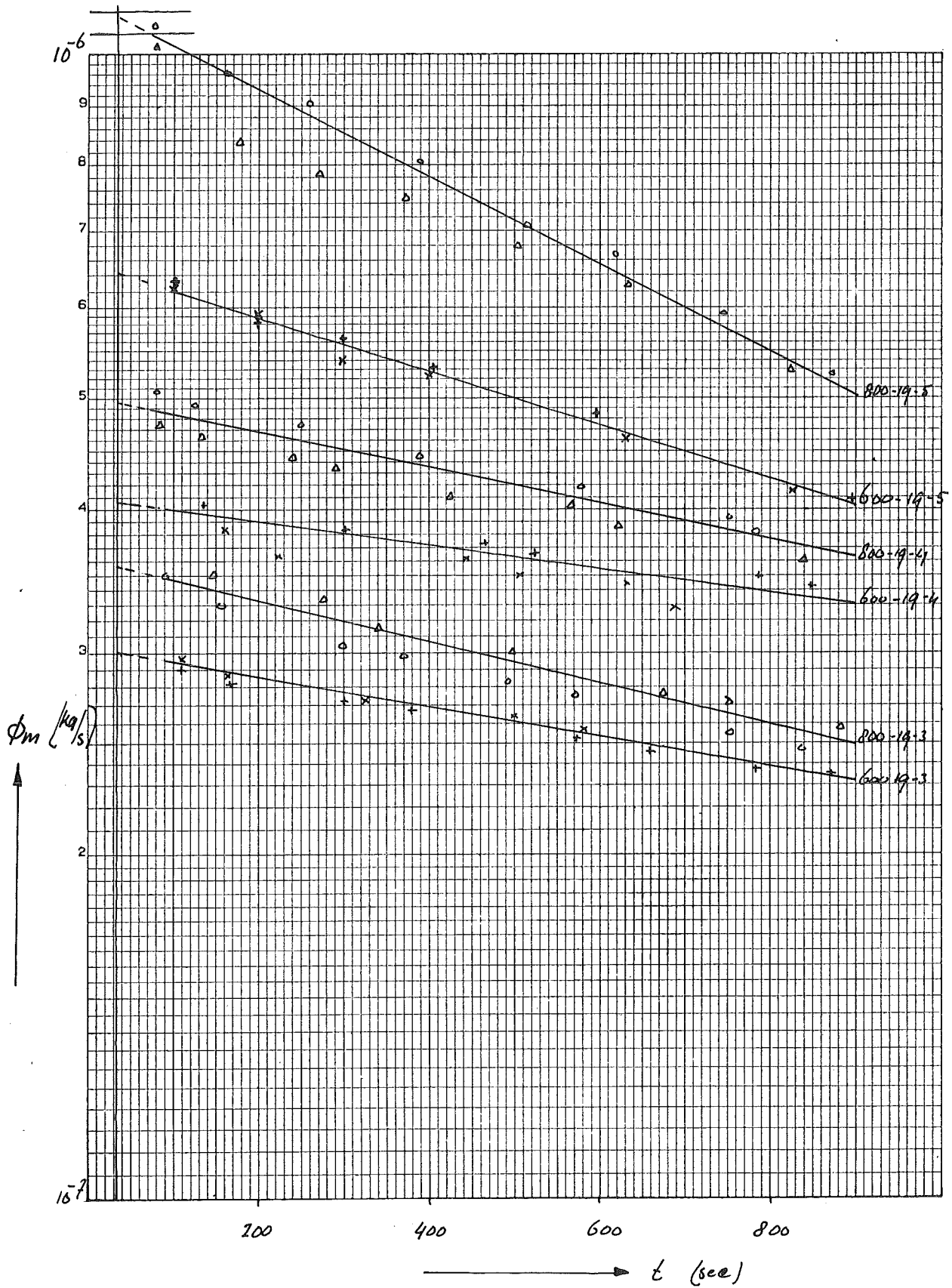
$a-b-c$; a = frequentie van de trilling (m^{-1}),
 b = aantal penmen, c = amplitude (mm)





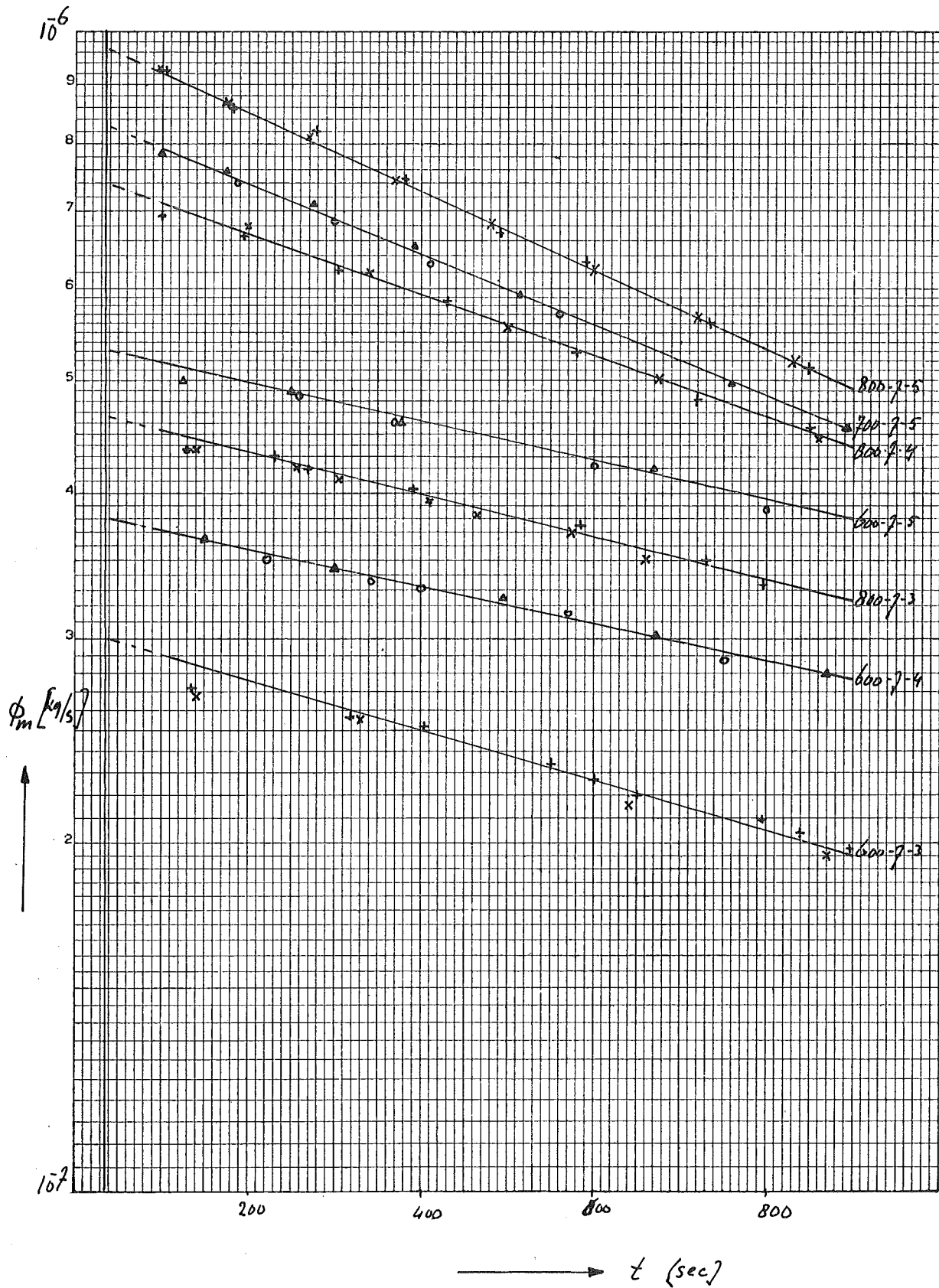
Absorptie aan een verstoord grensvlak
 $a-b-c$; a = frequentie van de trilling (min^{-1}),
 b = aantal penmen e = amplitude (mm)

Grafiek 4



Absorptie aan een verstoord grensvlak
 a-b-c ; a = frequentie van de trilling (min^{-1}),
 b = aantal pinnen, c = amplitude (mm)

Grafiek 5



Absorptie aan een verstoord grensvlak
 a-b-c ; a = frequentie van de trilling (min^{-1}),
 b = aantal pompen, c = amplitude (mm)

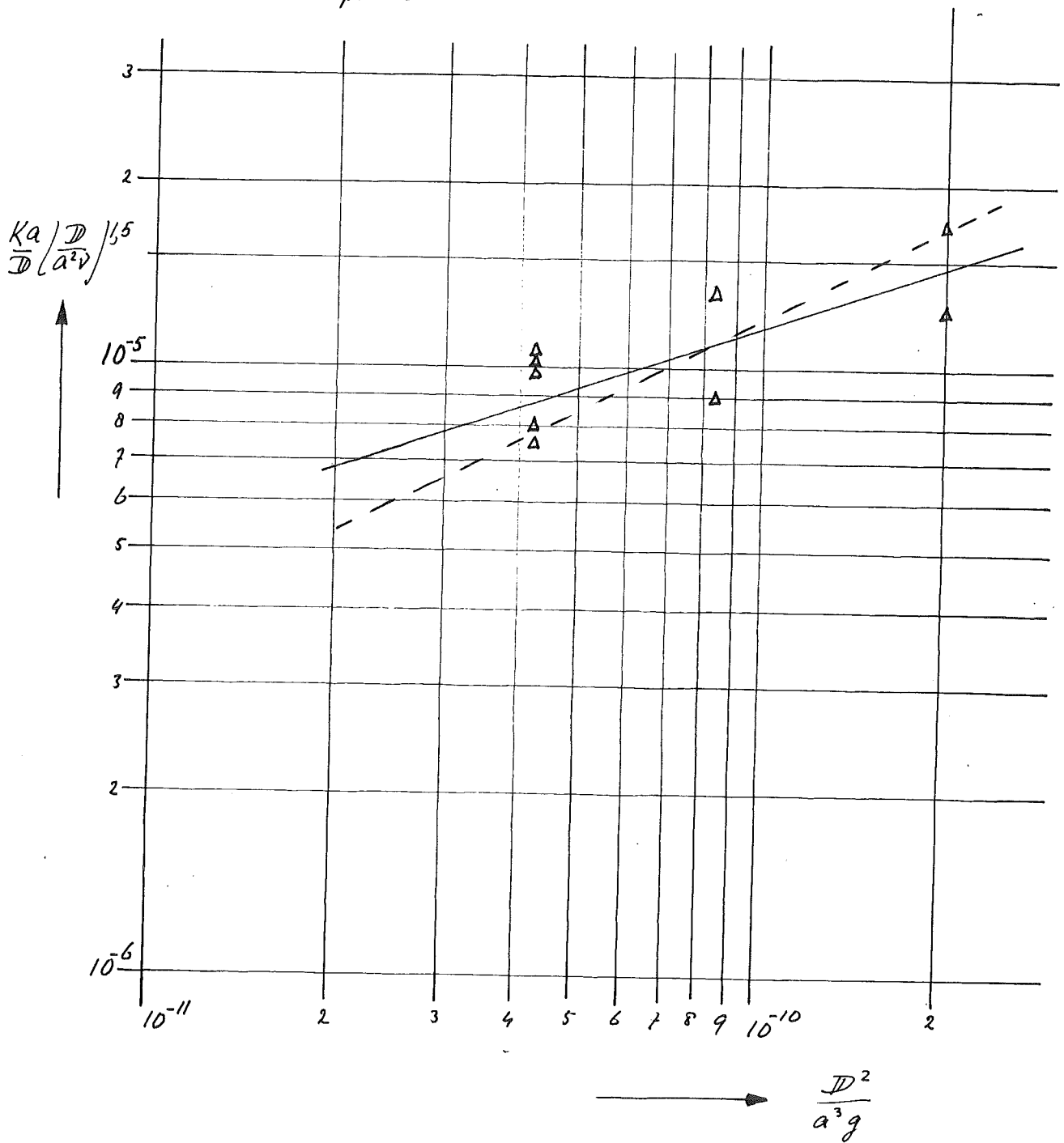
Grafiek 6

Grafiek 7 Gasabsorptie van een verstoord grensvlak

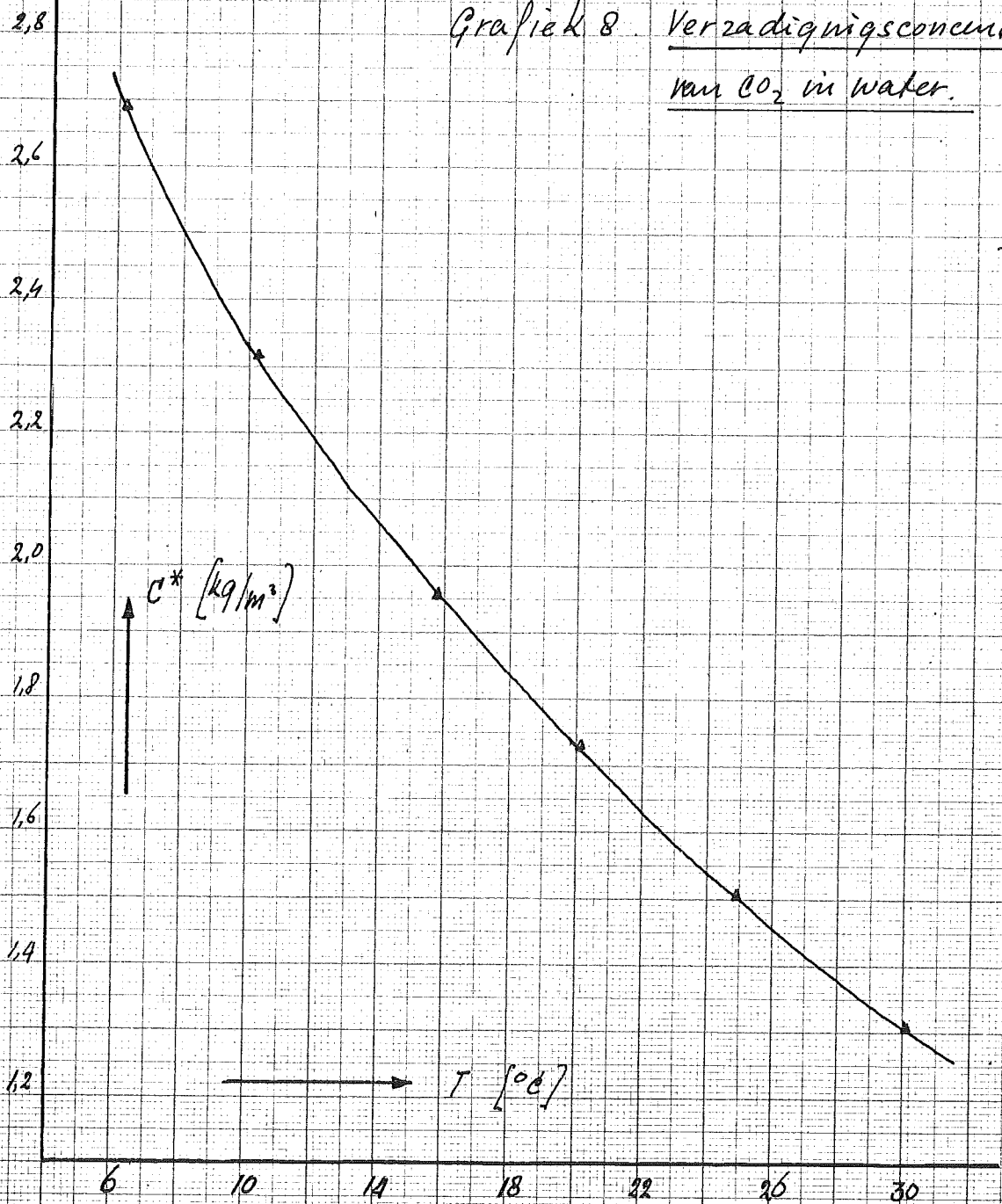
— $\frac{KR}{D} \left(\frac{D}{a^2 v} \right)^{1,5} = c \left(\frac{D^2}{a^3 g} \right)^{0,3}$ (experimenteel)

--- $\frac{Ka}{D} \left(\frac{D}{a^2 v} \right)^{1,5} = c' \left(\frac{D^2}{a^3 g} \right)^{0,5}$ (Dauchwerts)

Δ meetpunten

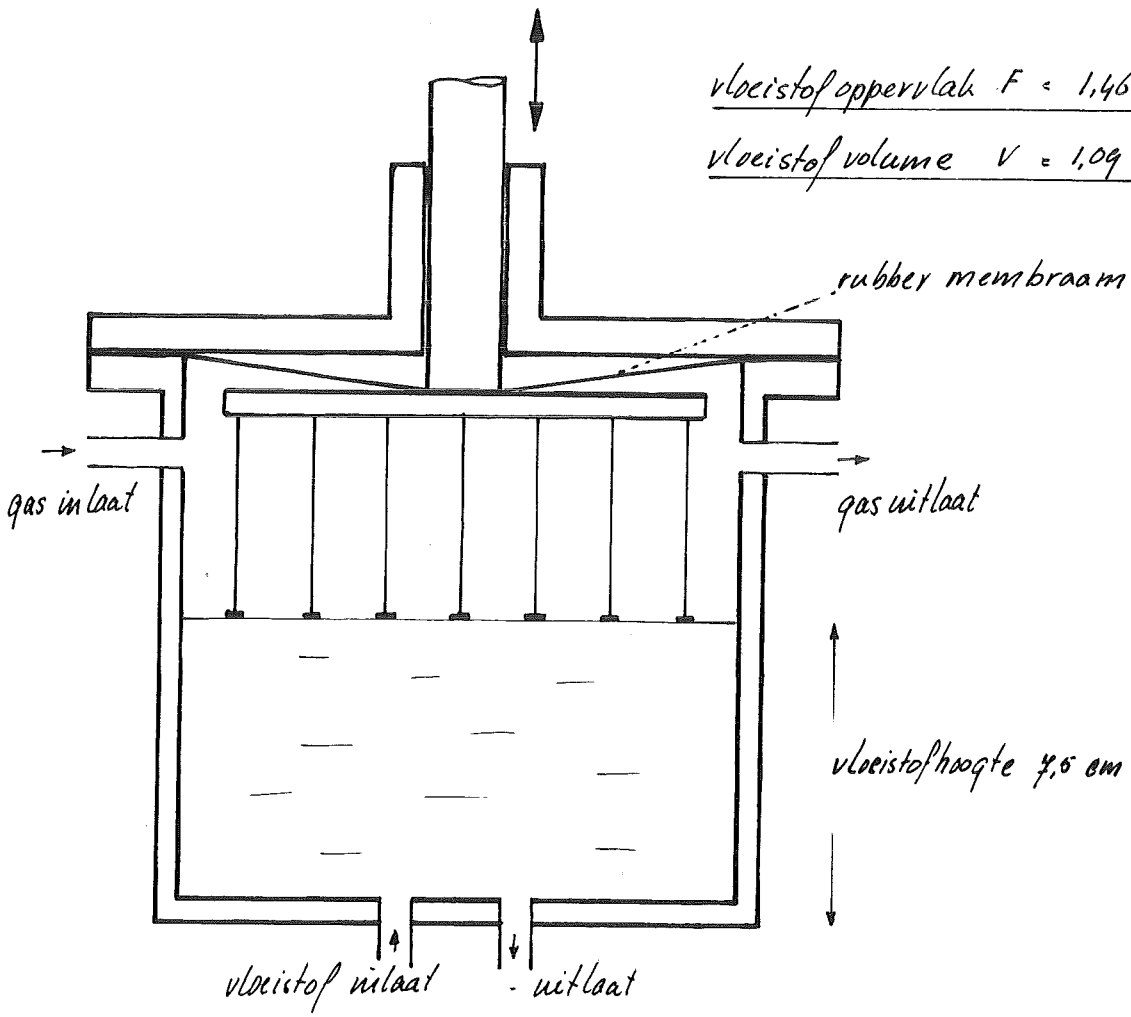


Grafiek 8. Verzadigingsconcentratie van CO₂ in water.

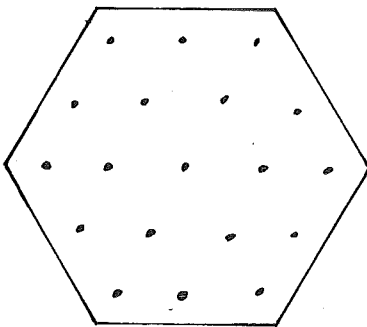


vloeistof oppervlak $F = 1,46 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$

vloeistof volume $V = 1,09 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$



19 pennen



7 pennen

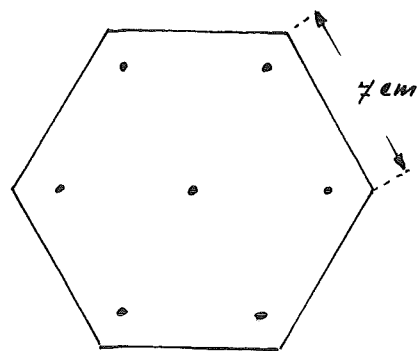


fig. 1 Het meet vat

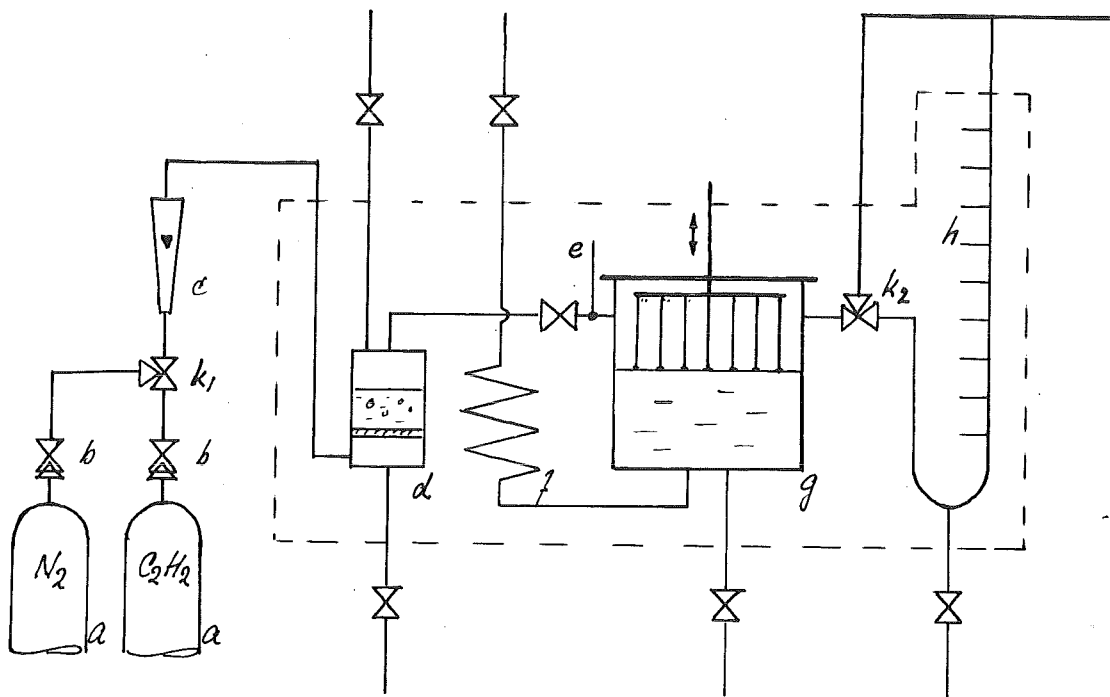


Fig. 2 De opstelling om absorptie snelheden te meten aan een verstoord grensvlak

- | | | | |
|---|-----------------|---|----------------------------------------|
| a | bombe | f | spiraal in de vloeistof toevoerleiding |
| b | reduceerventiel | g | meetvat met de penen |
| c | rotameter | h | gasburet |
| d | verzadiger | k | drieweg kraan |
| e | thermometer | | |

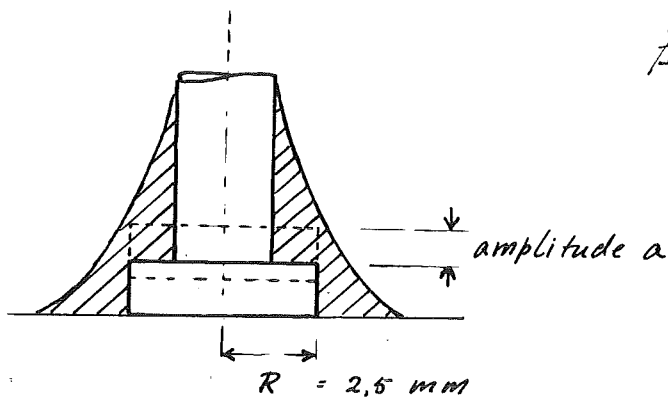


Fig. 3 Detail van een pennevoetje met aanklevende vloeistof

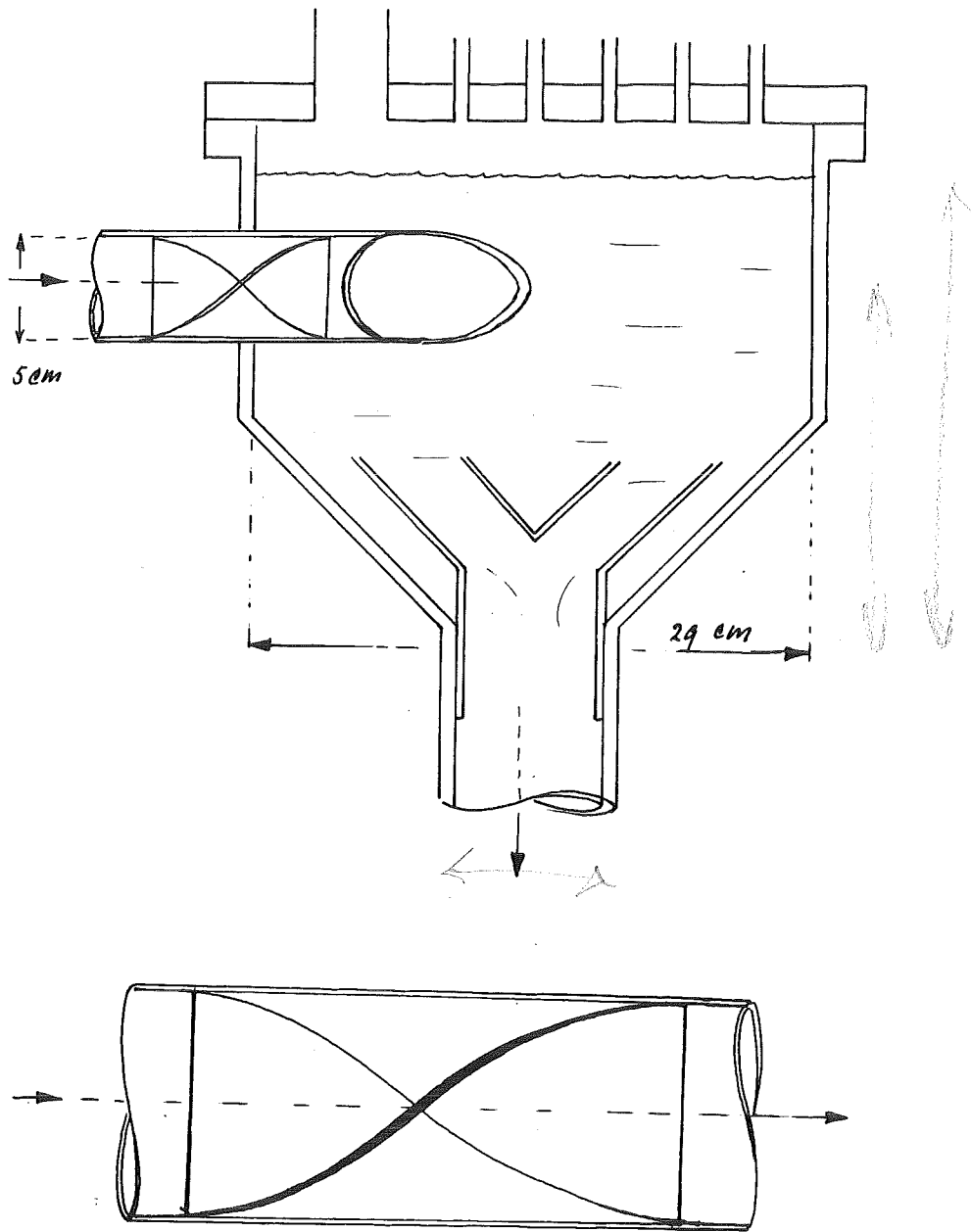


fig. 4 De wervelkamer met in detail de
schroefvormige schoep in de inlaat.

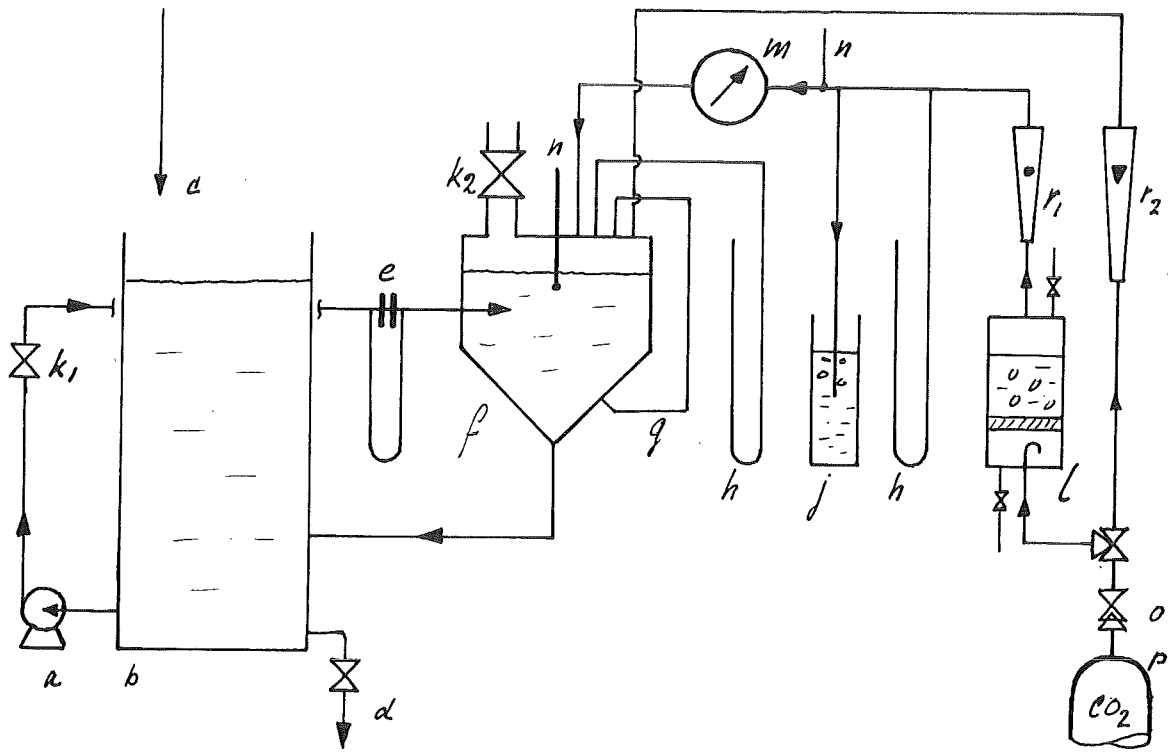


fig. 5 De opstelling om absorptiesnelheden te meten in een wervelkamer

- a pomp
- b buffervat
- e water toevoer
- d water afvoer
- e meet/lens met manometer
- f wervelkamer
- g niveau buis
- h vloeistofmanometer

- j vloeistof vaatje om overmaat gas te laten ontkwijken
- k kraan
- l verzadiger
- m natte gasmeter
- n thermometer
- o reduceer ventiel
- p bombe
- r rotameter