

Afstudeerverslag S.M. Joubstra T

Januari 1957

I. Oppervlaktespanning tijdens stoftransport

II. Schuimverschijnselen bij het blazen van lucht door water.

OPPERVLAKTESPANNING TIJDENS STOFTRANSPORT.

S.M. JOUSTRA.

I N H O U D:

Bladzijde.

1.	Samenvatting.	1
2.	Methoden om de oppervlaktespanning te bepalen.	2
3.	Het produceren van een straal.	5
4.	Verschillende capillairen.	6
5.	Het bestuderen van de capillairen.	8
6.	Het meten van de verschillende grootheden van de straal.	9
7.	Beschrijving van het toestel.	12
8.	Het toestel.	13
9.	Fouten welke de waarnemingen beïnvloeden.	15
10.	Waarnemingen.	17
11.	Bespreking van de waarnemingen.	18
12.	Waarnemingen met ammoniakabsorptie.	22
13.	Interpretatie van de waarnemingen met ammoniakabsorptie.	24
14.	Literatuur.	31

=====

Samenvatting.

Het doel van de proef is het gedrag van de oppervlaktespanning na te gaan tijdens stoftransport. Dit werd onderzocht met de "method of jet vibration", welke door Bohr (3) is ontwikkeld.

Als resultaat werd gevonden, dat de oppervlaktespanning niet of slechts weinig door het stoftransport wordt beïnvloed.

METHODEN OM DE OPPERVAKTESPANNING TE BEPALEN.

Om mogelijke veranderingen in de oppervlaktespanning van een vloeistof bij stofoverdracht te kunnen constateren is het noodzakelijk een methode toe te passen, waarbij het oppervlak voortdurend wordt verversst. Op deze wijze wordt het mogelijk op een bepaalde plaats voortdurend éénzelfde stofstroom door het oppervlak te verkrijgen.

Methoden welke in dit geval in aanmerking komen:

a. Meting van de oppervlaktespanning door middel van stationnaire golven op een verticale straal.

Laat men een verticale straal op een vaste wand of in een vloeistof vallen, dan vormen zich op het oppervlak van de straal stationnaire golven. Lamb (8) heeft tussen de oppervlakte-spanning, de diameter van de straal en de golflengte van de golfjes een verband afgeleid.

Deze methode is toegepast door Satterly (13). Uit deze proeven blijkt, dat de nauwkeurigheid niet bijzonder groot is.

Voor water werden waarden tussen 70 en 76 dyne/cm gemeten, terwijl deze 73 bij 18°C hoort te zijn.

De reden waarom deze methode niet door ons werd gekozen, was, dat de golfjes zich aan het eind van de straal bevinden.

Laat men een gas aan een straal absorberen, dan zal de stofstroom naarmate men verder in de straal komt afnemen. Het effect, dat we willen meten is dus altijd aan het eind van de straal kleiner dan aan het begin.

Tevens is het bij deze methode onmogelijk te constateren of zich direct bij het vormen van de straal de verzadigingsconcentratie op het oppervlak hiervan instelt.

Een ander bezwaar is, dat, wanneer een film of straaltje, bij lage snelheden (0.5 m/sec), in water valt, zich een filmpje onder aan het oppervlak van de straal vormt, dat bijna stilstaat.

De verversing van dit filmpje is geheel anders dan die van de rest van het oppervlak van de straal. Bij absorptie-

proeven, waar met dergelijke lage snelheden wordt gewerkt, moet hiervoor een correctie worden aangebracht, daar hier geen absorptie aan de straal optreedt.

De hoogte van dit filmpje is een functie van de snelheid van de straal. Daar Addison en Elliott (1) en Satterly en Stracham (13) echter als meest gunstige snelheid 0.5 m/sec opgeven, kunnen in ons geval hier last mee krijgen.

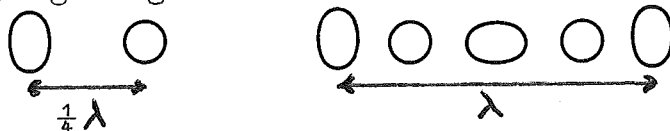
b. Bij deze methode meet men de insnoering van een verticale straal onder de uitstroomopening als functie van de afstand tot de uitstroomopening. Deze methode is toegepast door Addison (2). Het bezwaar bij deze methode is, dat men niet direct de waarde voor de oppervlaktespanning meet, maar het toestel eerst met enige bekende vloeistoffen ijkt.

Een ander bezwaar is, dat de methode zeer weinig is toegepast en dat dus weinig over de nauwkeurigheid ervan bekend is.

c. "Method of jet vibration". Deze methode werd door Lord Rayleigh en N. Bohr (12, 3) ontwikkeld.

Wanneer een vloeistof uit een ellipsvormige opening stroomt zal de gevormde straal achtereenvolgens samentrekken en expanderen.

De achtereenvolgens gevormde dwarsdoorsneden zien er als volgt uit:



De oppervlaktespanning streeft naar een rond oppervlak en trekt het ellipsvormige oppervlak, dat uit de opening stroomt van ellipsvormig naar rond. Door de traagheidskrachten wordt het oppervlak na de ronde evenwichtsstand weer ellipsvormig. Deze ellipsvormige doorsnede is echter nu 90° gedraaid, vergeleken met de vorige ellipsvormige doorsnede.

De oppervlaktespanning kan berekend worden wanneer de snelheid, de dwarsdoorsnede en de golflengte van de gevormde golven bekend zijn.

Lord Rayleigh ontwikkelde de theorie voor het geval de amplitude van de golven oneindig klein waren en de

vloeistof geen viscositeit bezat. Hij gaf met enkele metingen aan, dat de theorie juist was.

Bohr wilde de oppervlakte spanning nauwkeurig bepalen en ging daarom verder op de theorie in. Hij bekeek de invloed van de viscositeit en een eindige amplitude.

Het produceren van een straal.

Belangrijk is het een straal te vormen, welke alleen de hiervoor genoemde trilling uitvoert, daar anders de theorie niet mag worden toegepast. In deze theorie wordt een bepaalde ellipsvormige opening beschreven. Deze is echter zeer moeilijk te verwezenlijken, de geproduceerde straal wordt dus altijd slechts een benadering van de theoretische straal.

Behalve dat de uitstroomopening een foutenbron kan zijn, moet ^{op dat} om de theorie ^{mag worden toegepast} te mogen toepassen, over de dwarsdoorsnede van de straal een vlak snelheidsfront heersen.

Daar we in het begin van de straal willen meten, gaan dus ook om deze reden fouten optreden. In het begin van de straal zal n.l. nog geen vlak snelheidsfront heersen, de snelheid in het midden van de straal zal groter zijn dan aan de rand, daar zich in het capillair een parabolische snelheidsverdeling zal instellen. ^{hebben wij}

De straal zal enige tijd moeten vallen voor zich een vlakke snelheidsverdeling heeft ingesteld.

Door het capillair zeer kort te maken kunnen we proberen deze fout enigszins weg te werken.

by benadering

Alvast
nutteloos

Verschillende capillairen.

a. Een ovalen gat in glas.

Deze capillairen werden gemaakt door in een dichtgesmolten glasbuis van 6 mm in de dichtgesmolten opening een ovalen gat te prikken.

Het bleek, dat de straal hiermee geproduceerd, zeer snel uiteen viel. Na de vierde of vijfde golf werd bij alle capillairen van deze soort om de straal een waas van kleine druppeltjes waargenomen.

Bohr (3) heeft proeven genomen met stralen, welke hij produceerde door water te laten stromen door een ovalen gat in een metalen plaat. Deze stralen bleken zeer snel uiteen te vallen.

Bij ons was, hoewel we aan het begin van de straal willen meten, de lengte van de straal van belang om het begin-effect te kunnen constateren door vergelijking van de golven in het begin van de straal met golven verder in de straal.

b. Getrokken capillairen.

Deze werden gemaakt door een ronde glasbuis uit te trekken tot een capillair, deze af te snijden, weer warm te maken en dan het ronde capillair door knippen tot ellipsvormig te vervormen.

Het bezwaar bij deze capillairen is, dat een sterk begineffect optreedt. De capillairen waren n.l. vrij lang, zodat zich een parabolische snelheidsverdeling instelde.

Het begineffect strekte zich over drie tot vier golven uit.

Een ander bezwaar was, dat bij de meeste capillairen draaiing van de symmetrievlakken optrad. Waarschijnlijk vindt dit zijn oorzaak in het uit de hand trekken van de capillairen, waardoor het capillair enigszins wordt gedraaid.

c. Aangesmolten capillairen.

Deze werden verkregen door een dikwandig rond glasscapillair aan een glasbuis van 6 mm te smelten. Dit capillair werd zo kort mogelijk afgesneden. Na verwarmen en iets samendrukken van het capillair, ontstond de ellipsvormige opening. Het glas om de uitstroomopening werd gepolijst om een

scherpe rand aan de uitstroomopening te verkrijgen.

Volgens Addison (1) veroorzaakt deze scherpe rand een toename in de lengte van de straal.

Met dit soort capillairen werden de beste resultaten verkregen. Draaiïng van de symmetrievlakken trad nog wel vaak op.

Bij enkele capillairen, waarbij de draaiïng in zeer geringe mate of in het geheel niet aanwezig was, strekte het begineffect zich slechts over ongeveer twee golven uit.

Het bestuderen van de capillairen.

Om te controleren of de straal aan de door de theorie gestelde eisen voldoet, dus o.a. geen draaiing van de symmetrie vlakken optreedt, werd het volgende onderzoek verricht.

a. De uitstroomopening werd door de kijker bekeken om te controleren of deze inderdaad ellipsvormig was.

b. De straal werd bekeken. De plaatsen met de grootste diameter werden vastgelegd en gekeken of deze zich op gelijke afstanden van elkaar bevonden. Daarna werd het capillair 90° gedraaid en weer werden de plaatsen met de grootste diameter opgenomen. Gecontroleerd werd of deze zich nu midden tussen de hiervoor opgenomen plaatsen bevonden.

Het capillair werd nog twee maal 90° gedraaid, waarbij deze wijze van contrôle werd herhaald.

Wanneer de opgenomen punten goed t.o.v. elkaar vielen werd verondersteld, dat er geen draaiing van de symmetrievlakken optrad.

Dit werd echter nooit gevonden. Bij elk capillair bleek de afstand niet nauwkeurig constant te zijn. Ook bleek, dat bij 90° draaiing de punten niet precies tussen hun voorgangers lagen.

Capillairen werden gekozen, waarbij deze afwijking zo klein mogelijk was. Echter uit tabel I is te zien, dat deze nog altijd aanmerkelijk is. Bij de gebruikte capillairen lag bij 90° draaiing het punt echter wel vrij nauwkeurig midden tussen zijn voorgangers. Dit verschil was hoogstens 0.02 mm, en was te wijten aan meetfouten, daar de punten bij de verschillende golven, van één straal, zowel onder als boven het midden vielen. Er was dus geen sprake van een systematische afwijking.

Het meten van de verschillende grootheden van de straal.

Om de oppervlaktespanning uit de formule te kunnen berekenen, moeten we het debiet, de maximum en minimum diameter van de straal en de golflengte van een golf kennen.

Bohr (3) gaf de formule:

$$\gamma = \frac{4}{\lambda^2} \frac{A^2}{a} (D_1 + D_2) \left\{ \frac{1 + 37/24 (b/a)^2}{6 + 10 \left(\frac{\pi a}{\lambda}\right)^2 + 2,5 \left(\frac{\pi a}{\lambda}\right)^4} \right\}$$

waarin:

λ = de golflengte.

A = het debiet.

$b/a = (r_{\max} - r_{\min}) / (r_{\max} + r_{\min})$

$a = \frac{1}{2} \cdot (r_{\max} + r_{\min}) \cdot (1 - 1/6 (b/a)^2)$

D_1 = dichtheid van het omringende gas.

D_2 = dichtheid van de straal.

γ = oppervlakte spanning.

Meting van het debiet.

Voordat ammoniak aan de straal werd geabsorbeerd, kon het debiet worden gemeten door vóór en na een meting het volume, dat in een bepaalde tijd werd opgevangen, te bepalen. Wanneer aan de straal werd geabsorbeerd ging deze meetmethode minder goed omdat dan in een geheel gesloten apparaatuur zou moeten worden opgevangen, om de ammoniakdampen niet te laten ontsnappen.

Het volume werd dan met een rotameter gemeten. Dit was echter minder nauwkeurig. (Zie onder: Fouten welke de proef beïnvloeden.)

Het meten van de maximum en minimum diameter van de straal.

Deze werden bij de oriënterende metingen gemeten door de kijker te verschuiven. Het beeld van de verticale kruisdraad werd als raaklijn aan beide zijden van het beeld van de straal gedraaid. De verschuiving van de kijker kon op ee

meetklokje worden afgelezen. Dit was tot $3 \cdot 10^{-3}$ mm nauwkeurig af te lezen.

De nauwkeurigheid van deze meetmethode was echter zeer gering. Het was moeilijk de rand van de straal nauwkeurig te bepalen en de kruisdraden waren vrij dik. Tevens was de kijker moeilijk zonder schokken te verschuiven, zodat het zeer moeilijk werd twee maal als raaklijn in te stellen.

14
Bij de definitieve metingen werd op een oculair-verdeling overgegaan. Het beeld van één van de streepjes van de verdeling werd als raaklijn aan het beeld van de straal gedraaid. Deze meetmethode was aanmerkelijk nauwkeuriger. (De afstand tussen twee streepjes op de oculairverdeling komt overeen met 0.03 mm.)

Het meten van de golflengte.

Bij de oriënterende metingen werd dit ook met behulp van het beeld van de kruisdraden gedaan. Wanneer het beeld van de verticale kruisdraad als raaklijn aan de straal was ingesteld, werd de horizontale kruisdraad in het raakpunt gedraaid. De afstand tussen twee raakpunten was de golflengte. De kijker kon hiervoor in verticale richting worden verplaatst met een schroef. (Snelheid = 1 mm, en af te lezen tot $5 \cdot 10^{-3}$ mm nauwkeurig). Hierbij trad de moeilijkheid op, dat het raakpunt erg moeilijk te bepalen is omdat zijanten van het beeld van de straal een beetje wazig zijn en omdat, vooral verder naar beneden in de straal de maximum en minimum diameter hiervan steeds dichterbij elkaar naderen. Het bepalen van het punt, waar deze diameter maximaal of minimaal is, wordt dan een bezwaar.

Bij de definitieve metingen werd de golflengte bepaald door een horizontale lichtbundel op de straal te laten vallen.

Een buik gedraagt zich als een lens, dus tekent zich achter de straal een beeld van de lichtbron af. Daar de lichtbron op de kijker was bevestigd kon dus door verdraaiing van de kijker in verticale afstand de afstand tussen twee beelden worden bepaald.

Een groot bezwaar bij deze meetmethode is, dat kleine storingen in de straal met deze verlichting ook beelden

kunnen vormen, zodat het moeilijk wordt te kiezen welke van de beelden de juiste is. Daar er geen capillair gevonden was, welke deze storingen niet vertoonde, werd soms, vooral aan het begin van de straal waar de storingen het hevigste waren, de afstand tussen twee verkeerde beelden gemeten, wat waarschijnlijk de oorzaak is van enige zeer foute golf-lengte metingen.

Enige vóór- en nadelen van het gebruik van een vertikale straal.

Uit metingen van Addison (2) bleek, dat het geen verschil maakte of men een horizontale of een vertikale straal gebruikte voor metingen over de eerste zes golven.

Bij hoge snelheden nam Addison een toename van de golf-lengte verder in de straal waar.

Deze toename werd door ons niet waargenomen.

Tevens constateerde Addison, dat een vertikale straal ongeveer 30 % langer was dan een horizontale straal.

Dit argument en het makkelijker opvangen van een vertikale straal deden ons besluiten te werken met een vertikale straal.

Beschrijving van het toestel. (zie tekening).

Het water liep achtereenvolgens:

uit een vat, geplaatst op vijf meter hoogte;
door een filter, A, gevuld met glaswol;
door een rotameter, C of D;
door een filter, G, van gesinterd glas;
door het capillair, H;
in de opvangbuis, waarin het niveau kon worden geregeld
met een overloop, L.

De temperatuur van het water werd vlak voor het capillair (F) en in de opvangbuis (J) gemeten.

Om het capillair en de opvangbuis was een perspex huis gebouwd om bij absorptie hierin het gas te kunnen leiden.

Het gas liep vanuit de bombe de volgende weg:

Door een rotameter, M, of een omloopleiding, N;
langs een driewegstuk, waar ook perslucht op was aangesloten
om het toestel na absorptie weer schoon te kunnen blazen;
door een verzadiger, P, waarin het gas met waterdamp werd verzadigd;
door een veiligheid, R, waardoor het gas ontsnapte als de overdruk van het gas hoger werd dan de in de veiligheid aangegeven waterhoogte;
in het huis, dat om de straal gebouwd was.

Bij het doorblazen van het huis ontsnapte het gas uit het huis in een afvoerleiding; bij metingen werd het huis afgesloten.

Met de manometer, T, kon de druk in het huis worden bepaald.

Welke toestel?

Het toestel.

In het eerste ontwikkelingsstadium van het toestel werden metingen gedaan waarbij het capillair direct aan de waterleiding was aangesloten. Al spoedig bleek, dat hierbij zeer grote debietvariatiën optraden, welke een fout in de oppervlaktespanningsmeting veroorzaakten. (Zie ook formule).

Er werd overgegaan op een drukvat, waar boven het water perslucht werd gezet. In de persluchtleiding was een lek aangebracht om drukschommelingen in de druk van de perslucht te kunnen opvangen. Echter ook hierbij kon het debiet niet nauwkeurig constant worden gehouden, tevens was deze methode erg omslachtig.

Tenslotte werd het capillair aangesloten met een vat, dat op 5 meter hoogte was geplaatst. Het debiet kon vrij goed constant worden gehouden. Het trillen van de leidingen was waarschijnlijk de oorzaak, dat nog een kleine variatie in het debiet werd gemeten.

Voordat aan de straal werd geabsorbeerd, werd alleen leidingwater gebruikt. Daar hierin zeer veel vuil aanwezig was en verstoppingen optraden, werd een filter met glaswol voorgeschakeld. Bij zeer fijne capillairen traden echter nog verstoppingen op welke het noodzakelijk maakten achter het filter met glaswol nog een filter van gesinterd glas te schakelen.

Bij metingen waarbij ammoniak werd geabsorbeerd, werd op het gebruik van condenswater overgegaan. Het leidingwater geeft met ammoniak een neerslag waardoor verstoppingen optreden; vooral wanneer de waterstroom werd afgezet zonder ^{dat} eerst de ammoniak goed uit het toestel te ^{was} hebben verwijderd. Het neerslag was waarschijnlijk ammoniumchloride, het werd echter niet geanalyseerd.

Soms liep het debiet gedurende een proefneming langzaam terug, waarschijnlijk is dit te wijten aan vuil en wier, dat kleine verstoppingen teweeg brengt.

Volgens Bohr (3) veroorzaakt het soort water, dat we gebruiken geen verschil in de oppervlaktespanning. Bohr (3) deed oppervlaktespanningsmetingen aan leidingwater en gedestilleerd water en mat voor beiden dezelfde waarde.

De temperatuur werd bij de metingen op de thermometers 1 en 2 (zie tekening) afgelezen. De temperatuur welke in de opvangbuis werd gemeten, was echter niet gelijk aan de temperatuur van de straal. Het water van de straal mengde zich daar met het water, dat reeds in de opvangbuis aanwezig was. Wanneer gedurende langere tijd aan de straal was geabsorbeerd, was de temperatuur in de opvangbuis waarschijnlijk wel ongeveer gelijk aan de gemiddelde eindtemperatuur van de straal.

Een plotselinge temperatuursverandering van de straal kon hier dus niet worden geconstateerd.

Op het water in de opvangbuis werd een laagje olie aangebracht om hier absorptie te vermijden.

Fouten welke de metingen beïnvloeden.

Wanneer we de formule van Bohr bekijken, om te zien welke factoren voornamelijk de fouten in de uitkomst veroorzaken, constateren we, dat het debiet de golflengte en de gemiddelde straal de belangrijkste zijn.

Fouten in het debiet.

Om het verloop van de absorptie zo goed mogelijk te kunnen bestuderen is het noodzakelijk de straal in zo klein mogelijke stukken te verdelen, d.w.z. met zo klein mogelijke golven te werken. Kleine golven worden verkregen met nauwe capillairen. Dit brengt natuurlijk kleine debieten met zich mee, daar als meest gunstige snelheid door Bohr (3) 5 m/sec wordt opgegeven en we ons daaraan willen houden.

Bij het werken met condenswater was het bovendien prettig met kleine debieten te werken, daar dan het zakken van het niveau, van het vat op vijf meter hoogte, verwaarloosd kon worden en dus kon worden verondersteld, dat de snelheid gedurende een meting (ongeveer 3 uur) constant bleef. (Diameter van het vat was 1,5 m).

Dit kleine debiet brengt echter als nadeel met zich mee, dat relatief grote variaties optreden door neerslaan van vuil in vernauwingen van leidingen en door trillen van het toestel.

Bij capillair 1, met een debiet van ongeveer $0,1 \text{ cm}^3/\text{sec}$ heeft een variatie in het debiet van 1% een verandering van de oppervlaktespanning van 3% ten gevolge.

Bij de bepaling van het debiet met behulp van volumemetingen was de nauwkeurigheid ongeveer 1%.

Fouten in de golflengte.

Bij een korte golf verkrijgen we een relatief grote afleesfout. Wanneer de meetmethode met de lichtbundel werd toegepast, was de afleesfout aan beide zijden van de golf ongeveer $\pm 0,015 \text{ mm}$. In het ongunstigste geval kon deze afleesfout, bij capillair 1 met een golflengte van ongeveer 1,1 mm een fout van 4% in de oppervlaktespanning ten gevolge hebben.

Bij de metingen van de oppervlaktespanning zonder dat absorptie aan de straal plaats vond, is deze afleesfout van minder betekenis, omdat we dan de gemiddelde waarde voor de golflengte over de meetlengte van de straal kunnen gebruiken. Op deze wijze is de afleesfout dan zeer klein.

Wanneer absorptie aan de straal plaats vindt, is deze methode van middelen niet bruikbaar, daar we nu juist het verschillen tussen de verschillende golven willen meten.

De fout, welke we maken in de diktemeting van de straal, is in vergelijking tot de bovenbeschreven fouten ook vrij groot. De fout in de gemiddelde straal is ongeveer $\pm 0,003$ mm. Dit veroorzaakt in de oppervlaktespanning een fout van 2 à 3%.

Een fout, welke ook zijn invloed op de meting van de oppervlaktespanning kan hebben, is het draaien van de symmetrievlakken. Bij de waarnemingen welke in de tabellen I en II zijn vermeld, trad zover kon worden geconstateerd, deze draaiïng niet op. Het is echter moeilijk te bepalen of deze draaiïng geheel afwezig was. (Zie ook het bestuderen van de capillairen.).

Deze draaiïng zou als gevolg hebben, dat we een te korte golflengte zouden meten.

Waarnemingen.

De metingen welke achtereenvolgens werd^{en} gedaan, zijn uitgewerkt in de tabellen I en II.

De capillairen welke gebruikt zijn, worden als volgt aangegeven.

Capillair 1 is een aangesmolten, gepolijst capillair met een zeer klein gat, zie waarden voor a.

Capillair 2 is een aangesmolten, gepolijst capillair.

Capillair 3 is een getrokken capillair.

Met de capillairen, die werden beschreven als "een gat in glas" werden geen waarnemingen gedaan, daar de straal bij dit soort capillairen steeds zeer snel uiteen viel.

De waterdruk werd bij alle waarnemingen ^{geleverd door} onttrokken aan een vat op vijf meter hoogte.

Bij de waarnemingen zonder absorptie werd leidingwater gebruikt, bij metingen van de oppervlaktespanning met absorptie condenswater.

In de tabel behoren zo nu en dan bij één amplitude van de buiken en knopen verschillende waarden voor de golflengte. Dit komt hierdoor, dat de meting van de maximum en minimum diameter vrij goed was, zodat hier slechts bij snel opeenvolgende metingen een gering verschil werd gemeten.

Bij opeenvolgende metingen werd voor de golflengte echter wel vaak een andere waarde gevonden. Dit was te wijten aan de meetfout.

Bij de berekening van de oppervlaktespanning volgens Bohr (Tabel I en II) werd de factor voor de dichtheden niet in rekening gebracht.

Bespreking van de waarnemingen.

In tabel I zijn de waarnemingen zonder dat ammoniak-absorptie aan de straal plaats vond, weergegeven. De volgorde in de tabel is gelijk aan de volgorde waarin de metingen plaats vonden.

In iedere kolom staan achtereenvolgens:

De golflengten van de achtereenvolgende golven van de straal. Deze metingen werden allen na elkaar verricht, zodat de som van de golflengten gelijk is aan de meetlengte van de straal.

De uitkomsten voor de oppervlaktespanning voor iedere golf afzonderlijk.

De gemiddelde waarde van de oppervlaktespanning over alle golven.

De gemiddelde waarde over de laatste golven, de golven 1 en 2 werden hierbij weggelaten om een eventueel begineffect te elimineren.

De werkelijke waarde voor de oppervlaktespanning uit de Critical Tables (7).

$B = 2 \cdot r_{\max}$ voor de eerste, de derde en de vijfde golf

$K = 2 \cdot r_{\min}$ voor de eerste, de derde en de vijfde golf

a = de gemiddelde straal voor de eerste, de derde en de vijfde golf.

De waarnemingen van één getrokken capillair (capillair 3) zijn in de tabel I weergegeven, daar de andere getrokken capillairen soortgelijke uitkomsten gaven, waarbij echter vaak nog grotere spreiding optrad. Het hier genoemde capillair gaf de beste uitkomsten voor de oppervlaktespanning.

De golflengte werd bij de metingen aan capillair 3 gemeten door het beeld van de horizontale kruisdraad tussen het beeld van twee opeenvolgende maximum doorsneden te verschuiven.

De maximum en minimum diameter werden gemeten door de verticale kruisdraad te verschuiven. (Zie ook: "Het meten van de verschillende grootheden van de straal").

We zien, dat bij de uitkomsten een grote spreiding om de gemiddelde waarde optreedt en tevens, dat deze gemiddelde waarden veel verschillen met de werkelijke waarde voor de oppervlaktetenspanning. De gemiddelde waarde over de laatste golven ligt wel iets dichterbij de literatuurwaarde dan het gemiddelde van alle golven, maar we kunnen hier eigenlijk niet spreken van een beginneffect. Het lijkt er op, dat het beginneffect bij de zesde golf nog niet is uitgestorven, maar het is ook mogelijk, dat we dermate onnauwkeurig hebben gemeten, dat we het effect niet hebben kunnen waarnemen.

De golflengtemeting bij capillair 2 werd met behulp van een lichtbundel gedaan. De meting van de maximum en minimum diameter door middel van een oculairverdeling.

Uit de waarnemingen kunnen we opmaken, dat we een beginneffect over de eerste twee golven hebben.

Daar het verschil van de maximum en minimum diameter bij de achtereenvolgende metingen gering was, werd enige malen alleen de golflengte gemeten zonder dat opnieuw de diameter werd bepaald. Deze metingen vonden wel vlak na elkaar plaats. We zien uit de tabel, dat de golflengtemeting niet nauwkeurig genoeg was.

Gedurende de tijd, dat met dit capillair werd gewerkt, werden verschillende kleine veranderingen in het toestel aangebracht om het debiet constant te kunnen houden. Een verandering in het debiet veroorzaakt onmiddellijk een verandering in de golflengte, dit is uit de verschillende waarnemingen direct te constateren. Allerlei vernauwingen waar makkelijk vuil zou kunnen neerslaan, werden verwijderd.

Bij de metingen op tabel I (A) werd een batterijlampje met een vrij grof gewonden spiraal gebruikt om de lichtbundel op te wekken. Bij de waarnemingen op de tabellen I (B) en I (C) werd een autolampje met een rechte spiraal met zeer fijne windingen gebruikt.

Uit de tabel zien we, dat de laatste waarnemingen met het capillair (2) een betere uitkomst geven. De gemiddelde waarde stemt, wanneer we de eerste twee golven buiten beschouwing laten, goed overeen met die welke door de literatuur wordt opgegeven. (grafiek III). De afzonderlijke

waarden blijven echter een vrij aanzienlijke afwijking vertonen. Daar het capillair 2 een vrij grote uitstroomopening heeft, dus lange golven produceert, werd overgegaan op capillair 1.

Ook hier zien we weer, dat de waarnemingen een vrij grote spreiding vertonen, terwijl de gemiddelde waarde vrij goed met de literatuur overeenstemt. Doordat we met een kleinere golflengte werken wordt de nauwkeurigheid waarmee we de golflengte bepalen kleiner. Door allerlei kleine veranderingen in het toestel aan te brengen, zoals verduistering, een sterker lampje etc. werd geprobeerd de nauwkeurigheid van de golflengte-bepaling te verhogen. Uit de verschillende duplometingen in tabel I (B) en I (C) zien we echter, dat dit maar weinig resultaat heeft gehad.

Bij de waarnemingen van de capillairen 1 en 2 zien we, dat het begineffect soms een te hoge en soms een te lage waarde voor de golflengte ten gevolge heeft. Waarschijnlijk vindt dit zijn oorzaak in de verschillende beelden welke de lichtbundel in het begin van de straal geeft. We zouden dan een verkeerd beeld hebben gekozen. Het begineffect uit zich in het verstoren van de eerste golven en het veroorzaken van verschillende beelden. We kunnen dus niet zeggen of we door het begineffect een kortere of langere golflengte krijgen.

Bij enige waarnemingen zien we een afname van de golflengte verder in de straal. Dit kan niet het gevolg van draaiing van de symmetrievlakken zijn, want dan zouden alle waarnemingen dit moeten vertonen.

Dat we bij éénzelfde capillair met éénzelfde snelheid verschillende waarden voor de amplituden van knopen en buiken van éénzelfde golf meten, wordt veroorzaakt door een weinig water onder aan het capillair om de uitstroomopening. Dit water heeft de eigenschap de amplituden van knopen en buiken te vervlakken. Er werd hierdoor echter geen verandering in de uitkomst voor de oppervlaktespanning waargenomen. Het was niet mogelijk dit water weg te nemen

door het glas om de uitstroomopening in te vetten, omdat dit vet de waarde van de oppervlaktespanning van het water zou kunnen verlagen.

We zien, dat de waarde voor de gemiddelde|straal, a , verder in de straal meestal afneemt. Bohr (3) vond hierbij een toename van de golflengte.

Dit werd niet uit onze metingen opgemaakt, echter het is zeer goed mogelijk, dat dit buiten de meetnauwkeurigheid valt.

Waarnemingen met ammoniakabsorptie.

NH₃

In tabel II zijn de waarnemingen samengevat, waarbij ammoniak aan de straal werd geabsorbeerd. De reeksen waarnemingen welke na elkaar in de kolommen vermeld staan, zijn in deze volgorde gemeten. Bij elke reeks waarnemingen werden eerst één of twee metingen ter contrôle gedaan, zonder dat absorptie plaats vond. Hierna werd met de absorptie begonnen. Er werd eerst ongeveer een uur met ammoniak doorgespoeld om de lucht uit het perspex huis en de leidingen te verdrijven. Daarna werd met de metingen begonnen. Bij de laatste serie waarnemingen zijn achtereenvolgens, vlak na het aanzetten van de ammoniakstroom, na 30 min., na 40 min., na 60 min. en na 65 min. de metingen gedaan.

Wanneer we de verschillende reeksen bekijken zien we, dat deze slecht reproducieren. We zien een veel grotere spreiding in de uitkomsten dan bij de metingen zonder absorptie. Dit werd bij het meten al verondersteld, omdat de straal minder stabiel leek. Er traden bij de absorptie geen bijzondere verschijnselen op, wel werd echter geconstateerd, dat het lichtbeeld, dat we bij een maximale diameter verkregen, minder vast van plaats was dan wanneer geen absorptie optrad.

In de laatste kolom van tabel II (B) zijn de gemiddelde waarden voor de uitkomst van de oppervlaktetenspanning voor iedere golf afzonderlijk gegeven. Ook hier zien we nog een vrij grote spreiding optreden.

Moeilijkheden bij het meten met ammoniak absorptie kwamen voort uit de warmte-ontwikkeling, welke bij de absorptie optrad. Het ammoniakgas in het perspex huis kreeg een hogere temperatuur dan het water in het capillair en de lucht buiten het huis. Daar het ammoniakgas met waterdamp was verzadigd, condenseerde water op het capillair en de wanden van het huis. Door verwarmingsdraden aan te brengen op de wanden van het huis en om het capillair werd de condensatie grotendeels voorkomen. Echter trad ook condensatie om de uitstroomopening op, en hier was

het zeer moeilijk verwarmingsdraden aan te brengen. De condensatie werd in zo verre onderdrukt, dat geen druppels gecondenseerd water meer van het capillair met de straal naar beneden vielen. Er kon echter niet worden voorkomen, dat om de uitstroomopening een weinig water stond. Reeds hiervoor werd geconstateerd, dat dit water de metingen niet noemenswaardig beïnvloedde.

Interpretatie van de metingen met ammoniakabsorptie.

Om de waarnemingen met ammoniak absorptie enigszins te kunnen verklaren geven we allereerst enige grafieken welke hierbij zullen worden gebruikt:

In grafiek I is de verzadigingsconcentratie van ammoniak in water als functie van de temperatuur gegeven. Deze waarden zijn afkomstig uit het Handbook of Chemistry and Physics (6).

In grafiek II is de diffusiecoëfficiënt van ammoniak in water uitgezet tegen de temperatuur. De diffusiecoëfficiënt werd bij de verschillende temperaturen berekend uit de formule $\frac{D}{T} = \text{constant}$. De waarde voor de diffusiecoëfficiënt bij één temperatuur werd verkregen uit het Handbook of Chemistry and Physics (6).

In grafiek III is de oppervlaktespanning ^{Van water} uitgezet tegen de temperatuur. De waarden voor de rechte werden verkregen uit de Critical Tables (7). Deze waarden zijn gemeten door stijghoogten in een capillair te bepalen. Tevens zijn in deze grafiek enige andere in de literatuur vermeldde waarden voor de oppervlaktespanning weergegeven. Dat Stocker (14) een vrij goede waarde voor de oppervlaktespanning wist te verkrijgen met de hierboven aangegeven meetmethode is een gevolg van het feit, dat hij voor de golflengte de gemiddelde waarde van de golven over de meetlengte nam. In deze grafiek zien we, dat ook in de door de literatuur opgegeven waarden een vrij grote spreiding optreedt.

In grafiek IV is de oppervlaktespanning als functie van de concentratie van een ammoniak oplossing uitgezet. We zien, dat de waarden welke Stocker (14) en de Critical Tables (7) geven ver uiteenlopen. Stocker bepaalde de oppervlaktespanning met de hierboven beschreven methode, de Critical Tables vermeldt waarden welke werden gemeten door de stijghoogte in een capillair te meten.

Grafiek VI wordt door Stocker (15) gegeven.

In grafiek V is voor verschillende temperaturen de oppervlaktespanning van een verzadigde ammoniakoplossing uitgezet.

late NH₃

temp?
I, II, III?
18°C

We zullen nu de hoeveelheid ammoniak welke aan de straal absorbeert, als volgt proberen te berekenen.

Wanneer we een gas aan een ronde straal absorberen en we aan de gaszijde een zuiver gas hebben, kunnen we de hoeveelheid gas welke per tijdseenheid wordt geabsorbeerd, berekenen. Bij deze berekening gaan we er van uit, dat de concentratie van het gas in de vloeistof verwaarloosbaar klein is en dat aan het oppervlak de verzadigingsconcentratie heerst.

Het aantal grammen, dat per sec. per cm^2 aan de straal absorbeert is:

$$\phi_m'' = c^x \sqrt{\frac{D}{\pi t}}$$

waarin:

c^x = de verzadigingsconcentratie.

t = de tijd, dat de straal aan absorptie bloot staat.

D = de diffusiecoëfficiënt van ammoniak in water.

Over een hoogte dh is de absorptie-snelheid dan:

$$\phi_m = 2 \pi r \cdot dh \cdot c^x \sqrt{\frac{D}{\pi t}}$$

Na integratie volgt hieruit, dat de stofstroom over een lengte h onder de uitstroomopening is:

$$\phi_m = 4 c^x \sqrt{D} \cdot \sqrt{h} \cdot \sqrt{A}$$

waarin:

A = het debiet van de vloeistof.

Spierdichte
De concentratie op het punt op afstand h van de uitstroomopening gelegen, is:

$$c = \phi_m / A$$

De gemiddelde concentratie in het volume-element $\pi r^2 \cdot h$ is:

$$\frac{1}{h} \int_0^h c \, dh$$

Of na integratie:

$$= \frac{2/3 \cdot 4 \cdot c^x \sqrt{ID} \cdot \sqrt{h}}{\sqrt{A}}$$

De totaal geabsorbeerde hoeveelheid in het volume-element $\pi r^2 \cdot h$ is:

$$= \pi r^2 \cdot h \cdot \frac{2/3 \cdot 4 \cdot c^x \sqrt{ID} \cdot \sqrt{h}}{\sqrt{A}} \quad \left[\frac{\text{cm}^3 \cdot \text{g}}{\text{cm}^3} \sqrt{\frac{\text{m}^2}{\text{sec}}} \right]$$

Met behulp van bovenstaande formule is voor één van de stralen uit tabel II (B), straal A, het aantal grammen berekend, dat aan iedere golf absorbeert. Zie tabel III. In deze tabel is tevens de gemiddelde ammoniakconcentratie voor iedere golf en de gemiddelde temperatuurverhoging uitgerekend. Voor de oplossingswarmte van ammoniak in water werd 8,31 kcal/mol genomen. De temperatuursverhoging werd berekend door de vrijgekomen warmte te delen door het volume van een golf.

Uit de grafieken (III) en (IV) kunnen we nu de waarden voor de verlaging van de oppervlaktespanning halen en hiermee de oppervlaktespanning berekenen. Het maakt bij de lage concentraties, waarmee we hier te maken hebben weinig verschil of we voor de daling in de oppervlaktespanning de door Stocker (14) gegeven waarde nemen of die welke door de Critical Tables (7) is gegeven.

Vergelijken we de op deze wijze berekende waarde voor de oppervlaktespanning met de door ons gemeten waarde in tabel II (B), dan zien we een zeer slechte overeenstemming.

Berekenen we de oppervlaktespanning met de aanname, dat aan het oppervlak steeds de verzadigingsconcentratie heerst, bij de gemiddelde temperatuur, dan vinden we de waarden in tabel IV. Voor de gemiddelde temperatuur werd de temperatuur genomen, welke in tabel III is berekend. Uit grafiek (V) kunnen we de waarde voor de oppervlaktespanning aflezen. Eigenlijk zouden we twee waarden voor de oppervlaktespanning uit deze grafiek moeten aflezen.

Stocker (14) heeft echter bij dergelijke hoge concentra-

X.S.W.

geen
brander

lemp met
niet goed

ties geen metingen gedaan, en het is niet mogelijk uit zijn gegevens een waarde te extrapoleren. (Zie grafiek VI).

Vergelijken we de in tabel IV berekende waarden voor de oppervlaktetenspanning met die welke we gemeten hebben (tabel II (B)), dan vinden we een vrij goede overeenstemming.

Met behulp van de formule van Danckwerts (5) kunnen we de temperatuur aan het oppervlak van de straal uitrekenen, wanneer we hierbij de volgende factoren in aanmerking nemen:

- dat er geen water verdampt.
- dat er geen warmte-afgifte aan het omringende gas is.
- dat het door Danckwerts (5) berekende temperatuurverschil tussen het oppervlak van de vloeistof ~~en~~ en de vloeistof op oneindige diepte, mag worden gelijkgesteld aan het temperatuurverschil, tussen het oppervlak en het midden van de straal.
- dat de reactie $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{NH}_4\text{OH}$, oneindig snel verloopt.

De formule:

$$\frac{\rho c_p}{(H_1 + H_2) c^x} \sqrt{\frac{a}{D}} \cdot T_0 = 1$$

waarin: $H_1 + H_2 = 8,31 \text{ kcal/mol} = \text{de oplossingswarmte plus de reactiewarmte.}$

$\rho = 10^3 \text{ kg/m}^3$, is de dichtheid van de vloeistof.

c^x = de verzadigingsconcentratie van het ammoniak in water.

c_p = de soortelijke warmte van de vloeistof.

D = de diffusiecoëfficiënt.

a = de temperatuurvereffeningscoëfficiënt.

T_0 = het temperatuurverschil tussen het oppervlak en het midden van de straal.

Wanneer we op de hierboven aangegeven wijze de oppervlaktetemperatuur berekenen, vinden we voor het gehele straaloppervlak een temperatuur van $23,5 + 19,8 = 43,3^\circ\text{C}$. Voor de oppervlaktetenspanning geeft Stocker (14), bij deze

*By welke temp
in C° gemeten?*

by ca 50°C

temperatuur en de daarbij behorende verzadigingsconcentratie, een waarde van 49 dyne/cm. De Critical Tables (7) geven een waarde van 56,7 dyne/cm.

Wij maten een waarde van ongeveer 54 dyne/cm. Deze ligt er tussen in. Hieruit besluiten we, dat deze laatste methode van berekenen de juiste is.

Daar de door de literatuur gegeven waarden niet met de door ons gemeten waarden overeenstemmen kan aan verschillende oorzaken worden geweten:

- a. Omdat de onnauwkeurigheid, waarmee de metingen werden verricht.
- b. Omdat het zeer goed mogelijk is, dat we de verlaging van de oppervlaktespanning door de temperatuur en de ammoniakconcentratie niet voor elke temperatuur mogen blijven sommeren.
- c. Daar de temperatuur aan het oppervlak van de straal waarschijnlijk verder naar beneden in de straal hoger dan $43,3^{\circ}\text{C}$ zal worden.
- d. Bij de literatuur is lucht als gas boven de ammoniak-oplossing gebruikt, terwijl wij met ammoniak als omringend gas te maken hebben.

ad.c. De temperatuur van de opgevangen vloeistof is 35°C .

Nu wordt wel over een grote^{re} lengte, dan de meetlengte, aan de straal geabsorbeerd, maar gezien de gemiddelde straal ($6,3 \cdot 10^{-2}$ mm) zal ook het midden van de straal in temperatuur stijgen. Wanneer de oppervlakte van de temperatuur afhankelijk is, zoals dit door de Critical Tables is gegeven, zou deze temperatuurstijging van weinig invloed zijn. Zijn echter de waarden welke Stocker (14) geeft juist, dan zouden we bij een hogere temperatuur een hogere oppervlaktespanning meten, welke dus dichterbij de door ons gevonden waarde komt te liggen.

ad.d. Stocker heeft de oppervlaktespanning van water gemeten, waarbij deze CO_2 als omringend gas gebruikte.

Hij vond dan een daling in de oppervlaktespanning van 0,7 dyne/cm. Landolt-Börnstein (9) geven de daling van de oppervlaktespanning voor enkele organische vloeistoffen, wanneer een ander gas dan lucht boven de vloeistof wordt gebruikt. Zij vinden dan vaak een daling van ongeveer 0,2

dyne/cm. De Critical Tables (7) vermelden voor water met enkele gassen, o.a. CO_2 , een daling van ongeveer 0,7 dyne/cm.

De daling in oppervlaktespanning, veroorzaakt door een ander gas dan lucht kan aan twee oorzaken worden geweten:

1. Het gas lost op in het water, dit opgeloste gas geeft een oppervlaktespanningsdaling.
2. We meten de oppervlaktespanning ten opzichte van een ander gas, dit geeft een daling.

ad.1. Wanneer CO_2 in het water oplost, zal aan het oppervlak de verzadigingsconcentratie heersen. Stocker deed metingen bij 20°C , de grensvlakconcentratie zal dan ongeveer $0,17 \text{ g CO}_2/100 \text{ cm}^3$ zijn. Wanneer we nu aannemen, dat de oppervlaktespanningsdaling veroorzaakt door CO_2 even groot is als die veroorzaakt door NH_3 , dan vinden we als CO_2 bovengenoemde concentratie heeft, een waarde van 0,2 dyne/cm voor de daling in de oppervlaktespanning. De waarde voor de daling in oppervlaktespanning, veroorzaakt door CO_2 met lucht als gas boven water, kon niet in de literatuur worden gevonden. Het omringende CO_2 gas zou dan een daling van 0,5 dyne/cm ten gevolge hebben.

Daar ook in de hiervoor genoemde literatuur voor andere omringende gassen dergelijke kleine waarden werden genoemd, kan dus worden gerekend, dat het ammoniakgas een daling van ongeveer 0,5 dyne/cm ten gevolge heeft gehad.

De waarde welke wij maten blijft echter, wanneer we dit in rekening brengen, tussen de literatuurwaarden inliggen.

Door het begineffect is weinig over de snelheid van het instellen van de verzadigingsconcentratie aan het oppervlak te zeggen. We kunnen constateren, dat het begineffect niet groter of kleiner is geworden, dus dat ook in het begin van de straal de verzadigingsconcentratie zou moeten hebben geheerst. Deze redenering is echter zeer speculatief.

Uit de metingen kunnen we constateren, dat het mogelijk is op deze wijze de oppervlaktespanning tijdens stof-

transport te meten. Echter de verschillende grootheden van de straal zullen dan veel nauwkeuriger moeten worden gemeten. Tevens dient nog meer aandacht aan het capillair te worden geschonken om het begineffect geheel weg te werken.

Wel kunnen we uit de metingen opmaken, dat het stoftransport de oppervlaktespanning waarschijnlijk niet of in zeer geringe mate beïnvloedt, daar de door ons gevonden waarde niet veel met de door de literatuur gegeven waarde verschilt.

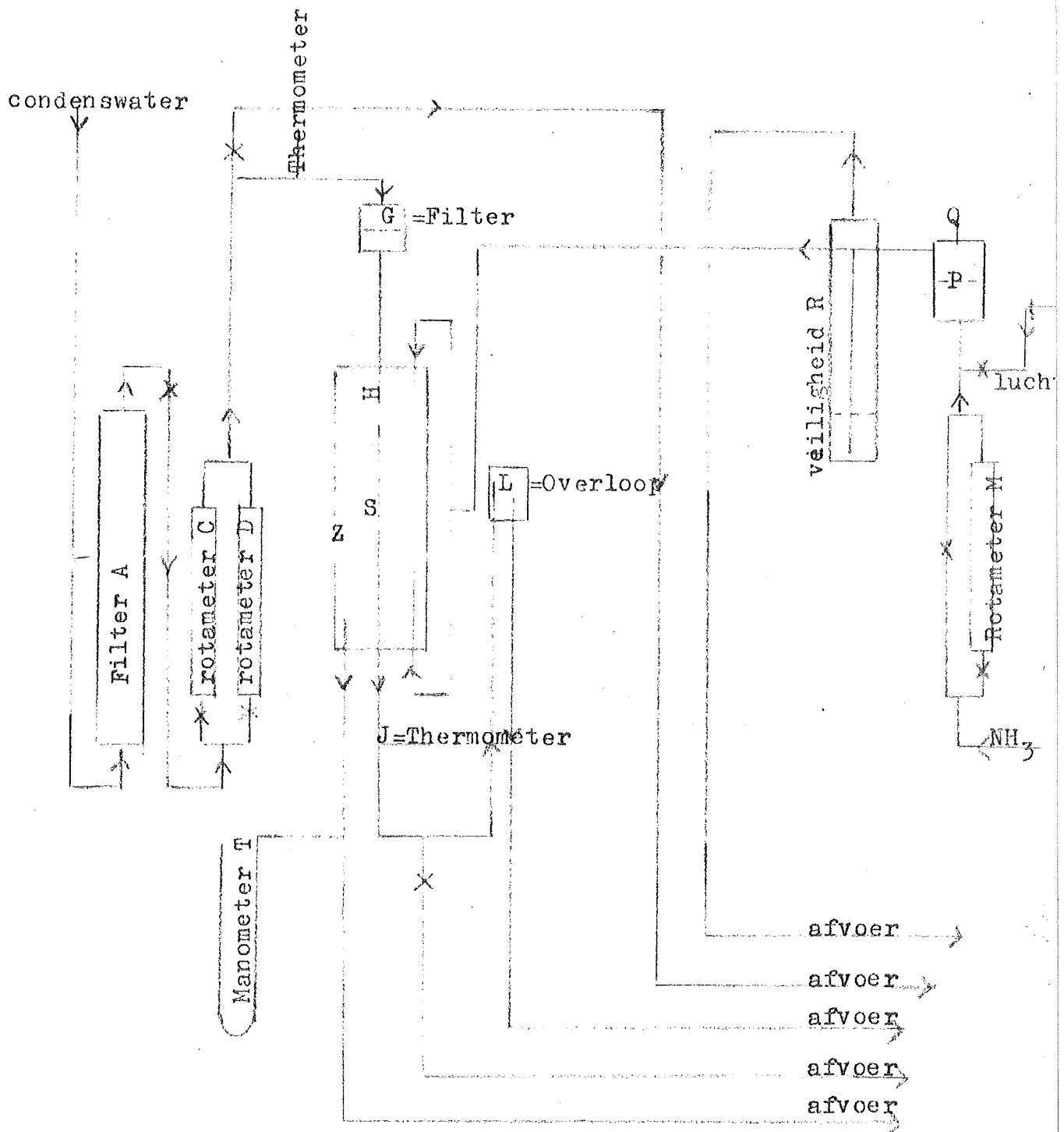
Een tweede conclusie welke we kunnen trekken is, dat, wanneer de oppervlaktespanning van een verzadigde oplossing sterk afhankelijk is van de temperatuur, deze methode zich er ~~goed~~ toe leent om de oppervlaktetemperatuur tijdens de absorptie te meten.

*Deel 2 met de
andere wijze van
best. heeft verandering
of een verandering*

Literatuur.

1. Addison, C.C. en Elliott, T.A. J.Chem.Soc. 3103, 1950.
2. Addison, C.C. J.Chem.Soc. 537, 1943.
3. Bohr, N. Roy.Soc.London.Phil.Trans. 209 A, 1909.
4. Bohr, N. Roy.Soc.London.Proc. A 84, 393, 1910.
5. Danckwerts, P.V. Applied Scientific Research III, 1951.
6. Handbook of Chemistry and Physics, 1949.
7. International Critical Tables, Vol. IV, 1928.
8. Lamb, H. Hydrodynamics, Cambridge 1932.
9. Landolt-Börnstein Vol. III, 1956.
10. Petersen, P.O. Roy.Soc.London. Phil.Trans. 207 A, 1809, 1907.
11. Perry, J.H. Chemical Engineers Handbook, 1950.
12. Lord Rayleigh Proc.Roy.London XXIX, 71, 1879.
13. Satterly, J. en Strachan, J.C. Trans.Roy.Soc.Canada S III, 105, 1935.
14. Stocker, H. Dissertation Freiburg, 1914.
15. Stocker, H. Z.Phys.Chem. 94, 149, 1920.

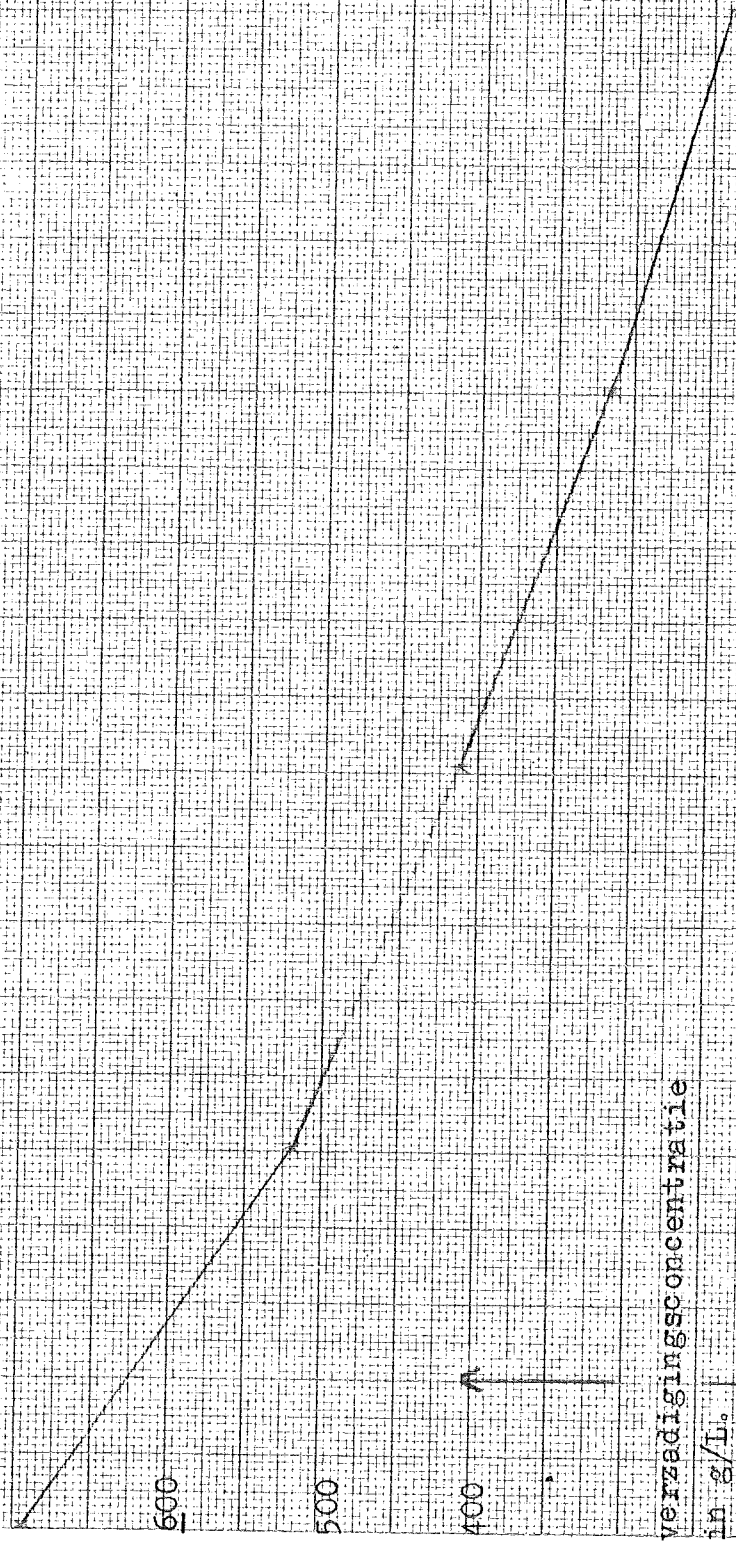
Schets van het toestel.



- H = Capillair.
 S = Opvangbuis.
 Q = Thermometer.
 P = Verzadiger.
 Z = Perspex huis.

Grafiek I

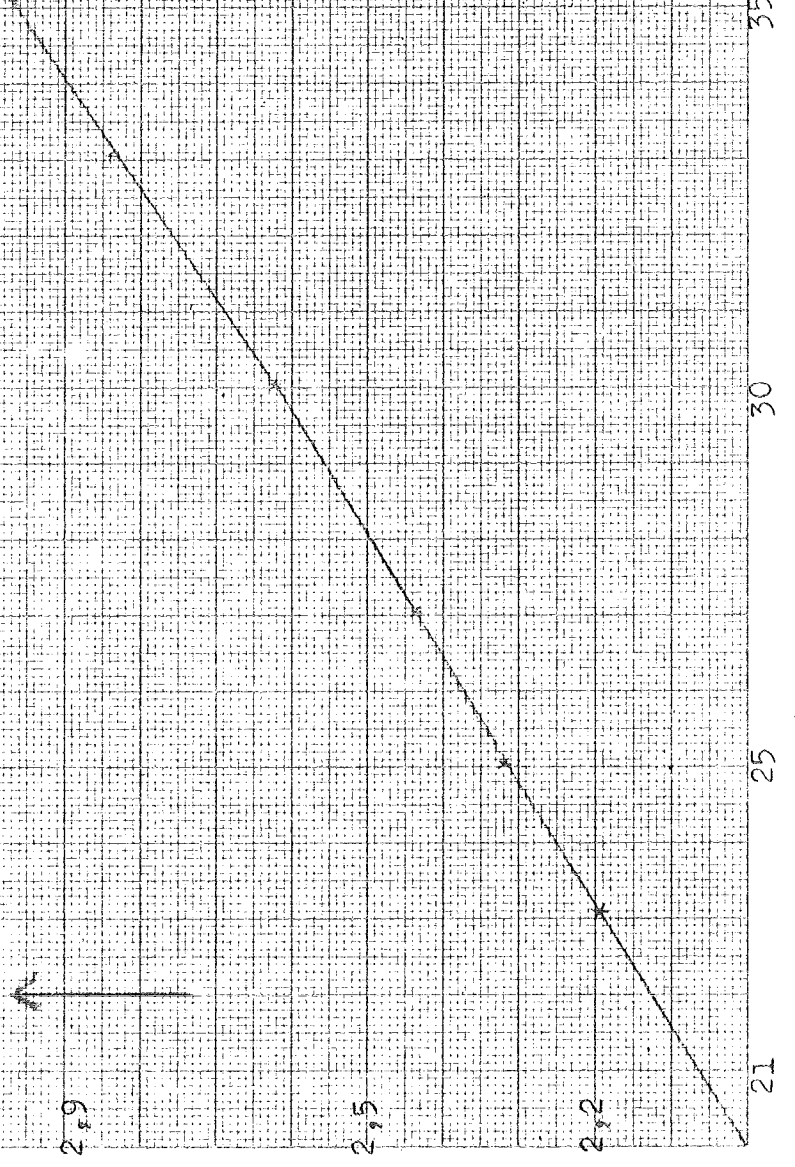
De verzadigingsconcentratie van een ammoniakoplossing tegen de temperatuur.



Grafiek II

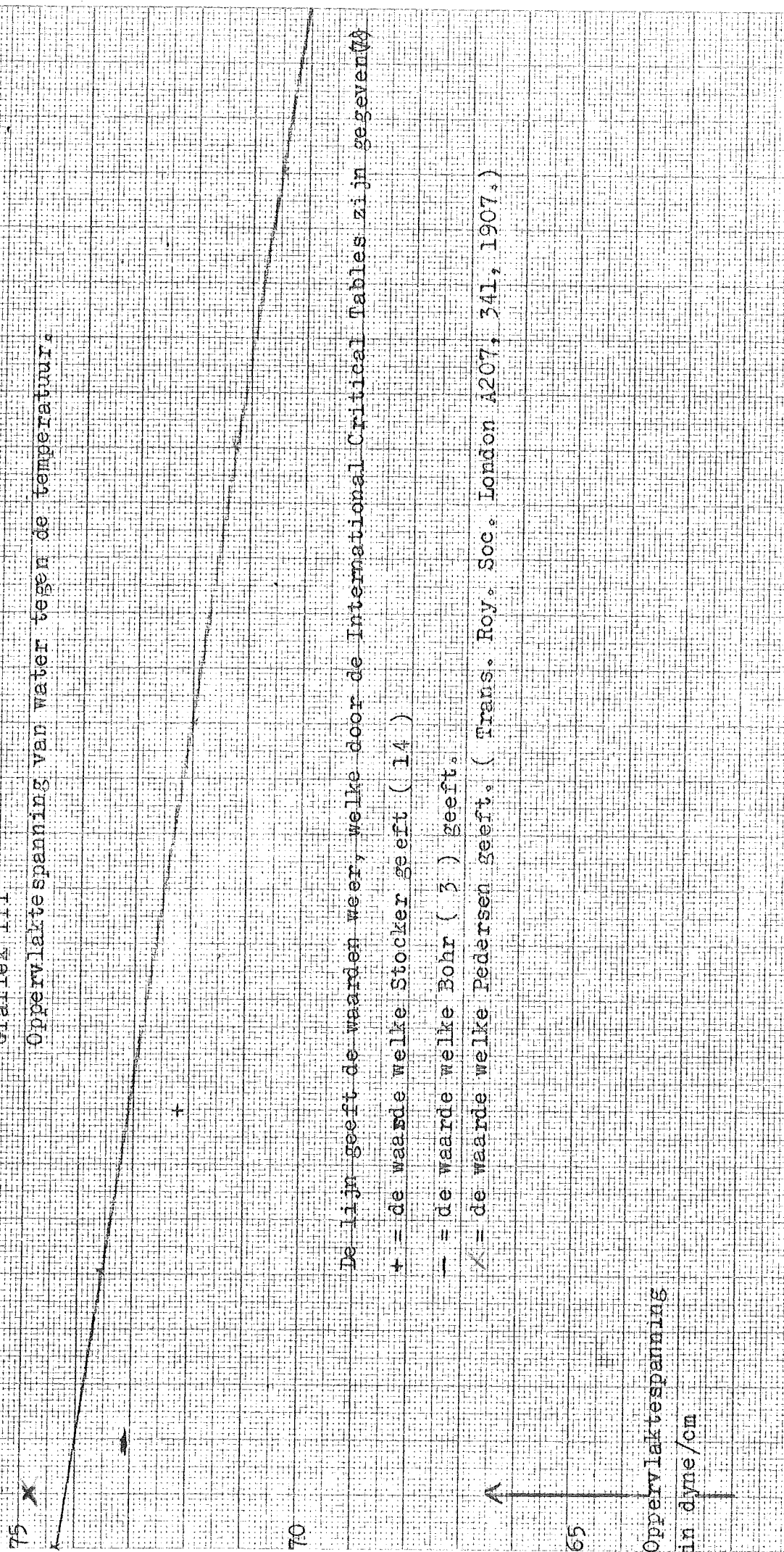
Invloed van de temperatuur op de diffusiecoëfficiënt.

Diffusiecoëfficiënt
in $10^{-5} \text{ cm}^2/\text{sec}$



Grafiek III

Oppervlaktespanning van water tegen de temperatuur.



De lijn geeft de waarden weer, welke door de International Critical Tables zijn gegeven

+ = de waarde welke Stocker geeft (14)

- = de waarde welke Bohr (3) geeft.

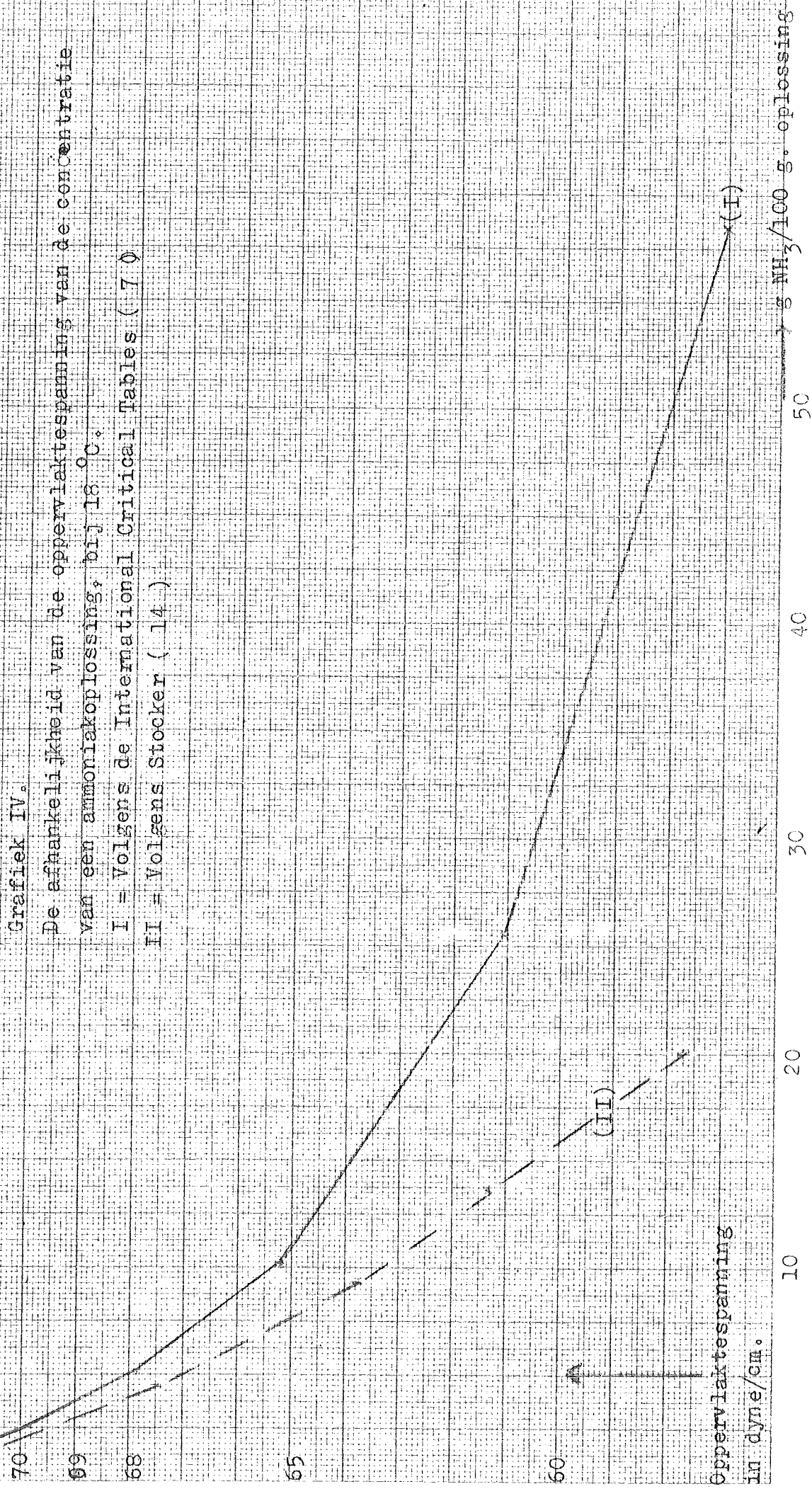
x = de waarde welke Pedersen geeft. (Trans. Roy. Soc. London A207, 341, 1907.)

Grafiek IV.

De afhankelijkheid van de oppervlaktespanning van de concentratie van een ammoniakoplossing, bij 18 °C.

I = Volgens de International Critical Tables (70)

II = Volgens Stocker (14)



Grafiek V.

Invloed van de temperatuur op de oppervlaktespanning van een verzadigde ammoniak-oplossing.

I, Volgens de International Critical Tables (7)

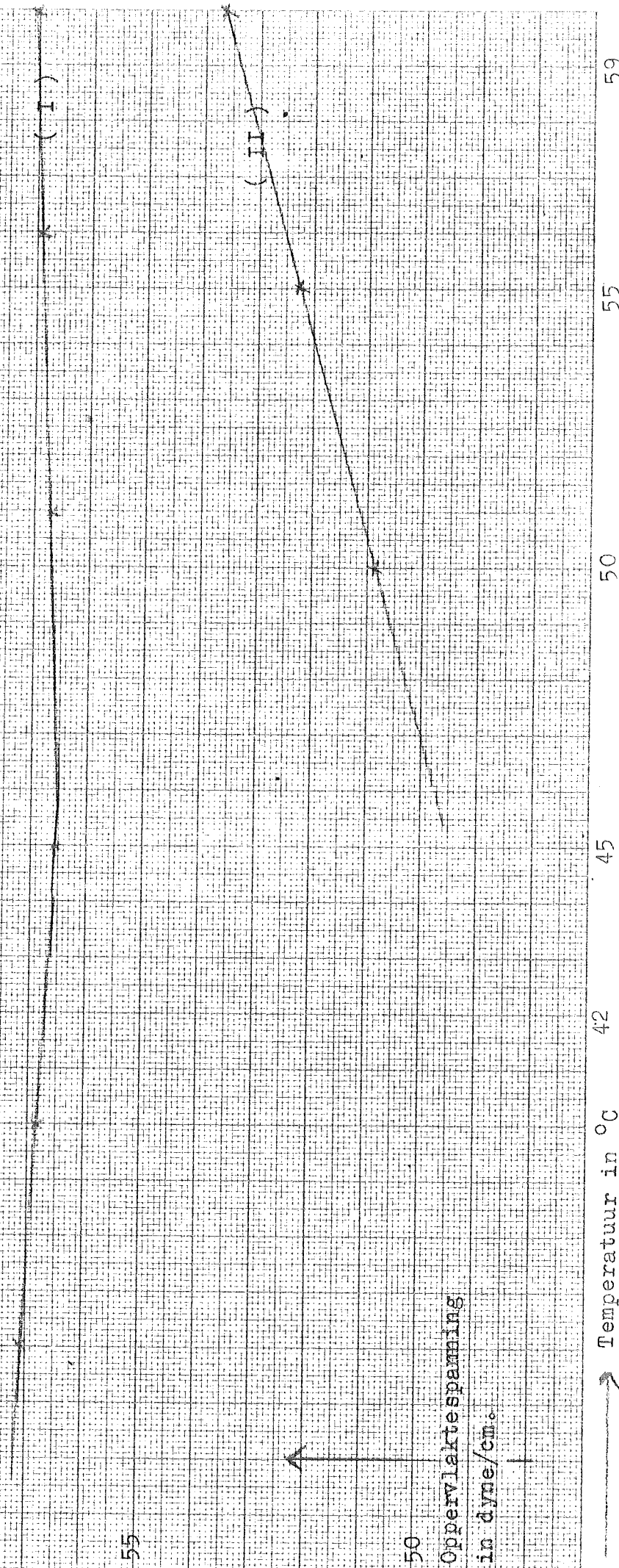
II, Volgens Stocker (14)

58

55

50

Oppervlaktespanning
in dyne/cm.



Temperatuur in °C

55

50

59

oppervlaktespanning
in dyne/cm.

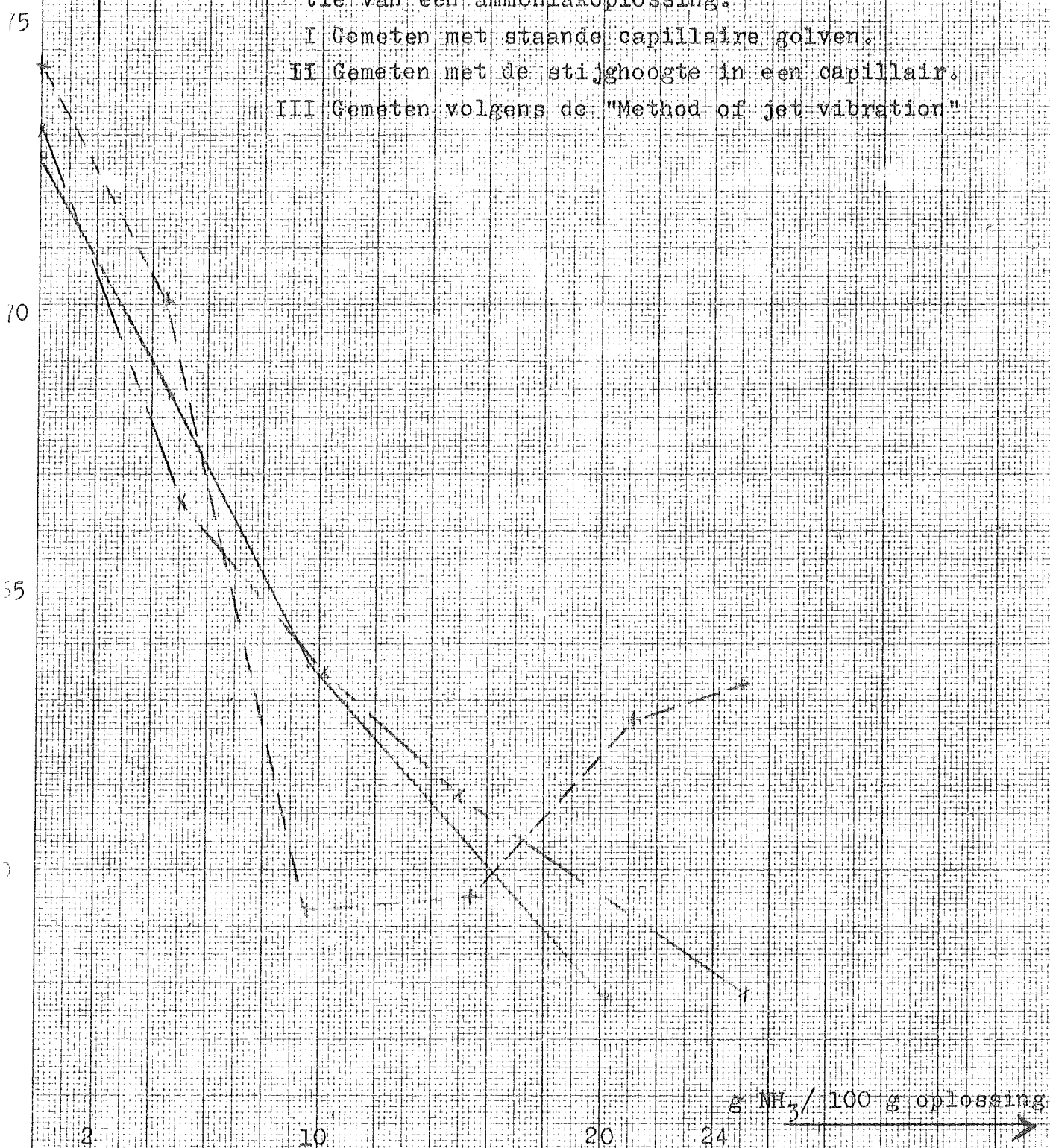
Grafiek VI

De oppervlaktespanning als functie van de concentra-
tie van een ammoniakoplossing.

I Gemeten met staande capillaire golven.

II Gemeten met de stijghoogte in een capillair.

III Gemeten volgens de "Method of jet vibration"



TABEL I (B)

TABEL I (C)

2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0,566	0,591	0,591	0,095	0,095	0,098	0,098	0,1035	0,1035	0,1035	0,1035	0,0897	0,0897	0,084	0,084	0,084	0,084	0,084	0,086
19,4	21,0	21,0	20,4	20,4	19,5	19,5	24	24	23,5	23,5	21	21	20,4	20,4	21	21	21	21,2
416	433	432	106	94	115	116	136	134	120	120	101	99	108	106	92	91	96	104
416	416	413	107	103	117	114	120	123	122	122	105	102	99	102	100	96	99	106
404	415	418	109	109	119	117	122	128	124	123	107	103	99	98	102	100	99	105
409	413	415	113	109	115	114	125	122	124	123	104	106	98	99	102	100	101	104
402	414	413	109	109	115	120	121	125	122	125			101	98	103	100	104	101
401	413	411		112	117	115	125	126	124	121								
69,4	68,2	68,6	77	64	74,3	72,1	61	62,6	76,5	76,5	78,1	82	64,2	66,2	90	91	84	71,9
69,8	73,5	74,4	75,8	68,1	71,0	74,3	76,5	73,2	72,8	72,8	72	73,7	72,5	68,6	74,7	80,5	76,2	70,2
73,3	71,7	70,7	72,1	72,1	68,2	70	70	70	70	71,3	69,1	73,8	72,9	74,5	72	73,8	75	70,6
70,9	72,7	72,7	67,5	72,1	72	73,4	71,2	73,7	69,4	70,5	74,8	72,7	73,3	72,1	71	73,7	72,5	72,3
72,5	72,9	72,9	72,1	73,3	71,7	66	76	72,1	71,5	69			70,4	73,6	69,2	73,6	68,4	75,9
71,9	72,9	73,7		69	68,3	70,8	71,8	71	69,5	72,5								
71,3	71,9	72,1	72,9	69,8	70,9	71,1	70,9	70,4	71,6	72,1	73,6	75,5	70,7	71,0	75,4	78,5	75,2	72,2
72,1	72,5	72,5	70,6	71,6	70,1	70,1	72,2	71,7	70,1	70,8	71,9	73,2	72,2	73,4	70,7	73,7	72,0	72,9
72,8	72,6	72,6	72,7	72,7	72,8	72,8	72,1	72,1	72,2	72,2	72,6	72,6	72,7	72,7	72,6	72,6	72,6	72,6
48,1	46,8	46,8	17,9	17,9	18,2	18,2	15,4	15,4	15,1	15,1	15,1	15,1	15,4	15,4	15,1	15,1	15,1	15,8
45,4	45,9	45,9	15,4	15,4	16,9	16,9	14,7	14,7	14,7	14,7	14,0	14,0	14,3	14,3	14,3	14,3	14,3	14,3
44,6	43,4	43,4	14,3	14,3	15,1	15,1	14,3	14,3	14,3	14,3	12,5	12,5	13,6	13,6	14,0	14,0	14,0	14,0
27,8	29,8	29,8	11,1	11,1	10,1	10,1	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,0	10,0	9,7	9,7	9,7	10,1
29,3	31,5	31,5	11,8	11,8	10,7	10,7	10,8	10,8	11,5	11,5	11,8	11,8	11,1	11,1	10,7	10,7	10,7	10,7
30,3	31,6	31,6	12,5	12,5	11,5	11,5	11,1	11,1	11,8	11,8	12,2	12,2	11,5	11,5	10,9	10,9	10,9	10,7
19,0	19,0	19,0	6,97	6,97	6,91	6,91	6,37	6,37	6,42	6,42	6,43	6,43	6,31	6,31	6,11	6,11	6,11	6,42
18,5	18,8	18,8	6,75	6,75	6,79	6,79	6,30	6,30	6,49	6,49	6,44	6,44	6,33	6,33	6,18	6,18	6,18	6,23
18,6	18,7	18,7	6,72	6,72	6,63	6,63	6,30	6,30	6,51	6,51	6,27	6,27	6,27	6,27	6,21	6,21	6,21	6,16

TABEL I (A)

WAARNEMINGEN ZONDER AMMONIAK ABSORPTIE.

><

Cap.no.	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1
A	0,557	0,685	0,499	0,504	0,564	0,564	0,566	0,566	0,566	0,566	0,591	0,591	0,095	0,095	0,098	0,09
Temp.	21,2	22,1	17,4	18,7	20,8	20,4	20,4	20,0	19,8	19,4	21,0	21,0	20,4	20,4	19,5	19,5
λ_1	390	540	345	351	399	411	406	420	415	416	433	432	106	94	115	116
λ_2	395	520	340	351	499	431	427	417	411	416	416	413	107	103	117	114
λ_3	395	510	344	366	415	409	420	404	404	404	415	418	109	109	119	117
λ_4	410	500	347	363	404	409	407	406	409	409	413	415	113	109	115	114
λ_5	410	510	363	356	407	405	410	407	400	402	414	413	109	109	115	120
λ_6	385	500	332	357	407	407		404	404	401	413	411		112	117	115
λ_7	395															
δ_1	83,7	82,5	79,4	79,6	77,9	73,6	72,6	66,7	69,4	69,4	68,2	68,6	77	64	74,3	72,1
δ_2	79,3	72	78,3	79,5	60,6	66	66,6	68	70,6	69,8	73,5	74,4	75,8	68,1	71,0	74,3
δ_3	74,7	70,7	77,9	72,5	70,8	72,2	68	73,3	73,3	73,3	71,7	70,7	72,1	72,1	68,2	70
δ_4	67,2	73	70,9	74,2	73,6	72	71,2	71,6	70,9	70,9	72,7	72,7	67,5	72,1	72	73,4
δ_5	65,7	70,2	76,3	77	70,9	71,9	70	70,9	73,1	72,5	72,9	72,9	72,1	73,3	71,7	66
δ_6	71,3	71,6	80,1	75,4	69,5	70,1		70,4	70,1	71,9	72,9	73,7		69	68,3	70,8
δ_7	71,6															
$\delta_{gem.}$	71,9	73,3	77,1	76,4	70,6	70,8	69,7	70,1	71,2	71,3	71,9	72,1	72,9	69,8	70,9	71,1
$\delta_{g.3-}$	70,1	71,4	76,3	74,8	71,4	71,5	69,7	71,5	71,8	72,1	72,5	72,5	70,6	71,6	70,1	70,1
δ_L	72,5	72,4	73,1	72,9	72,6	72,7	72,7	72,7	72,8	72,8	72,6	72,6	72,7	72,7	72,8	72,8
B_1	49,5	54	48,1	47,7	48,9	48,9	48,1	48,1	48,1	48,1	46,8	46,8	17,9	17,9	18,2	18,2
B_3	47,5	49,7	45,9	45,4	45,9	45,9	45,4	45,4	45,4	45,4	45,9	45,9	15,4	15,4	16,9	16,9
B_5	44,-	48,7	43,9	43,4	43	43	44,6	44,6	44,6	44,6	43,4	43,4	14,3	14,3	15,1	15,1
K_1	26,-	23	27,2	27,3	26,9	26,9	27,8	27,8	27,8	27,8	29,8	29,8	11,1	11,1	10,1	10,1
K_3	28,4	27	29,8	28,1	28,7	28,7	29,3	29,3	29,3	29,3	31,5	31,5	11,8	11,8	10,7	10,7
K_5	32,5	28	30,4	28,7	30,5	30,5	30,3	30,3	30,3	30,3	31,6	31,6	12,5	12,5	11,5	11,5
a_1	18,5	18,7	18,6	18,3	18,7	18,7	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	6,97	6,97	6,91	6,91
a_3	18,8	18,9	18,8	18,2	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,8	18,8	6,75	6,75	6,79	6,79
a_5	19,0	18,5	18,5	17,9	18,5	18,5	18,6	18,6	18,6	18,6	18,7	18,7	6,72	6,72	6,63	6,63

TABEL II.
(A)WAARNEMINGEN MET AMMONIAK ABSORPTIE.
><(B)
STRAAL A

NH ₃ temp. in t. uit A	-	-	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	Gemiddelde waarde voor γ voor alle golven afzonderlijk
	20,8 20,0 0,095	20,8 20,0 0,095	21 32 0,095	21 32 0,086	20 19 0,098	20 19 0,098	21 29 0,098	21 29 0,098	21 29 0,098	21 29 0,098	19 29 0,088	19 29 0,088	22,2 21,2 0,086	23 23,2 0,086	23,5 32 0,083	23,9 36 0,083	24 36,3 0,083	24 34 0,083	
λ_1	106	94	124	115	115	116	134	126	133	135	120	123	104	122	110	107	112	133	
λ_2	107	103	125	113	117	114	139	133	138	135	131	123	106	115	122	123	125	124	
λ_3	109	109	130	112	119	117	139	135	137	137	126	125	105	116	120	120	115	118	
λ_4	113	109	130	120	115	114	121	142	140	138	120	115	104	112	117	115	117	120	
λ_5	109	109		123	115	120	145	137	141	133	130	129	101	113	111	111			
λ_6		112		126	117	115	128	130	137	140	126	115			114				
δ_1	77	64	56,5	54	74,3	72,1	59,6	67,2	60,7	58,7	62,7	60	71,9	52,2	58,6	62	63,2	46,2	58,3 $\rightarrow 58 \pm 6$
δ_2	75,8	68,1	57,7	58,3	71,0	74,3	53	56,7	53,4	54,3	49,2	55,8	70,2	59,5	47,3	49	50	49,4	53,4 53 ± 4
δ_3	72,1	72,1	54	50,2	68,2	70	52,5	55,3	53,8	53,9	49	53	70,6	58	50	52,2	56	53,1	53,4 53 ± 2
δ_4	67,5	72,1	54	51,4	72	73,4	67,6	49,8	50,1	52,2	57	62,3	72,3	62	53	57	54,5	52,8	55,1 56 ± 5
δ_5	72,1	73,3		48,6	71,7	66	47,6	51,9	48,5	54,5	49,9	50,7	75,9	61	59	60			52,2 53 ± 5
δ_6		69		47	68,3	70,8	60	57,3	50,6	50	52	62			56				55,1 54 ± 4
B ₁	17,9	17,9	17,9	17,9	18,2	18,2	17,6	17,6	17,6	17,6	15,4	15,4	15,8	14,7	16,9	16,9	15,8	15,8	
B ₃	15,4	15,4	15,1	15,1	16,9	16,9	14,3	14,3	14,3	14,3	14,5	14,5	14,3	14,3	15,0	14,7	14,1	14,1	
B ₅	14,3	14,3	14,5	14,5	15,1	15,1	13,5	13,5	13,5	13,5	14,1	14,1	14,0	14,3	14,3	14,3	13,8	13,8	
K ₁	11,1	11,1	11,1	11,1	10,1	10,1	10,4	10,4	10,4	10,4	9,0	9,0	10,1	10,7	10,1	10,1	9,0	9,0	
K ₃	11,8	11,8	11,3	11,3	10,7	10,7	11,1	11,1	11,1	11,1	10,1	10,1	10,7	10,7	10,7	10,1	10,4	10,4	
K ₅	12,5	12,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,8	11,8	11,8	11,8	10,4	10,4	10,7	10,7	10,7	10,1	10,4	10,4	
a ₁	6,97	6,97	6,97	6,97	6,91	6,91	6,3	6,3	6,3	6,3	6,04	6,04	6,42	6,28	6,68	6,68	6,12	6,12	
a ₃	6,75	6,75	6,48	6,48	6,79	6,79	6,37	6,37	6,37	6,37	6,20	6,20	6,23	6,23	6,4	6,17	6,11	6,11	
a ₅	6,72	6,63	6,48	6,48	6,63	6,63	6,4	6,4	6,4	6,4	6,09	6,09	6,16	6,23	6,23	6,11	6,03	6,03	

Hierin is : γ de oppervlaktespanning, uitgedrukt in dyne/cm.
 λ de golflengte 10^{-2} mm.

TABEL III.

In deze tabel is uitgerekend het aantal grammen ammoniak, dat tot en met de aangegeven golf wordt geabsorbeerd. De gemiddelde concentratie, de gemiddelde temperatuur welke hierdoor ontstaat per golf, en de hierbij behorende oppervlaktespanningsdalingen.

KOLOM I.

De afstand van de uitstroomopening tot de volgende golf.

KOLOM II.

Het aantal grammen $\cdot 10^{-7}$, dat per seconde tot en met de aangegeven golf wordt geabsorbeerd.

KOLOM III.

De temperatuurstijging welke hierdoor optreedt in $^{\circ}\text{C}$.

KOLOM IV.

De gemiddelde concentratie van elke golf grammen/mm³ 10^{-5} .

KOLOM V.

De gemiddelde temperatuur van elke golf in $^{\circ}\text{C}$.

KOLOM VI.

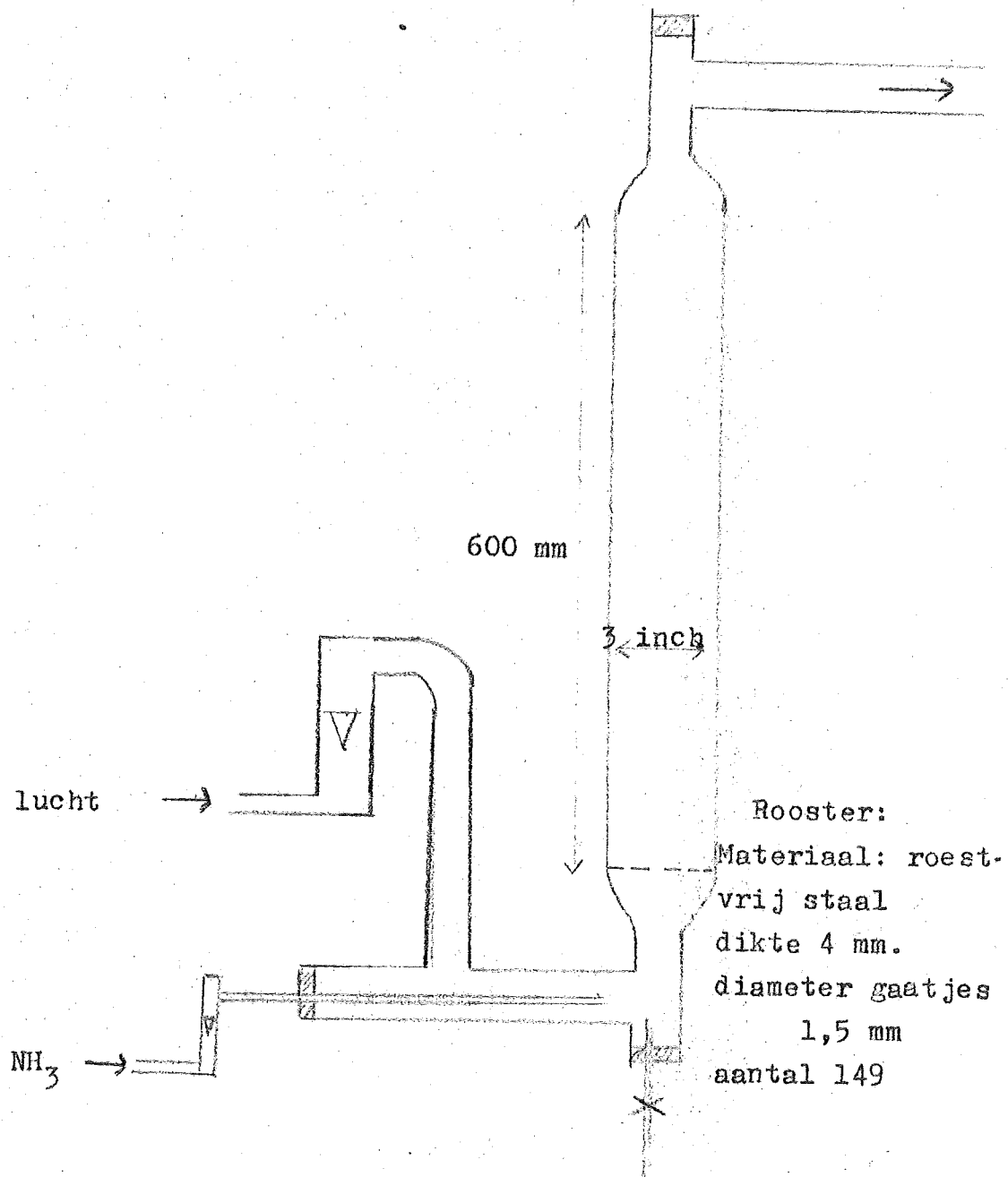
De daling van de oppervlaktespanning t.g.v. de concentratie in dyne/cm (grafiek IV).

KOLOM VII.

De daling van de oppervlaktespanning t.g.v. de temperatuurstijging in dyne/cm (grafiek III).

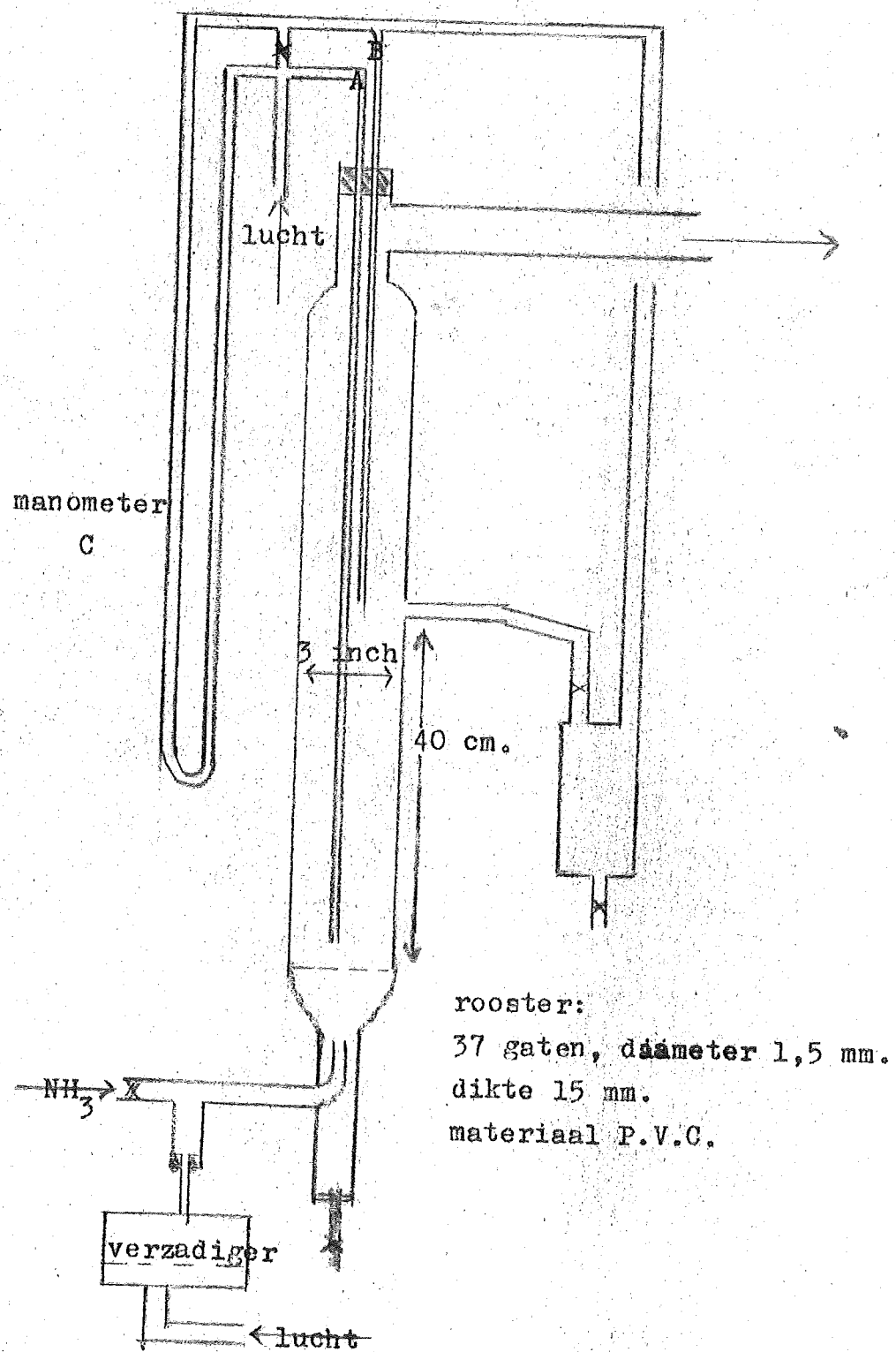
KOLOM VIII.

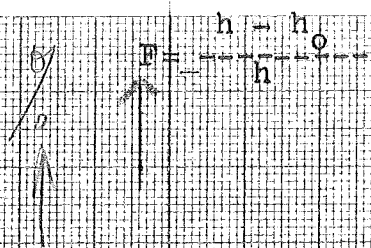
De waarde voor de oppervlaktespanning.



Figuur I

Figuur II





Grafiek I
De afhankelijkheid van
de schuimhoogte bij
verschillende water-
hoogten.

65

60

55

50

45

I, $h_0 = 25$ mm

II, $h_0 = 36$ mm

III, $h_0 = 50$ mm

IV, $h_0 = 60$ mm

V, $h_0 = 70$ mm

VI, $h_0 = 80$ mm

0,1

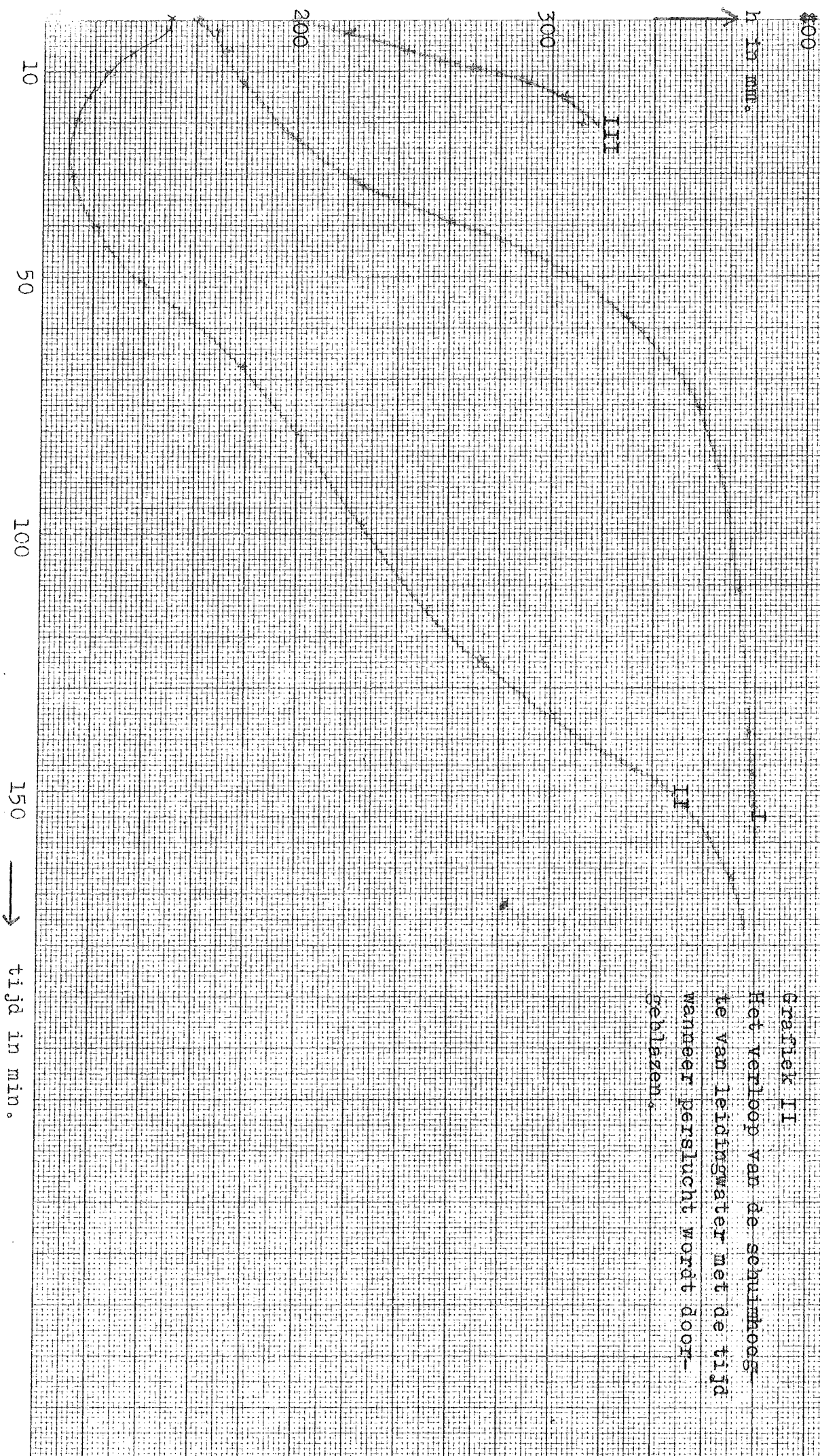
0,2

0,3

0,4

0,5

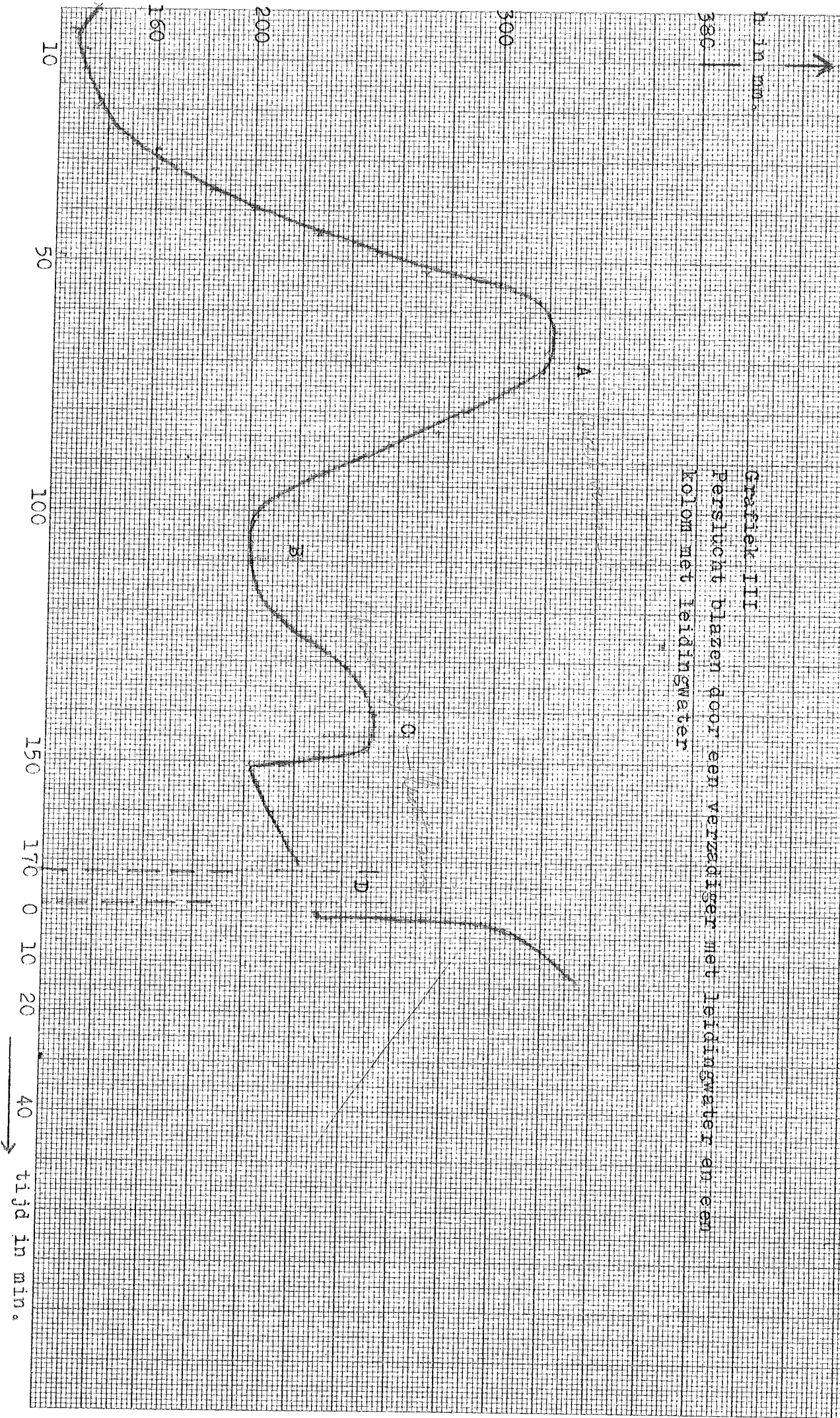
v in m/sec.



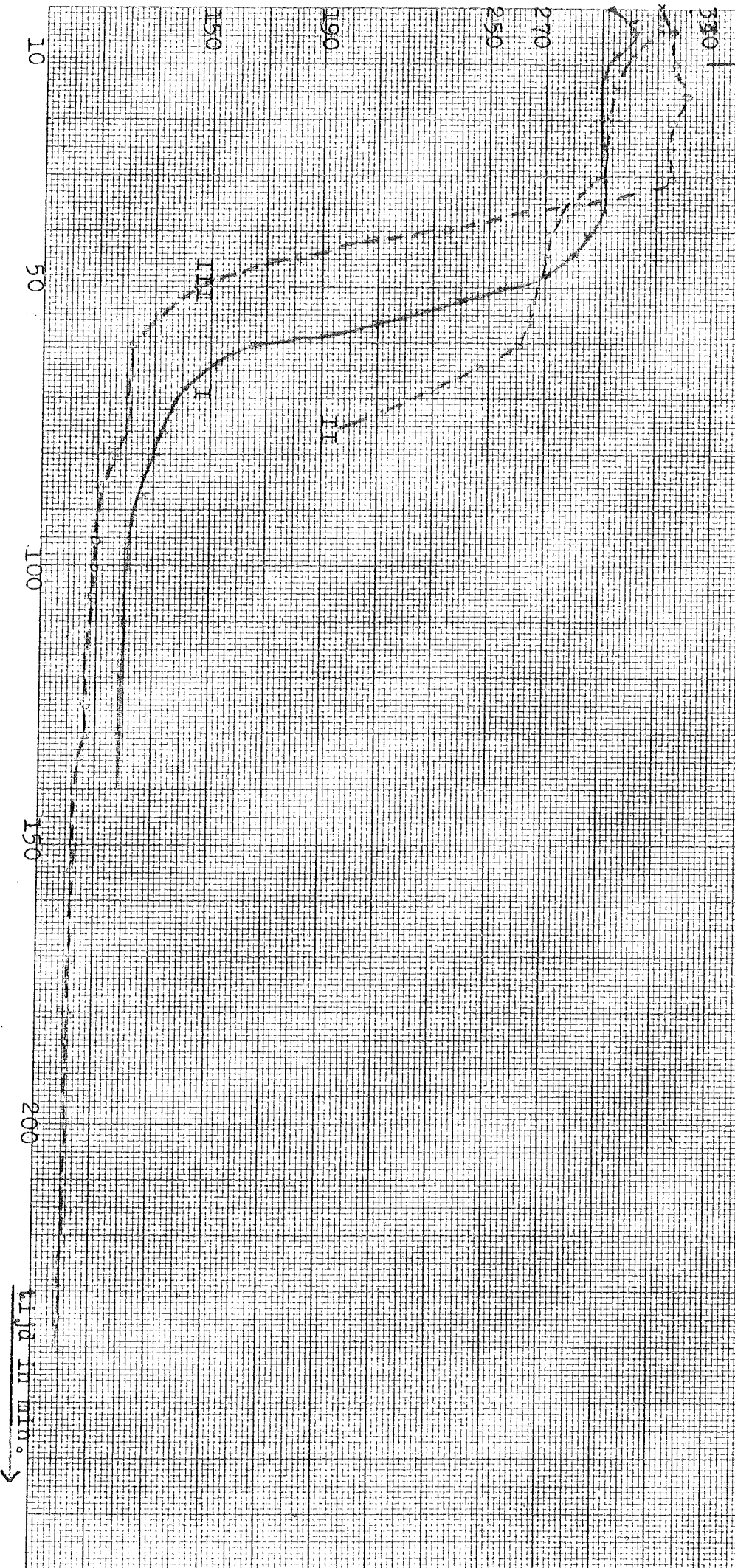
Grafiek II

Het verloop van de schuimhoogte van leidingwater met de tijd wanneer perslucht wordt doorgeblazen.

Grafiek III
Perslucht blazen door een verzadiger met leidingwater en een
kolom met leidingwater



Grafiek IV
 Perslucht geblazen door een verzadigter met leidingwater en
 een kolom met gedestilleerd water.



TABEL IV.

In deze tabel is de waarde voor de oppervlaktespanning berekend, wanneer wordt aangenomen, dat aan het oppervlak de gemiddelde temperatuur en de verzadigingsconcentratie heersen.

In kolom 1 : is de gemiddelde temperatuur van elke golf gegeven.

In kolom 2 : de bijbehorende verzadigingsconcentratie in g/100 cm³

In kolom 3 : de oppervlaktespanning in dyne/cm, afgelezen uit grafiek IV.

De waarden gegeven door de Critical Tables werden hier gebruikt, daar Stocker bij deze hoge concentraties geen waarden heeft gegeven.

In kolom 4 : de daling van de oppervlaktespanning t.g.v. de temperatuurstijging.

In kolom 5 : de op deze wijze berekende waarde voor de oppervlaktespanning.

KOLOM	1	2	3	4	5
1 ^e stuk	24,39	47,0	58,1	0,9	57,2
1 ^e golf	26,24	45,0	58,4	1,2	57,2
2 ^e golf	27,87	43,5	58,6	1,45	57,15
3 ^e golf	29,04	42,0	58,8	1,6	57,2
4 ^e golf	29,96	41,0	58,9	1,75	57,15
5 ^e golf	30,78	40,5	59,0	1,9	57,1
6 ^e golf	31,48	40,0	59,1	2,0	57

SCHUIMVERSCHIJNSELEN BIJ HET BLAZEN VAN LUCHT DOOR WATER.

S.M. JOUSTRA.

I N H O U D:

Pagina:

Samenvatting.	1
Literatuur overzicht.	2
Beschrijving van het toestel.	4
Beschrijving van de waarnemingen.	5
Nabeschouwing.	12
Verklaring van verschillende uitdrukkingen en symbolen.	14
Literatuur.	15

Samenvatting.

Wanneer een gas door water wordt geblazen, is het gasvolume in het gas-water mengsel afhankelijk van het gas, dat wordt doorgeblazen.

Het doel van de proefneming was, de factoren welke invloed op de grootte van het gasvolume uitoefenen, te bepalen.

Gevonden werd, dat bij het blazen van lucht door water, het gasvolume ook nog afhankelijk was van de tijd.

Nagegaan werd welke factoren deze tijdsafhankelijkheid veroorzaakten.

Literatuur-overzicht.

In 1950 deed Verschoor (5) proefnemingen met een kolom, waarin lucht door water werd geblazen. Deze lucht werd door een filter onder in de kolom gevoerd.

Hij merkte op:

- a. Dat het volume van het gas in het gas lucht mengsel toenam met de snelheid van het gas, tot een kritisch punt, daarna afnam tot een minimum, om vervolgens bij toenemende gassnelheid weer te stijgen .
- b. Dat drie gebieden kunnen worden onderscheiden, bij toenemende gassnelheid:
 1. Een gebied, waarin bij een vrij constante gassnelheid de gashoeveelheid toeneemt.
 2. Een gebied, waarin bij een vrij constante gashoeveelheid de bellensnelheid toeneemt.
 3. Een gebied, waarin de gashoeveelheid en de bellensnelheid beide toenemen.
- c. Dat kleine bellen in zuivere vloeistoffen kunnen smelten. De tegenwoordigheid van een opgeloste stof kan coalescentie tegengaan.
- d. Dat bij een grotere poriëndiameter van het rooster het maximale gasvolume (het kritisch punt) bij een hogere gassnelheid optreedt.

Over de oorzaak van deze verschijnselen wordt weinig gezegd; wel wordt opgemerkt, dat de viscositeit waarschijnlijk een grotere rol speelt dan de oppervlaktespanning.

In 1954 werden in Rusland, door Pozin (3, 4), soortgelijke proefnemingen verricht, en werd eveneens het optreden van een maximale gashoeveelheid gevonden.

Tevens werden metingen verricht, waarbij lucht met ammoniak gemengd, door water werd geblazen (ongeveer 3% NH_3). Het bleek, dat de „schuimhoogte" bij een zekere gassnelheid veel lager was dan wanneer alleen lucht werd doorgeblazen. Ook werd lucht door een ammoniakoplossing geblazen (een ongeveer 0,05% oplossing). Nu werd bij een zekere gassnelheid een veel hoger gas-percentages in het mengsel gevonden, dan wanneer er alléén lucht werd doorgeblazen.

Proefnemingen met SO_2 , CO_2 en HCl wezen uit, dat CO_2 en SO_2 geen invloed hebben op de schuimhoogte en dat HCl dezelfde verschijnselen als ammoniak veroorzaakt.

Er wordt de veronderstelling geuit, dat goed oplosbare gassen de schuimvorming zouden tegenwerken, terwijl slecht oplosbare gassen het schuim niet zouden aantasten.

In deze artikelen wordt geen verklaring voor de gevonden verschijnselen gegeven. Evenals Verschoor (5) vond men, dat de verschijnselen niet alleen met behulp van de oppervlaktespanning zijn te verklaren. Men zegt, dat een verandering in filmstructuur hoogstwaarschijnlijk de oorzaak van de verschijnselen is. Wel wordt opgemerkt, dat verlaging van de oppervlaktespanning en verlaging van de viscositeit beide de schuimhoogte doen afnemen. Deze invloed van de viscositeit werd ook door Verschoor geconstateerd.

In 1956 merkt Zuiderweg (6) op, dat we, wanneer stofuitwisseling plaats vindt, positieve en negatieve oppervlakte-actieve systemen kunnen onderscheiden.

Bij een positief systeem neemt de oppervlaktespanning toe, dit veroorzaakt stabiele vloeistoffilms.

Bij negatieve systemen neemt de oppervlaktespanning af, waardoor instabiele vloeistoffilms ontstaan. Er heerst de neiging het stofuitwisselingsoppervlak te verkleinen.

Gaan we de uitspraak van Zuiderweg na aan de hand van de hiervoor beschreven proefneming met ammoniak, dan blijkt, dat er overeenstemming bestaat. Bij absorptie van ammoniak wordt de oppervlaktespanning verlaagd, in dit geval hebben we te maken met een negatief systeem. Bij desorptie met een positief systeem.

Zeer veel onderzoeken over de schuimhoogte zijn gedaan, waarbij een oppervlakte-actieve stof was toegevoegd (1, 2). Op deze onderzoeken gaan we hier niet verder in.

*Waar is het
met de oppervlakte-
spanning?*

Beschrijving van het toestel.

Enige oriënterende metingen werden gedaan met het toestel, dat in figuur 1 is weergegeven. De hoogte van het schuim werd afgelezen op een schaalverdeling aan de wand van de kolom.

Daar het oppervlak, vooral bij hogere gassnelheden, erg onrustig was, werd een overloop in de wand van de kolom aangebracht, waarmee de hoogte van het schuim zou kunnen worden bepaald. De waterhoeveelheid in de kolom werd bepaald door in de buizen A en B een weinig lucht te blazen, zodanig, dat dit de metingen niet beïnvloedde. Op de manometer C (zie figuur 2) was het dan mogelijk de waterhoeveelheid af te lezen.

Tevens werd overgegaan op een luchtinvoer, waardoor de lucht onder het rooster, loodrecht op dit rooster werd ingeblazen. Bij de invoer, welke in figuur 1 is geschetst, trad bij lage luchtsnelheden een ongelijke verdeling van de bellenstromen boven het rooster op. Ook werd het rooster dikker genomen om de drukval hierover groter te maken.

Na deze verbeteringen waren de bellenstromen aanmerkelijk gelijkmatiger over het rooster verdeeld.

Beschrijving van de waarnemingen.

Bij oriënterende metingen met leidingwater werd waargenomen:

- a. Dat er een maximale schuimhoogte optrad bij een zekere luchtsnelheid.
- b. Dat de schuimhoogte bij ammoniakabsorptie veel lager was dan wanneer bij een bepaalde snelheid alleen lucht werd doorgeblazen.
- c. Dat bij het blazen van lucht door een ammoniakoplossing een veel hogere schuimhoogte optrad, dan bij het blazen door water.
- d. Dat de waarnemingen slecht reproduceerden.

ad. d. Het slechte reproduceren werd aan het onnauwkeurig aflezen van de schuimhoogte geweten.

Bij de hierop volgende metingen met leidingwater werden de manometer en de overloop beproefd. Het bleek, dat de waarnemingen ook hier slecht reproduceerden. Tevens bleek, dat een maximale schuimhoogte nauwelijks aanwezig was.

Daar de overloop 40 cm boven het rooster was aangebracht, was de waterhoeveelheid in de kolom, bij de snelheid waar de maximum hoogte ongeveer zou moeten optreden, veel groter dan gedurende de oriënterende metingen. Het verloop van de schuimhoogte met de gassnelheid werd nu voor verschillende waterhoogten nagegaan. De aflezing van de hoogte vond weer plaats op een aan de wand van de kolom aangebrachte schaalverdeling.

In grafiek I zijn enige waarnemingen met verschillende waterhoogten gegeven, deze zijn wel enigszins geflatteerd, omdat uit de slecht reproduceerbare waarnemingen de mooiste zijn gezocht. Deze geven echter wel een juist algemeen beeld, zover dit kon worden nagegaan.

Dat de afleesfout (ongeveer ± 5 mm) van betekenis is geeft de volgende reeks waarnemingen weer.

v m/sec.	h (mm).
0,15	125
0,2	135
0,25	140
0,30	135
0,35	140

De oorspronkelijke waterhoogte was hier: $h_0 = 60$ mm. We zien, dat het maximum (140 mm) slechts weinig verschilt van de omliggende waarden.

Wanneer de snelheid kleiner is dan $v = 0,25$ m/sec krijgen we een geringere afleesfout dan hiervoor is aangegeven. Echter bij hogere snelheden wordt de afleesfout steeds groter, naarmate het oppervlak van het systeem onrustiger wordt.

*Relatie
afleesfout
snelheid* Uit de krommen in grafiek I zien we, dat het volume gas, dat de vloeistof bevat, kleiner is naarmate de oorspronkelijke waterhoogte groter wordt. We kunnen dus zeggen, dat eigenlijk maar een deel van het water schuimt. En we kunnen ons voorstellen, dat het schuim, dat onder in de kolom zou ontstaan, door het water er boven wordt samengedrukt.

Dat het maximum bij hogere waterhoogten minder duidelijk op de voorgrond treedt volgt hier direct uit.

Een gunstige waterhoogte om schuimhoogten van te meten moet dus niet te groot zijn. Een hoogte van 60 mm werd gekozen.

Om een oorzaak voor het slechte reproduceren te vinden werd een meting gedaan, waarbij gedurende langere tijd lucht met een constante snelheid door een waterlaag van 60 mm werd geblazen. (grafiek II).

Er werd een snelheid van 0,15 m/sec gekozen om een rustig oppervlak te verkrijgen en op deze wijze de afleesnauwkeurigheid te verhogen.

Uit de grafiek II zien we, dat een toenemen van de schuimhoogte gedurende een zekere tijd tot een vrij bepaalde waarde.

Het bleek, dat water, dat eenmaal deze bepaalde waarde had bereikt, de schuimende eigenschappen lang behield. De kromme III werd verkregen nadat dergelijk water ongeveer 48 uur was bewaard. We zien, dat de schuimhoogte snel oploopt tot een hoge waarde.

Er werd verondersteld, dat het toenemen van de schuimhoogte zijn oorzaak vond in een temperatuureffect. De temperatuur van het water in de kolom en de ingeblazen lucht waren echter gedurende de proef constant, resp. 13 en 10°C.

Wanneer met water, waarmee enige was geblazen, zodat de min of meer constante hoogte van 380 mm was verkregen, opnieuw na verwarmen een meting werd gedaan, vertoonde dit hetzelfde beeld als door kromme III in grafiek II is aangegeven.

Een andere merkwaardige eigenschap van het goed schuimende water was, dat, wanneer bij dit water een weinig vers leidingwater werd gevoegd, de schuimende eigenschappen volkomen verloren gingen. Het duurde dan ongeveer 30 min voor dit water een schuimhoogte van 300 mm had bereikt. Dit is ongeveer gelijk aan de tijd, welke vers water nodig heeft om de aangegeven schuimhoogte te bereiken.

Om het temperatuureffect beter na te kunnen gaan, werd om de verzadiger een vat gezet waarin water kon worden verwarmd. De temperatuur van de instromende lucht kon op deze wijze worden geregeld.

In grafiek III is een proefneming weergegeven, waarbij de temperatuur van het water en de instromende lucht gedurende de eerste tijd gelijk waren.

Het verschil tussen de kamertemperatuur en de temperatuur van het water in de kolom was ook gering.

Bij A (zie grafiek III) werd de temperatuur van de instromende lucht verhoogd, er trad een daling op van de schuimhoogte. Bij B werd de temperatuur van de instromende lucht lager gemaakt dan de temperatuur van het water in de kolom. Hier treedt een toename van de schuimhoogte op. Dit is in overeenstemming met de uitspraak van Zuiderweg (6). Bij toenemende temperatuur van de instromende lucht hebben we te maken met een daling van de oppervlaktespanning, dus een negatief oppervlakte actief systeem. Bij een lagere temperatuur van de instromende lucht met een positief oppervlakte actief systeem.

De daling van de schuimhoogte bij C is moeilijker te verklaren. Het is mogelijk, dat het verschil van kamertemperatuur en kolomtemperatuur hiervan de oorzaak is geweest.

Bij het dalen wordt de omgevingstemperatuur hoger dan de kolomtemperatuur, tevens zal de wand van de kolom langzamer afkoelen dan het water. We kunnen ons voorstellen, dat aan de wand van de kolom een temperatuurgradiënt heerst. Bij een lagere kolomtemperatuur ontstaat dus aan de wand een positief oppervlakte actief systeem (6). Dit positieve systeem kan voorrang hebben boven het negatieve systeem, dat wordt veroorzaakt door de ingevoerde lucht

Bij D werd de proefneming enige tijd stopgezet, slechts zoveel lucht werd doorgeblazen, dat het water niet door het rooster liep. Bij het instellen van de snelheid (weer 0,15 m/sec.) liep de schuimhoogte snel op (zie grafiek III). De wandtemperatuur van de kolom was nu zeker hoger dan de temperatuur van het water, omdat gedurende het stopzetten geen warmte-afvoer van de wand heeft plaats gehad. Wel werd weer koudere lucht ingeblazen. Het wordt echter nu moeilijk bovenstaande verklaring weer toe te passen.

We moeten echter goed beseffen, dat het temperatuureffect waarschijnlijk niet het enige effect is, dat de verandering in schuimhoogte veroorzaakt, maar dat ook door de lucht meegevoerd vuil en vuil in het water een belangrijke rol hierin spelen. Ook is hierboven niet de grootte van de temperatuurverschillen genoemd, deze waren allen ongeveer 3°C. Het is zeer waarschijnlijk, dat de grootte van dit verschil ook een belangrijke rol speelt; daar de kamertemperatuur gedurende een proefneming vrij veel verliep en de warmte-overdracht tussen de buitenlucht en de kolomwand zeer slecht is, voldoet de bovengenoemde verklaring over het wandeffect eigenlijk zeer slecht.

Om het toenemen van de schuimhoogte toch te kunnen verklaren werd verondersteld, dat de lucht, de stoffen welke het water verhinderde te schuimen, inactief maakte, of dat de lucht stoffen meevoerde welke het water zouden laten schuimen.

Om deze theorie te testen werden enige proefnemingen met gedestilleerd water gedaan, welke zijn weergegeven in grafiek IV.

Bij deze proefnemingen was het verschil in temperatuur tussen de instromende lucht en het water in de kolom gering. Bij waarneming III in grafiek IV werd geprobeerd, toen de schuimhoogte ongeveer 110 mm was geworden door koude lucht in te blazen, deze weer te verhogen. Dit had, zoals we zien, geen resultaat.

Ook verwarmen van de instromende lucht had geen effect.

Dat de schuimhoogte bij de verschillende proeven niet op dezelfde tijd minder werd kan misschien worden verklaard met het verschil tussen de kamertemperatuur en die van het water in de kolom.

Bij kromme I	was $t_k - t_{\text{water}} \approx 0$	
Bij kromme II	was $t_k - t_{\text{water}} < 0$	→ geeft positief systeem.
Bij kromme III	was $t_k - t_{\text{water}} > 0$	→ geeft negatief systeem.

We constateren uit deze proefneming, dat bovengenoemde theorie, dat de lucht stoffen inactief zou maken, welke het schuimen zouden tegengaan, nu in het gedrang komt.

Grafiek V geeft de waarnemingen weer waarbij gedestilleerd water in de verzadiger en leidingwater in de kolom werd gebruikt. We zien een stijgen van de schuimhoogte tot een zeer hoge waarde, waarna deze bij A afneemt. Deze afname kon niet worden verklaard. De kamertemperatuur, de temperatuur van het water in de kolom en de temperatuur van de lucht waren alle ongeveer gelijk.

We zouden hier weer te maken hebben met een positief oppervlakte actief systeem. De kamertemperatuur is wel hoger dan de kolomtemperatuur, waarschijnlijk is deze invloed toch maar zeer gering (zie ook blz. 7 en 8).

Echter is het zeer de vraag of dit temperatuurverschil de enige oorzaak voor het stijgen van de schuimhoogte is. Het verlagen van de schuimhoogte bij A wordt veroorzaakt door een grootte welke we geheel niet kennen, het wordt dus dubieus of de verklaringen welke we geven de juiste zijn, of dat zeer kleine temperatuur effecten reeds een rol van betekenis spelen.

Er werden enige proefnemingen met cylinderlucht gedaan om een eventueel verschil met perslucht aan te tonen.

In grafiek VI is een waarneming weergegeven waarbij cylinderlucht door een verzadiger met gedestilleerd water en in de kolom met gedestilleerd water werd geblazen.

We merken op, dat in tegenstelling tot de in grafiek IV weergegeven waarneming met gedestilleerd water en perslucht, hier geen daling van de schuimhoogte optreedt. Tenminste niet in het tijdsbestek waarover deze meting plaats vindt.

De oorzaak hiervan kan zijn:

- a. het gedestilleerde water in de verzadiger.
- b. de lucht uit de cylinder.

De meting, welke in grafiek VI is weergegeven werd herhaald, met dit verschil, dat nu na een zekere tijd op perslucht werd overgeschakeld. De waarnemingen zijn weergegeven in grafiek VII. We constateren, dat onmiddellijk na het omschakelen een daling optreedt in de schuimhoogte.

De oorzaak, dat de schuimende eigenschappen van gedestilleerd water bij blazen met perslucht niet bewaard blijven, is dus waarschijnlijk te wijten aan vuil in de perslucht.

Hoe het komt, dat de krommen van de grafieken VI en VII de eerste tijd (100 min.) verschillen te zien geven kon niet worden verklaard. De temperaturen van de lucht buiten de kolom, het water in de kolom en de lucht, verliepen in beide gevallen ongeveer gelijk.

In grafiek VIII worden de waarnemingen weergegeven van een proefneming waarbij afwisselend cylinderlucht en perslucht door een verzadiger met gedestilleerd water in een kolom met leidingwater werd geblazen.

We zien een minder snelle toename van de schuimhoogte met de tijd dan bij het doorblazen met perslucht (grafiek II).

Bij het afwisselen met perslucht zien we een snellere toename van de schuimhoogte met de tijd. Wanneer dit weer wordt afgewisseld met lucht uit de cylinder blijft de stijging voortduren.

Van leidingwater waardoor gedurende lange tijd perslucht was geblazen en van schoon leidingwater werden de viscositeit en oppervlaktetension bepaald. Er werden geen verschillen gemeten. De metingen waren echter niet erg nauwkeurig, waardoor zeer kleine verschillen niet aan het licht zouden zijn gekomen.

Nabeschouwing.

Wanneer we volkomen zuivere lucht door volkomen zuiver water blazen zal zich bij een bepaalde snelheid van deze lucht een bepaalde hoogte instellen.

- a. onmiddellijk, wanneer geen verandering in de structuur van het water of de grenslaag optreedt, of wanneer deze verandering oneindig snel plaats vindt.
- b. na enige tijd, waarin verandering in de structuur van het water of de grenslaag optreedt.

Wanneer deze hoogte zich heeft ingesteld, zal deze afhankelijk zijn van de temperatuur van de wand van de kolom en de ingeblazen lucht, omdat de eigenschappen van het water met de temperatuur veranderen. Het lijkt zeer waarschijnlijk uit de literatuur (3, 4) en onze proefnemingen, dat deze verandering te beschrijven is volgens Zuiderweg (6).

Wanneer deze hoogte zich nog niet heeft ingesteld is het moeilijk iets over het temperatuureffect te zeggen, dit effect beïnvloed waarschijnlijk ook de eventuele verandering die in de structuur van het water of de grenslaag optreedt. Zodat deze invloed en de verandering van de oppervlakte-spanning volgens Zuiderweg dan samen zullen optreden.

Bij onze metingen hebben we niet met zuivere stoffen te maken, en krijgen we extra invloeden.

- a. het vuil in het water.
- b. het vuil in de lucht.
- c. vuil aan de wand.
- d. bevochtiging van de wand.

Wanneer we de proeven kort samenvatten:

1. Bij blazen van perslucht door leidingwater, ontstaat meestal na enige tijd een verhoging van de schuimhoogte.
2. Bij blazen van perslucht door gedestilleerd water treedt na enige tijd verlaging van de schuimhoogte op.
3. Bij blazen van lucht uit een cylinder door gedestilleerd water krijgen we direct verhoging van de schuimhoogte.
4. Bij blazen van lucht uit een cylinder door leidingwater zien we een geringe verhoging van de schuimhoogte optreden.

Bij de meeste proefnemingen valt ons op, dat er een instelperiode is, deze kan worden veroorzaakt door:

- a. Stoffen welke door de lucht worden meegevoerd en een zekere concentratie moeten bereiken voor dat hun eigenschappen merkbaar worden.
- b. De structuurveranderingen treden in deze tijd op.

ad.b. Wanneer we met structuur veranderingen van het water te maken zouden hebben zou het waarschijnlijk zijn, dat deze elke maal eenzelfde gevolg zouden hebben. Dit blijkt niet uit de waarnemingen. Tevens zijn er enkele waarnemingen waar het begineffect niet plaats vindt, welke er dus ook op wijzen, dat er geen structuurverandering optreedt.

ad.a. Stoffen welke door de lucht worden meegevoerd; het zou mogelijk zijn, dat op een gegeven moment een grotere concentratie aan deze stoffen door de perslucht in het water zou worden gevoerd, zodat dan de instelperiode achterwege zou blijven.

Echter in dit geval is het nog niet mogelijk te verklaren hoe het komt, dat bij gedestilleerd water verlaging van de schuimhoogte door perslucht optreedt en bij leidingwater verhoging.

De onregelmatigheden welke na de instelperiode optreden zouden ten dele te verklaren zijn met temperatuur effecten en voor een deel weer door vuil worden veroorzaakt.

Verklaring van verschillende uitdrukkingen en symbolen.

Onder de snelheid of gassnelheid wordt verstaan de snelheid van het gas betrokken op de lege doorsnede van de kolom, = v .

Onder schuim wordt het gas-water mengsel verstaan.

Onder schuimhoogte wordt verstaan de hoogte van het schuim, = h .

Onder de waterhoogte of oorspronkelijke waterhoogte wordt verstaan de hoogte van het water in de kolom zonder dat lucht wordt doorgeblazen, = h_0 .

$$F = \frac{h - h_0}{h}$$

t_K = kamertemperatuur.

t_{water} = temperatuur van het water in de kolom.

t_{lucht} = temperatuur van de ingeblazen lucht.

Literatuur.

1. Chang, R.C., Schoen, H.M. en Grove C.S.
Ind. and Eng.Chem. p. 2035, 1956.
2. Metzner, A.B. en Brown, L.F.
Ind. and Eng.Chem. p. 2040, 1956.
3. Pozin, M.E., Muhlenov, T.P., Tumarkina, E.S. en
Tazat, E.Y.A.
J.Applied Chem. U.S.S.R. p. 9, 1954.
4. Pozin, M.E., en Tumarkina, E.S.
J.Applied Chem. U.S.S.R. p. 1117, 1954.
5. Verschoor, H.
Inst.Chem.Eng., Conference on formation
and properties of gas bubbles 1950, p. 42.
6. Zuiderweg, F.J.
De Ingenieur 41, Ch 71, 1956.

Grafiek V.

Gedestilleerd water in de verzadiger.
Leidingwater in de kolom.
Geblazen met perslucht.

h in mm

410

350

250

190

150

A

B

tijd in
min.

350

50

60

100

150

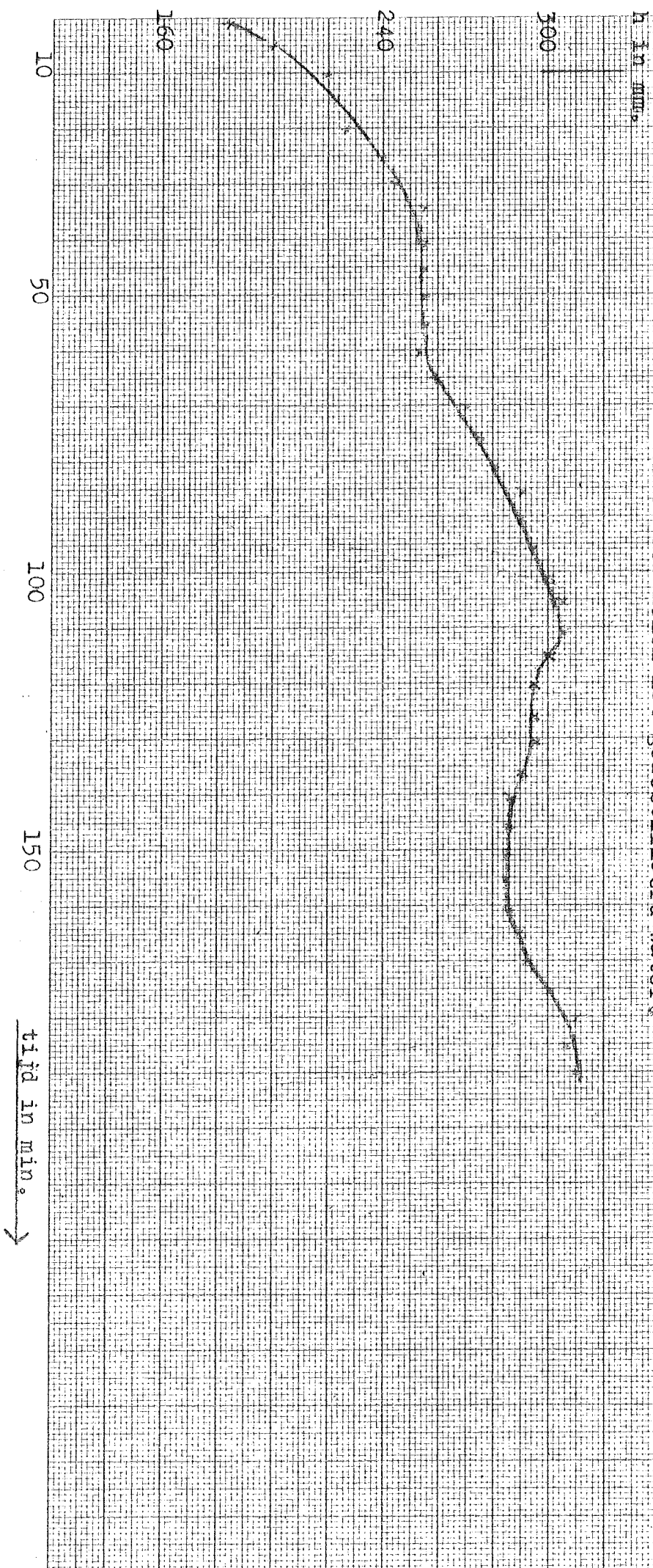
200

250

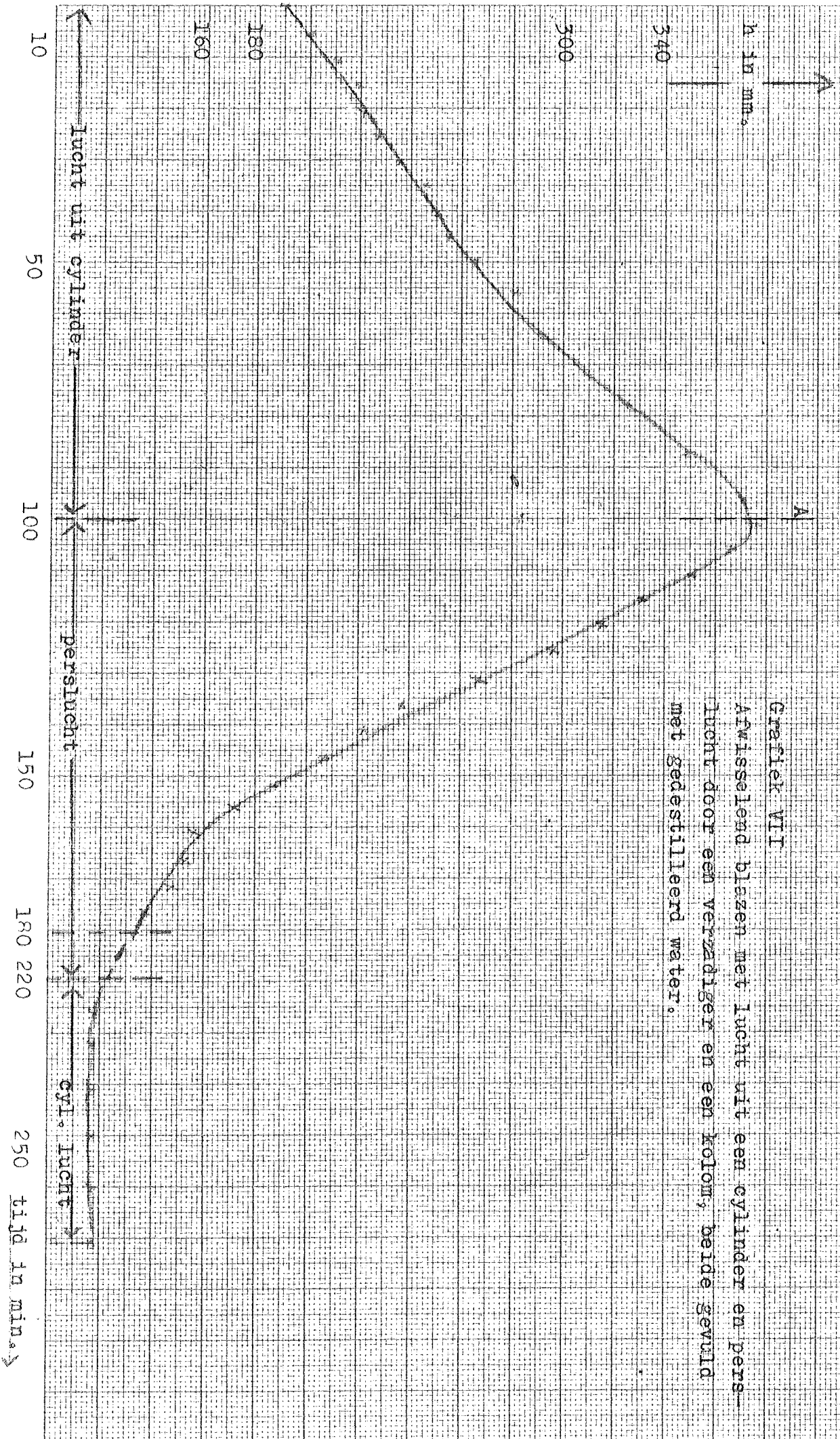
270

300

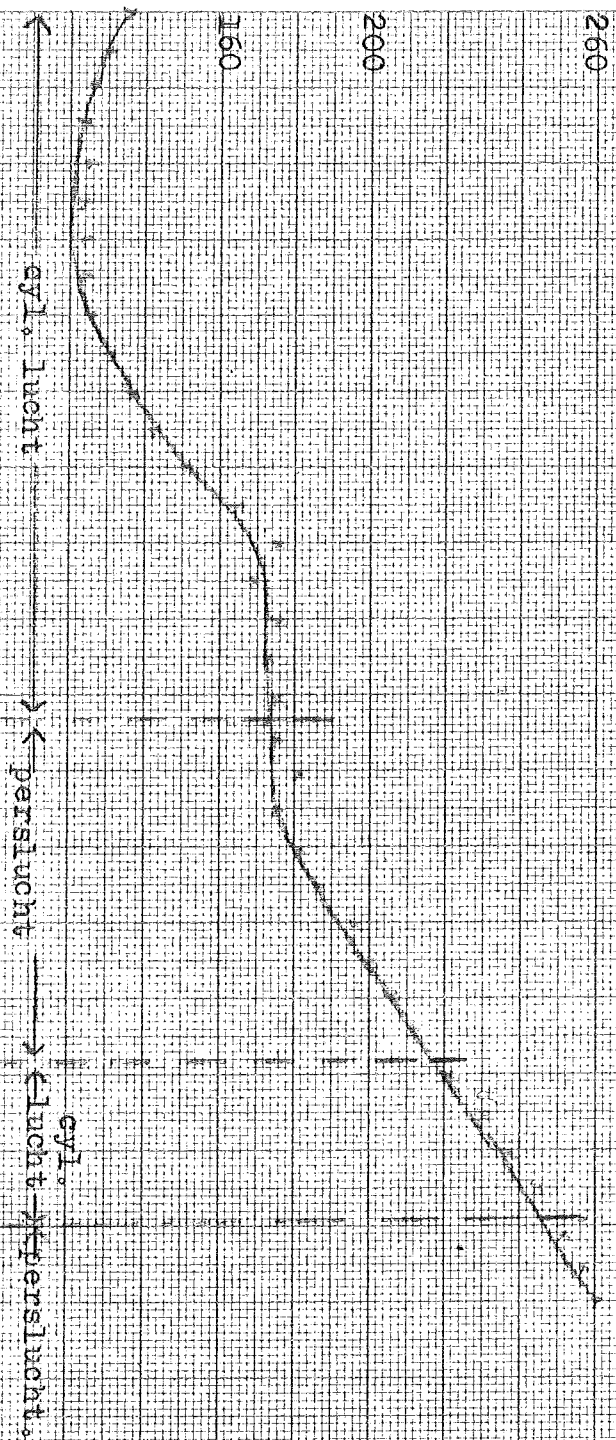
Grafiek VI
Blazen met lucht uit een cylinder door een verzadiger met gedestilleerd
water en een kolom met gedestilleerd water.



Grafiék VII
 Afwisselend blazen met lucht uit een cylinder en pers-
 lucht door een verzadiger en een kolom, beide gevuld
 met gedestilleerd water.



Grafiek VIII
 Leidingswater in de kolom.
 Gedestilleerd water in de verzadiger.
 Afwisselend met perslucht en met lucht uit een cylinder
 geblazen.



10

50

100

150

tijd in min.