

Onderzoek omtrent den bouw en de eigenschappen
van het zoogenaamde Hardglas.

VAN

L. HOUWINK.

Stud. a. d. Pol. Sch. te Delft.

Verhandelingen der Koninklijke Akademie van Wetenschappen te Amsterdam.

(EERSTE SECTIE.)

Deel VI. N^o. 2.

(Met 9 platen.)

AMSTERDAM,
JOHANNES MÜLLER.
1898.

INHOUD.

I.	Inleiding.....	Blz.	5.
II.	Harden	„	6.
III.	Optisch onderzoek	„	8.
IV.	Ontlaten	„	14.
V.	Beschouwing omtrent de vorming	„	14.
VI.	Soortelijk gewicht	„	15.
VII.	Brekingsindex	„	17.
VIII.	Buigvastheid	„	19.
IX.	Hardheid	„	21.
X.	Chemisch gedrag	„	22.
XI.	Siemens Hardglas	„	23.
XII.	Vergelijking van Hardglas en andere stoffen	„	25.
XIII.	Verklaring der afbeeldingen	„	27.

INLEIDING.

In 1874 kon men in de „Zeitung für Lothringen” en even later in de „Glashütte” in n^o 44 een bericht lezen van A. de la Bastie in Richmond over eene soort glas, dat hij gemaakt had. Het was buitengewoon bestand tegen stoot, slag en snelle temperatuursveranderingen. In Bourg verrees voor het vervaardigen van dat glas eene fabriek, die later te gronde ging.

Max Pilatti ¹⁾ bepaalde de dichtheid, welke 2,522 was en de hardheid 5, verder vond hij dat het een gewoon alkali-kalkglas was ²⁾.

Carl Pieper, Civiel Ingenieur in Dresden, deelde toen mede, dat ook hij een dergelijk soort glas gemaakt had. Bauer ³⁾ onderzocht het verder en vond overeenkomst met de reeds lang bekende glastranen.

Verder werden nu en dan door dezen en genen proeven genomen over het springen van glastranen, over het draagvermogen, over polarisatie en lichtbreking van hardglas (in het vervolg aangehaald), maar onvolledig en onsamenhangend ⁴⁾.

Bezig zijnde met een onderzoek naar de oorzaken der vatbaarheid van sommige stoffen voor harding, werd ik door den Heer Professor Behrens attent gemaakt op het zoogenaamde hardglas, omdat dit

¹⁾ Polytechn. Centralblatt 1875 blz. 515.

²⁾ Glashütte 1875 n^o 2.

³⁾ Polytechn. Centralblatt, 1875 blz. 516.

⁴⁾ H. J. Violle. Cours de Physique I blz. 460. Henrivaux, Verre et Verrerie blz. 32.

doorzichtig is en dus geschikt voor optisch onderzoek met behulp van polarisatie-verschijnselen.

Veel heb ik te danken gehad gedurende de maanden November, December 1895, en Januari, Februari 1896, waarin dit onderzoek aan de Polytechnische school te Delft plaats vond, aan zijne steeds verleende hulp en raadgevingen, waarom ik een woord van dank hier niet wil weglaten.

Gewoon glas: d. w. z. glas, dat langzaam bekoeld is, is amorph, en niet polariseerend. Koelt men zulk glas echter plotseling af, dan treden inwendige spanningen op en deze verraden zich door de zoogenaamde spanningspolarisatie.

Een voornaam deel van het onderzoek was gewijd aan het maken van het hardglas.

Zeer bekend zijn de glastranen (verkregen door een druppel vloeibaar glas in koud water te laten vallen). Ze springen, als men alleen de punt afbreekt, in grof gruis. Ook weet men, dat in de hardglasfabrieken het glas roodgloeiend in baden van bepaalde temperatuur gedompeld wordt, om daarin af te koelen.

De firma Siemens in Dresden bezit voorzeker eene der meest bekende hardglasfabrieken. Daar perst men het vloeibare glas in vormen en laat het hierin bekoelen.

Zoo worden er vensterglas, dakpannen, traptreden enz. gemaakt. Ook kan men volgens hunne opgaven het hardglas zeer goed boren en slijpen, maar niet met den diamant snijden.

De firma in Dresden was zoo vriendelijk op aanvraag een doosje met monsters te sturen, om de eigenschappen hiervan met hier vervaardigd hardglas te kunnen vergelijken.

II. Harden.

De wijze van het harden of beter gezegd van het afkoelen na het verhitten is van het meeste belang om goed materieel te krijgen.

Men moet òf direct koelen òf koelen en tevens in vormen persen.

Eene der eerste vragen is nu natuurlijk, welk materiaal moet men als grondstof nemen en de tweede, waarin moet gekoeld worden?

De grondstof, die gebruikt werd, was nog al uiteenlopend, want het waren:

- a. glazen staven (kali-natronglas),
- b. reepen gewoon vensterglas,
- c. reepen spiegelglas,
- d. door cobalt blauw gekleurd glas.

Verder werden er nog een paar proeven gedaan om organische, niet polariserende stoffen, zooals hars en schellak, dubbelbrekende te maken. Dit gelukte ook.

De koelbaden bestonden uit:

- a. olie (gekookte lijnolie),
- b. water met 5 % zwavelzuur,
- c. kwik,
- d. geconcentreerde oplossing van chloorcalcium.

De geperste stukken werden verkregen met:

- a. een platte smidstang,
- b. een fitterstang,
- c. een bak met chamottepoeder,
- d. twee vuurvaste steenen,
- e. twee ijzeren blokken.

Later bleek, dat ook lucht harding kan teweeg brengen.

Deze stoffen waren zoo gekozen, wegens hun hoog kookpunt of wegens hunne verschillende geleidingscoëfficiënten voor de warmte.

Met de fitterstang kreeg men prismatische stukken met gekartelden omtrek.

De smidstang gaf geen ander resultaat als grof gruis. Na iets afgekoeld te zijn vlogen de stukken met een hevigen slag uit elkaar, soms met zooveel geweld, dat de brokken 4 à 5 meter verspreid werden.

Met de andere hardingsmiddelen was de uitslag min of meer gunstig.

Van de vloeibare hardingsmiddelen gedroeg zich de chloorcalcium-oplossing even slecht als de smidstang, zelfs tot kokens toe verhit gaf zij slechte resultaten.

Kwik gaf na verwarming zeer goede stukken, welke in geen enkel opzicht voor de in olie geharden onderdeden.

Verdund (5 %) zwavelzuur gaf twee goede stukken, de meeste stukken waren geknapt. Alle vloeibare middelen konden zich evenwel niet met gekookte olie vergelijken. Hierbij was de speelruimte, wat de temperatuur betreft, zoowel van de olie als van het glas het grootst.

Het maximum van harding werd bereikt met dik vloeibaar glas,

bij verwarming tot donkere roodgloei-hitte is de harding wel minder sterk dan wanneer men het glas tot begin van smelting verhit, maar toch duidelijk waar te nemen.

Geharde stukken. — De in vloeistoffen gekoelde stukken bevatten allen in min of meerdere mate holten, welke vermoedelijk gevuld zijn met alcalische dampen.

Daar bij de latere nauwkeurige beschrijving deze holten uitvoerig behandeld zullen worden zal ik er nu maar van afstappen.

Een groote factor bij het koelen is de wijze waarop men de staven in de vloeistof dompelt.

Brengt men ze plotseling vertikaal in het bad, dan kan men meestal een goed product verwachten.

Heeft men een helling aan de staven gegeven dan bestaat kans, om plotseling in den bak eene hevige beweging, gepaard met een knal, waar te nemen. Gebeurt dit, dan vindt men van de staaf slechts gruis.

Bewaren. — Het bewaren levert bij gewone temperatuur geen bezwaar op. Bij zeer lage temperatuur wordt de kans van springen daarentegen zeer groot. Een aantal monsters hardglas, in verschillende bakjes gesorteerd, werd in eene kamer bewaard, waar overnacht niet gestookt werd. Na eenen nacht met strenge vorst waren vele stukken gesprongen, en lag het gruis over de tafel verspreid.

III. Optisch onderzoek.

Nadat op de bovenstaande wijze een behoorlijke voorraad glas gekoeld was, werd een aanvang gemaakt met optisch onderzoek.

Het uitgangspunt was het bekende verschijnsel, dat een amorph niet gespannen lichaam niet polariseert, maar dat het polariseerende wordt, als spanningen daarin optreden. Het is immers bekend, dat men een glazen bolletje door middel van klemschroeven dubbel brekende kan maken, en dat het alsdan een fraai polarisatiekruis vertoont. De intensiteit van het verschijnsel neemt toe met den druk; of het door uitwendigen druk, of door spanningen in het materieel teweeg gebracht wordt, doet niets ter zake. Heeft men een doorschijnend materiaal, dan kan men de spanningen dus nagaan, door het materiaal tusschen gekruiste nicols te brengen. Ook zonder

dit middel kan men reeds aan de wijze van breken de vermoedelijke richting der spanningen nagaan.

Bij de gebroken staven, waren enkele stukken, die nog in verband gebleven waren. Men kan zich dergelijke preparaten met zekerheid verschaffen, door de stukken hardglas in met water aangemengde gips te leggen, zoodanig, dat een hoekje buiten de gips uitsteekt, en na het verharden der gips het uitstekende puntje af te breken. Hierbij krijgt het hardglas vele scheuren, intusschen blijven alle brokken op hun plaats. Door verwijdering der gips legt men vervolgens de preparaten bloot.

Eenvoudiger in de uitvoering, maar een zorgvuldigere behandeling vereischende, is de volgende methode.

Men omwikkelt de staaf geheel nauwsluitend met filtreerpapier en slaat nu aan het einde met een korten, zwaren slag, het glas stuk. Wanneer men nu de staaf met de noodige voorzichtigheid van het papier ontdoet, kan men het uiteenvallen der brokstukken voorkomen. Heeft men dergelijke gesprongen stukken op de een of andere wijze verkregen dan zal men met eene loupe of eene zwakke vergrooing van het microscoop de scheuren zeer nauwkeurig kunnen nagaan. Dit doende bemerkt men bij ronde staven het volgende:

De breukvlakken van ronde staven hardglas zijn steeds kegelvlakken.

Aan vierkantige staven treden piramidale breukvlakken op.

Al naar de plaats der breuk zijn de kegelvormige scheuren over de geheele lengte der staaf parallel of zij hebben tegengestelde richtingen aan weerszijden der breuk.

Het geval fig. 5 Plaat I heeft steeds plaats, als de staaf gebroken wordt op een zoo grooten afstand van de uiteinden, dat deze door haar spanning geen invloed meer op de breuk uitoefenen. In dit geval is aan weerszijden der breuk evenwicht.

Oefent het uiteinde wel invloed uit, dan zal steeds de top naar dit uiteinde gekeerd zijn.

Uit dit alles blijkt dus, dat er spanning in de lengterichting heerscht en wel aan den omtrek het meest.

Bij het stukslaan schuiven de buitenste lagen over de binnenste evenwijdig met de lengteas van de staaf en doen zoo de zeer goed waar te nemen dakpanstructuur ontstaan.

Een vierkante staaf hardglas werd aan een der einden verwarmd, met het gevolg dat dit einde vergruisde. Het overblijvende stuk vertoonde een breukvlak van veelzijdigen piramidalen vorm. Wij hebben hier eenen overgang van den vierkanten vorm tot den ronden.

Stukken spiegelglas, die tusschen twee ijzeren platen afgekoeld waren, vertoonden een dakvormige breuk en bijzondere neiging tot gruis uiteen te vallen.

Uit de genoemde verschijnselen zou men de gevolgtrekking kunnen afleiden, dat de vlakken van gelijke spanning evenwijdig loopen aan de afkoelingsvlakken en dat de spanning van buiten naar binnen afneemt.

Dat dit vermoeden juist is, zal uit het volgende blijken.

Bij het vervaardigen van preparaten voor optisch onderzoek van hardglas dient de voorzorgsmaatregel in acht genomen te worden, het glas vóór het harden in den gewenschten vorm te brengen. Door zagen, slijpen en polijsten van gehard glas worden belangrijke veranderingen van spanning en polarisatie teweeggebracht, die allerhande dwalingen kunnen veroorzaken.

De afbeelding I op plaat III ¹⁾ geeft een overzicht der polarisatieverschijnselen van een vierkant stuk hardglas, dat in dier voege tusschen gekruiste nicols geplaatst is, dat het beeldvlak te lood staat op de beide vlakken, die door stukken ijzer gekoeld waren.

In het midden vertoont zich een flauw getint veld, dat op sommige plaatsen breeder wordt en daar tevens van kleur verandert.

Bij nader toezien neemt men waar, dat op deze plaatsen het glas een bewerking ondergaan heeft, of dat daar een schilfer van den rand afgesprongen is.

Om dit middenveld loopen gekleurde lijnen, en wel verandert de kleur in de volgorde van den regenboog.

Dit gebeurt tot den rand toe, alleen is op te merken, dat de banden smaller worden en dat een daarvan, zwart van kleur, omgeven is door twee witte banden.

Hier is dus de spanning nul. De zwarte lijn zal voortaan als *nullijn* aangeduid worden.

Aan de einden ziet men pauwstaartachtige figuren (waarschijnlijk veroorzaakt door afspringen der hoeken).

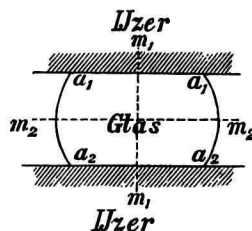
Plaat III afbeelding II geeft eene voorstelling van hetzelfde stuk, op een der afkoelingsvlakken liggende. In het middenveld vertoont zich

¹⁾ De afbeeldingen zijn vervaardigd met behulp van eenen Seibert'schen teekenspiegel.

weder een flauwe tint, daaromheen de nullijn, die weer elke verandering in het glas door eene afwijking uit hare richting aanwijst. Voor de einden geldt hetzelfde als bij afb. I.

Dat hier dezelfde verschijnselen, ofschoon in zeer verminderde mate optreden als boven, ligt aan de wijze van koelen.

Nemen we nevenstaande figuur, dan zal de laag $a_1 a_1$ het sterkst gekoeld worden en dus van m_2 naar a_1 eene vermeerdering van afkoe-ling plaats grijpen. Hoewel in mindere mate, zal datzelfde van m_1 naar a_2 plaats grijpen en wel omdat aan de buitenzijde van a_2 meer ijzer, dat een goede warmtegeleider is, aanwezig is, dan bij m_1 .



Uit het bovenstaande volgt, dat in de standen van plaat III uitdooving moet plaats hebben, wanneer de lengteas van het preparaat met een der polarisatievlakken samenvalt.

Plaet IV. Afbeelding III geeft een afbeelding van den rand van het stuk, zoodanig genomen, dat de nullijn juist door het centrum van het veld loopt.

Om de helderste tinten te krijgen, is de optische as van het preparaat onder 45° ten opzichte der polarisatievlakken georiënteerd. Aan weerszijden der nullijn doet zich wit der eerste orde voor, en daarbuiten gekleurde banden, naar den rand smaller en helderder wordende. Om de verdeling der spanningen te weten te komen werd een gipsplaatje (rood eerste orde) op het oculair gelegd.

Is de optische middellijn der gipsplaat evenwijdig aan de lengterichting van het glas (afbeelding VI) dan verplaatst zich de nullijn naar den buitenkant. Staan de genoemde lijnen loodrecht op elkaar (afbeelding V) Plaet V dan verplaatst de nullijn zich naar binnen en wel in beide gevallen naar de plaats waar een rood eerste orde was.

In het eene geval hebben wij subtractie en in het andere additie. Hieruit volgt dan, dat aan de buitenzijde naar binnen gerichte spanningen optreden tot aan de nullijn, verder dat het centrum der staaf op de nullijn eene spanning uitoefent die van buiten naar het centrum gericht is.

Plaet V. Afbeelding VI. Vergrootte afbeelding der scheur a op plaat III.

De invloed der vrij ondiepe scheur, die onder het harden ontstaan was en die hier in een vlak loodrecht op hare lengterichting afgebeeld is, kan duidelijk aan de polarisatieverschijnselen nagegaan

worden. De gekleurde banden loopen naar den rand toe, evenzoo de nullijn. Op het eerste gezicht zou men zeggen, dat juist voor het diepste gedeelte der scheur in het wit der eerste orde een nieuw gedeelte der nullijn ontstaan ware.

Bij een sterkere vergrooting ziet men, dat men hier niet met eene zwarte lijn te doen heeft, maar met een bundel van nauw opeengedrongene blauwe en roode strepen.

Om te onderzoeken of deze kleurverschijnselen eenige opheldering over den invloed van scheuren op de spanning zouden kunnen geven, maakte ik op eene andere plaats van het praeparaat, met een vijl, een groefje. Afbeelding VII geeft hiervan eene afbeelding.

Hier zijn de verschijnselen niet zoo nauw opeengedrongen als in afbeelding VI, maar zij zijn allen in dezelfde volgorde aanwezig, ook het bewuste donkerkleurige plekje, dat het aanzijn te danken heeft aan het optreden van niet parallele spanningen in de omgeving van scheuren en inkepingen.

Invloed van slijpen enz. — Bepaalt men van een stukje hardglas de polarisatiekleuren, slijpt men daarna het stukje dunner, zoo zal men zien, dat de dubbele breking door het afslijpen verminderd is. Slijpt men een stukje met nullijnen tot een wig, zoodanig dat de nullijnen evenwijdig aan de objecttafel blijven, dan zal men zien, dat de dubbelbreking naar het dunne einde afneemt. De nullijnen loopen hier te niet.

Heeft men door voorzichtig stukslaan een schilfer van den omtrek der staaf verkregen, dan ziet men dat deze slechts weinig of in het geheel niet polariseert.

Het grof gruis van een geknapte staaf polariseert bijna in het geheel niet.

Uit andere proeven bleek, dat in welke richting men ook slijpt, steeds het slijpen verplaatsing der polarisatiebanden en over het algemeen ook achteruitgang der dubbelbreking tengevolge heeft.

Sprekend wordt dit verschijnsel, zoodra men een glasbolletje van niet te grooten diameter hardt. Tusschen gekruiste vicols vertoont dit bolletje wit 1^e orde, met een polarisatiekruis.

Pas heeft men van dit bolletje een segment of een schijfje geslepen, ziet men het witte veld omgeven door eene reeks van gekleurde concentrische cirkels.

Daartusschen ziet men geen nullijn, maar dit kan ook niet, daar door den geringen diameter en door het gevaar van springen, de dikte van de schijf gewoonlijk niet zoo gering gemaakt kan wor-

den, dat men het stukje van den bol, waarop de punten der nullijn liggen, als een cilinder kan beschouwen, wiens beschrijvende lijn loodrecht op de objecttafel staat. Nu is er steeds door den bolvorm in zulke cilindervlakken dubbelbreking.

Gelukt het eene zeer dunne schijf te slijpen, dan verdwijnen de kleuren weer, maar de nullijn treedt op.

Plaat VI afbeelding VIII geeft de afbeelding der polarisatieverschijnselen in de omgeving van eene holte. Bij het afkoelen van het glas, gebeurt het meermalen, dat in het oorspronkelijk geheel gave stuk holten ontstaan (waarschijnlijk met zeer verdunde alkalidampen gevuld).

Beziet men deze holten onder het polariseerend microscoop, tusschen gekruiste nicols, dan vertoonen zich om de dan bijna zwarte holte gekleurde randen en bij zeer nauwkeurig onderzoek, aan de in de asrichting gelegen uiteinden zwarte driehoekjes, liggende in wit eerste orde.

Er heeft dus in de lengterichting vereffening van spanning plaats gehad. De holte dankt dus haar ontstaan aan verbreking van den samenhang onder de contractie van het glas, waarvan het binnenste gedeelte nog in zachten toestand verkeerde.

Opmerkelijk is nu:

I. Dat een stuk hardglas langs de nullijn kan doorgezaagd worden zonder te breken. In elk der stukken vormen zich weer twee nullijnen, maar de kleuren zijn zwakker.

II. In de richting loodrecht op de nullijnen kan men de staaf alleen dan doorzagen, als men om den geheelen omtrek, dus symmetrisch ten opzichte der as, inkeept, en wel zeer voorzichtig, want neemt men ergens te veel weg dan springt de staaf.

III. Is een staaf vrijwel bewerkt, dan laat ze hoe langer hoe meer bewerking toe.

Dit laatste strookt met het verschijnsel, dat de polarisatie achteruit gaat.

IV. In richtingen, evenwijdig aan de nullijn kan men de staaf alleen met veelvuldige lange rusttijden doorzagen. In den rusttijd wordt de spanning waarschijnlijk vereffend.

V. In richtingen loodrecht op de nullijn kan men voorzichtig met groote rustpoozen inzagen totdat de zaagsnede even de plaats gepasseerd heeft waar zich oorspronkelijk de nullijn bevond. De afstand wordt grooter door meerdere rusttijden.

IV. Ontlaten.

Evenals men gehard staal kan ontlaten, kan men dit ook met hardglas doen. Hoewel bij alle soorten goed waar te nemen, doet het verschijnsel zich bij de in kwik geharde staven het zuiverst voor, omdat bij deze de dubbelbreking het hoogst opgevoerd is, en omdat deze staven het rijkst aan holten zijn.

Nu was:

Polarisatiekleur bij het ontlaten.

Temperatuur.	Kleur.
Gewoon.	Blauw.
100° C.	Rood I.
500° C.	Wit I.
Rood gloeihitte.	Bijna niet meer.
Wit gloeihitte (begin smelten).	Gewoon glas.

Daar de holten ontstaan zijn door spanningen zouden ze theoretisch weer moeten verdwijnen, als de spanningen opgeheven worden.

Dit is dan ook het geval, behalve dat ze als een lijntje (microscopisch fijn) zichtbaar blijven, omdat de samenhang niet geheel hersteld wordt.

Zulk een stuk, opnieuw gehard, vertoont de holten op de oorspronkelijke plaatsen, maar daar de samenhang eens verbroken was, zijn de bellen nu grooter geworden.

Bij het ontlaten moet men zeer voorzichtig zijn, daar men anders kans heeft van springen. Omgekeerd loopt de dubbele breking omhoog als men de stukken in koudmakende mengsels afkoelt, bijv. tot -20° .

Hierbij bestaat echter veel kans van springen.

V. Beschouwing omtrent de vorming van het hardglas.

Men zou met de verklaring van bovenstaande verschijnselen een eind op weg komen, als men de volgende onderstellingen maakt.

Zooals men weet, zet ieder lichaam bij verwarming uit, en krimpt

bij afkoeling weder in. Brengt men nu het glas op hooge temperatuur en dompelt het plotseling in een afkoelend mengsel, dan zal de buitenste sterk afgekoelde laag plotseling willen inkrimpen.

Glas is een slechte warmtegeleider, dus koelt het middengedeelte weinig af. Door het inkrimpen van de buitenste laag oefent deze nu een drukking uit op de meer naar binnen gelegen gedeelten, maar door den grooten weerstand, dien zij hier ontmoet, komt deze buitenste laag niet op de plaats, waar ze na een gewone afkoeling zou komen te staan. Dus blijft het glas een grooter volume houden. Nu bekoelen de middelste gedeelten en daar deze door krimpung de oorspronkelijke plaats niet kunnen bereiken, zullen spanningen van den omtrek naar het centrum ontstaan. Waar de zwarte lijn waargenomen wordt, gaat de compressie van den omtrek over in de naar binnen gerichte spanning van het middengedeelte. Vermoedelijk zal dus de soortelijke massa van een aan den omtrek gelegen deel kleiner zijn dan die van het centrum en zal de dichtheid aan den omtrek grooter en in het midden kleiner zijn dan van gewoon glas.

Hiermede in overeenstemming zijn de reeds genoemde en nog te vermelde verschijnselen.

Hoe warmer de staaf vóór het afkoelen en hoe beter de koelmiddelen de warmte geleiden, des te sprekender zullen de verschillende kenmerken van hardglas optreden.

VI. Soortelijk gewicht.

De voorgaande resultaten, uit het optisch onderzoek verkregen, doen een sterk vermoeden ontstaan, dat het soortelijke gewicht een ander en wel kleiner zal zijn, dan van gewoon glas.

Gaan we uit van de onderstelling, dat het glas tot $\pm 800^\circ \text{C}$. verhit is, dan zou het volume bij deze temperatuur zijn:

$$V_t = V_o(1 + \alpha t)$$

Nemen we nu aan:

$$t = 800$$

$$\alpha = 793 \cdot 10^{-8}$$

dan zou dus, als na de plotselinge afkoeling het glas het volume bleef houden, dat het bij 800° had, de verhouding zijn

$$\frac{Vt}{V_0} = 1 + \alpha t$$

$$\frac{Vt}{V_0} = 1,006344.$$

Dit getal zou dan tevens de verhouding uitdrukken van het soortelijk gewicht van gewoon en het soortelijk gewicht van hardglas.

Bij de bepaling der soortelijke gewichten werd elk stuk glas vóór het harden in minstens drie stukken verdeeld. Het eene stuk werd met etiket afzonderlijk in een doosje bewaard. De andere stukken werden zooveel mogelijk op een en dezelfde wijze gehard.

Vier verschillende hardglassoorten werden onderzocht, verkregen door ijzer-, chamotte-, olie- en kwikharding. Daarvoor werd van elk stuk gewoon glas het soortelijk gewicht bepaald en van de twee daarbij behorende stukken hardglas. Dat deze soms in de laatste decimaal kleine verschillen vertoonen is vermoedelijk aan meer of minder volkomene harding toe te schrijven.

Uit vroegere waarnemingen bleek reeds, dat de te voren genoemde holten geen invloed uitoefenden, dus een reden te meer om aan te nemen, dat de buitenste laag nagenoeg op de plaats blijft, waar ze zich vóór het afkoelen bevond.

De in het begin van dit hoofdstuk uit theoretische beschouwingen afgeleide verhouding der soort. gewichten werd daarna berekend, om eene vergelijking in de tabel der verschillende soorten van hardglas te kunnen opmaken.

Koelmiddel.	Soort. gew. gewoonglas.	Soort. gew. hardglas.	Verhouding 1 :
Kwik	2,5561	2,5407	1,0061
Olie	2,5561	2,5412	1,0059
IJzerplaat	2,6092	2,6016	1,0029
Chamotte	2,6092	2,6042	1,0020
Olieglas (maar nu het grove poeder van het stuk- springen)	2,5561	2,5541	
„ fijn gewreven	2,5561	2,5559	

Hieruit blijkt overeenstemming der op grond van de boven ont-

wikkelde hypothese berekende met de waargenomene verhoudingen.

Ook blijkt, dat men de soortelijke gewichten der verschillende lagen van een stuk hardglas niet afzonderlijk zal kunnen bepalen, daar onder het doorzagen of vergruizen vereffening der spanningen zou optreden.

Bij het onderzoek van stukken met en zonder holten, door harding derzelfde soort glas verkregen, bleek dat deze holten geen invloed op het soortelijk gewicht hadden.

Reeds Riche ¹⁾ vond hetzelfde. Hij vond voor het soortelijk gewicht van:

	Langzaam afgekoeld.	Snel afgekoeld.	Ontlaten.
Kristalglas.	3,110	3,102	3,109
Flintglas	3,610	3,602	3,605
Crownglas.	2,561	2,544	2,551

VII. Brekingsindex.

Om dezen te bepalen werden van gewoon en van in chamotte gehard glas prisma's geslepen, hiervan de vlakken zoo zuiver mogelijk gepolijst.

De te gebruiken stukken hadden reeds, om groote veranderingen in de spanningen bij het slijpen te voorkomen, ten naasten bij den prismavorm.

Met den goniometer van Fuess werd daarna de hoek van het te gebruiken prisma gemeten.

Afgelezen werd:

	Nonius I.		Nonius II.	
	1 ^e vlak.	2 ^e vlak.	1 ^e vlak.	2 ^e vlak.
Gewoon.	226°25'	94°47'	46°24'	274°46'
Hardglas	224°33'	83°17'	44°32'	263°15'

¹⁾ Zie Polyt. Journ. 214, 308.

Dus de brekende hoek van gewoon glas $48^{\circ}22'$, hardglas $38^{\circ}44'$.
Verder zijn de kijker en collimator in elkaars verlengde als:

nonius I $224^{\circ}21'$ nonius II $44^{\circ}20'$

De waarnemingen voor het minimum van deviatie waren nu:

	Ribbe rechts.		Ribbe links.	
	Nonius I.	Nonius II.	Nonius I.	Nonius II.
Hardglas	$202^{\circ}23'$	$22^{\circ}22'$	$246^{\circ}19'$	$66^{\circ}18'$
Gewoon glas . . .	$195^{\circ}30'$	$15^{\circ}29'$	$253^{\circ}21'$	$73^{\circ}11'$

Nu werd de brekingsindex bepaald door het minimum van deviatie bij natriumlicht met behulp der vergelijking:

$$n = \frac{\sin \frac{1}{2} (a + \delta)}{\sin \frac{a}{2}}$$

Na instelling op het minimum van deviatie werd, zooals uit de structuur der stukken te onderstellen was, een duidelijk beeld waargenomen en daaraan sluitende eene onafgebroken reeks van minder scherpe beelden der spleet.

Na instelling op het scherpe beeld leverden de metingen de volgende cijfers:

Gewoon:		Hardglas:
hoek A	= $48^{\circ}22'$	$38^{\circ}44'$
δ	= $28^{\circ}51'$	$21^{\circ}58'$
$\frac{a + \delta}{2}$	= $38^{\circ}36'30''$	$30^{\circ}21'$
$\log \sin \frac{a + \delta}{2}$	= 9,79518	9,70353
$\log \sin \frac{a}{2}$	= 9,61242	9,52063
$\log n$	= <u>0,18276</u>	<u>0,18290</u>
n	= <u>1,5232</u>	<u>1,5237</u>

Hieruit volgt dat het scherpe beeld door den normaal gebroken straal gevormd wordt.

VIII. Buigvastheid.

Bijgaande diagrammen zijn een copie van de met den dynamometer van Leuner verkregen diagrammen der buigvastheid van het hardglas en van het daarbij behoorende gewone glas.

Evenals bij alle in dit verslag genoemde onderzoekingen ben ik vergelijkenderwijze te werk gegaan met de bij elk stuk behoorende grondstof.

De dynamometer was eigenlijk ingericht voor trekproeven. Door eene kleine wijziging der klemrichting werd hij voor de beoogde buigproeven geschikt gemaakt.

De afstand der steunpunten was 2 cM., terwijl de druk in het midden aangreep.

Het gebruik van dezen toestel, thuis behoorende in de afdeeling van mechanische technologie, werd mij welwillend toegestaan door den heer P. van der Burg, hoogleeraar in dat vak aan de Polyt. school.

Voor de draagkracht werden de volgende getallen gevonden:

Koelmiddel.	Gewoon.	Hardglas.
Olie	100 KG.	415 KG.
Kwik	85 „	325 „
Warme olie	290 „	520 „
IJzer	195 „	225 „
Chamotte	95 „	130 „

Wat ons dadelijk treft is de overeenkomst in volgorde met de uitkomsten der soortelijke massa's en dubbele breking.

De automatische opteekening van het diagram was niet nauwkeurig genoeg om de geringe buiging aan te geven tegenover deze kolossale drukkingen.

Daarom werden, en vooral omdat in het door F. Connert ¹⁾ geschreven stuk, over de buigvastheid van het Siemensche hardglas wel degelijk buigingen aangegeven worden, deze proeven op andere wijze herhaald.

Connert gebruikte staven van 90 cM. lengte en ik had slechts kortere, dus moest mijne wijze van observeeren nauwkeuriger worden.

Ik maakte voor het microscoop een ijzeren voetplaat, waarop in het midden een stalen stuk bevestigd was. Van boven was dit stuk uitgewerkt, zoodat er twee wiggen op 2 cM. afstand ontstonden.

Op deze wiggen rustte de staaf.

Een derde wig werd in het midden op de staaf gelegd. Deze was van boven met een uiterst fijn merk voor microscopische instelling voorzien. Aan deze wig waren twee stangen bevestigd die door gaten in de plaat naar beneden gingen en waaraan gewichten gehangen werden. De doorbuigingen las ik nu af op de micrometerschroef van het microscoop, terwijl ik telkens met 900-voudige vergrooting scherp instelde op het bovengenoemde merk.

Nu was de uitslag:

Belasting.	Hardglas.			Gewoon glas.		
	Afmetingen.	Uitwijking.		Afmetingen.	Uitwijking.	
		Berekend.	Aflezing microm.		Berekend.	Aflezing microm.
0	Rond.		85	Rond.		49
5		6	91		16	65
10	$d = 6,21$	6	97	$d = 7,26$	16	81
15		7	(10)4		$m m$	15
20		7	(1)11		16	(1)12
25		6	(1)17		17	(1)29
50 KG.		31	(1)48		81	(2)10
		—			—	
	Berek. op $5 K^{\circ} \pm 6$			Berek. op $5 K^{\circ} \pm 16$		

¹⁾ Zie Civiel Ingenieur XXXIV 1^o en 2^o Heft.

De gang der schroef is 0.5 mM. De kop is verdeeld in 100 deelen. De doorbuiging is nagenoeg 3-maal kleiner dan van gewoon glas.

IX. Hardheid.

Zoals men uit den naam van hardglas zou afleiden moest dit glas harder zijn dan gewoon glas. Vat men de hardheid op in den zin der mineralogen, dan is dit evenwel in het geheel niet het geval. Men kan, als men op hunne wijze de hardheid bepaalt, zoowel het glas door het hardglas, als het hardglas door het gewone glas krassen. Dus is de hardheid ten naastenbij gelijk.

Bepaalt men evenwel de mate van afschuring van een stuk hardglas op een stuk gewoon glas of omgekeerd, dan merkt men, dat steeds het hardglas het meest afgeschuurd wordt.

Dit is zelfs zoo sterk, dat het mij gelukte een hardglazen staaf met een gewoon glazen staaf af te zagen. De gewone staaf was dof mat, dus bijna niet aangetast.

Bij andere proeven werd er voor gezorgd, dat het afgeschuurde oppervlak op het gewone glas kleiner was dan op het harde. Niet-tegenstaande was de uitslag dezelfde.

Dit is te verklaren uit de groote mate van brokkeligheid van het hardglas. Is er eens een splintertje afgesprongen, dan vormt het steeds weer scherpe kanten, welke door de matte oppervlakte van het gewoon glas steeds losgerukt worden en zodoende slijt het gewone glas minder af dan het hardglas.

Het afgeschuurde poeder werd microscopisch onderzocht. Het was bij geringe vergrooting meelachtig; maar bij meerdere vergrooting werd het poeder verdeeld tot scherpe stukjes van ongeveer (bij 900-voudige vergrooting met homogene immersie) 0.7 — 16.6 micron; zie plaat VII.

Wat de hardheid aangaat, die men uit de mate van polijsten enz. kan afleiden, deze is bijna dezelfde; beide polijsten evengoed.

Hardglas en gewoon glas worden op dezelfde wijze door een veldspaatkristal aangetast, dus de hardheid is kleiner dan 6.

Door veldspaat werden ook op het dikke einde van tranen, die ingekit waren, duidelijke krassen gemaakt, zonder dat de traan sprong.

X. Chemisch gedrag.

Fluorwaterstofzuur tastte beide soorten van glas hevig aan. Waar men een traan ook liet aantasten, telkens was het springen een gevolg ¹⁾.

Zoutzuur trekt uit gewoon glas alkaliën uit, dit is ook met hardglas het geval, maar zooals uit de onderstaande cijfers blijkt, is de tijd van inwerking verschillend. Zet men een drup geconcentreerd zoutzuur op een gewone en een dergelijken drup op een hardglazen plaat, laat beiden 24 uren staan, dan zal bij indampen van de druppels de rand bij gewoon glas dikker zijn dan bij hardglas. Toen dit opgemerkt was, werden twee stukken glas van gelijken vorm, nl. een stuk hardglas en een stuk gewoon glas in dezelfde kolf met geconcentreerd zoutzuur gebracht, na vooraf gewogen en microscopisch onderzocht te zijn.

Na enigen tijd werd de weging en het microscopisch onderzoek herhaald.

Het gewone glas werd regelmatig aangetast, het hardglas na langeren tijd, maar het werd alsdan geheel ruw met scherpe scheurtjes en kantjes. Het gewone glas ging gewoon verder, het hardglas werd veel ruwer, zie plaat VIII en plaat IX.

De gewichten waren:

	Hard.	Gewoon.
Na 0 uren	1,8847 Gr.	2,2245 Gr.
„ 36 „	1,8832 „	2,2213 „
„ 168 „	1,8819 „	2,2206 „
„ 336 „	1,8816 „	2,2202 „
„ 650 „	1,8735 „	2,2028 „

Daaruit blijkt, dat eerst het gewone glas heviger aangetast wordt, daarna als dit aan de oppervlakte alle alcali afgestaan heeft, minder, terwijl het aantasten van het hardglas blijft doorgaan.

Tevens ondergaat dit meer verlies door het afspringen van uiterst kleine mikroskopische splinters, waarop ook het voorkomen van het aangetaste oppervlak wijst.

¹⁾ Dit is verschillend van de proeven door M. de Luynes beschreven. Henrivaux Verre et Verrerie pag. 34.

Behalve het grootere weerstandsvermogen tegen zuren enz. is het hardglas beter bestand tegen groote temperatuurswisselingen. Blaast men een gewoon glazen bol en laat men dien niet in de vlam, maar in de lucht afkoelen, dan kan men hem meermalen plotse-ling in de vlam van eenen Hugershoffschen brander houden, zonder dat hij springt. Een bol, die in de vlam gekoeld is, doet dit veel lichter. Zelfs al zijn de wanden zeer ongelijk van dikte, dan zal het hardglas het nog uithouden.

In het dagelijksch leven is het heel blijven van lampenglazen bij het aansteken en uitdoen der vlam aan luchtharding toe te schrijven. Bij in olie gekoelde voorwerpen treden deze eigenschappen nog meer op den voorgrond.

XI. Siemens glas.

Zooals reeds te voren gemeld is, was de firma Siemens in Dres- den zoo vriendelijk, hardglas en gewoon glas ter beschikking te stellen. Hiermede werden de voormelde uitkomsten vergeleken en gevonden, dat het optisch gedrag geheel overeenstemde.

Verder was het ontlaten ook hetzelfde.

Het soortelijk gewicht was van:

Gewoon glas 2,5316. Hardglas 2,5274,
Verhouding der soortelijke gewichten dus 1 : 1,002 ¹⁾.

Brekingsindex:

	Nonius I.		Nonius II.	
	1 ^e vlak.	2 ^e vlak.	1 ^e vlak.	2 ^e vlak.
Gewoon.	171°32'	23°12'	351°31'	203°11'
Hardglas	167°34'	25° 7'	347°33'	205° 6'

Evenals bij de eerste bepalingen werd voor het scherpe beeld de brekingsindex van gewoon spiegelglas gevonden.

¹⁾ Verhouding voor harding in kwik: 1,0061.

Gewoon.		Hardglas.
hoek A	= 31°40'	37°33'
δ	= 18° 4'	21°57'
$\frac{a+\delta}{2}$	= 24°52'	29°45'
$\log \sin \frac{a+\delta}{2}$	= 9,62377	9,69567
$\log \sin \frac{a}{2}$	= 9,43591	9,50765
$\log n$	= 0,18786	0,18802
	= 1,5412	1,5419

uit:

nonius I 224°21'

nonius II 44°20'

	Ribbe rechts.		Ribbe links.	
	Nonius I.	Nonius II.	Nonius I.	Nonius II.
Gewoon. . . .	206°17'	26°16'	242°25'	62°24'
Hardglas. . . .	202°24'	22°23'	246°18'	66°17'

Dus overeenkomende.

Buigvastheid.

Belast. in KG.	Hardglas.				Gewoon glas.			
	Afmetingen:				Afmetingen:			
	Dikte.	Breedte.	Uitwijking.		Dikte.	Breedte.	Uitwijking.	
0	4,55 mM.	11,45 mM.		Afgel. 79	4,42 mM.	10,14 mM.		Afgel. 54
5	”	”	6	85	”	”	9	63
10	”	”	6	91	”	”	9	72
15	”	”	7	98	”	”	9	81
20	”	”	5	(10)3	”	”	10	91
25	”	”	6	(10)9	”	”	12	(10)3
50	”	”	31	(1)40	”	”	44	(1)47
		gemidd.	<u>± 6</u>				<u>± 9</u>	

De afstand der wiggen was weer 20 mM.

Daar Siemens glas weinig gehard is, springt het onder den hamer in groote brokken en niet tot gruis, dit komt met zijn gedrag bij de buigproeven overeen.

Hardheid.

Verschijselen dezelfde als onder IX.

XII. Vergelijking van Hardglas en andere stoffen.

In de eerste plaats werd gewoon hars beproefd.

Een in warm water verhit stuk hars werd tusschen glasplaten in koud water gedompeld. Door een zorgvuldig onderzoek was vooraf

uitgemaakt, dat langzaam gekoeld hars in het geheel niet dubbelbrekende was.

Na snelle afkoeling werden van de verhitte stukken zwak dubbelbrekende platen verkregen, die wel is waar geene kleuren, maar duidelijke uitdooving vertoonden. Overeenkomende resultaten werden met platen van schellak verkregen.

Om de donkere kleur moet men hier met uiterst dunne plaatjes werken, en verkrijgt dientengevolge zeer zwakke dubbelbreking, die nog verminderd wordt, door dat de temperatuurverschillen tusschen de hoogste verhitting en de koelvloeistof gering zijn.

Frappant is de overeenkomst in het gedrag van het hardglas en het door M. M. H. Moissan en G. Harpy onderzocht gedrag van Boriumstaal ¹⁾.

Zij merkten bij het harden van dit materiaal wel een grootere mate van vastheid op, maar bijna geene vermeerdering van hardheid.

Het gewone staal heeft eene soortgelijke vermindering in soortelijke massa als het hardglas, maar het heeft buitendien de eigenschap, dat door plotseling afkoelen de hardheid toeneemt en zelfs iets boven 5,5 kan komen.

Vermoedelijk zal dit een gecombineerd verschijnsel zijn, nl. van physischen aard, zooals bij het hardglas, en van chemischen aard, in zooverre door plotselinge afkoeling harde carbides kunnen gestabiliseerd worden.

Dikwijls is op te merken, dat er verkeerde meeningen over het hardglas heerschen.

Zoo schrijft Fridolin Reiser ²⁾, dat Karmarsch mededeelt, dat hardglas niet met den diamant gesneden kan worden, dat het grooten weerstand tegen slag, stoot enz. biedt. Dit is goed, maar dat volgens Leger in Lyon de dichtheid van hardglas grooter zou zijn dan die van gewoon glas, omdat de soortelijke massa grooter en dus het volume kleiner is, kan op grond van het voorgaande stellig worden tegengesproken.

¹⁾ Zie Comptes rendus N° 3. Jan. 21 1895 pag. 133.

²⁾ Zie: Das Härten des Stahles in Theorie und Praxis. Fridolin Reiser (blz. 53).

Verklaring der afbeeldingen.

Plaat I. 5-voud. vergrooting.

Afbeeldingen van gesprongen hardglas, waarvan de stukken nog op hunne oorspronkelijke plaats zijn.

Fig. 1. Traan, aan de punt gebroken.

Fig. 2. Traan, in het midden gebroken.

Fig. 3. Middengedeelte van een staaf.

Fig. 4. Staaf, nabij een der uiteinden doorgebroken.

Fig. 5. Staaf, op de halve lengte gebroken.

Fig. 6. Gesprongen prismatisch stuk.

Fig. 7. Gesprongen prismatisch stuk, maar waarvan het niet aanwezige stuk vergruisd is.

In fig. 2 en 5 ziet men aan de breuk twee tegengestelde kegels.

In fig. 3 en 4 zijn deze kegels gelijk gericht.

Plaat II.

Diagram voor de breukbelasting.

De ordinaten geven de belastingen aan, waarbij het glas doorbrak. Bij de niet-onderstreepte breukbelastingen was de gebruikte veer berekend op 400 KG., bij de onderstreepte op 600 KG.

Polarisatie-verschijnselen bij gekruiste Nicols.

Plaat III. Afbeelding I. Tweevoud. vergrooting.

stelt de polarisatiekleuren voor van een staaf wier afgekoelde vlakken loodrecht op het vlak van teekening staan.

Bij *a* is eene natuurlijke scheur in de staaf.

Bij *b* is eene inkeeping in de staaf gemaakt.

Bij *c* is een gat geboord.

Alle drie veranderingen zijn gekenmerkt door onregelmatigheden in de volgorde der kleuren.

Plaat III. Afbeelding II. Tweevoud. vergrooting.

geeft de polarisatiekleuren van dezelfde staaf, maar nu is het beeldvlak het vlak van afkoeling. De opmerkingen bij afbeelding I gelden ook hier.

Plaat IV. Afbeelding III. 40-voud. vergrooting.

stelt de kleuren van den rand van de staaf van afbeelding I, maar veel vergroot in regelmatige volgorde voor. 0 0 is de nullijn.

Plaat IV. Afbeelding IV. 40-voud. vergrooting.

is hetzelfde deel van de staaf als afbeelding III, maar nu is er onder den analysator een gipsplaatje rood I^e orde, wiens as evenwijdig de kleurenstrepen ligt. De nullijn (0 0) is naar den buitenkant verschoven.

Plaat V. Afbeelding V. 40-voud. vergrooting.

hetzelfde beeld als afbeelding IV, maar nu is het gipsplaatje 90° gedraaid. De nullijn is nu naar het midden verplaatst.

Plaat V. Afbeelding VI. 40-voud. vergrooting.

is een vergroot beeld der scheur *a* van afbeelding I. Aan het einde der scheur ziet men een zwarte plek, die evenwel bestaat uit vele nauw aaneengesloten donker gekleurde lijnen. Alle kleurenstrepen, ook de nullijnen, buigen zich naar den omtrek, ter weerszijden van de scheur.

Plaat VI. Afbeelding VII. 40-voud. vergrooting.

een beeld der inkeeping *b*, geeft aanleiding tot dezelfde opmerkingen als afbeelding VI.

Plaat VI. Afbeelding VIII. 40-voud. vergrooting.

geeft eene holte in een hardglazen staaf te zien. *ab* is de lengte-as, de bel is zwart en omgeven door gekleurde banden. Aan de einden der holte, in de lengte-as van de staaf ziet men een zwart driehoekje in wit van de I^{ste} orde.

Plaat VII.

Fig. 1. Afslepen poeder van hardglas, 40-voudige vergroting.

Fig. 2. Afslepen poeder van hardglas, 900-voudige vergroting.
Grenzen der korrels 0,7 — 16,6 micron.

Plaat VIII. 26-voud. vergroting.

Fig. 1. Gewoon glas na 168 uren uittrekken met zoutzuur.

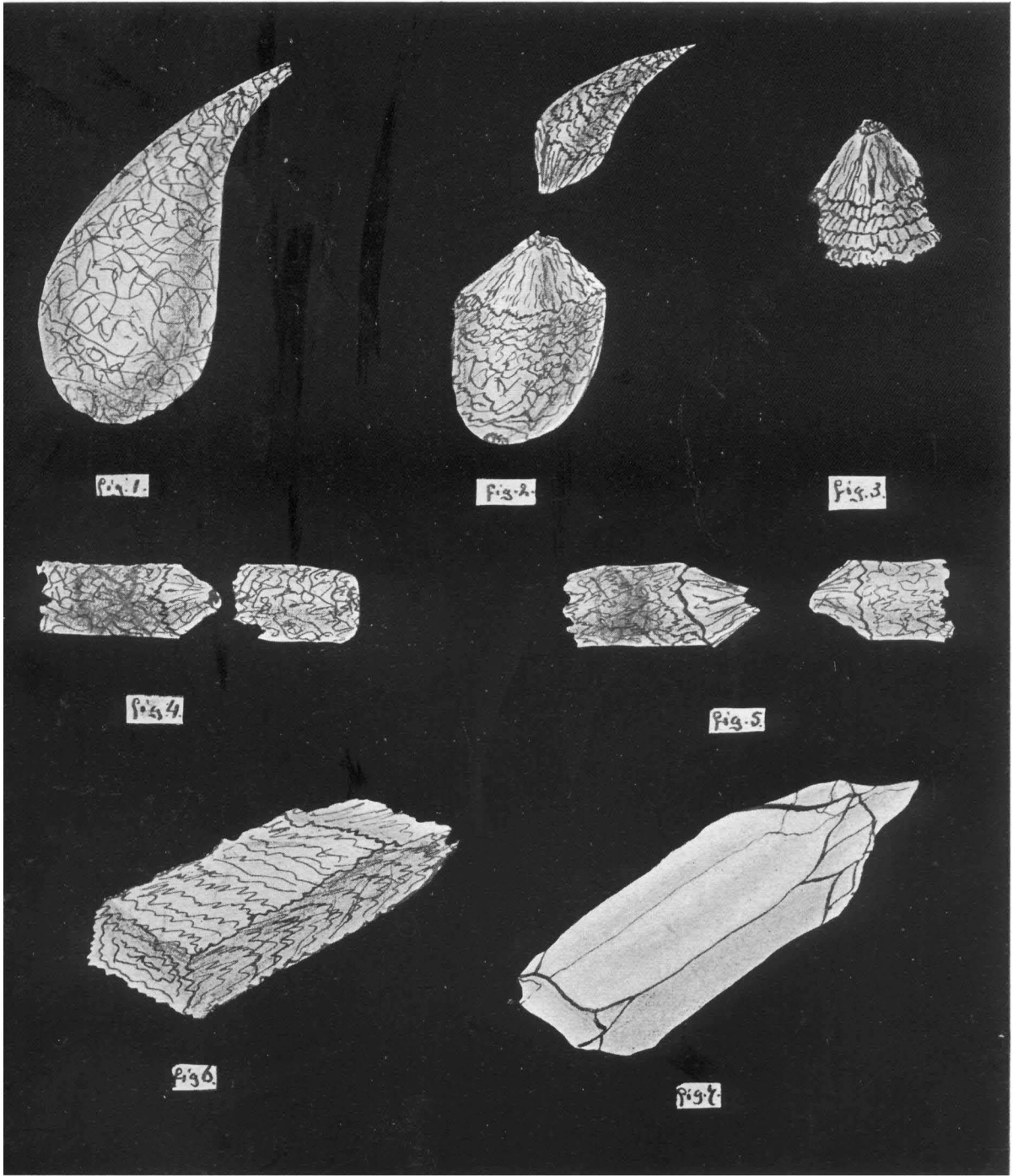
Fig. 2. Hardglas na 168 uren uittrekken met zoutzuur.

Plaat IX. 26-voud. vergroting.

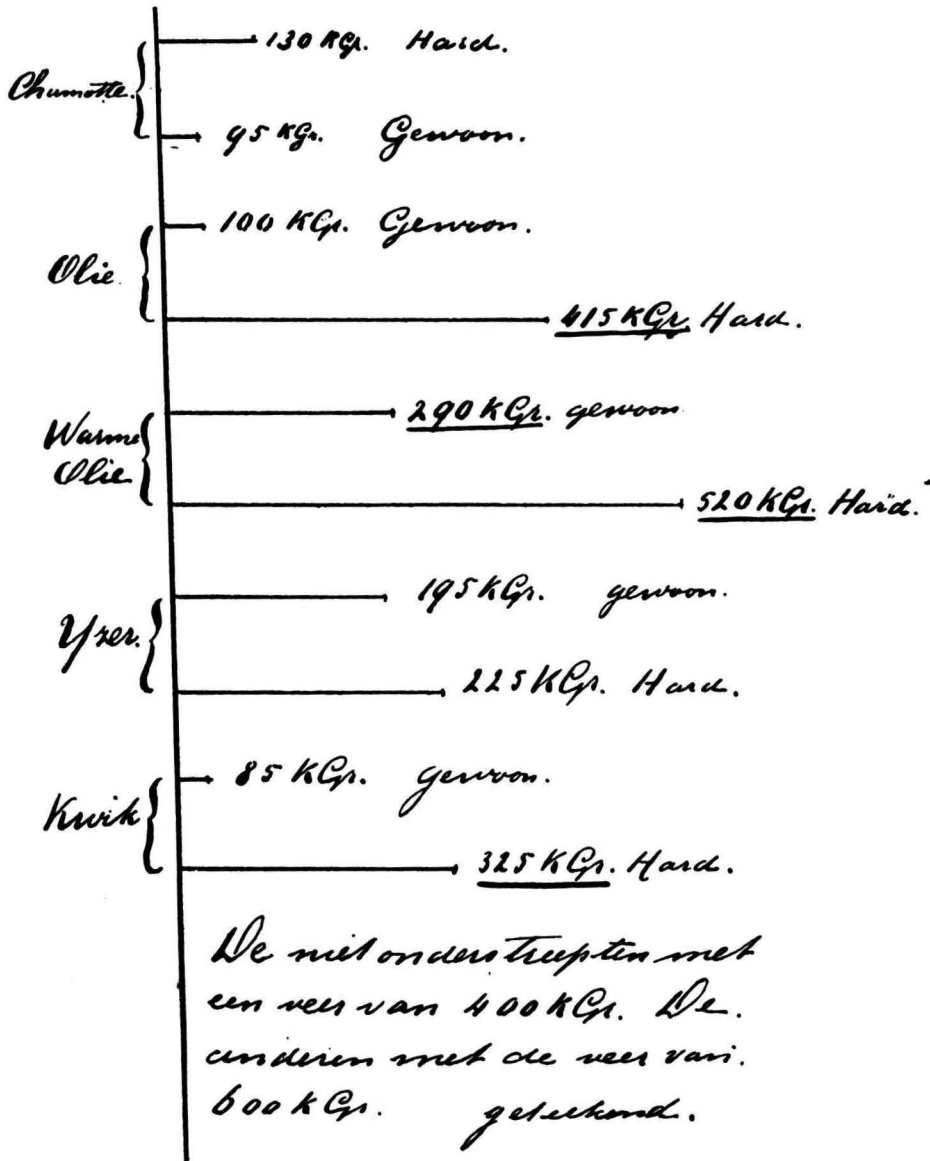
Fig. 1. Hardglas na 336 uren uittrekken met zoutzuur.

(15 Maart 1898).

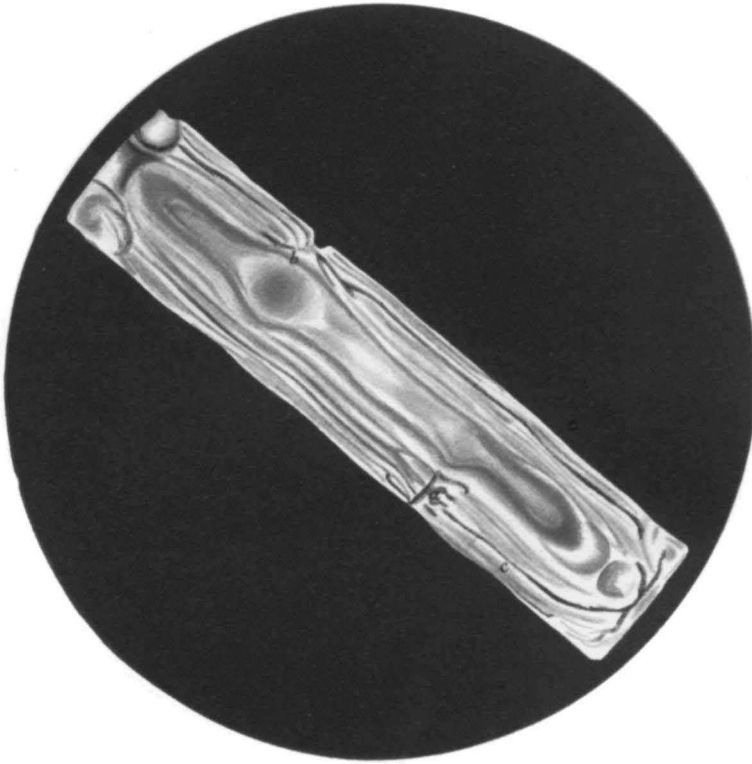
HOUWINK: ONDERZOEK OMTRENT HET ZOOGENAAMDE HARDGLAS.



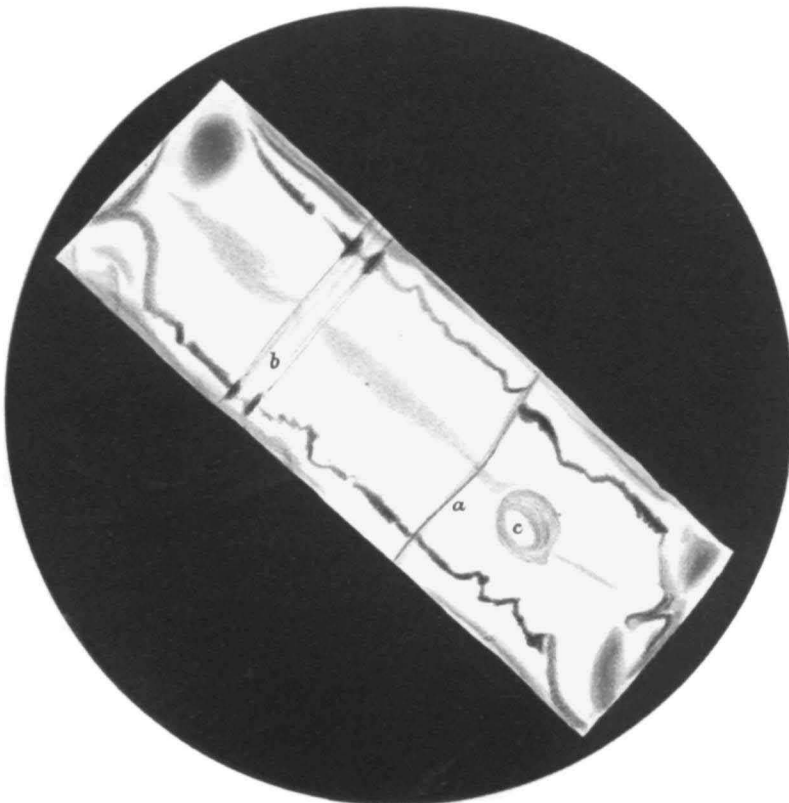
HOUWINK: ONDERZOEK OMTRENT HET ZOOGENAAMDE HARDGLAS.



L. HOUWINK: ONDERZOEK OMTRENT HET ZOOGENAAMDE HARDGLAS.

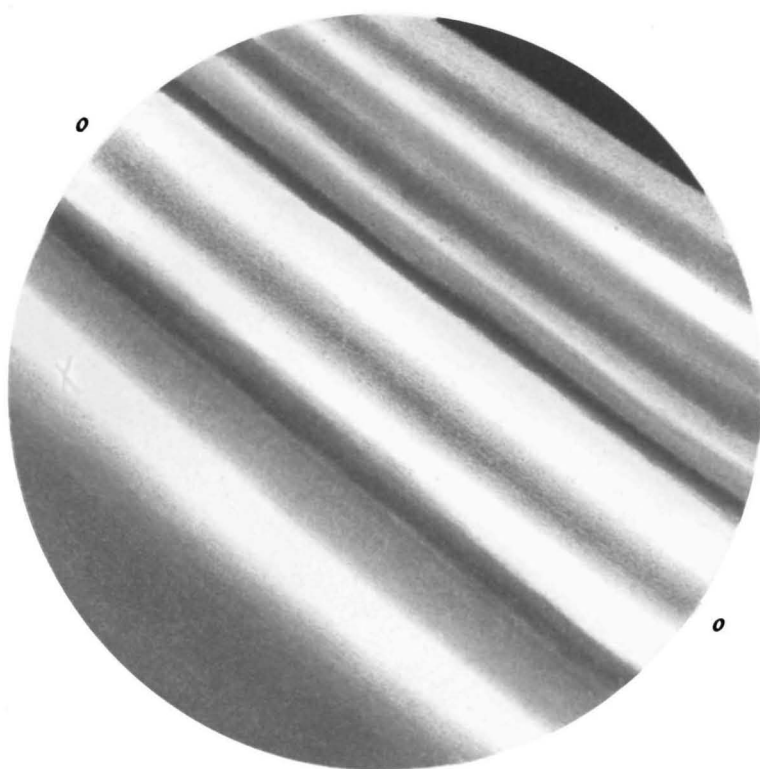


AFB. I.

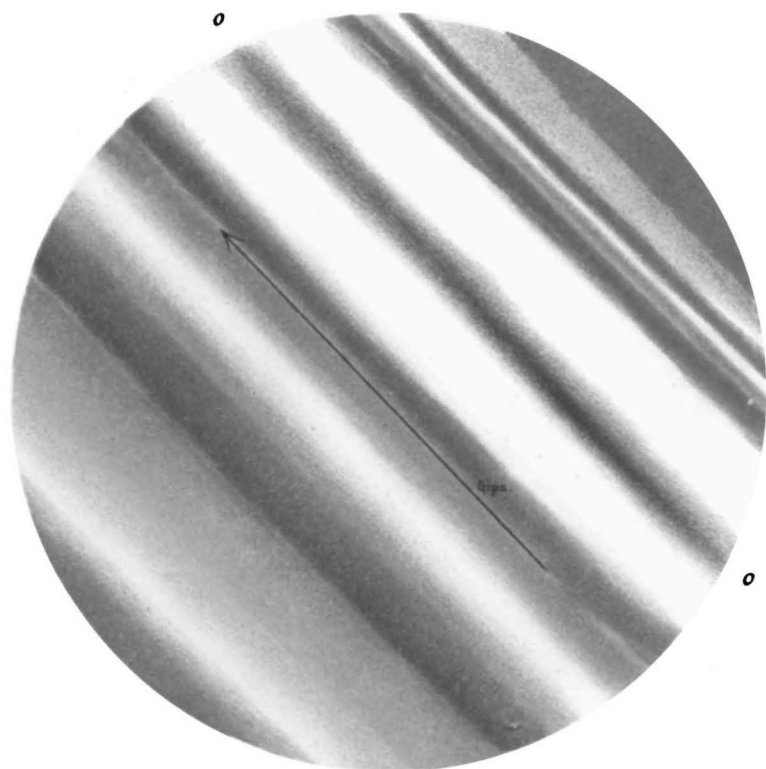


AFB. II.

L. HOUWINK: ONDERZOEK OMTRENT HET ZOOGENAAMDE HARDGLAS.

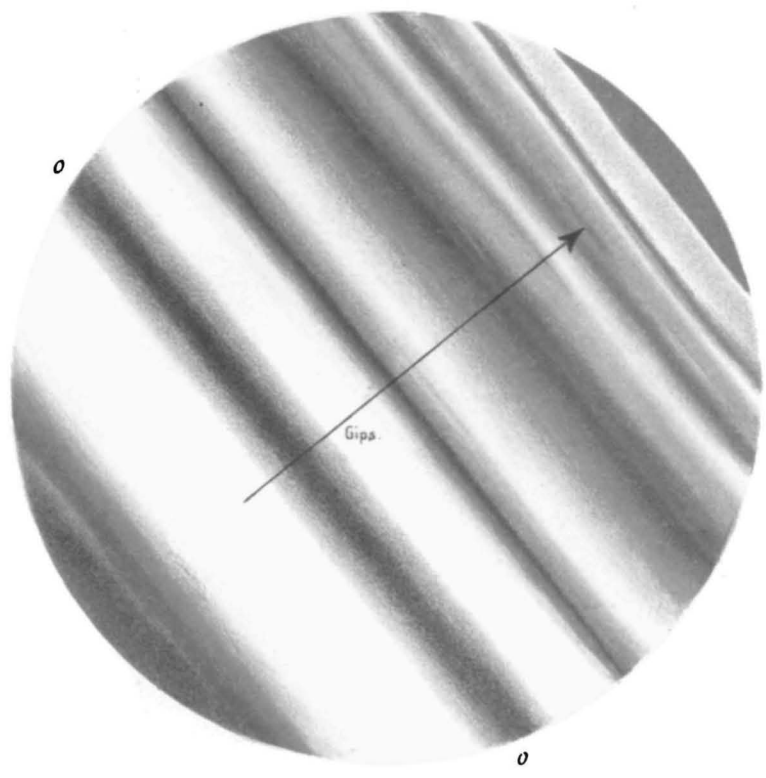


AFB. III.

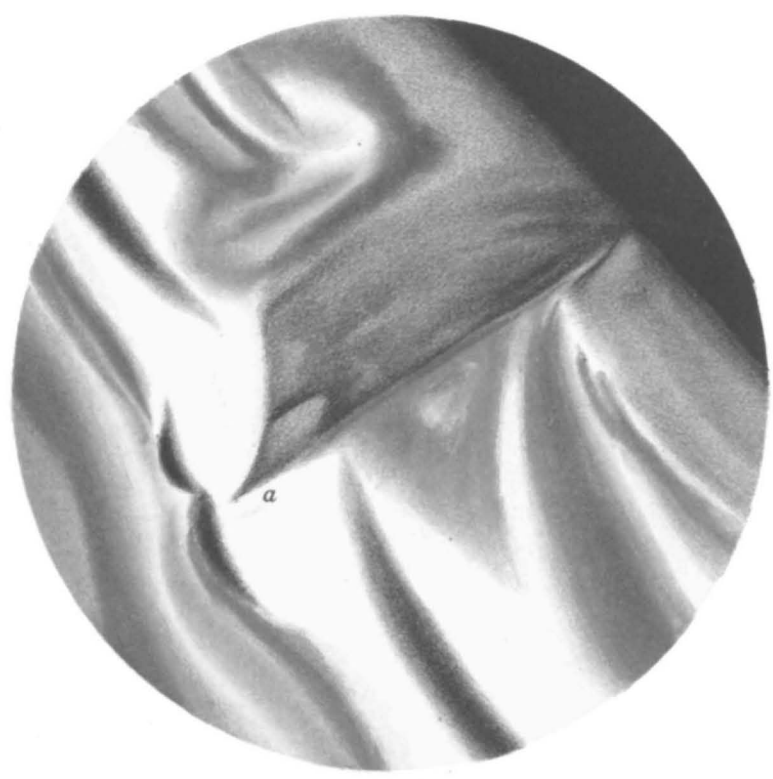


AFB. IV.

L. HOUWINK: ONDERZOEK OMTRENT HET ZOOGENAAMDE HARDGLAS.

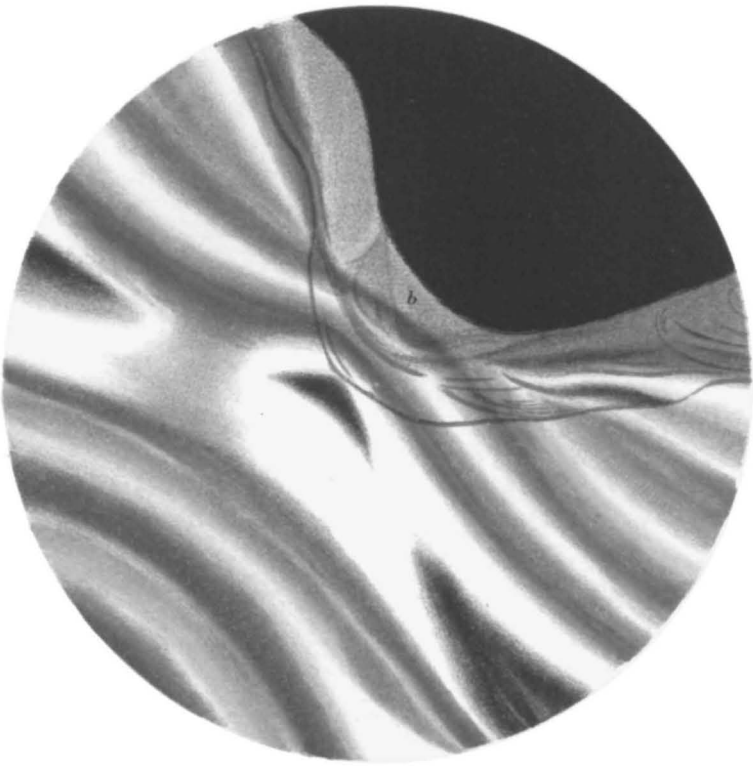


AFB. V.

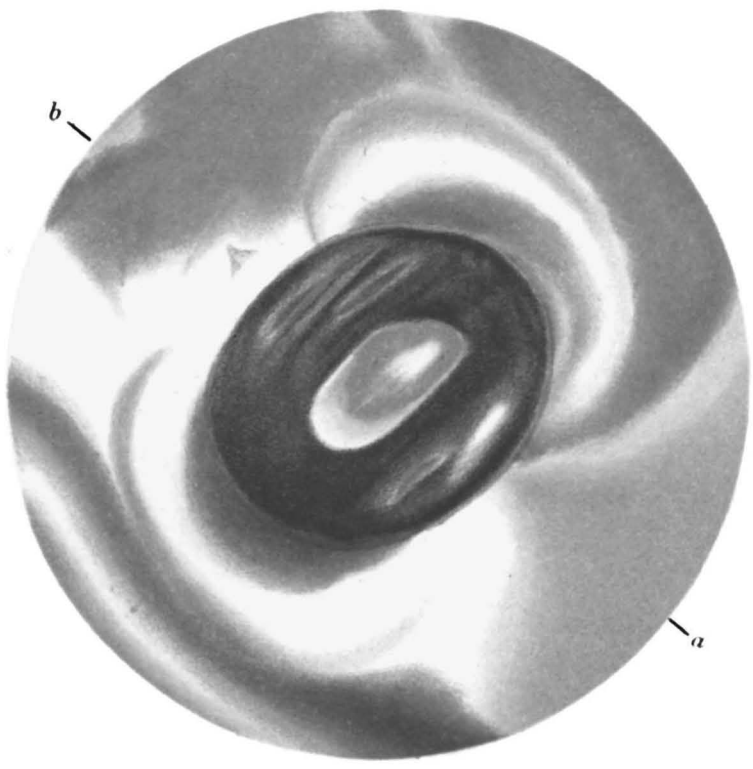


AFB. VI.

L. HOUWINK: ONDERZOEK OMTRENT HET ZOOGENAAMDE HARDGLAS.



AFB. VII.



AFB. VIII.

L. HOUWINK: ONDERZOEK OMTRENT HET ZOOGENAAMDE HARDGLAS.

FIG. I.

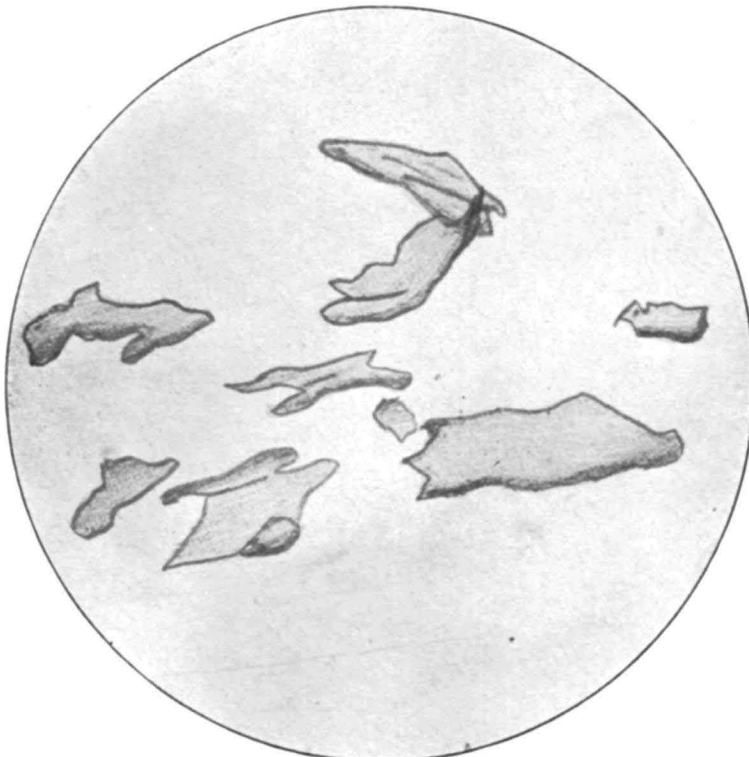
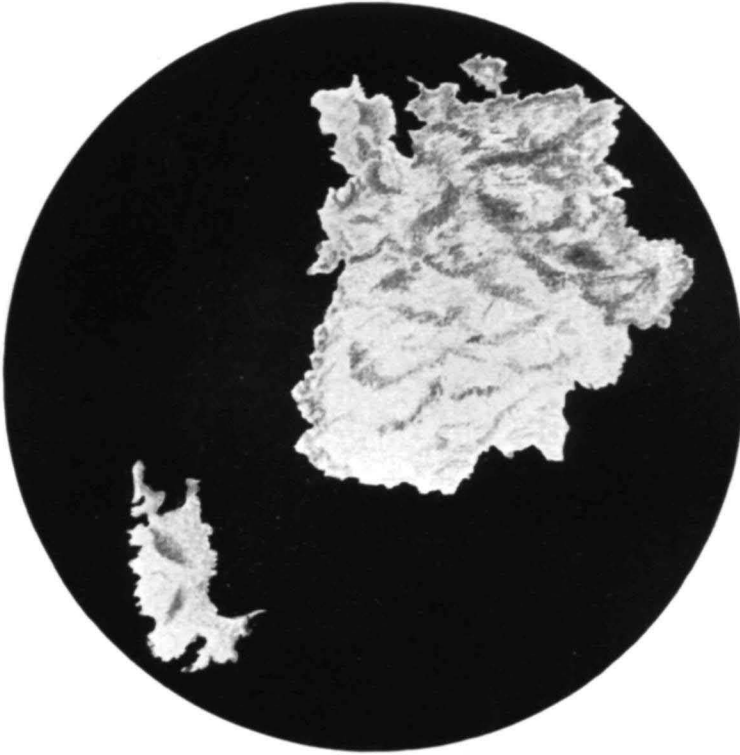


FIG. II.

L. HOUWINK: ONDERZOEK OMTRENT HET ZOOGENAAMDE HARDGLAS.

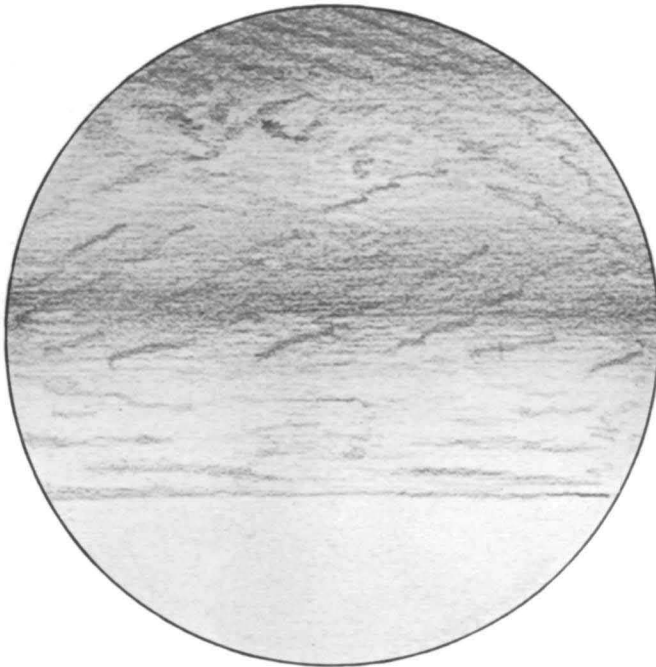


FIG. I.

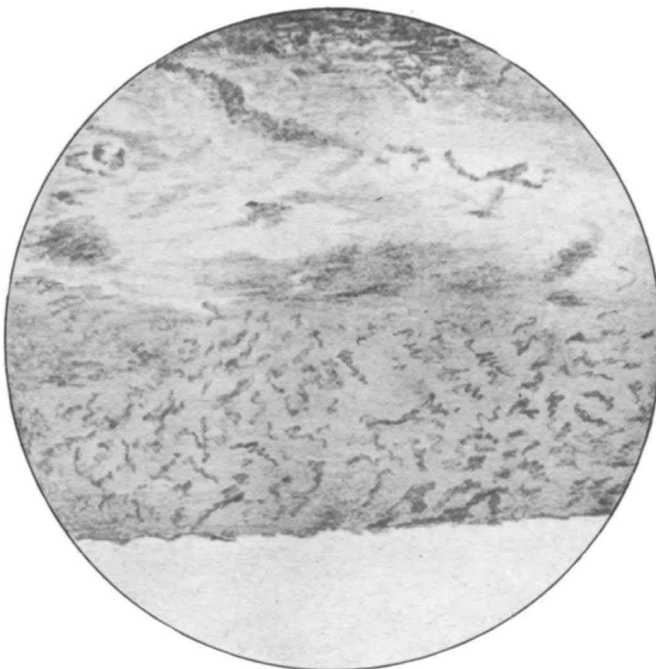


FIG. II.

HOUWINK: ONDERZOEK OMTRENT HET ZOOGENAAMDE HARDGLAS.



FIG. I.