



Het mikroskoop, deszelfs gebruik, geschiedenis en tegenwoordige toestand : een handboek voor natuur- en geneeskundigen

<https://hdl.handle.net/1874/209553>

027723

HET MIKROSKOOP,

DESZEELFS GEBRUIK, GESCHIEDENIS

EN

TEGENWOORDIGE TOESTAND.

EEN HANDBOEK VOOR NATUUR- EN GENEESKUNDIGEN,

DOOR

P. HARTING,

Hoogleeraar aan de Utrechtsche Hoogeschool.

EERSTE DEEL.



Te **UTRECHT,**
bij **VAN PADDENBURG & COMP.**
1848.



J. Neumann

Bonn.

27133

Aut. 1892

HET MIKROSKOOP,
DESZELFS GEBRUIK, GESCHIEDENIS
EN
TEGENWOORDIGE TOESTAND.

VOORBERIGT.



Het werk, hetwelk ik thans aan het publiek aanbied, zal uit de volgende afdeelingen bestaan:

- I. Theorie en algemeene beschrijving der mikroskopen.
- II. Het mikroskopisch onderzoek.
- III. Geschiedenis en tegenwoordige toestand der mikroskopische werktuigen.

De eerste dezer afdeelingen maakt den inhoud uit der volgende bladzijden. De tweede, de regelen en voorschriften tot het verrigten van mikroskopische onderzoekingen bevattende, is ter perse, en zal spoedig in het licht verschijnen, terwijl de derde grootendeels afgewerkt ligt. Bij deze laatste afdeeling zal, ter vervanging van dit voorberigt, eene meer uitvoerige voorrede en inleiding op het geheele werk gevoegd worden.

DE SCHRIJVER.

UTRECHT,
December 1847.

INHOUD

DER

EERSTE AFDEELING.

BEPALING EN INDEELING DER MIKROSKOPEN	bl. 1.
ALGEMEENE KATOPTRISCHE EN DIOPTRISCHE GRONDBEGINSELEN. »	5.
<i>Over de betrekkelijke rigting der lichtstralen en hunne terug-</i>	
<i>kaatsing door spiegelende oppervlakten</i>	<i>» »</i>
Terugkaatsing door vlakke spiegels	6.
Terugkaatsing door holle spiegels.	7.
Vorming der beelden door holle spiegels.	11.
Invloed van de grootte der opening.	13.
Afwijking bij sphaerische holle spiegels.	14.
Katoptrische eigenschappen eener ellipsoïdische oppervlakte. »	18.
<i>Over de breking der lichtstralen, en de werking der lenzen. »</i>	<i>21.</i>
Brekingaanwijzers van verschillende stoffen.	23.
Breking van parallelle stralen	24.
Breking van divergerende stralen, die uit een nabijzind punt komen.	25.
Totale reflectie.	26.
Theorie der lenzen.	27.
Vorming der beelden door lenzen.	36.
Sphaerische aberratie der lenzen	42.
Verbetering der sphaerische aberratie	43.
Chromatische aberratie der lenzen.	48.
Invloed der beide aberratiën op de door lenzen gevormde beelden. »	51.
Verbetering der chromatische aberratie.	54.
Aplanatische dubbellenzen	61.
OVER HET ZIEN MET HET ONGEWAPEND OOG, EN DE GRENZEN	
VAN DESZEELFS WAARNEMINGSVERMOGEN.	64.
Hoofdbestanddeelen van het oog.	65.
Beeldvorming in het oog.	66.
Accomodatievermogen.	69.
Duidelijkheidsafstand	70.
Grenspunten.	72.
Irradiatie	75.
Gezigtshoek; kruissingspunt	76.
Werkelijke en schijnbare grootte der voorwerpen.	77.

Kleinste zichtbare voorwerpen.	bl. 79.
Kleinste gezichtshoek.	» 81.
Invloed der verlichting op de zichtbaarheid.	» 87.
Kleinste netvliesbeeldjes.	» 95.
Onderscheidbaarheid der gezichtsindrukken.	» 97.
Invloed der tegenstelling.	» 103.
Het zien bij opvallend licht.	» 104.
Het zien bij doorvallend licht.	» 105.
Invloed van den vorm op de zichtbaarheid.	» 106.
Invloed van de rigting der stralen.	» 107.
Invloed van het verschil in brekend en terugkaatsend vermogen van het voorwerp met dat der omgevende middenstof.	» 108.
Tijd voor eenen gezichtsindruk vereischt.	» 110.
Entoptische verschijnselen.	» 111.
ALGEMEENE BESCHRIJVING DER MIKROSKOPEN.	» 113.
<i>De loupe en het enkelvoudig dioptrisch mikroskoop</i>	» 119.
Invloed eener lens op het gezichtsvermogen.	» 121.
Berekening der vergrooting.	» 126.
Handelwijzen ter bepaling van den brandpuntsafstand van lenzen.	» 129.
Meting van het vergrootend vermogen.	» 134.
Invloed van den afstand eener lens van het oog op het vergrootend vermogen.	» 137.
Gezigtveld eener lens.	» 138.
Bepaling van den openingshoek.	» 139.
Lichtsterkte der lenzen.	» 141.
Verbetering der sphaerische aberratie in een enkelvoudig mikroskoop.	» 145.
Periskopische lenzen van WOLLASTON; glazen bol van BREWSTER; vogelooglenzen; STANHOPEsche lenzen.	» 146.
Lenzen met hyperbolische krommingen; glasbolletjes.	» 147.
Lenzen uit edelgesteenten.	» 148.
Lenzenstelsels, doubletten, tripletten.	» 149.
Werktuiglijke inrigting van een enkelvoudig mikroskoop.	» 153.
<i>Het beeldmikroskoop</i>	» 162.
Algemeene inrigting.	» 164.
Verlichtingstoestellen.	» 166.
Hydroöxygeen-mikroskoop.	» »
Photoëlektrisch mikroskoop.	» 167.
Zonmikroskoop.	» »
Verlichtingstoestellen voor ondoorschijnende voorwerpen.	» 172.
Scherm om het beeld op te vangen.	» 173.
Middelen tot versterking van het vergrootend vermogen.	» 175.
<i>Het zamengesteld dioptrisch mikroskoop</i>	» 180.
Eenvoudigste inrigting.	» 181.
Berekening van het vergrootend vermogen.	» 183.

Gebreken van een zamengesteld mikroskoop der eenvoudigste inrigting.	bl. 187.
Invloed van het collectiefglas.	» 189.
Aplanatische objectiefstelsels	» 193.
Verhouding tusschen het aplanatische objectief en het oculair. »	201.
Invloed van den onderlingen afstand der glazen van het oculair. »	205.
Invloed van de lengte der buis.	» 206.
Invloed eener verstrooijingslens op den weg der stralen geplaatst. »	»
Invloed der dekplaatjes op den verbeteringstoestand der aberratiën.	» 207.
Vereischten der inrigting van een zamengesteld dioptrisch mikroskoop.	» 219.
De objectiefstelsels.	» »
De oculairen.	» 224.
Lengte der buis.	» 226.
Werktuiglijke inrigting	» 227.
<i>Katoptrische en katadioptrische mikroskopen.</i>	<i>» 236.</i>
Katadioptrische mikroskopen van AMICI en van BREWSTER	» 238.
Katadioptrisch mikroskoop door DOPPLER voorgeslagen	» 240.
Openingshoek des spiegels	» 241.
Vergelijking der katoptrische met de dioptrische mikroskopen. »	243.
<i>Middelen tot verandering van de rigting der stralenbundels, en tot het projiciëren der beelden</i>	<i>» 249.</i>
Terugkaatsende prismata.	» 250.
Glas- en micaplaatjes.	» 253.
Camera lucida van WOLLASTON.	» 256.
Spiegeltje van SÖMMERING.	» »
Prisma van OBERHAÜSER	» 257.
Camera lucida van AMICI.	» »
Het dubbelzien	» 259.
<i>Middelen tot regtkeering der beelden; het pankratisch mikroskoop. »</i>	<i>261.</i>
Regtkeering door terugkaatsende prismata.	» 262.
Dioptrische middelen; pankratisch mikroskoop	» 265.
Regtkeerend oculair.	» 268.
Vergelijking van het regtkeerend zamengesteld mikroskoop met het enkelvoudig mikroskoop	» 272.
<i>Verlichting der mikroskopische voorwerpen</i>	<i>» 275.</i>
Theorie der verlichting met doorvallend licht	» 277.
Hoofdvereischten van den verlichtingstoestel voor doorvallend licht.	» 281.
De spiegel.	» 282.
Concentrerende lens.	» 285.
Toestel tot verandering van de betrekkelijke rigting der stralen. »	»
Plaatsing van diaphragmata op den weg der stralen	» 289.
Aplanatische verlichtingstoestellen.	» 291.

Monochromatische verlichting.	bl. 292.
Verlichtingstoestel voor opvallend licht.	» »
Concentrerende lens, bol driehoekig prisma	» 293.
Holle metalen spiegeltjes.	» »
Verlichting door totale reflectie.	» 295.
Invloed van den aard des lichts.	» 297.
Het zonlicht.	» »
Middelen, om het zonlicht diffuus te maken	» 289.
Aanwending van gewoon daglicht ter verlichting.	» 301.
Aanwending van kunstlicht	» 303.
Middelen om het kunstlicht wit te maken.	» 305.
Middelen ter verandering van de betrekkelijke rigting der stralen van het kunstlicht.	» 309.
Het polariserend mikroskoop.	» 311.
Algemeene regelen voor de verlichting van mikroskopische voorwerpen.	» 316.
<i>Over het vergrootend vermogen der mikroskopen in het alge- meen, en over de middelen om hetzelfde te bepalen.</i>	» 319.
Invloed van den accommodatietoestand van het oog op het ver- grootend vermogen.	» 320.
Algemeene duidelijkheidsafstand.	» 326.
Handelwijzen ter bepaling van het vergrootend vermogen	» 331.
Maatstaf voor de bepaling der vergrooting	» »
Invloed der kromming van het gezichtsveld	» 334.
Berekening der verschillende vergrootingen.	» 337.
Bepaling der grootte van het gezichtsveld.	» 338.
<i>Over het doordringend en het begrenzend vermogen der mikros- kopen.</i>	» 340.
<i>Onderzoek en beoordeeling van het optisch vermogen eens mikros- koops.</i>	» 351.
Graad van verbetering der beide aberratiën.	» 352.
Diffractieverschijnselen.	» 359.
Brandpuntsafstand; openingshoek.	» 360.
Polituur der lenzen; aderen of streepen in dezelve.	» 362.
Luchtbellen in het glas.	» 364.
Verweering der oppervlakte van lenzen.	» 365.
Kristallen in de balsemlaag der dubbellenzen.	» 370.
Lichtsterkte van een mikroskoop.	» 373.
Kleur van het gezichtsveld.	» 375.
Centrering van den optischen toestel.	» 377.
Uitgebreidheid en platheid van het gezichtsveld.	» 381.
Proefvoorwerpen.	» 384.
NOBERT's proefplaatje.	» 403.
Handelwijze, om de grenzen van het optisch vermogen eens mikroskoops te bepalen.	» 407.

I.

THEORIE EN ALGEMEENE BESCHRIJVING

DER

MIKROSKOPEN.

BEPALING EN INDEELING

DER

MIKROSKOPEN.

1. Het woord *mikroskoop* is eene collectief-benaming, waaronder men een aantal gezigtkundige werktuigen verstaat, die hoe verschillend ook overigens door hunne inrigting, wijze van werking en gebruik, echter alle daarin overeenkomen, dat zij dienen om kleine voorwerpen vergroot waar te nemen.

2. Men kan dezelve in verschillende soorten onderscheiden.

Vooreerst, naar gelang de beoogde afwijking der lichtstralen daarin wordt te weeg gebracht *of* door breking, *of* door terugkaatsing, *of* wel door de vereenigde werking van beiden, in:

1°. *Dioptrische*.

2°. *Katoptrische*.

3°. *Katadioptrische*.

Ten tweede, naar gelang der wijze, waarop het voorwerp of deszelfs beeld wordt waargenomen, in:

1°. *Enkelvoudige*, dat is dezulke, waardoor het voorwerp, zonder voorafgaande omkeering van het beeld, in deszelfs oorspronkelijke rigting gezien wordt, hetzij daarbij gebruik

gemaakt wordt van dioptrische of van katoptrische hulpmiddelen. Men heeft derhalven dioptrische en katoptrische enkelvoudige mikroskopen.

2°. *Zamengestelde*, dat zijn zoodanigen, waarin het, hetzij op eene dioptrische, hetzij op eene katoptrische wijze verkregen reeds vergroote en omgekeerde beeld van eenig voorwerp, door een enkelvoudig mikroskoop nog sterker vergroot wordt waargenomen, waarbij het beeld deszelfs omgekeerde rigting behoudt. Er zijn derhalven zamengestelde dioptrische mikroskopen, terwijl de katadioptrische uit den aard der zaak altijd tot de zamengestelde behooren. Zamengestelde katoptrische mikroskopen kent men tot nog toe niet.

3°. *Regtkeerende of pankratische* mikroskopen. In dezen wordt het eerst omgekeerde beeld door eene bijzondere inrigting weder in dezelfde rigting als die van het voorwerp teruggebragt. Deze inrigting is *of* dioptrisch, en kan dan als een dubbel zamengesteld mikroskoop beschouwd worden, *of* katadioptrisch, wanneer namelijk de regtkeering van het beeld het gevolg is eener tweemaal herhaalde geheele terugkaatsing der lichtstralen, alvorens deze het oog bereiken.

4°. *Beeldmikroskopen*. Onder dezen algemeenen naam, kan men de verschillende soorten van mikroskopen zamenvatten, welker inrigting daarop steunt, dat het vergroote beeld van eenig sterk verlicht voorwerp in eene donkere ruimte op een scherm wordt opgevangen, en van daar waargenomen. Tot de verlichting kan elk licht dienen, mits het de vereischte intensiteit voor de beoogde werking bezit. Tot deze afdeeling behooren de *zon-*, *lamp-*, *gas-* en *photo-electrische* mikroskopen. Voor de vergrooting zouden katoptrische middelen kunnen dienen, doch in den regel zijn deze mikroskopen dioptrisch.

Men treft in oudere en nieuwere schrijvers nog andere benamingen aan, als van *polydynamische* mikroskopen, dat zijn dezulken, welke als mikroskoop en ook als verrekijker kunnen dienen; van *universele* mikroskopen, welke hunnen naam daaraan verschuldigd zijn, dat zij bestemd zijn om aan velerlei doeleinden te kunnen beantwoorden, bepaaldelijk om als enkelvoudig, en als zamengesteld mikroskoop tevens te dienen. Verders heeft men *stammikroskopen*, *zakmikroskopen*, *watermikroskopen*, *botanische mikroskopen*, *polariserende mikroskopen*, enzv. Alle deze benamingen zijn echter ontleend aan punten van ondergeschikt belang, en zouden eindeloos kunnen vermenigvuldigd worden, indien men voor elke bijzondere werktuiglijke inrigting, of voor elk meer bepaald doel, waartoe eenig mikroskoop bestemd is, ook eenen afzonderlijken naam noodig achtte.

Bij elk mikroskoop is de optische samenstelling en wijze van werking de hoofdzaak, en alle tot nu toe bekende kunnen onder eene der vier bovengenoemde hoofdafdeelingen gerangschikt worden.

3. Sommige schrijvers, zoowel oudere als nieuwere, hebben het woord *mikroskoop* willen doen vervangen door *engyskoop* (van *εγγυς* nabij en *σκοπεω* ik zie) in tegenoverstelling van *teleskoop* voor den verrekijker. Doch hoewel deze tegenstelling logisch juister moge zijn, zoo is het echter niet te verwachten, dat de meer gebruikelijke benaming, welke bovendien duidelijk en bepaald het doel uitdrukt, waartoe het werktuig gebruikt wordt, immer door eene andere zal vervangen worden. Men zoude trouwens met even veel regt van de sterrekundigen kunnen eischen, dat zij hunnen teleskoop eenen *makroskoop* noemden.

4. Alvorens over te gaan tot eene meer uitvoerige beschouwing der verschillende mikroskopen zelve, zal het tot beter verstand van hetgeen volgen zal, niet ongepast zijn een aan het doel van dit werk beantwoordend overzicht te geven van de wetten die het licht volgt, wanneer deszelfs stralen, hetzij door eene spiegellende oppervlakte, hetzij door den overgang van de eene middenstof in de andere, van hunne oorspronkelijke rigting afwijken.

ALGEMEENE KATOPTRISCHE
EN
DIOPTRISCHE GRONDBEGINSELEN.



Over de betrekkelijke rigting der lichtstralen en hunne terugkaatsing door spiegelende oppervlakten.

5. Van al de punten van een lichtgevend of verlicht ligchaam gaan lichtkegels uit, wier toppunten zich in de lichtende oppervlakte bevinden. In den oorspronkelijken toestand wijken derhalven alle de stralen, die zulk eenen lichtkegel samenstellen, uitéén, en zijn wat men gewoon is *divergerende* of uiteenwijkende stralen te noemen.

6. Naarmate echter het lichtend ligchaam zich op eenen verderen afstand bevindt, wordt de tophoek der lichtkegels al kleiner en kleiner, en hunne samenstellende stralen naderen allengs meer tot eenen evenwijdigen loop. Dit is het geval met het licht der hemelligchamen. Het is wel is waar duidelijk, dat op deze wijze de lichtstralen nimmer volkomen evenwijdig of *parallel* worden, doch bij den zeer grooten afstand dier ligchamen is het verschil zoo uiterst gering, dat hetzelfde gerustelijk kan veronachtzaamd worden. Later zullen wij zien dat er ook optische hulpmiddelen bestaan om lichtstralen, die eene andere rigting volgen, *parallel* te maken.

7. Eindelijk kan aan oorspronkelijk *divergerende* of aan *parallele* lichtstralen weder eene *neiging* worden gegeven om tot elkander te naderen. Zulke stralen noemt men dan *convergerend*.

8. Zien wij thans wat er gebeuren zal, indien lichtbundels, welker stralen eene der drie opgenoemde betrekkelijke rigtingen bezitten, eene spiegelende oppervlakte treffen.

Is deze oppervlakte een plat vlak, b. v. AB fig. 1, dan zal elke de oppervlakte treffende straal ab , cd , ef daarvan teruggekaatst worden onder denzelfde hoek, waaronder dezelve de oppervlakte AB getroffen heeft, d. i. de hoeken abg , cdg en efg , gevormd door den invallenden straal met de loodlijnen bg , dg en fg , zijn gelijk aan de hoeken $a'bg$, $c'dg$ en $e'fg$, welke de teruggekaatste stralen $a'b$, $c'd$ en $e'f$ met dezelfde loodlijnen vormen, of in algemeene woorden: *de hoek van terugkaatsing is gelijk aan den hoek van inval.*

9. Treffen, zoo als in de figuur, evenwijdig loopende stralen de oppervlakte, dan zijn dus ook de teruggekaatste stralen evenwijdig. Alleenlijk volgen zij elkander in eene omgekeerde rigting op, want de straal ab , die oorspronkelijk de bovenzijde van den lichtbundel innam, bevindt zich na de terugkaatsing aan deszelfs benedenzijde.

10. Vooronderstellen wij nu, dat de opvallende lichtstralen, in stede van evenwijdig, *divergerend* zijn, dan volgt uit het zoo even gezegde, dat zij ook onder verschillende hoeken moeten teruggekaatst worden, daar elk hunner de spiegelende oppervlakte onder eenen verschillende hoek treft. Indien (fig. 2) de van uit het punt a komende divergerende stralen ab , ac en ad van de oppervlakte des spiegels AB worden teruggekaatst, dan volgen zij de rigtingen eb , fc en gd , welke met de loodlijnen hb , hc en hd gelijke hoeken vormen als de oorspronkelijke stralen, evenals hunne

verlengden $e'b$, $f'c$ en $g'd$ met de verlengde loodlijnen $h'b$, $h'c$ en $h'd$, terwijl de verlengden der teruggekaatste stralen elkander achter den spiegel in een punt a' zouden ontmoeten, hetwelk even ver van de achterste oppervlakte van AB verwijderd is, als zich a daarboven bevindt.

Bij divergerende stralen wordt dus door de terugkaatsing niet de graad van hunne uiteenwijking, maar alleen hunne rigting veranderd.

11. Hetzelfde geldt, ofschoon in eenen omgekeerden zin van *convergerende* stralen. Denken wij ons eenen lichtkegel waarvan fig. 2, eb , fc en gd zamenstellende stralen zijn, dan zouden zich deze, indien er zich geen ligchaam op hunnen weg bevond, vereenigen in het punt a' . Worden zij echter door de spiegelende vlakte AB opgevangen, dan worden zij alle teruggekaatst en vereenigd in het punt a , dat zich op gelijken afstand aan de tegenovergestelde zijde bevindt.

12. Het is thans niet moeilijk in te zien, wat er geschieden moet, indien de lichtstralen niet op eene platte, maar op eene holle oppervlakte vallen, welke een gedeelte van het oppervlak eens bols uitmaakt. Indien in fig. 3 ab , bc en cd de doorsneden zijn van vlakke spiegels, die elk de oppervlakte van den bol, waarvan o het middelpunt is, in één punt raken, dan zijn de radii of , og en oh loodlijnen op de genoemde vlakten.

Stellen wij nu, dat elk der raakpunten f , g en h door stralen lf , lg en lh getroffen wordt, dan zullen de hoeken van terugkaatsing ofp en ohp gelijk moeten zijn aan de overeenkomstige hoeken van inval lfo en lho , terwijl de

straal lg , die met den radius of de loodlijn og samenvalt, in dezelfde rigting teruggekaatst wordt. Alle drie de stralen vereenigen zich dus in het punt p , en uit eenvoudige meetkundige grondbeginselen volgt, dat dit punt gelegen moet zijn op de helft van den radius og .

Denken wij ons verders eenen hollen bolvormigen spiegel *egi* als zamengesteld uit een oneindig getal vlakke spiegelende oppervlakten, dan is het duidelijk, dat alle evenwijdig daarop vallende stralen zich nagenoeg in hetzelfde punt zullen vereenigen. Men noemt dit het *brandpunt voor evenwijdige stralen* of het *hoofdbrandpunt* des spiegels, en den afstand van h tot g den *brandpuntsafstand*, welke laatste derhalven steeds gelijk is aan den halven radius des bols, van welks oppervlakte de spiegel een gedeelte uitmaakt.

15. Wanneer divergerende stralen eenen hollen spiegel treffen, zijn verschillende gevallen mogelijk. *Vooreerst* kan het lichtende punt verder van de spiegelende vlakte verwijderd zijn dan het middelpunt des bols, van welks oppervlakte de spiegel een gedeelte uitmaakt. In dit geval zullen de stralen lf , lg en lh (fig. 4) zich ook in een punt vóór den spiegel vereenigen, doch daar alsdan de hoeken lfo en lho , die de stralen lf en lh met de loodlijnen vormen, kleiner zijn dan voor evenwijdige stralen, zoo moeten ook de overeenkomstige hoeken van terugkaatsing ofp' en ohp' daaraan beantwoorden, en gevolglijk zullen de teruggekaatste stralen fp' , gp' en hp' elkander in een punt p' ontmoeten, dat nader bij het middelpunt o gelegen is. Hieruit volgt dus, dat het brand- of vereenigingspunt voor zulke divergerende stralen steeds gelegen is tusschen het hoofdbrandpunt p en het middelpunt des bols. Verders is het

duidelijk, dat, hoe meer het lichtend punt het middelpunt o nadert, des te geringer zal de afstand tusschen p' en o worden.

Is derhalven, *ten tweede*, het lichtend punt in het middelpunt o geplaatst, dan valt dit met het vereenigingspunt in één.

Doch indien, *ten derde*, het lichtend punt zich bevindt binnen den afstand van het middelpunt tot aan het hoofdbrandpunt b. v. in p' , dan zullen zich de teruggekaatste stralen aan gene zijde van het middelpunt vereenigen in l , omdat ook hier wederom de hoeken van terugkaatsing lfo en lho gelijk zullen moeten zijn aan de hoeken van inval $p'fo$ en $p'ho$. Tevens is het klaarblijkelijk, dat hoe naderbij het lichtend punt p' aan het hoofdbrandpunt van den spiegel komt, des te verder zal het vereenigingspunt l zich daarvan verwijderen, en zoodra hetzelfde in dit punt gekomen is, namelijk in p fig. 3, dan zullen de teruggekaatste stralen lf , lg en lh onderling evenwijdig zijn.

Bevindt zich eindelijk *ten vierde*, het lichtende punt p' fig. 3 tusschen het hoofdbrandpunt en den spiegel, dan wijken de teruggekaatste stralen lf , lg en lh uiteen, en vereenigen zich niet meer, doch de plaats, waar hunne verlengden fv , gv en hv zich achter den spiegel zouden ontmoeten, heet dan het *schijnbare brandpunt*.

14. Voor convergerende stralen ligt het brandpunt steeds tusschen het hoofdbrandpunt en de spiegelende oppervlakte. Stellen wij namelijk, dat in fig. 3 een uit convergerende stralen bestaande lichtkegel, waarvan de stralen lf en lh de grenzen aanwijzen, op den spiegel valt, dan zullen aan de hoeken van inval lfo en lho , die van terugkaatsing *of* p'

en ohp' gelijk moeten zijn. Tevens zullen, naar gelang de stralen sterker convergeren, de hoeken in grootte toenemen en het vereenigingspunt p' der teruggekaatste stralen de spiegelende vlakke meer en meer naderen. Daarentegen zal het er zich van verwijderen, naar mate de invallende stralen minder convergeren, doch nimmer zal het den halven afstand van o tot g kunnen overschrijden, ten zij de invallende stralen ophielden convergerend te zijn, en parallel of divergerend werden, zooals in fig. 3 en 4.

15. Tot hiertoe hebben wij voor divergerende stralen het eenvoudigste geval aangenomen, dat zich namelijk het lichtend punt bevond op de lijn, die, zamenvallende met de middellijn des bols, juist door het midden des spiegels gaat. Men noemt deze lijn *de as van den hollen spiegel*. Bij het gebruik echter, dat van de holle spiegels in optische werktuigen, en zoo ook in mikroskopen, gemaakt wordt, komt het er inzonderheid op aan, dat een beeld van eenig voorwerp gevormd wordt, en daar dit niet anders geschieden kan dan door al de stralen, die van zulk een voorwerp uitgaan, zoo komen ook die, welke buiten de as gelegen zijn, evenzeer in aanmerking als de asstralen.

Indien in fig. 6 c een lichtend punt is, en van daar stralen op de oppervlakte van den spiegel ab vallen, welks middelpunt o is, dan zal de straal ca in de rigting van af teruggekaatst worden, omdat de hoek van terugkaatsing oaf gelijk moet zijn aan den hoek van inval cao . Om dezelfde reden zal de straal cb teruggekaatst worden in de rigting bf , en de hoek fbo gelijk zijn aan den hoek obc . Bevindt zich nu in d een ander lichtend punt, dan is het duidelijk, dat de stralen da en db in de rigtingen de en be zullen

moeten teruggekaatst worden. De stralen dus, die van c uitgaan ontmoeten elkander in f , en die, welke van d komen in e , en indien nu ook van alle andere punten van eenig zich tusschen c en d bevindend voorwerp stralen komen, die ergens in de lijn ef zich weder vereenigen, dan zal zich daar ter plaatse een *omgekeerd* beeld vormen van het voorwerp cd .

Indien het voorwerp in een plat vlak gelegen is, dan zal het beeld in een volgens eene kegelsnede gebogen vlak liggen, om dergelijke redenen, als later meer uitvoerig zullen uiteengezet worden, bij het beschouwen van de beeldvorming door bolle lenzen.

16. Wat de betrekkelijke ligging aanbelangt van het beeld en van het voorwerp, zoo gelden hier dezelfde regelen, als zoo even (§ 15) gegeven zijn voor de betrekkelijke ligging van het vereenigingspunt der stralen en van het lichtend punt in de as, van waar uit zij divergeren. Doch bovendien hangt ook de betrekkelijke grootte van het beeld in verhouding tot die van het voorwerp van deze betrekkelijke ligging af.

Beschouwen wij hier wederom de verschillende mogelijke gevallen, dan leidt het vroeger gezegde tot de volgende regelen:

1°. Indien het voorwerp cd , zoo als in fig. 6, geplaatst is buiten het middelpunt o , en zoodanig, dat de as van den spiegel door deszelfs midden gaat, dan zal het beeld zich vormen tusschen het middelpunt o en het hoofdbrandpunt p . Het beeld is in dit geval steeds kleiner dan het voorwerp, en wel des te kleiner naar mate het voorwerp verder van den spiegel verwijderd is, waarbij het steeds meer nabij

komt aan het hoofdbrandpunt zonder immer daarmede samen te vallen. (1)

2°. Indien het midden van het voorwerp geplaatst is in o , en zich de beide uiteinden op gelijken afstand van den spiegel bevinden, dan valt de plaats van het beeld samen met die van het voorwerp.

3°. Bevindt zich het voorwerp in de as tusschen o en p , zoo als in ef fig. 6, dan zal het omgekeerde beeld cd aan gene zijde van het middelpunt gelegen zijn, en wel zal die afstand des te grooter wezen, en het beeld des te meer het voorwerp in grootte overtreffen, naar mate het voorwerp digter bij het hoofdbrandpunt geplaatst is.

4°. Zoodra echter het midden van het voorwerp zich in dit hoofdbrandpunt p bevindt, dan vormt zich geen beeld meer, omdat de teruggekaatste stralen parallel worden.

5°. Nadert het voorwerp ef fig. 7 den spiegel nog meer, zoodat het zich tusschen het hoofdbrandpunt p en de spiegelende oppervlakte bevindt, dan zal zich mede geen waar beeld meer voor den spiegel vormen, want de van e komende stralen ea en eb zullen in de rigtingen ac' en bd worden teruggekaatst, omdat de hoeken $c'ao$ en obd gelijk moeten zijn aan de hoeken oae en obe , terwijl om gelijke reden de van het andere uiteinde f uitgaande stralen fa en fb zullen worden teruggekaatst als ac en bd' . Alle de

(1) Voor dit en voor de overige gevallen kan zoowel de afstand als de grootte van het beeld op eene eenvoudige wijze berekend worden. Indien de afstand van het hoofdbrandpunt of de halve radius is $= p$, de afstand van het voorwerp van den spiegel $= a$, de doormeter van het voorwerp $= v$, dan is de afstand van het beeld $= \frac{ap}{a-p}$, en de grootte van

$$\text{hetzelve} = \frac{pv}{a-p}.$$

stralen wijken dus na de terugkaatsing uitéén. Doch stellen wij, dat zich in de rigting der teruggekaatste stralen een oog bevindt, dan zal hetzelfde een vergroot schijnbeeld van het voorwerp achter den spiegel waarnemen, want verlengen wij de lijnen ac' en bd , die de teruggekaatste stralen ea en eb zijn, welke uit het punt e komen, dan zullen zij zich in e' achter den spiegel ontmoeten, terwijl hetzelfde geldt van de uit f oorspronkelijk teruggekaatste stralen ac en bd' , die zich in f' weder vereenigen. In $e'f'$ bevindt zich dus schijnbaar het vergrootte beeld van ef , terwijl uit de gegeven constructie volgt, dat zich hetzelfde niet omgekeerd, maar in dezelfde rigting als het voorwerp moet vertoonen.

17. Het is thans niet moeilijk voor elke andere plaatsing van het voorwerp, ook buiten de as des spiegels, de plaats te vinden, welke door het beeld zal ingenomen worden. Is b. v., in fig. 8, cd een klein voorwerp, dat zich aan deze zijde van de spiegelas eof bevindt, dan zullen de vereenigingspunten der teruggekaatste stralen in c' en d' zijn, en het omgekeerde beeld zich derhalven aan gene zijde van de as vormen.

18. Daar van alle punten van eenig voorwerp stralen op de oppervlakte des spiegels vallen, zoo is het duidelijk, dat, ofschoon de grootte van het beeld geenzins afhangt van de grootte des spiegels, maar alleen van deszelfs kromming en van de plaats van het voorwerp, echter de graad van helderheid of de lichtsterkte van het beeld zeer afhankelijk is van de grootte der spiegelende oppervlakte, of, zoo als men zulks gewoon is te noemen, van de *opening* des hollen spiegels. De hooggroothed dezer opening wordt in maat uitgedrukt door de

de vorige figuur, terwijl zij tevens al grooter en grooter worden. Daar nu deze beelden elkander gedeeltelijk bedekken, en de stralen dadelijk na hunne vereeniging weder uiteenwijken, zoo kan het niet anders, of op een in z gehouden scherm zal zich een beeld vertoonen zonder scherpe omtrekken, en hetwelk verward en onduidelijk is.

21. Dat deze onduidelijkheid sterk toeneemt met de opening des spiegels, willen wij door een voorbeeld aantoonen. De lengte der afwijking bedraagt voor eenen spiegel, waarvan de kromming der oppervlakte eenen radius van 40 millim. heeft, en derhalven eenen hoofdbrandpuntsafstand van 20 millim., de volgende waarden:

Voor eenen spiegel van 60 mm. in doormeter, 10,2568 mm.

»	»	»	»	40	»	»	»	5,0940	»
»	»	»	»	50	»	»	»	1,5742	»
»	»	»	»	20	»	»	»	0,6560	»
»	»	»	»	10	»	»	»	0,1581	»
»	»	»	»	5	»	»	»	0,0592	»
»	»	»	»	4	»	»	»	0,0251	»
»	»	»	»	3	»	»	»	0,0141	»
»	»	»	»	2	»	»	»	0,0065	»
»	»	»	»	1	»	»	»	0,0016	»

Men ziet derhalve, dat indien de doormeter van den spiegel in dit geval van 60 tot op 50 millim., dat is tot op de helft, verminderd werd, dan zoude de hoegrootheid der afwijking nog ongeveer $\frac{1}{6}$ van de vroegere afwijking bedragen. Daalt de doormeter tot op $\frac{1}{12}$, dan is de afwijking reeds tot op $\frac{1}{201}$ verminderd, en indien de doormeter niet meer dan $\frac{1}{60}$ van den oorspronkelijken bedraagt, dan is de lengte der afwijking nog slechts $\frac{1}{328}$ gedeelte der vroe-

gere afwijking. Voor de stralen derhalven, die op 0,5—1 millim. afstand van de as den spiegel treffen, is de afwijking zoo gering, dat zij geheel verwaarloosd worden kan. In het hier gestelde geval beantwoordt een spiegelgedeelte van 1 millim. doormeter aan eene opening van ongeveer $1^{\circ},5$. Nog bij eenen doormeter van 5 millim., beantwoordende aan eene opening van nagenoeg $5^{\circ},5$, is de lengte der afwijking niet zoo groot, dat dezelve zeer merkbaar zal zijn, doch deze grens overschrijdende neemt de sphaerische aberratie spoedig zoo zeer toe, dat het beeld, met zulk eenen wijderen spiegel verkregen, spoedig geheel verward en onduidelijk zal worden.

De holle sphaerische spiegels van katoptrische en katadioptrische werktuigen mogen derhalven slechts eene geringe opening bezitten, hetgeen eenen nadeeligen invloed uitoefent op de lichtsterkte van het beeld, zoo als inzonderheid merkbaar wordt bij de spiegeltjes, die tot vervaardiging van mikroskopen worden aangewend, welke eenen korten brandpuntsafstand bezittende bij eenen kleinen openingshoek ook eenen zoo geringen doormeter veroorlooven, dat, uit hoofde van het gebrek aan lichtsterkte van het beeld, alleen zeer geringe vergrootingen kunnen verkregen worden.

22. Wanneer men nu weder het oog slaat op fig. 9, dan zal men al spoedig bemerken, dat, indien de spiegel ab eene andere kromming bezat, dan die van een gedeelte der oppervlakte van een bol, het mogelijk zoude zijn, dat alle parallelle stralen zich na de terugkaatsing in het punt x vereenigen. Werkelijk leert ook de berekening, dat eene parabolische kromming deze eigenschappen bezit. Voor de vervaardiging van spiegels voor mikroskopen is echter eene andere kromming nog verkieslijker, namelijk die eener ellipsoïde.

de vorige figuur, terwijl zij tevens al grooter en grooter worden. Daar nu deze beelden elkander gedeeltelijk bedekken, en de stralen dadelijk na hunne vereeniging weder uiteenwijken, zoo kan het niet anders, of op een in z gehouden scherm zal zich een beeld vertoonen zonder scherpe omtrekken, en hetwelk verward en onduidelijk is.

21. Dat deze onduidelijkheid sterk toeneemt met de opening des spiegels, willen wij door een voorbeeld aantonen. De lengte der afwijking bedraagt voor eenen spiegel, waarvan de kromming der oppervlakte eenen radius van 40 millim. heeft, en derhalven eenen hoofdbrandpuntsafstand van 20 millim., de volgende waarden:

Voor eenen spiegel van 60 mm. in doormeter, 10,2568 mm.

»	»	»	»	40	»	»	»	5,0940	»
»	»	»	»	50	»	»	»	1,5742	»
»	»	»	»	20	»	»	»	0,6560	»
»	»	»	»	10	»	»	»	0,1581	»
»	»	»	»	5	»	»	»	0,0592	»
»	»	»	»	4	»	»	»	0,0251	»
»	»	»	»	3	»	»	»	0,0141	»
»	»	»	»	2	»	»	»	0,0065	»
»	»	»	»	1	»	»	»	0,0016	»

Men ziet derhalve, dat indien de doormeter van den spiegel in dit geval van 60 tot op 50 millim., dat is tot op de helft, verminderd werd, dan zoude de hoegrootheid der afwijking nog ongeveer $\frac{1}{6}$ van de vroegere afwijking bedragen. Daalt de doormeter tot op $\frac{1}{12}$, dan is de afwijking reeds tot op $\frac{1}{201}$ verminderd, en indien de doormeter niet meer dan $\frac{1}{60}$ van den oorspronkelijken bedraagt, dan is de lengte der afwijking nog slechts $\frac{1}{398}$ gedeelte der vroe-

gere afwijking. Voor de stralen derhalven, die op 0,5—1 millim. afstand van de as den spiegel treffen, is de afwijking zoo gering, dat zij geheel verwaarloosd worden kan. In het hier gestelde geval beantwoordt een spiegelgedeelte van 1 millim. doormeter aan eene opening van ongeveer $1^{\circ},5$. Nog bij eenen doormeter van 5 millim., beantwoordende aan eene opening van nagenoeg $5^{\circ},5$, is de lengte der afwijking niet zoo groot, dat dezelve zeer merkbaar zal zijn, doch deze grens overschrijdende neemt de sphaerische aberratie spoedig zoo zeer toe, dat het beeld, met zulk eenen wijderen spiegel verkregen, spoedig geheel verward en onduidelijk zal worden.

De holle sphaerische spiegels van katoptrische en katadioptrische werktuigen mogen derhalven slechts eene geringe opening bezitten, hetgeen eenen nadeeligen invloed uitoefent op de lichtsterkte van het beeld, zoo als inzonderheid merkbaar wordt bij de spiegeltjes, die tot vervaardiging van mikroskopen worden aangewend, welke eenen korten brandpuntsafstand bezittende bij eenen kleinen openingshoek ook eenen zoo geringen doormeter veroorlooven, dat, uit hoofde van het gebrek aan lichtsterkte van het beeld, alleen zeer geringe vergrootingen kunnen verkregen worden.

22. Wanneer men nu weder het oog slaat op fig. 9, dan zal men al spoedig bemerken, dat, indien de spiegel ab eene andere kromming bezat, dan die van een gedeelte der oppervlakte van een bol, het mogelijk zoude zijn, dat alle parallele stralen zich na de terugkaatsing in het punt x vereenigen. Werkelijk leert ook de berekening, dat eene parabolische kromming deze eigenschappen bezit. Voor de vervaardiging van spiegels voor mikroskopen is echter eene andere kromming nog verkieslijker, namelijk die eener ellipsoïde.

25. De katoptrische eigenschappen eener ellipsoidische oppervlakte worden opgehelderd door fig. 10. AB is de groote as van eene ellips, welke om deze omdraaijende eene ellipsoïde voortbrengt; ab , cd , fe en st zijn de doorsneden van spiegels, welker krommingen aan verschillende gedeelten der ellipsoïde beantwoorden. Indien nu in een der beide brandpunten x of y zich een lichtend punt bevindt, dan zullen al de van hetzelfde uitgaande stralen zich volkomen in het andere brandpunt vereenigen.

Het brandpunt van eenen elliptischen spiegel is gevolglijk het meest geschikte punt, om er het voorwerp in te plaatsen, waarvan men een vergroot beeld verlangt. De stralen, die van elk buiten het brandpunt gelegen punt komen, worden niet meer op eenig volkomen vast punt vereenigd, maar men heeft zoo vele vereenigingspunten als de spiegel terugkaatsingspunten bezit. Dit zal uit de volgende beschouwing blijken.

Indien in het naastbij gelegen brandpunt x van het spiegelgedeelte ab een voorwerp gh geplaatst is, dan zullen, zoo als uit het zoo even gezegde volgt, de stralen uit deszelfs midden bij x zich verzamelen in y . Trekt men (hetgeen, om eene verwarring te voorkomen, in de figuur nagelaten is) langs de punten a en b raaklijnen, en hierop loodlijnen, en maakt men vervolgens de hoeken van terugkaatsing gelijk aan de hoeken van inval, dan zal men bevinden, dat zich de bij a en b teruggekaatste randstralen vereenigen zullen in g' en h' . Men zal dus daar ter plaatse een vergroot omgekeerd beeld van het voorwerp hebben, hetwelk in een vlak geplaatst is, dat evenwijdig loopt met dat van het voorwerp.

Wanneer het voorwerp gh gelegen is in het verst verwijderde brandpunt y voor het spiegelgedeelte ab , of, hetgeen

hetzelfde is, in x voor het tegenovergestelde spiegelgedeelte st , dan zal zich, in het laatste geval, in y een verkleind omgekeerd beeld $g''h''$ vormen, of gh , indien ab de spiegel en $g'h'$ het voorwerp is. Ook hier loopt het vlak van het beeld evenwijdig met dat van het voorwerp. Anders is het echter met de beelden, die van de overige gedeelten der spiegelende oppervlakte worden opgevangen. Zoo zullen de randstralen van het spiegelgedeelte fe zich vereenigen in $g'''h'''$, en het beeld dus in de as gelegen zijn, d. i. loodrecht staan op de rigting van het voorwerp gh . De grootte van het beeld is in dit geval volkomen gelijk aan die van het voorwerp.

Voor het spiegelgedeelte cd zal het vergrootte beeld in de schuinsche rigting $g''''h''''$ geplaatst zijn, en evenzoo zal men bevinden, dat voor elk ander spiegelgedeelte het beeld eene eigene rigting aannemen moet, en tevens grooter of kleiner zijn, in reden der verhouding tusschen den afstand van het midden des voorwerps tot aan het middengedeelte des spiegels, en den afstand van daar tot aan het andere brandpunt, dat is: het beeld $g'h'$ zal zooveel malen grooter zijn dan gh als Ax begrepen is in xy ; $g'''h'''$ zooveel malen grooter dan gh als ly grooter is dan lx , terwijl $g''''h''''$ en gh gelijk zullen zijn, omdat kx gelijk aan ky is. De verderaf naar B toe gelegen spiegelgedeelten moeten klaarblijkelijk dus beelden geven, die al kleiner en kleiner worden, totdat zij nabij B hun minimum bereiken, om vervolgens, aan de andere helft der spiegelende oppervlakte voortgaande, van B naar A weder aan te groeijen.

Tot nu toe hebben wij alleen het oog gehad op de randstralen, die door de spiegelende gedeelten ab , cd , fe enz. worden teruggekaatst. Doch daar elk dier spiegels een gedeelte uitmaakt van de geheele ellipsoidische oppervlakte, en

behalven van den rand ook van alle andere punten des spiegels stralen worden teruggekaatst, die beelden vormen, zoo volgt uit het voorgaande, dat die beelden niet volkomen op elkander vallen, maar dat alle onderling in rigting en afmeting verschillen, en zij eigenlijk alleen het middelpunt gemeen hebben.

Voor de elliptische spiegels bestaat dus ook eene afwijking, welke wel in aard verschilt van de sphaerische aberratie, doch in de uitwerking daarmede in zoo verre overeenkomt, dat de randen van het beeld zich nimmer volmaakt scherp kunnen vertoonen. Echter is deze soort van aberratie die wij de *elliptische* kunnen noemen, van veel minder belang, dan de sphaerische, inzonderheid voor mikroskopen, daar hier de voorwerpen steeds zeer klein zijn, en de grenzen van deze dus altijd zeer dicht nabij het brandpunt vallen, waar de aberratie nul is. Overigens kan men dezelve, door het kiezen van een gepast gedeelte van de ellipsoidische oppervlakte tot spiegel, nog verminderen, en dus de opening van dezen grooter maken; doch op dit en andere hiertoe behoorende punten, zal ik in het vervolg bij de behandeling der katadioptrische mikroskopen, nader terugkomen (1).

(1) De hier gegeven verklaring van de werkingwijze der elliptische spiegels is, met eenige wijziging, ontleend aan Doppler, *Ueber eine wesentliche Verbesserung der katoptrischen Mikroskope*. Prag. 1845.

*Over de breking der lichtstralen, en de werking
der lenzen.*

24. Na, voor zoover het tot het beoogde doel noodig schijnt, de wetten beschouwd te hebben, die de lichtstralen bij de terugkaatsing volgen, willen wij thans overwegen, wat er geschiedt, indien het licht overgaat van de eene doorschijnende middenstof in de andere, en welke de invloed van den vorm dier middenstoffen op de rigting der lichtstralen is.

25. Het is genoeg bekend, dat zoodra een lichtstraal eene middenstof binnentreedt, welke in digtheid verschilt van die, waarin zich de straal tot daartoe bewogen heeft, zij van rigting verandert. De wetten dier veranderde rigting, of van de breking der lichtstralen, zijn zeer eenvoudig en worden opgehelderd door fig. 11. ABCD stelle de doorsnede van eene dikke plaat voor, uit glas of eenige andere stof bestaande welke digter dan de lucht is, dan zal elke straal, die, zoo als *lo*, loodregt op de oppervlakte valt, er ongebroken doorgaan, en aan de tegenovergestelde oppervlakte bij *p* weder uittreden. Alle andere stralen, welke in eene schuinsche rigting de oppervlakte bereiken, zullen van hunnen weg afwijken, zoodra zij uit de lucht in het glas overgaan, en naar de loodlijn *op* toe gebogen worden, doch daarbij in het-

zelfde vlak blijven. De straal ao zal langs de rigting oa' zijnen weg vervolgen, bo langs ob' , co langs oc' . Men bemerkt dat de afwijking der stralen van hunne oorspronkelijke rigting des te sterker is, hoe schuinscher zij invallen, want de hoek coc' is merklijk kleiner dan bob' , en deze wederom dan aoa' . Doch, schoon de mate van breking verschilt naar gelang van de meer of minder schuinsche rigting der invallende stralen, blijft de verhouding tusschen de lengte der lijnen de en $d'e'$, fg en $f'g'$, hi en $h'i'$, die loodregt op de loodlijn getrokken worden van uit de punten, waar de stralen den omtrek eens cirkels snijden, welks middelpunt o is, onveranderd dezelfde, dat is, met andere woorden, er bestaat eene bepaalde verhouding tusschen den sinus van elken hoek van inval aol , bol , col , welke gevormd worden door de stralen ao , bo en co met de loodlijn lo , en den sinus van elken hoek van breking $a'op$, $b'op$ en $c'op$, gevormd door de gebroken stralen $a'o$, $b'o$ en $c'o$ met de loodlijn op .

26. In het gegeven geval, namelijk voor den overgang der stralen uit de lucht in gewoon glas, is die verhouding ongeveer als 2:5 of 1:1,5, d. i. de lijnen de , fg en hi zijn anderhalf maal langer dan $d'e'$, $f'g'$ en $h'i'$, en het is dus deze verhouding tusschen den sinus van den hoek van inval, en den sinus van den hoek van breking, — welke verhouding voor eene en dezelfde stof onder gelijke omstandigheden steeds dezelfde blijft, — welke als vaste maat voor het brekend vermogen dier stof kan dienen. Men noemt die verhouding daarom den brekingsaanwijzer of index der breking. Van het als voorbeeld gestelde stuk glas zoude dus 1,5 de brekingsaanwijzer zijn. Voor water bedraagt dezelve 1,556; voor de dampkringslucht 1,000294. Voor eenige zelfstan-

digheden, welke bij de vervaardiging van mikroskopen in aanmerking komen, zijn de brekingsaanwijzers verders:

Crownglas van verschillende samenstelling	1,500—1,554.
Flintglas " " "	1,664—2,028. (1)
Boraxglas (boraxzuur lood) "	2,065
Bergkristal " " "	1,565
Beryl " " "	1,598
Topaas " " "	1,610—1,652.
Saphir " " "	1,794
Granaat " " "	1,815
Diamant " " "	2,459
Canadabalsem " "	1,552—1,549. (2)

27. Indien een lichtstraal van uit een digter ligchaam in een dunner overgaat, dan is de sinus van den hoek van breking grooter dan die van den hoek van inval, en bij gevolg wordt de straal van de loodlijn af gebogen. Zoo zullen b. v. in fig. 11 de stralen $c'o$, $b'o$ en $a'o$, uit glas in de lucht tredende, hunnen weg vervolgen langs oc , ob en oa , en in fig. 12 zal de lichtstraal ao , na langs ob door eene glasplaat met evenwijdige oppervlakten gegaan te zijn, in de lucht komende, weder de rigting bc aannemen, die evenwijdig is aan die van ao . Hetzelfde zal gebeuren, indien de stralen door verscheidene met evenwijdige vlakken aan elkander grenzende doorschijnende lichamen gaan, alvorens weder in de lucht te geraken. Fig. 15 stelde de doorsnede van eene plaat flint-

(1) Volgens Merz (*Die neuen Verbesserungen am Microscope* 1844 s. 21) verschilt de brekingsindex van flintglas van 1,588 tot 1,664.

(2) Deze getallen zijn ontleend aan de door Pouillet (*Elements de Physique* 4^e ed. p. 181) en Radicke (*Handbuch der Optik*. 1839 II. p. 444) gegeven tafels, waar tevens de namen van hen, die de bepalingen verrigt hebben, worden gevonden.

glas en van eene plaat crownglas voor, die elkander in uv raken, dan zal de straal ad , in het flintglas tredende, sterk naar de loodlijn toegebogen worden. Bij den overgang in het minder brekende crownglas, bij o , heeft eene geringe buiging van de loodlijn af plaats, en wanneer de straal aan de tegenovergestelde oppervlakte weder in de lucht komt, dan zal hare rigting bc zijn, welke evenwijdig is met de oorspronkelijke rigting ad .

28. Uit het zoo even gezegde volgt, dat parallelle stralen, na door eene met evenwijdige vlakken begrensde middenstof gegaan te zijn, parallel zullen blijven, indien zij aan de tegenovergestelde oppervlakte gekomen hunnen weg in lucht vervolgen. Indien in fig. 12 de invallende stralen ao en do evenwijdig zijn, dan is zulks mede het geval met de gebroken stralen bc en fg . Wanneer men derhalven door eene glasplaat naar eenig ver verwijderd voorwerp ziet, dan is het eenige gevolg der verandering, welke hierdoor in de rigting dier stralen, welke niet loodrecht op de glasoppervlakte vallen, wordt te weeg gebracht, dat het voorwerp, waarvan zij uitgaan, zich schijnbaar op eene andere plaats bevindt, dan die, welke het inderdaad inneemt. Een in c en g geplaatst oog zal een voorwerp, waarvan de stralen ao en do komen, in de rigting van ca' en gd' meenen te zien.

29. Doch indien de opvallende stralen divergerend zijn, dan bepaalt zich de invloed eener middenstof met evenwijdige oppervlakten niet tot eene eenvoudige verandering in de schijnbare rigting, waarin zich het voorwerp bevindt. Indien AB fig. 14 wederom de doorsnede eener glasplaat voorstelt, en van uit een lichtend punt a een lichtkegel uitgaat, welks tophoek bac is, dan zullen de buitenste stralen ab en ac ,

wanneer zij het glas binnentreden, het sterkst gebroken worden, omdat zij onder den scherpsten hoek op de oppervlakte vallen. Na uit het glas weder in de lucht gekomen te zijn, zullen zij hunnen weg vervolgen langs fl en gs , welke, benedenwaarts verlengd wordende, elkander in o zouden ontmoeten. De meer binnenwaarts, nabij de as ap , de glasoppervlakte treffende stralen ad en ae gaan aan de tegenovergestelde oppervlakte langs hm en in , waarvan de verlengden hun ontmoetingspunt in r hebben.

Voor een oog derhalve, hetwelk de stralen van het lichtend punt a , na door de glasplaat gegaan te zijn, opvangt, zullen de stralen niet alleen schijnbaar van een punt komen, hetwelk meer nabij of zelfs in het glas gelegen is, maar het lichtend punt zal zich als eene reeks van boven elkander in de as gelegen lichtende punten vertoonen. Stelt men in de plaats van een enkel lichtend punt een voorwerp, waarvan een groot aantal lichtkegels uitgaan, dan zullen zich op gelijke wijze eene reeks van elkander bedekkende beelden van het voorwerp vormen, die op de duidelijkheid van het zien eenen dergelijken invloed uitoefenen, als reeds ten opzichte der sphaerische aberratie bij spiegels (§ 20) is opgemerkt, en later voor lenzen zal worden aangetoond.

Dezen invloed eener glasplaat op den gang der stralen, welke van zeer nabij zijnde voorwerpen komen, zullen wij later als de oorzaak leeren kennen, waarom de dikte der glasplaatjes, waarmede men gewoon is de mikroskopische voorwerpen bij de waarneming te bedekken, als geenzins onverschillig voor de duidelijkheid van het beeld moet beschouwd worden.

30. Wanneer een lichtstraal uit glas in de lucht overgaat,

zoo als de stralen ao , bo en co , fig. 13, dan vloeit uit het reeds gezegde voort, dat de gebroken stralen oa' , ob' en oc' zich al verder en verder van de loodlijn lo verwijderen, naarmate de invallende stralen eenen grooteren hoek met hare verlengde oe vormen. Het is uit de figuur duidelijk, dat er dus een zekere grens moet bestaan, waarbij het voor de stralen in glas, of in eenige andere dichtere stof, nog mogelijk is in de lucht te geraken, want indien de hoek coe nog iets grooter ware, b. v. zoo als foe , dan zoude de gebroken straal langs de oppervlakte naar f' gaan, en de hoek van breking lof' 90° bedragen. Deze grootstmogelijke hoek (hier derhalve foe) heet de grenshoek. Hare grootte verschilt natuurlijk in verhouding tot den brekingsindex, en is des te geringer, naar mate deze grooter is. Voor crownglas, met eenen brekingsindex van 1,553, is de grenshoek $40^\circ, 45'$; en voor flintglas, dat eenen brekingsindex van 1,6 heeft, bedraagt dezelve $58^\circ, 41'$.

51. Elke straal derhalve, die, zoo als do , nog schuin-scher invalt dan fo , komt niet meer in de lucht, maar ondergaat, aan de grensscheiding der glas- en luchtoppervlakte, eene terugkaatsing langs od' , en wel volgens de gewone wet der terugkaatsing van spiegelende oppervlakten, dat namelijk de hoek van terugkaatsing gelijk is aan den hoek van inval; en daar dit het eenige geval is, waar de terugkaatsing geheel en volledig is, zoo is men gewoon dezelve de *totale reflectie* te noemen. In het vervolg zullen wij zien, dat de inrigting van verscheidene mikroskopische werktuigen op dit beginsel steunt.

Ik moet hier alleen nog doen opmerken, dat zelfs door de totale reflectie niet al de lichtstralen zonder eenig verlies

weder naar buiten treden, want eensdeels wordt aan elke oppervlakte een gedeelte der stralen teruggekaatst, en anderendeels wordt een deel der lichtstralen door de brekende middenstof onregelmatig verstrooid, of, zoo als men het gewoonlijk noemt, geabsorbeerd.

52. Zien wij thans wat er, ingevolge der zoo even kortelijk ontwikkelde grondwetten van de breking der lichtstralen, geschieden moet, zoodra de grensvlakken der brekende middestoffen niet onderling evenwijdig zijn.

Indien abc , fig. 16 A, de doorsnede is van een glazen prisma, en op de oppervlakte ab een straal do valt, dan zal dezelve naar de loodlijn oh toe gebroken worden, en bij e de tegenovergestelde oppervlakte bereikende, en in de lucht tredende, van de loodlijn eg af, in de rigting van ef , gebroken worden.

Ware de hoek van inval dov kleiner, dan zoude ook de afwijking geringer zijn. Dit is het geval in B, waar de straal nz eenen meer scherpen hoek met de loodlijn yz vormt. De straal dus minder gebroken wordende zal bij q in de lucht komen, en daar langs eene rigting qr verder gaan, welke minder schuinsch is, dan de rigting ef in A.

Keeren wij de hier voorgestelde doorsnede in gedachte om, dan is het duidelijk, dat in zulk een geval de gebroken stralen ef en qr zich, in stede van ter regter, even ver ter linker zijde van de loodlijn zouden verwijderen. Vereenigen wij vervolgens deze doorsneden, en voegen er die van eene glasplaat met evenwijdige oppervlakten tusschen, dan hebben wij de figuur 17, uit welke blijkt, dat een zekere vorm van de oppervlakte mogelijk is, waarbij alle de in het midden der vlakken ab , bc , cd , de en ef vallende

stralen, na door het glas gegaan te zijn, convergerend worden, zoodat zij zich in één punt x vereenigen.

33. Indien wij verder overwegen, welken weg de straal ef fig. 18 A zal moeten nemen, die evenwijdig met de loodlijn op het vlak ad valt, dan zullen wij bevinden, dat dezelfde weder in de lucht komende, van de loodlijn gi af, langs gh moet voortgaan. In fig. 18 B zal dus, van de evenwijdig invallende stralen ab , cd en ef , alleen cd niet van rigting veranderen, bij den overgang van uit de lucht in het glas, en van daar weder in de lucht, maar de zijdelings invallende stralen ab en ef gaan langs $b'a'$ en $f'e'$, en worden dus van paralel divergerend.

34. Op deze grondbeginselen steunt de theorie der lenzen. Denkt men zich namelijk fig. 17 als de doorsnede van een gedeelte van een regelmatig veelvlakkig ligchaam, dan is daardoor de werking der eene hoofdklasse van lenzen, t. w. van de *stellige* of *verzamelingslenzen* verzinneijkt, terwijl fig. 18 B die der *ontkennende* of *verstrooijingslenzen* verduidelijkt.

In deze hoofdklassen onderscheidt men weder verschillende soorten, terwijl bovendien beide hoofdvormen, namelijk die met *bolle* en die met *holle* oppervlakten, onderling vereenigd kunnen zijn. Men heeft dus:

a. Verzamelingslenzen.

1°. De *biconvexe* of dubbelbolle lens. Fig. 19 A en B. De beide oppervlakten kunnen eene gelijke kromming (A) of eene ongelijke (B) hebben.

2°. De *plano-convexe* of platbolle lens, als in C.

3°. De *convergerende meniscus*, fig. 19 D, een *concavo-*

convexe lens, waarvan de holle oppervlakte met eenen grooteren radius beschreven is, dan de bolle.

b. Verstrooijingslenzen.

4°. De *biconcave* lens, fig. 19 E en F. De beide krommingen zijn gelijk of ongelijk.

5°. De *plano-concave* lens, G.

6°. De *divergerende meniscus*, H, een *convexo-concave* lens, waarvan de bolle oppervlakte eenen grooteren radius heeft, dan de holle.

De *eenvoudige meniscus*, fig. 20, waarin beide oppervlakten eene gelijke kromming hebben, behoort niet onder de lenzen.

55. De rechte lijn, die door het midden der lens gaat, en loodrecht op het vlak staat, waarin de randen der lens gelegen zijn, heet de *optische as* der lens. Voor de *biconcave* lens AB, fig. 21, is deze as de lijn *pq*.

56. Lenzen, die in optische werktuigen gebruikt zullen worden, moeten altijd naauwkeurig *gecentreerd* zijn, d. i. de punten *b* en *c* fig. 21, waar de optische as de oppervlakten snijdt, moeten evenver van alle punten van den rand verwijderd zijn. Men herkent zulks daaraan, dat de rand der lens overal even dik is. Het punt in het midden eener naauwkeurig gecentreerde lens heet het *optische middelpunt*. Hetzelve ligt altijd in de as der lens, en meer of minder van de beide oppervlakten verwijderd, naar gelang van den vorm dier oppervlakten.

57. Volgens de zoo even gegeven voorstelling kan de bolle of de holle oppervlakte eener lens gedacht worden te bestaan

uit een oneindig aantal platte vlakken, waarop de radii van den bol, die door deze vlakken begrensd wordt, even zoo vele loodlijnen daarstellen (*og*, *oh*, *oi*, *ok* en *ol* in fig. 17; *ob'*, *od'* en *of'* in fig. 18 B). Wij willen thans overwegen, welken weg de lichtstralen door de lenzen van onderscheiden gedaante moeten nemen.

In de eerste en voornaamste plaats komen hier de verzamelingslenzen in aanmerking.

Indien een straal *d e* fig. 21, afkomstig van een oneindig ver verwijderd lichtend punt, b. v. van de zon, de oppervlakte eener biconvexe glazen lens treft, evenwijdig met de optische as *pq*, dan zal dezelve, naar de loodlijn *eh* toe gebogen wordende, bij *f* het glas verlaten, en zich verders van de loodlijn *fg* af buigende ergens in *o* de optische as snijden. Dit nu is het geval met alle stralen, die, zoo als in fig. 22, parallel met de optische as op de oppervlakte vallen, en zich in hetzelfde punt *o* snijden, hetwelk men het *hoofdbrandpunt* der lens noemt.

Het is duidelijk, dat voor plano-convexe lenzen een dergelijk vereenigingspunt bestaat. Hier moet men echter twee gevallen onderscheiden. Is de bolle oppervlakte (fig. 25) naar de lichtbron toe gekeerd, dan vallen de evenwijdige stralen schuins in, en zij nemen derhalven dadelijk bij den overgang in het glas reeds eene convergerende rigting aan. Wordt daarentegen de platte zijde (fig. 24) door de stralen getroffen, dan gaan deze onveranderd door het glas, en worden eerst gebroken op het oogenblik, dat zij aan de bolronde zijde in de lucht treden.

Voor den convergerenden meniscus is de weg der evenwijdige stralen afgebeeld in fig. 25 en 26.

58. De afstand van het hoofdbrandpunt van het optische middelpunt der lens hangt af: *ten eerste* van den graad van kromming der beide oppervlakten, en *ten tweede* van het brekend vermogen der gebezigde middenstof. (1)

Voor gewoon glas, waarvan de brekingsindex $= 1,5$ is, leert de berekening, dat bij eene plano-conveve lens (fig. 25) de brandpuntsafstand gelijk is aan den middellijn van den bol, waarvan de bolle oppervlakte der lens een gedeelte uitmaakt. Voor eene biconvexe glazen lens (fig. 22), welker oppervlakten gelijke krommingen hebben, ligt het brandpunt juist op de helft van dien afstand, namelijk in het middelpunt van den bol, en de brandpuntsafstand is dus gelijk aan de lengte van den radius.

Voor praktische oogmerken is het in den regel voldoende, de plaats van het brandpunt op deze wijze te bepalen, omdat de lenzen doorgaans van glas gemaakt worden, welks brekingsindex weinig meer dan 1,5 bedraagt. Zoodra echter stoffen gebezigd worden, die eenen anderen brekingsindex bezitten, dan wordt ook de brandpuntsafstand eene andere.

Indien uit de volgende stoffen biconvexe lenzen werden vervaardigd, die allen denzelfden graad van kromming bezaten, namelijk voor beide oppervlakten eenen radius van 10 deelen, b. v. millimeters, dan zouden de brandpuntsafstanden, gerekend van het optische middelpunt af, en dus zonder de dikte der lens in rekening te brengen, de volgende zijn:

(1) Indien de dikte der lens buiten rekening gelaten, en de radii der beide oppervlakten R en r , de brekingsindex n , en de brandpuntsafstand p genoemd worden; dan is $p = \frac{Rr}{(n-1)(R+r)}$

	Brekingsindex.	Brandpuntsafstand.
Gewoon glas	1,500.	10,00 deelen.
Crownglas	1,554.	9,38 »
Flintglas	1,600.	8,55 »
Granaat	1,815.	6,19 »
Saphir	1,794.	6,29 »
Diamant	2,459.	5,48 »

Eene diamanten lens, van gelijke grootte en vorm als eene glazen lens, zal dus weinig meer dan $\frac{1}{3}$ van den brandpuntsafstand dezer laatste hebben.

Het is uit den aard der zaak zeer moeilijk, en bij kleine mikroskopische lenzen zelfs ondoenlijk, om uit den graad van kromming en het brekend vermogen der lenzen hunnen brandpuntsafstand te berekenen. Straks echter zal ik eenige praktische middelen opgeven, waardoor dezelve met genoegzame juistheid kan bepaald worden.

59. Voor ons oogmerk is het inzonderheid van belang te onderzoeken, welken weg de stralen nemen, die uitgaan van een voorwerp, dat zich niet, gelijk de zon, op eenen oneindigen afstand van de lens, maar integendeel digt bij hare oppervlakte bevindt. In dit geval gaan van ieder lichtend punt van het voorwerp lichtkegels uit, welker toppunt het lichtende punt, en welker grondvlakte de oppervlakte of de opening van de lens is. De stralen, die op de lens vallen, zijn derhalven divergerend, en wel in des te sterkere mate, naar gelang het lichtend punt digter bij de lens is.

Hierbij zijn, even als wij het vroeger (§ 12) van de werking der holle spiegels zagen, verschillende gevallen mogelijk.

Vooreerst kan het lichtend punt *o* fig. 22, 25 en 24 juist in het hoofdbrandpunt der lens gelegen zijn. In dit

geval zullen de stralen, na door de lens gegaan te zijn, onderling en met de optische as evenwijdig zijn geworden.

Ten tweede kan het lichtend punt gelegen zijn, tusschen het hoofdbrandpunt en de oppervlakte der lens. In fig. 27 zij o het hoofdbrandpunt voor parallelle stralen, die op de tegenovergestelde oppervlakte der lens vallen. Is het lichtend punt in a , dan zullen de stralen, die van daar uitgaan sterk divergerend op de lens vallen. Daar gekomen, zullen zij eenigzins naar elkander toe gebogen worden; dit zal nog iets toenemen bij hunnen overgang in de lucht, aan de tegenovergestelde oppervlakte der lens, waar zij zich naar $a'a'a'$ begeven. Steeds echter zullen zij divergerend blijven. De mate der uiteenwijking van de door de lens gebroken stralen is des te geringer, hoe nader het lichtend punt zich bij het hoofdbrandpunt o bevindt, en des te sterker, hoe naderbij het lichtend punt aan de oppervlakte is. Is hetzelfde b. v. in b , dan zullen de stralen zich naar $b'b'b'$ begeven.

Wij zullen straks zien, dat op deze eigenschap der lenzen om de stralen, die van eenig voorwerp komen, minder divergerend te maken, de geheele theorie van derzelver gebruik in het enkelvoudig mikroskoop steunt.

Indien zich, *ten derde*, het lichtend punt in de optische as verder van de lensoppervlakte bevindt, dan de hoofdbrandpuntsafstand, b. v. in a fig. 28, waar o het hoofdbrandpunt is, dan zullen de gebroken stralen eene convergerende rigting aannemen, en zich ergens, b. v. in a' , in de optische as vereenigen. — Indien het lichtend punt in b , op eenen afstand van de lens, gelegen is, welke het dubbele bedraagt van den afstand van het brandpunt o of o' , dan zal het vereenigingspunt der stralen aan de andere zijde der lens

gelegen zijn in b' , d. i. even ver achter als het lichtend punt vóór de lens. Door nog grootere verwijdering van het lichtend punt, nadert het vereenigingspunt meer en meer het hoofdbrandpunt o' . Door daarentegen het lichtend punt nader te brengen tot het andere hoofdbrandpunt o , wordt het vereenigingspunt der stralen al verder en verder verwijderd, en de stralen minder convergerend, totdat, het eindelijk in o vallende, de stralen zich nergens meer vereenigen, maar, zoo als reeds gezegd is, parallel worden.

40. Stralen eindelijk, die, zoo als $a'a'a'$ fig. 27, convergerend op eene bolle lens vallen, worden daardoor nog sterker convergerend gemaakt, en vereenigen zich altijd in een punt a' , dat tusschen het hoofdbrandpunt o en de lens in ligt. Zijn de stralen nog meer convergerend, zoo als $b'b'b'$, dan valt het vereenigingspunt ook des te digter bij de lens in b .

41. Al het tot hiertoe gezegde, omtrent den gang der lichtstralen door bolle lenzen, geldt ook van hunnen doorgang door bollen. Alleenlijk is het duidelijk, dat aangezien zij, in verhouding tot lenzen van gelijke kromming, eene aanzienlijke dikte hebben, hun hoofdbrandpunt ook veel digter bij de oppervlakte zal gelegen zijn, zoo als in o fig. 29. Ware het niet, dat bij glaslenszen, gelijk wij zagen, ten gevolge der tweede breking bij den overgang in de lucht, de stralen nog meer convergerend werden, en dat juist daarom het brandpunt eener plano-convexe glazen lens in den omtrek van den bol ligt, waarvan de lensoppervlakte een gedeelte uitmaakt, dan zoude bij een glazen bol het brandpunt ook in den omtrek vallen. Dit is het geval niet, omdat de stralen hier door het glas alleen gebroken zijn, alvorens den omtrek te bereiken.

Ten einde de werking van lenzen en bollen gemakkelijker te vergelijken, heb ik in het volgende tafeltje de brandpuntsafstanden voor bollen van dezelfde stoffen zamengesteld, van welke in het vorige tafeltje de brandpuntsafstanden voor lenzen zijn opgeteekend. Veronderstellende dat de kromming dezelfde is, dat namelijk de halve doormeter van den bol 10 deelen bedraagt, dan zijn de afstanden van hunne brandpunten (1):

	Van het middel- punt des bols af gerekend.	Van de opper- vlakte af ge- rekenend.
Gewoon glas	15,00.	5,00.
Crownglas	14,56.	4,56.
Flintglas	15,55.	5,55.
Granaat	11,59.	1,59.
Saphir	11,29.	1,29.
Diamant	4,85.	— 5,15.

Uit de vergelijking van lenzen en bollen blijkt dus het voordeel der eersten boven de laatsten, daar bij dezen de afstand van het brandpunt van de oppervlakte altijd merkkelijk geringer is, al is de kromming der oppervlakte dezelfde. Tevens blijkt, dat deze afstand voor sterk brekende stoffen zoo gering wordt, dat bij eenen diamanten bol het brandpunt zelfs binnen in denzelven zoude gelegen zijn, op eenen aanmerkelijken afstand, ongeveer $\frac{1}{4}$ des doormeters, van de oppervlakte, d. i. even veel daarbinnen, als hetzelfde voor een bol van gewoon glas daarbuiten ligt.

(1) Berekend naar de formule $p = \frac{(1 - \frac{1}{2} n) r}{n - 1}$, waarin n de brekingsindex, r de halve middellijn, en p de brandpuntsafstand van de oppervlakte beteekent.

42. Van voorwerpen, die vóór eene lens geplaatst zijn, gaan, zoo als van zelf spreekt, nagenoeg alle stralen van punten uit, die buiten de optische as der lens gelegen zijn. De stralen vereenigen zich dan in een punt, dat zich aan de tegenovergestelde zijde der optische as bevindt. Indien AB fig. 50 eene lens is, waarvan het brandpunt is in o , dan zullen van een voorwerp ab de stralen, die uit het punt c komen, dat in de as gelegen is, zich ook weder in een ander punt c' der as vereenigen, doch voor de stralen, die van a komen, is a' het vereenigingspunt, terwijl die van b in b' te samen komen. Daar nu alle de stralen, welke van het voorwerp tusschen a en b uitgaan, zich weder ergens tusschen a' en b' ontmoeten, zoo ontstaat daar ter plaatse een beeld, en wel een omgekeerd beeld van het voorwerp. Van uit die vereenigingspunten zetten dan de stralen wederom divergerend hunnen weg voort, gelijk in de figuur is aangeduid.

In het onderstelde geval bevindt zich het voorwerp nog binnen den dubbelen brandpuntsafstand der lens, en het beeld vertoont zich zooveel malen grooter, als de lijn cm , of de afstand van het voorwerp van het optische middelpunt m , begrepen is in de lijn mc' , welke de afstand is tusschen het middelpunt der lens en het beeld. (1) Door het voorwerp derhalven nader tot het hoofdbrandpunt te brengen, wordt zoowel de afstand van het beeld als het beeld zelf grooter. Verwijdert men daarentegen het voorwerp, dan valt de plaats van het beeld nader bij de andere oppervlakte der lens, en, zoodra de afstand van het voorwerp gelijk is aan den dubbelen brandpuntsafstand, staan voorwerp

(1) De afstand van het beeld is gelijk aan $\frac{ap}{a-p}$, waarin a de afstand van het voorwerp, en p de brandpuntsafstand der lens is.

en beeld even ver van de lens, en zijn ook even groot. Door eene nog grootere verwijdering van het voorwerp, wordt het beeld kleiner, en nadert hetzelfde de lensoppervlakte meer en meer. Ware b. v. in fig. 50 $b'a'$ het voorwerp, dan zoude ab deszelfs beeld zijn. Eindelijk, indien het voorwerp in het hoofdbrandpunt o of daarbinnen geplaatst werd, zouden alle stralen parallel of divergerend worden, en er dus in dit geval geen waar beeld kunnen ontstaan.

45. De zoo even gegeven voorstelling behoeft, om geheel juist te zijn, nog eene wijziging, welke inzonderheid voor de theorie van het mikroskoop van belang is. Indien namelijk het voorwerp, waarvan de stralen uitgaan, in een plat vlak is gelegen, waarvan ab fig. 50' de doorsnede is, dan zal deszelfs beeld niet in een plat, maar in een (volgens eene kegelsnede) gebogen vlak liggen, waarvan $b'a'$ de doorsnede is. Dit vloeit daaruit voort, dat de buiten de as pp' gelegen punten (f, e, a en g, h, b) van het voorwerp, zich op des te grooteren afstand van het optische middelpunt m bevinden, hoe verder zij verwijderd zijn van het punt p , waar de as het vlak snijdt; fm is grooter dan pm , em grooter dan fm , am grooter dan em , terwijl de afstanden gm, km en bm , aan de andere zijde, volgens dezelfde verhouding aangroeijen.

Daar nu het beeld des te nader bij de lens valt, hoe verder het lichtend punt van het optische middelpunt verwijderd is, zoo kan hetzelfde onmogelijk in het platte vlak $d'c'$ gelegen zijn, omdat dan de verst af gelegen punten a en b van het voorwerp zouden beantwoorden aan de vereenigingspunten d' en c' , waarvan de afstanden md' en mc' grooter zijn, dan mp' . Dit nu is in strijd met den zoo even gegeven regel, dat het beeld de lens nadert, naar ge-

lang het voorwerp er zich van verwijderd. Aan de punten a en b beantwoorden derhalven andere punten b' en a' , die iets digter bij het optische middelpunt gelegen zijn, dan het vereenigingspunt p' in de as, en hetzelfde geldt in afnemende mate van al de overige punten e, f enzv., wier stralen in f', e' enzv. te zamen komen. De lijn, welke al deze punten onderling verbindt, is dus eene kromme lijn, en wel met toenemende kromming naar gelang hare punten verder van de as zijn gelegen.

Op eene dergelijke wijze kan men aantoonen, dat, indien de rechte lijn $d'e'$ het voorwerp voorstelt, deszelfs beeld in de kromme lijn cd zal vallen, doch wederkeerig vloeit hier ook uit voort, dat indien de kromme lijn cd de doorsnede van het vlak beteekent, waarin het voorwerp gelegen is, het beeld daarentegen in het platte vlak zal liggen, waarvan $d'e'$ de doorsnede is.

Wanneer derhalven het beeld van een plat of regtlijnig voorwerp op een plat scherm wordt opgevangen, dan kan hetzelfde alleen nabij de as scherp begrensd zijn, daar de verwijderde gedeelten stralenkegels ontvangen, die reeds vereenigd geweest zijn, en nu weder divergeren. Door het voorwerp tot de lens te doen naderen, kan men wel is waar de beelden van deze verder verwijderde punten scherper doen te voorschijn komen, doch niet dan ten koste van de nabij de as gelegen deelen, daar het scherm daar ter plaatse dan door convergerende nog niet vereenigde stralen getroffen wordt.

Ten einde dus het beeld scherp begrensd te verkrijgen, zoude het moeten worden opgevangen op een gebogen vlak, waarvan de kromming zoodanig is, dat dezelve geheel beantwoordt aan de kromming van het vlak, waarin de vereenigingspunten gelegen zijn. Doch in dit geval zoude de

vergrooting niet dezelfde zijn voor de onderscheiden punten van het beeld. Daar de betrekkelijke grootte van het beeld namelijk bepaald wordt, door de verhouding, tusschen den afstand van het lichtend punt tot aan het optisch middelpunt, en den afstand van daar tot aan het vereenigingspunt der stralen, d. i. in het gegeven geval door $pm : mp'$, $fm : mf'$, $em : me'$, $am : ma'$ enzv., zoo is het gemakkelijk in te zien, dat dewijl de punten f' , e' , a' enzv. tot de lens naderen naar mate f , e , a enzv. zich daarvan verwijderen, de vergrooting ook af moet nemen met den meerderen afstand der punten van de as, zoodat dus het in $b'a'$ opgevangen beeld in p' het meest en in a en b het minst vergroot zal zijn, en het geheele beeld derhalven niet getrouw aan de verschillende deelen van het voorwerp beantwoordt, maar eenen verwrongen vorm verkrijgt. Dit ziet men het best door eene lens van 1—2 centim. brandpuntsafstand, op den vereischten afstand, boven een uit vierkante ruiten bestaand gaas te houden. Het luchtbeeld, hetwelk men dan achter de lens waarneemt, vertoont die ruiten dan niet regthoekig en gelijk, zoo als in fig. 67, maar naar den rand van het veld toe verbogen, zoo als in fig. 65.

Overigens is het duidelijk, dat, naar gelang het voorwerp verder van het optische middelpunt verwijderd is, het vlak waarin zich het beeld vormt meer en meer tot een plat vlak zal naderen, zoodat dus de kromming van hetzelfde in het algemeen afneemt, naar mate de brandpuntsafstand der lens toeneemt, en omgekeerd toeneemt, indien deze geringer wordt; terwijl voor dezelfde lens de kromming van het vlak vermeerderd, door het voorwerp naderbij, en vermindert, door hetzelfde verder van de lens te plaatsen.

44. Bij den gang der lichtstralen door *verstrooijingslenzen* moeten wij weder de rigting in het oog houden, die de stralen bezaten, alvorens de lens te bereiken.

Een met de optische as pq , fig. 51, evenwijdige straal ea zal, de holle oppervlakte van de biconcave lens AB bereikende, naar de loodlijn ab toe gebroken worden, en, bij c in de lucht komende, zich van de loodlijn ed af naar a' begeven. Alle de andere met de as evenwijdig invallende stralen nemen eene dergelijke rigting, en zoo worden de evenwijdige stralen door de verstrooijingslens divergerend gemaakt. Hierbij geldt de regel, dat al de gebroken stralen in rigtingen gelegen zijn, welker verlengden in een punt o vóór de lens zamenkomen. Dit punt heet het *verstrooijingspunt voor parallele stralen*. Men heeft het ook, schoon minder juist, het brandpunt genoemd.

Deszelfs plaats hangt, even als die van het brandpunt eener verzamelingslens, af van den graad van kromming en van het brekend vermogen der stof, waaruit de lens bestaat. Voor verstrooijingslenzen welke van glas gemaakt zijn, dat eenen brekingsindex van nagenoeg 1,5 bezit, kan men aannemen, dat de afstand van het verstrooijingspunt voor eene biconcave lens, met gelijke kromming aan weerszijden, gelijk is aan de lengte van den radius; voor eene plano-concave lens daarentegen aan het dubbele dier lengte.

45. Gaan de stralen van een in de as gelegen lichtend punt x fig. 52 uit, dan vallen zij divergerend op de lens, en worden nog sterker divergerend bij hunnen doortogt door dezelve. Hunne verlengden ontmoeten zich dan in eenig punt a , dat steeds tusschen het verstrooijingspunt o en de lens in gelegen is.

46. Voor convergerende stralen moet men drie gevallen onderscheiden.

Indien *vooreerst* hunne rigting zoodanig is, als in fig. 51 *a'c* enzv., dat hunne verlengden zich juist in het verstrooiingspunt *o* zouden ontmoeten, dan verlaten zij de tegenovergestelde oppervlakte der lens als paralelle stralen.

Is *ten tweede* hunne rigting meer convergerend, zoodat hunne verlengden, fig. 52, elkander op een punt *a* zouden snijden, hetwelk tusschen het verstrooiingspunt *o* en de lens gelegen is, dan worden zij door de breking wel minder convergerend, maar zij zullen zich toch nog in eenig punt *x* vereenigen.

Wanneer eindelijk *ten derde*, zooals in fig. 53, de verlengden der convergerende stralen hun vereenigingspunt hebben aan gene zijde van het verstrooiingspunt *o* in *a*, dan worden de stralen ten gevolge van de breking divergerend, en wel in des te sterkere mate, naar gelang *a* verder van *o* ligt.

47. Elke lens laat des te meer licht door, hoe grooter hare oppervlakte is, d. i. naar mate hare *opening* toeneemt. Door *openingshoek* verstaat men den hoek gevormd door de lijnen, die, op tegenovergestelde punten de randen der lens rakende, elkander in haar brandpunt ontmoeten. Zoo is in fig. 54 de hoek *aob* de openingshoek der lens *ab*. Hoe kleiner deze hoek wordt, en gevolglijk de doormeter der lens afneemt, des te sterker toenemend is het verlies aan licht en helderheid der beelden, want de lichtsterkten van twee lenzen van gelijke krommingen en ongelijke doormeters staan tot elkander in verhouding als de vierkanten dier doormeters. Eene lens van 5 millimeters doormeter zal dus

slechts $\frac{1}{4}$ doorlaten van het licht, dat door eene andere lens van 10 millim. doormeter gaat. Men ziet dus ligt het belang in, van aan de lenzen voor optische werktuigen, en inzonderheid voor mikroskopen, eene zoo groot mogelijke opening te geven.

48. Hierbij stuit men echter al spoedig op eene dergelijke zwaarigheid, als bij de sphaerische holle spiegels (§ 20), dat namelijk, ten gevolge van de bolvormige oppervlakte der lenzen, niet alle stralen, welke van een lichtend punt uitgaan, zich weder in één ander punt vereenigen, maar dat er in de werkelijkheid een oneindig groot getal vereenigingspunten bestaan, die achter elkander zijn gelegen. De daardoor te weeg gebragte afwijking draagt, even als bij spiegels, den naam van *sphaerische aberratie*.

Laat fig. 55 AB eene biconvexe lens zijn, dan zullen de digt bij de as gelegen evenwijdige stralen *a* en *b* elkander na de breking nagenoeg juist in het brandpunt *o* ontmoeten. De iets verder de oppervlakte der lens treffende stralen *c* en *d* zullen echter sterker gebogen worden, en in *v* samenkomen. Eindelijk de nabij den rand invallende stralen *e* en *f* zullen reeds in *x* hun vereenigingspunt hebben. De afstand van *x* tot *o* heet de *lengte der sphaerische aberratie*.

49. Dat de invloed der sphaerische aberratie niet anders dan schadelijk kan zijn, voor de scherpte en netheid der beelden door bolle lenzen verkregen, blijkt uit fig. 56. Wanneer, op verschillende punten der oppervlakte 1, 2, 3, 4, 4, 5, 2, 1 van de lens AB, stralen invallen van de uiteinden van het voorwerp *ab*, dan zullen de stralen, die bij 4 door de lens gaan zich vereenigen in *a*⁴ en *b*⁴; de stralen, welke

bij 3 de lens treffen, komen zamen in a^3 en b^3 ; die bij 2, in a^2 en b^2 , terwijl eindelijk de stralen, welke nabij den rand door 1 gaan, hunne vereenigingspunten in a^1 en b^1 zullen hebben. Daar nu het getal stralen, dat van elk lichtend punt op elk tusschenliggend gedeelte der lens valt, als oneindig groot moet gedacht worden, zoo volgt hieruit, dat er tusschen a^1b^1 en a^4b^4 een oneindig groot getal elkander gedeeltelijk bedekkende beelden komen, welke in grootte afnemen, naar gelang zij door stralen meer van den rand komende gevormd zijn. Plaatst men dus in z een scherm, dan zal men daarop het beeld a^4b^4 opvangen, en bovendien al de verstrooiingsbeelden, die zich vormen door het weder uiteenwijken der stralen, nadat zij zich in a^1b^1 , a^2b^2 , a^3b^3 , en al de overige tusschenliggende punten ontmoet hebben. Het gezamenlijk beeld, dat ontstaat door de vereeniging van al deze verstrooiingsbeelden, kan niet anders dan verward en onduidelijk zijn, en zulks te meer, naar mate het getal der afzonderlijke beelden, d. i. de opening der lens, grooter is.

50. Deze opening kan op tweederlei wijze verkleind worden. Men zoude namelijk alleen de nabij den rand, of alleen de nabij de as invallende stralen kunnen opvangen. In beide gevallen zoude de scherpte van het beeld toenemen, doch men geeft natuurlijk de voorkeur aan het afsluiten der randstralen, hetgeen ook daarom voordeliger is, omdat de aberratie zich in eene toenemende verhouding vergroot, hoe meer men zich van de as verwijderd. In de nabijheid van deze is zij hoogst gering, en bijna onmerkbaar. Men bezit derhalven in het verkleinen van de opening der lens het middel, om de uitwerkselen der sphaerische aberratie tot een

minimum te brengen, hetwelk ophoudt eenigen bespeurbaren invloed op de scherpte van het beeld uit te oefenen, doch deze verkleining gaat noodwendig gepaard met een aanzienlijk verlies aan lichtsterkte, hetgeen blijken kan bij de oudere mikroskopen, bij welker vervaardiging men als het eenige toen bekende middel, om de sphaerische aberratie te verminderen, de opening der lenzen zeer klein maakte.

51. Indien het mogelijk ware aan de lenzen eenen anderen vorm te geven, dan dien met sphaerische oppervlakten, dan zoude er een middel bestaan, om de sphaerische aberratie geheel te vernietigen. Het valt in het oog, dat, zoo bij de lens AB fig. 55 dat gedeelte der oppervlakte, waar deze door de stralen *c*, *d*, *e* en *f* getroffen wordt, eene iets andere kromming had, deze zoodanig zoude kunnen zijn, dat de gebroken stralen zich, even als die uit de nabijheid der as, in *o* zouden snijden.

Werkelijk zouden ook lenzen met elliptische of hyperbolische krommingen aan dit vereischte voldoen, doch, in weerwil van vele oudere en nieuwere pogingen, heeft de uitvoering van zulke lenzen zoovele werktuiglijke zwarigheden ontmoet, dat men waarschijnlijk wel de hoop zal moeten opgeven, om immer lenzen te slijpen, waarbij de sphaerische aberratie op die wijze geheel is opgeheven.

52. Intusschen bestaan er andere middelen, die haren invloed, zoo al niet geheel vernietigen, althans in zoo verre kunnen verminderen, dat de openingen der lenzen nog tamelijk groot kunnen gemaakt worden, zonder dat er de duidelijkheid van het beeld op eene belangrijke wijze door benadeeld wordt. Zoowel de theorie als de ervaring hebben ge-

leerd, dat de hoegrootheid der afwijking, zelfs bij gelijke opening der lens, geenzins altijd dezelfde is, maar dat hierbij de volgende regelen gelden.

1°. Bij lenzen met verschillend gekromde oppervlakten is het volstrekt niet onverschillig, welke der beide oppervlakten naar het voorwerp wordt toegekeerd. Bevindt zich dit op eenen oneindigen afstand, dan is het voordelig de meest bolle oppervlakte naar het voorwerp te wenden, doch indien, zooals bij de lenzen van mikroskopen, het voorwerp nabij het brandpunt gelegen is, dan moet de minst bolle zijde, dus bij plano-convexe lenzen de platte oppervlakte, naar het voorwerp toegekeerd zijn.

2°. Ofschoon het niet mogelijk is eene biconvexe lens zoodanig te slijpen, dat zij volstrekt geene sphaerische aberratie heeft, zoo kan de verhouding tusschen de krommingen der beide oppervlakten toch zoodanig zijn, dat de aberratie zoo gering mogelijk is. Dit is het geval, indien bij eene lens vervaardigd van glas, hetwelk eenen brekingsindex van 1,5 bezit, de kromming van de eene oppervlakte eenen 6 maal grooteren radius heeft, dan die der andere. Zulk eene lens heet dan *eene lens van den besten vorm*. Indien echter tot vervaardiging der lens eene stof gebruikt wordt, welke eenen anderen brekingsindex dan den genoemden heeft, dan verandert ook deze verhouding. Zij is voor (1):

$$(1) \text{ Berekend volgens de formules: } R = \frac{2(n-1)(n+2)}{(2n+1)n} p,$$

$$\text{en } r = \frac{2(n-1)(n+2)}{4+n-2n^2} p$$

waarin R en r de beide radii, n de brekingsindex, en p de brandpuntsafstand der lens is.

Crownglas	van	1,554	brekingsindex	1:8,6.
Flintglas	»	1,600	»	1:14,0.
»	»	1,650	»	1:55,4.
»	»	1,686	»	1: oneindig.

Men ziet hieruit, dat naar gelang eene stof eenen grooteren brekingsindex heeft, de kromming der eene oppervlakte, in verhouding tot die der andere, platter moet worden, wanneer de daaruit vervaardigde lens eene zoo gering mogelijke aberratie zal hebben. Zoodra de brekingsindex = 1,686 is, dan moet de radius der eene oppervlakte oneindig groot zijn, hetgeen met andere woorden beteekent, dat de lens van den besten vorm in dit geval eene plano-convexe is.

Wordt de brekingsindex nog grooter, gelijk bij sommige soorten van flintglas, bij saphir, granaat, diamant enzv., het geval is, dan zoude de eene oppervlakte zelfs concaaf, en de lens dus een convergerende meniscus moeten zijn.

3°. Bij lenzen van gelijken brandpuntsafstand en gelijke opening is de sphaerische aberratie des te geringer, hoe sterker het brekend vermogen der stof is, waaruit de lens is vervaardigd. Dit volgt reeds daaruit, dat de kromming der oppervlakte voor lenzen van gelijken brandpuntsafstand geringer is, naar mate de stoffen, waaruit zij vervaardigd zijn, eenen grooteren brekingsindex bezitten. Het een en ander zal duidelijker blijken uit het volgende tafeltje, waarin ik de lengte der aberratie voor parallele stralen, bij lenzen van 10 millim. brandpuntsafstand, heb te zamen gesteld. (1)

(1) De algemeene formule voor de berekening der aberratie is:

$$\frac{n p x^2}{2(n-1)^2} \left[\frac{n}{p^2} - \frac{(2n+1)(n-1)}{n r p} + \frac{(n+2)(n-1)^2}{n^2 r^2} \right]$$

waarin n de brekingsindex, x de halve doormeter der lens, p de brandpuntsafstand, en r de radius is der kromming van de naar het voorwerp toe gekeerde oppervlakte.

Doormeter van de opening der lens.	Biconvexe glazen lens met gelijke kromming der beide oppervlak- ten. $n = 1,5$.	LENZEN VAN DEN BESTEN VORM.			
		Glazen lens. $n = 1,5$.	Flintglas- lens. $n = 1,65$.	Saphirlens. $n = 1,794$.	Diamant- lens. $n = 2,439$.
10 millim.	4,17 millim.	2,68 millim.	1,85 millim.	1,45 millim.	0,73 millim.
8 »	2,67 »	1,72 »	1,18 »	0,93 »	0,46 »
6 »	1,50 »	0,96 »	0,67 »	0,52 »	0,26 »
4 »	0,67 »	0,43 »	0,30 »	0,23 »	0,12 »
2 »	0,17 »	0,11 »	0,07 »	0,06 »	0,03 »

Deze getallen toonen aan, van hoeveel belang het zoude wezen, indien, in de plaats van glas, eene andere het licht sterker brekende stof, tot het vervaardigen van lenzen kon worden aangewend. De opening eener diamanten lens kan het dubbele bedragen van die eener glazen lens, en de lichtsterkte derhalven 4 maal grooter zijn, zonder dat de aberratie daarom merkelyk grooter is.

4°. Wanneer de lens niet uit ééne enkele glassoort bestaat, maar uit eene verbinding van twee of meer lenzen van verschillende glassoorten, die een verschillend brekend vermogen bezitten, dan is het mogelijk de verhouding tusschen den vorm en het brekend vermogen dier onderscheiden lenzen zoodanig te maken, dat daardoor de sphaerische aberratie zeer wordt verbeterd. Ik zal hierover meer zeggen bij het behandelen der middelen tot opheffing der chromatische aberratie.

Voor de berekening der geringstmogelyke aberratie, bij lenzen van den besten vorm, is tot grondslag gelegd de formule

$$\frac{n(4n-1)x^2}{8(n-1)^2(n+2)p}.$$

5°. Eindelijk bestaat er nog een middel, om de nadeelige werking der sphaerische aberratie te verminderen, namelijk in de vereeniging van twee of drie lenzen van betrekkelijk geringe krommingen, tot een stelsel van lenzen, dat in werking gelijk staat met eene lens van sterke kromming, doch in welk stelsel, door eenen gepasten vorm der lenzen, en vooral door elk derzelven op eenen juisten afstand van de overigen te plaatsen, de invloed der sphaerische aberratie voor een aanzienlijk gedeelte kan worden opgeheven. Later, wanneer ik meer opzettelijk over de lenzenstelsels en hunne aanwending in mikroskopen zal handelen, zal ik ook op dit onderwerp terugkomen.

53. Een tweede hoofdgebrek der lenzen, welks invloed op de scherpte der beelden nog belangrijker is, dan die der sphaerische aberratie, is de afwijking, welke ontstaat, omdat de verschillend gekleurde lichtstralen eenen ongelijken graad van breekbaarheid bezitten. Deze soort van afwijking wordt gewoonlijk de *chromatische aberratie* genoemd.

Men weet, dat het witte licht als uit een oneindig groot getal van stralen zamengesteld kan worden beschouwd, die elk in verschillende mate bij hunnen doortogt door lichtbrekende middenstoffen van hunnen weg worden afgeleid. In het zonbeeld, dat verkregen wordt, door een bundel zonlicht door een prisma te doen doorgaan, fig. 57, onderscheidt men wel is waar zeven hoofdkleuren, rood, oranje, geel, groen, blaauw, indigo en violet, die men doorgaans stralen noemt; in werkelijkheid echter bestaat elk derzelven uit ontelbare stralen, welke elkander in graad van breekbaarheid opvolgen. De zoogenaamde donkere stralen (warmtestralen en scheidkundige stralen) voor het oogenblik daarlatende, bevinden zich

de meest breekbare lichtstralen aan het uiterste einde van het violet in v , de minst breekbare aan het uiterste roode einde in r .

54. Daar geen der kleuren ergens begrensd is, zoo be- dient men zich, op het voorbeeld van Frauenhofer, tot het bepalen van den verschillenden graad van breekbaarheid der stralen, van eenige donkere streepen in het zonnebeeld, die, zich altijd op dezelfde plaatsen vertoonende, geschikte vaste punten voor metingen opleveren. Van deze streepen zijn door hem zeven der meest in het oog vallende gekozen, en met even zooveel letters B, C.... H aangeduid. Door hunne betrekkelijke plaatsing in het zonnebeeld, dat verkregen wordt met prismata van verschillende stoffen, te bepalen, vindt men de brekingsaanwijzers voor de stralen, die onmiddelijk aan deze donkere gedeelten grenzen, en de alzoo verkregen getallen geven de maat voor het *kleurverstrooiings-* of *kleur- schiftingsvermogen* der brekende middenstof.

Voor crownglas met eenen gemiddelden brekingsaanwijzer van 1,5542, en flintglas met eenen gemiddelde brekingsaan- wijzer van 1,6490 zijn de brekingsaanwijzers der onderschei- den stralen de volgende:

		Crownglas.	Flintglas.
Uiteinde van het rood	B.	1,5258.	1,6277.
Midden van het rood	C.	1,5268.	1,6297.
Oranje	D.	1,5296.	1,6350.
Grens van geel en groen	E.	1,5550.	1,6420.
" " groen en blaauw	F.	1,5561.	1,6485.
Indigo	G.	1,5417.	1,6605.
Violet	H.	1,5466.	1,6711.

Reeds dadelijk blijkt uit deze getallen, dat het kleur-

schiftingsvermogen van het flintglas veel aanzienlijker is, dan dat van het crownglas. Trekt men namelijk den brekingsindex voor B af van dien voor H, dan vindt men voor het hier gebruikte crownglas 0,0208, terwijl het verschil bij het flintglas is 0,0454, en dus meer dan het dubbele bedraagt.

55. Deelt men deze getallen door den gemiddelden brekingsaanwijzer verminderd met de éénheid, dan verkrijgt men de verhouding der kleurschifting voor deze stoffen. Voor het gebezigde crownglas dus is zij $\frac{0,0208}{0,5542} = 0,039$; voor het

flintglas $\frac{0,0454}{0,6490} = 0,067$. Op deze wijze is de verhouding der kleurschifting voor de volgende stoffen gevonden:

Crownlas van verschillende samenstelling	0,056—0,059.
Flintglas " " "	0,050—0,067.
Boraxglas (boraxzuur lood)	" 0,074
Topaas " " "	0,024
Saphir " " "	0,026
Granaat " " "	0,027
Beryl " " "	0,037
Diamant " " "	0,038
Canadabalsem " "	0,045

Vergelijkt men nu deze getallen met de brekingsaanwijzers derzelfde stoffen in § 26 medegedeeld, dan valt het dadelijk in het oog, dat het kleurschiftend vermogen geen-zins gelijken tred houdt met het brekend vermogen.

56. Zien wij thans, alvorens verder te gaan, welken invloed de kleurschifting zal hebben op de beelden gevormd door lenzen, die uit eene homogene stof bestaan. Indien

op de biconvexe lens AB, fig. 58, een bundel wit licht valt, bestaande uit stralen, die met de as pq evenwijdig zijn, en waarvan in de figuur alleen de grensstralen ab en cd zijn afgebeeld, dan zal de witte straal ab op het oogenblik, dat hij bij b het glas binnentreedt, in deszelfs samenstellende verschillend gekleurde stralen ontleed worden. De roode stralen, als de minst breekbare, zullen buitenwaarts liggen, en de as ergens in r snijden, aan gene zijde van o , hetwelk het gemiddelde brandpunt der lens is; de violette stralen, als de meest breekbare, zullen binnenwaarts liggen, en de as in v ontmoeten. Tusschen de roode en de violette stralen in bevinden zich dan al de andere gekleurde stralen, die elk voor zich ergens tusschen v en r met de as samenkomen. Hetzelfde zal het geval zijn met den straal cd , en, — indien wij voor het oogenblik den invloed der sphaerische aberratie niet in aanmerking nemen, — met alle stralen, die de oppervlakte der lens tusschen b en d treffen, zoodat alle violette stralen hun brandpunt in v , alle roode hun brandpunt in r zullen hebben, terwijl verders tusschen v en r zoo vele brandpunten zullen gelegen zijn, als het witte licht stralen van verschillende breekbaarheid bevat. Deze afstand tusschen v en r heet dan *de lengte der chromatische aberratie*, en, uit het zoo even gezegde over het verschillend kleurschiftend vermogen bij onderscheiden middenstoffen, is het duidelijk, dat deze lengte verschillen zal, naar gelang van de brekende stof, waaruit de lens is vervaardigd; dat b. v. bij eene flintglaslens de lengte der chromatische aberratie ongeveer het dubbele zal bedragen van die bij eene crownglaslens van gelijken brandpuntsafstand.

57. De invloed der chromatische aberratie op de beelden,

die door lenzen gevormd worden, wordt opgehelderd door fig. 59. De witte stralen, die van het voorwerp ab komen, door de lens gebroken en ontleed wordende, zullen zich niet in $a'b'$ tot een wit of kleurloos beeld vereenigen, maar de roode stralen zullen het roode beeld $a''b''$, en de violette stralen het violette beeld $a'''b'''$ vormen. Tusschen deze beiden in zal dan een even groot aantal verschillend gekleurde beelden liggen, als er stralen van verschillende breekbaarheid in het licht zijn, dat van het voorwerp uitgaat. Het roode beeld, als het verst van de lens verwijderde, is het grootst. Houdt men nu in $b''a''$ een scherm, dan zal men daar geen enkel rood gekleurd beeld opvangen, omdat al de andere opvolgend daar achter liggende beelden zich op het scherm als verstrooiingsbeelden zullen afteekenen, en dewijl door de vereeniging van al de verschillende kleuren van het zonnebeeld weder wit licht ontstaat, zoo is ook de plaats, waar zich al de beelden verzamelen, namelijk het middengedeelte van het gezamenlijke beeld, kleurloos, en alleen de rand is rood, omdat deze alleen door het verst verwijderde en grootste der afzonderlijke beelden wordt gevormd.

Het beeld van zulk een voorwerp kan dus niet anders dan onduidelijk zijn, want niet alleen dat de roode rand aan de buitenzijde van het beeld hinderlijk is voor de scherpte en netheid der omtrekken, maar daar bovendien al de beelden in verschillende vlakken liggen, zoo is het uit verstrooiingsbeelden zamengestelde gezamenlijke beeld verward en onduidelijk.

58. Deze verwarring en onduidelijkheid neemt nog toe, ten gevolge der sphaerische aberratie, want het noodzakelijk uit-

werksel van deze is, dat zij het aantal der afzonderlijke gekleurde beelden, welke alle verstrooiingsbeelden vormen, nog aanzienlijk verhoogt.

Indien namelijk door de lens AB, fig. 40, stralen gaan van het voorwerp *ab*, dan zullen diegene, welke de lensoppervlakte nabij de as in 1 treffen, beelden van allerlei kleuren vormen tusschen 1 en 1; die, welke nabij den rand in 2 doorgaan, zullen desgelijks tusschen 2 en 2 een aantal beelden doen ontstaan. Hetzelfde geldt van alle andere punten der oppervlakte van de lens, en gevolglijk wordt het getal der beelden tusschen het vereenigingspunt van de uiterste violette stralen, welke van den rand der lens afkomen, en het vereenigingspunt der uiterste roode stralen, die nabij de as doorgaan, inderdaad oneindig groot.

Terwijl er derhalven door de chromatische aberratie alleen en op zich zelve eene geregelde opvolging van rood, geel, groen enz. gekleurde beelden zoude ontstaan, wordt deze orde door de bijkomende sphaerische aberratie verbroken, en grijpen alle de reeksen van gekleurde beelden in elkander, ofschoon, zooals duidelijk is, de uiterste grenzen steeds door een rood en door een violet beeld worden ingenomen.

§9. Het zal, vertrouw ik, door deze daarstelling, den lezer duidelijk zijn geworden, hoe nadeelig de invloed der beide aberratiën voor de juistheid der waarnemingen door dioptrische werktuigen moet zijn, en hoe groot het belang is, dat dezelve, zoo niet geheel opgeheven, dan toch zoo gering mogelijk gemaakt worden.

Uit de tafeltjes in § 26 en § 54 blijkt, dat het brekend en het kleurschiftend vermogen geenzins gelijken tred houden. Saphir, granaat en beryl b.v., hoewel een veel sterker

brekend vermogen dan glas bezittende, hebben een geringer kleurschiftend vermogen. Diamant staat in kleurschiftingsvermogen met crown glas gelijk, terwijl eene daaruit geslepen lens (verg. § 58) slechts ruim $\frac{1}{3}$ van den brandpuntsafstand van eene glazen lens, van gelijke kromming, heeft. Hieruit blijkt dus wederom het groote voordeel der lenzen van edelgesteenten boven glaslenzen.

Doch er bestaan ook middelen, om in deze laatsten de uitwerkselen der chromatische aberratie tegen te gaan, waarbij wij thans willen stilstaan.

60. Het is uit het gezegde gebleken, dat de gekleurde stralen, waaruit het witte licht bestaat, zichtbaar worden, omdat zij bij den doortogt door brekende middenstoffen in verschillenden graad gebroken worden, en daardoor van onderling evenwijdig, zooals zij in het witte licht zijn, divergerend zijn geworden. Gelukt het derhalven de evenwijdige rigting weder te herstellen, dan zijn ook de gekleurde stralen weder tot wit licht vereenigd. Het eenvoudigste voorbeeld hoe, dit geschieden kan, levert de verbinding van twee prismata op, die uit crown- en uit flintglas bestaan. Indien A fig. 57' een crownglasprisma is, dan zoude een stralenbundel *uv* bij *st* een kleurenbeeld geven, even als in fig. 57. Doch wanneer er een tweede prisma B vóór wordt geplaatst, hetwelk uit flintglas bestaat, dat een sterker kleurschiftend vermogen bezit dan crown glas, dan zullen beide stralen, bij hunnen overgang (in *c* en *d*) van het eene in het andere prisma, iets gebroken worden, doch de violette straal meer dan de roode, zoodat hunne uiteenwijking geringer wordt. Indien nu tusschen de brekingshoeken *a* en *b* der beide prismata eene juiste verhouding bestaat, beantwoor-

dende aan het verschillend kleurschiftingsvermogen der twee glassoorten, dan zullen de roode en violette stralen, bij hunnen overgang in de lucht (in e en f), onderling parallel zijn, en tevens, uit hoofde van het grootere brekingsvermogen van het flintglas, eene andere rigting volgen dan de oorspronkelijke stralenbundel uv .

61. Ten einde duidelijk te maken, wat er geschieden moet, om hetzelfde oogmerk bij lenzen te bereiken, zal het doelmatig zijn eerst te onderzoeken, welke de invloed is van verstrooiingslenzen op verschillend gekleurde stralen.

Indien op de plano-concave lens AB , fig. 41, evenwijdige witte stralen ab en cd vallen, dan zullen de violette stralen, als de meest breekbare, zich naar l en l' , de minst breekbare roode stralen zich naar m en m' begeven. Het verstrooiingspunt der roode stralen zal dan in r , en dat der violette stralen in v , aan de andere zijde van het gemiddelde verstrooiingspunt o , gelegen zijn. Men ontwaart reeds dadelijk, dat hier de betrekkelijke ligging der stralen van verschillende breekbaarheid juist de omgekeerde is van die, welke door verzamelingslenzen ontstaat. Door deze (fig. 58) komt de roode straal boven- en buitenwaarts te liggen, terwijl verstrooiingslenzen denzelven het onderste of bovenste gedeelte van den uit gekleurde stralen bestaanden kegel doen innemen.

Ook wanneer convergerende witte stralen eene verstrooiingslens treffen, zal hetzelfde gebeuren. Indien ab en cd , fig. 42, convergerende stralen zijn, die zonder tusschenkomst der lens AB , zich in het punt f zouden vereenigd hebben, dan zullen zij, uit de lucht komende, door de verstrooiingslens naar o gebogen worden, indiervoege echter, dat de meest

breekbare violette stralen zich in v , de minst breekbare roode stralen zich in r zullen ontmoeten, d. i. indien in v en r zich beelden vormden, dan zoude het violette beeld het verst van de lens verwijderde, het roode het digst daarbij liggende zijn, dus juist het omgekeerde van hetgeen bij verzamelingslenzen plaats heeft (verg. fig. 58 en 59).

Deze, de orde der kleuren omkeerende, werking der verstrooiingslenzen heeft echter natuurlijk alleen dan plaats, wanneer de middenstof, waaruit de stralen komen, een geringer brekend en kleurschiftend vermogen voor de onderscheiden lichtstralen bezit, dan de stof, waaruit de verstrooiingslens bestaat. Indien op de biconvexe crownglaslens AB, fig. 45, de lichtstralen ab en cd vallen, dan zullen de roode en violette stralen, na in het glas, en bij hunnen overgang in de lucht, gebroken te zijn, hunne vereenigingspunten vinden in r en v . Plaatsen wij er eene plano-concave lens CD voor, die eene gelijke kromming heeft, als de naar haar toe gewende oppervlakte der bolle lens, dan zullen, indien deze lens uit hetzelfde crownglas bestaat, de stralen hunnen weg onveranderd door het glas vervolgen, want de beide vereenigde lenzen werken geheel als eene plano-concave lens, die uit eene homogene massa bestaat. Alleen de vereenigingspunten der stralen zullen verplaatst worden, en nu in r' en v' vallen.

Doch zoodra de verstrooiingslens een sterker kleurschiftend vermogen heeft, dan de verzamelingslens, wordt de zaak anders. Dan doet de verstrooiingslens hetzelfde, als hetgeen wij haar zoo even zagen doen voor stralen, die uit de lucht komen, alleenlijk in eene geringere mate, omdat het onderscheid in kleurschiftingsvermogen tusschen verschillende soorten van glas geringer is, dan tusschen lucht en glas.

Indien derhalven de verstrooiingslens vervaardigd is uit

flintglas, waarvan het kleurschiftingsvermogen het dubbele bedraagt van dat der biconvexe crownglaslens, dan zullen, fig. 43, de stralen, die in de lens AB gebroken zijn, niet, zooals in fig. 45, denzelfden weg vervolgen, maar eenigzins van hunnen weg afwijken, zoodra zij in de sterker brekende flintglaslens CD gekomen zijn. Dit zal echter niet voor alle stralen in gelijke mate plaats hebben, maar het sterkst voor de violette, het geringst voor de roode stralen. Is de invloed der concave flintglaslens sterk genoeg, dan zullen derhalven de verschillend gekleurde stralen van divergerend, zooals in fig. 45, convergerend worden, en zelfs kan het geval plaats grijpen, dat de invloed der flintglaslens dien van de crownglaslens zoo verre overtreft, dat, ofschoon, gelijk als in fig. 43, de vereeniging der beide lenzen een verzamelingsglas blijft, de violette straal de roode straal snijdt, en hunne brandpunten in v en r vallen, zoodat dan eene verzamelingslens ontstaat, waarin de gang der gekleurde stralen juist de omgekeerde is van dien in eene verzamelingslens, welke uit ééne enkele glassoort bestaat.

Nu is het duidelijk, dat tusschen deze beide uitersten in fig. 43 en 45 een middeltoestand mogelijk is, en dat, indien, zooals in fig. 44, de verhouding tusschen de crownglas- en de flintglaslens, wat vorm en kleurschiftend vermogen betreft, volkomen juist is, het punt, waar de gekleurde stralen elkander ontmoeten, juist het gemiddelde brandpunt f der lens zal zijn, en het beeld, hetwelk zich daar ter plaatse vormt, kleurloos zijn, of zich alleen met deszelfs natuurlijke kleuren vertoonen zal.

Zulk eene vereeniging van lenzen noemt men dan eene *achromatische* dubbellens. Tusschen de beide lenzen wordt gewoonlijk canadabalsem gebragt, hetwelk in brekend ver-

mogen nagenoeg met crownglas gelijk staat, terwijl deszelfs kleurschiftend vermogen het midden tusschen dat der beiden glassoorten houdt. Hierdoor wordt de terugkaatsing aan de oppervlakten der beide lenzen, waardoor een verlies aan licht zoude ontstaan, verhinderd (1).

62. In den volstrekten zin des woords kan zulk eene dubbellens echter nimmer achromatisch zijn, omdat de verhouding, tusschen het kleurschiftend vermogen van het crown- en dat van het flintglas, niet geheel dezelfde is voor alle de verschillend gekleurde stralen. Reeds de zonnebeelden, verkregen door prismata bestaande uit eene der beide glassoorten, doen dit opmerken. Men zal namelijk zien, dat de meest breekbare stralen, blaauw, indigo, violet, in het zonnebeeld, dat verkregen is met een flintglasprisma, niet alleen eene volstrekt, maar ook eene betrekkelijk grootere ruimte innemen, dan in een ander, hetwelk door een crownglasprisma is gevormd. Straks zagen wij (§ 54), dat het geheele kleurschiftend vermogen voor eene zekere soort van crownglas bedraagt 0,0208, dat van eene soort van flintglas 0,0434. Deze beide getallen staan tot elkander als 1:2,09. Hield nu deze verhouding voor alle afzonderlijke stralen gelijken tred, dan zoude men telkens hetzelfde getal moeten verkrijgen, indien de voor elk afzonderlijk gedeelte van het zonnebeeld bepaalde gedeeltelijke kleurschiftingvermogens, bij het flint- en het crownglas, in elkander gedeeld worden. De waarde dezer gedeeltelijke kleurschiftingsvermogens vindt men, door alle de afzonderlijk bepaalde brekingsaanwijzers der gekleurde stralen opvolgend van elkander af te trekken, op gelijke wijze als

(1) Vroeger heeft men ook achromatische lenzen, uit drie afzonderlijke lenzen bestaande, vervaardigd, doch thans komen deze niet meer in aanmerking.

het geheele kleurschiftingsvermogen bepaald wordt, door den brekingsaanwijzer der roode stralen in B van dien der violette stralen in H af te trekken. Verrigt men dit voor de beide genoemde glassoorten, dan verkrijgt men de volgende getallen:

VERSCHIL.

	Crown glas.	Flint glas.	Verhouding.
B—C.	0,0010.	0,0020.	2,00.
C—D.	0,0028.	0,0055.	1,89.
D—E.	0,0052.	0,0070.	2,19.
E—F.	0,0051.	0,0065.	2,05.
F—G.	0,0056.	0,0120.	2,15.
G—H.	0,0049.	0,0108.	2,21.

Geen dezer getallen is gelijk aan de algemeene verhouding 2,09 voor de geheele kleurschifting, maar in het zonnebeeld van het flintglas is betrekkelijk minder rood en oranje (B tot D), meer geel (D—E), minder groen (E—F) en meer blaauw, indigo en violet (F—H) bevat, dan in het zonnebeeld, hetwelk met crown glas verkregen is.

Daar nu de verhoudingen tusschen de gedeeltelijke kleurschiftingen in geen geval volkomen aan de verhouding tusschen de geheele of gemiddelde kleurschifting bij twee glassoorten gelijk zijn, zoo volgt hieruit, dat, al is ook, door eene crown-glas lens met eene flintglas lens te verbinden, eene volkomene vereeniging der roode en violette stralen tot stand gebragt, zulks nog niet het geval is met alle de overige gekleurde stralen. Deze vormen, na de vereeniging der stralen van uiterste breekbaarheid, nog een overblijvend of zoogenaamd *secundair* kleurenbeeld.

65. Een volkomen achromatisme der lenzen is derhalven onbereikbaar, en het eenige, dat derzelver vervaardiger doen

kan, is hiertoe zooveel mogelijk te naderen; eensdeels door het kiezen van glassoorten, waarin de verhouding der gedeeltelijke kleurschiftingen zoo weinig mogelijk onderling verschilt, anderendeels door aan zijne lenzen dien vorm te geven, welke, volgens de op wiskundige gronden steunende berekeningen, gebleken is de beste te zijn, om aan het oogmerk nabij te komen. Deze berekeningen (waarover het hier de plaats niet is uit te wijden) hebben aan het vervaardigen van achromatische voorwerpglazen voor verrekijkers, eenen grooten graad van zekerheid in de uitvoering gegeven. Voor de voorwerpglazen van mikroskopen is dit, om hunne meerdere kleinheid, nog geenzins het geval. Hier komt het meeste nog aan, op de praktische oefening van den vervaardiger en zijn geduld, om, uit eenen grooten voorraad van crownglas- en flintglaslenzen, diegenen uit te zoeken, welke bij de beproeving blijken, het best bij elkander te passen. Dit is eene der hoofdredenen, waarom degene, die reeds een aantal mikroskopen vervaardigd heeft, veel vooruit heeft boven hem, die er slechts eenige weinige heeft gemaakt, en wiens voorraad van lenzen daarom in den regel geringer zijn zal, dan die van den eersten.

Uit het gezegde volgt, dat, wanneer eene achromatische dubbellens zoo juist vervaardigd is, dat de uiterste stralen van het zonnebeeld, de roode en de violette, vereenigd zijn, dan zullen aan de randen der beelden nog altijd sporen worden waargenomen van de niet vereenigde middelste gekleurde stralen. De randen zullen dus in dit geval eenigzins groenachtig geel zijn. Deze kleur is onaangenamer voor het oog dan eene lichtblauwe, en dit is eene der redenen, waarom de vervaardigers van mikroskopische voorwerpglazen meestal gewoon zijn aan de flintglaslens een ligt overwigt

te geven, in dier voege, dat de rand van het beeld eene dunne blaauwe zoom heeft. Zulk eene dubbellens heet dan *oververbeterd*. Is er nog eene dunne roode zoom aanwezig, dan is zij *onderverbeterd*.

65. Niet alleen echter wordt door de verbinding van flint- en crownglas de chromatische aberratie verbeterd, maar, gelijk ik reeds vroeger (§ 52) met een woord gezegd heb, deze verbinding dient tevens ter vermindering der sphaerische aberratie. Dit zal duidelijk worden, indien wij ook hier weder verstrooiingslenzen en verzamelingslenzen te zamen vergelijken.

Voor de biconvexe lens AB, fig. 46, zal het vereenigingspunt der randstralen *aa* in *n* zijn; dat der meer nabij de as invallende stralen *bb* in *m*. Het punt *n* ligt dus digter bij de lens, dan *m*.

Doch indien op eene verstrooiingslens CD, fig. 47, convergerende stralen *aa* en *bb* vallen, die ondersteld worden van sphaerische aberratie vrij te zijn, zoodat alle zich juist in *o* zouden ontmoet hebben, dan zullen de randstralen *aa*, sterker gebroken wordende, zich in *n*, de minder gebroken wordende stralen *bb* zich in *m* ontmoeten. De vereenigingspunten *m* en *n* hebben dus juist eene omgekeerde ligging als in fig. 46.

Denkt men zich nu eene verstrooiingslens geplaatst vóór eene verzamelingslens, dan zal, in het geval dat beide uit eene en dezelfde glassoort bestaan, de rigting der stralen natuurlijk geene verandering ondergaan, dan dat hun vereenigingspunt zich verder van de lensoppervlakte verwijderd; de betrekkelijke rigting der rand- en der asstralen blijft alsdan dezelfde. Doch zoodra de verzamelingslens van crownglas, en de verstrooiingslens van flintglas vervaardigd

is, dan zullen de stralen, bij hunnen overgang in de digtere flintglaslens, eene breking ondergaan, en daar deze eene verstrooijingslens is, zoo zal te gelijker tijd een streven ontstaan, om de betrekkelijke rigting der rand- en der asstralen om te keeren. Men ziet ligtelijk in, dat het mogelijk is, hoe, bij eenen zekeren vorm der beide lenzen, de tegengestelde neigingen in dezelve elkander opwegen, zoodat bij hunne vereenigde werking het brandpunt der randstralen zamenvalt met dat der asstralen. Indien dan in zulk eene dubbellens tevens de chromatische aberratie zooveel mogelijk verbeterd is, noemt men dezelve *aplanatisch*.

64. Eene volkomene opheffing der sphaerische aberratie is door dit middel echter even min mogelijk, als het geheel wegnemen der chromatische aberratie, omdat de invloed der verstrooijingslens op de randstralen altijd grooter is, dan op die, welke meer nabij de as doorgaan.

Ook komt hier nog een ander punt in aanmerking (1). Eene dubbellens, die volkomen vrij is van beide aberratiën, wanneer parallele stralen er doorgaan, zal ophouden zulks te zijn, zoodra de stralen eene andere betrekkelijke rigting hebben. Eene andere dubbellens, die volkomen aplanatisch is, indien van uit een zeker punt divergerende stralen op haar vallen, zal minder aplanatisch worden, zoodra dat punt zich op eenen anderen afstand van de lens bevindt. Indien b. v. AB, fig. 48, eene dubbellens is, welke de stralen, die van het punt *a* komen, vrij van sphaerische aberratie doorlaat, dan zal voor dat bepaalde punt de hoek van inval *acd*, die de straal *ac* met de loodlijn *cd* vormt, in eene zekere verhouding staan tot den hoek van uitgang *efg*, die

(1) Lister, *Philos. transact.* 1830, p. 187.

de straal na den doortogt door de lens met de loodlijn *ef* maakt. Deze verhouding tusschen den hoek van inval en den hoek van uitgang verandert echter, zoodra het punt *a* digter bij de lens gebragt wordt; de hoek van inval wordt grooter, die van uitgang kleiner, en gelijktijdig hiermede ondergaat ook de wederkeerige invloed, welke de lenzen ten opzigte der sphaerische aberratie, op elkander uitoefenen, eene verandering. De invloed der concave flintglaslens wordt overwegend, en de aberratie wordt dientengevolge *oververbeterd*.

Indien echter het lichtend punt, de lens meer en meer naderende, in *b* is gekomen, dan is de hoek van uitgang *kml* (hier ter vermijding van verwarring aan de tegenovergestelde zijde geteekend) juist zoo veel kleiner dan de hoek van inval *bhi*, als bij de vroegere plaatsing in *a*, de hoek van inval kleiner was, dan de hoek van uitgang. In dit geval weegt de invloed der eene lens wederom tegen die van de andere op, en voor dit punt *b* is de dubbellens evenzeer aplanatisch als voor het punt *a*.

Bij meerdere toenadering tot de lens, wordt de verhouding tusschen beide hoeken weder verbroken, doch nu blijft de aberratie *onderverbeterd*. Hetzelfde geldt ook van eene plaatsing van het lichtend punt aan gene zijde van *a*.

Elke aplanatische dubbellens heeft derhalven slechts twee punten, waar de opheffing der aberratie zoo volkomen mogelijk is. Lister heeft deze punten de beide *aplanatische brandpunten* genoemd. In het vervolg zullen wij zien, welke toepassing hiervan op de vervaardiging van mikroskopen te maken is. Ook zal dan tevens blijken, dat men, door verbinding van twee of meer aplanatische lenzen tot een stelsel, de verbetering der aberratiën nog veel volkomener kan maken, dan bij eene enkele dubbellens immer geschieden kan.

OVER HET ZIEN MET HET ONGEWAPEND OOG, EN DE GRENZEN
VAN DESZELFS WAARNEMINGSVERMOGEN.

65. Tot eene juiste kennis van den aard der mikroskopische waarneming is het volstrekt noodig, dat men eene naauwkeurige en klare voorstelling bezitte van den aard der waarneming door het bloote oog. Het vermogen om te zien is eene gave der natuur, maar, om door het zien zich gezichtsvoorstellingen te verschaffen van de voorwerpen, zooals zij waarlijk zijn, het *waarnemen*, zoo als onze taal het zoo kenmerkend noemt, dit is eene kunst, die moet worden aangeleerd, en waartoe eene opzettelijke studie van het gezigtszintuig zelve, van deszelfs grenzen en voorwaarden, onontbeerlijk is.

Inzonderheid is dit een vereischte voor den mikroskopischen waarnemer, omdat zulk eene voorafgaande studie hem voor vele dwalingen behoeden zal, waarin hij anders niet dan te ligtelijk vervalt, en waarvan de geschiedenis der mikroskopische onderzoekingen te menigvuldige bewijzen oplevert, dan dat niet elk, die het eerlijk met de wetenschap meent, het zich ten pligt zoude stellen, om zich tegen dezelve zooveel mogelijk te wapenen.

Terwijl ik derhalven, in een der volgende hoofdstukken, meer bepaaldelijk over den aard en de bijzonderheden der mikroskopische waarneming zal handelen, acht ik het hier

doelmatig iets vooraf te laten gaan, over den aard en de bijzonderheden van de waarneming met het ongewapend oog, voor zoo ver namelijk de kennis hiervan, tot regt verstand van hetgeen later volgen zal, noodig is. Vele bijzonderheden betreffende het gezichtsvermogen, die, hoe belangrijk ook op zich zelve, als minder toepasselijk hier niet te huis behooren, zal ik derhalven met stilzwijgen voorbijgaan, den minder met het onderwerp vertrouwden lezer verwijzende naar de handboeken van anatomie en physiologie, en de werken, welke opzettelijk aan deszelfs beschouwing gewijd zijn.

66. Het oog is een dioptrisch werktuig, dat uit aaneengevoegde lenzen bestaat. De voorste en de achterste oogkamers, met het waterige en met het glasachtige vocht gevuld, kunnen beschouwd worden als twee convergerende menisci, welke met de holle oppervlakten naar elkander toe gekeerd zijn, aldus eene holte begrenzend, waarin de biconvexe kristallens besloten ligt. Vóór deze bevindt zich de iris, een beweegbaar diaphragma, waardoor de opening, tot toelating der lichtstralen in het oog, verwijd of vernaauwd wordt. De voorste oogkamer is aan de voorzijde begrensd door het zeer doorschijnende hoornvlies, terwijl de inwendige oppervlakte der achterste kamer bekleed wordt door het netvlies, hetwelk uit verscheidene lagen bestaat, waarvan de beide voornaamste zijn: de vezellaag, welke de uitbreiding der gezichtszenuw is, en de staafjeslaag, welke onmiddellijk grenst aan het adervlies, dat uit zwart pigment bevattende cellen is zamengesteld.

67. Gewoonlijk vergelijkt men de wijze, waarop zich de beelden in het oog vormen, bij de werking eener camera obscura, en inderdaad neemt men ook aan een oog, dat

versch genoeg is, zoodat de doorschijnendheid der deelen niet is verloren gegaan, op het, door wegneming van het adervlies, blootgelegde netvlies, de beelden der voorwerpen waar, naar welke het oog is toegekeerd. Deze beeldvorming heeft derhalven ook plaats gedurende het leven, en zij is het, die, als de eerste voorwaarde van het zien, hier vooral in aanmerking komt.

De graad van juistheid van elke gezichtsvoorstelling hangt af van de meerdere of mindere scherpste en netheid, waarmede zich het beeldje op het netvlies vormt. Gaan wij derhalven na, welke de voorwaarden zijn, die vervuld moeten worden, opdat zich de voorwerpen net en scherp daarop afteekenen.

Wanneer, bij eene camera obscura, de lens op zulk eenen afstand van het scherm geplaatst is, dat de beelden van voorwerpen, welke op eenen bepaalden afstand van de lens verwijderd zijn, zich duidelijk vertoonen, dan merkt men op, dat die van andere, welke zich op verderen afstand bevinden, nevelachtige randen, in stede van scherpe omtrekken, bezitten. Om ook deze laatsten goed te zien, moet men den afstand der lens veranderen, doch dan vermindert tevens de duidelijkheid der beelden van de nabijzijnde voorwerpen.

De reden hiervan blijkt uit het vroeger gezegde, omtrent de beeldvorming door lenzen in het algemeen (§ 42), waaruit volgt, dat er, voor elken bepaalden afstand van het voorwerp, ook een bepaalde afstand bestaat, waarop het beeld achter de lens zich het duidelijkst vertoont. Op elken anderen afstand vangt het scherm nog wel de lichtstralen op, die van het voorwerp uitgaan, doch zij hebben zich niet volkomen weder tot een beeld vereenigd. Is de afstand van het scherm namelijk te gering, dan zijn de stralen nog con-

vergerend, en de plaats der beeldvorming bevindt zich eigenlijk achter het scherm. Is de afstand daarentegen te groot, dan is het beeld reeds vóór het scherm ontstaan; de stralen hebben zich reeds gekruisd, en zijn divergerend geworden, alvorens het scherm te bereiken.

68. Iets dergelijks heeft ook plaats in het oog. Volgen wij daartoe den gang der stralen in hetzelfde. In fig. 47 stelt AB de doorsnede voor van de voornaamste deelen, die het oog zamenstellen. Indien nu van eenig punt a , in de optische as gelegen, lichtstralen uitgaan, dan zullen zij, het hoornvlies bereikende, gedeeltelijk aan deszelfs vochtige oppervlakte worden teruggekaatst, en deze daardoor zichtbaar worden; het meerendeel echter zal hetzelfde en de voorste oogkamer bij b en c binnentreden, en gebroken worden. Na bij d door de pupil, of de opening der iris, gegaan te zijn, zullen zij in de lens, bij fg , weder eene binnenwaartsche breking ondergaan, omdat deze eenen grooteren brekingsindex bezit dan het hoornvlies en het waterige vocht der voorste kamer. Bij hi het glasvocht der achterste oogkamer binnentredende, zal eene geringe buitenwaartsche breking plaats hebben, welke echter zoo weinig belangrijk is, dat de convergerende rigting der stralen er naauwlijks door verminderd wordt, en deze, hunnen weg vervolgende, zich op het netvlies in het punt v ontmoeten.

Nemen wij in de plaats van een enkel lichtend punt, een voorwerp, zoo als ab fig. 48, dan gaan van alle punten van hetzelfde lichtkegels uit, welker stralen zich alle wederom op een gedeelte der oppervlakte van het netvlies bij $a'b'$ zullen vereenigen, en daar ter plaatse een verkleind en omgekeerd beeld van het voorwerp vormen.

69. Zoodra echter het voorwerp of het lichtende punt op eenen anderen afstand, als de vooronderstelde, geplaatst wordt, dan zoude, indien de toestand van het oog onveranderd dezelfde bleef, het vereenigingspunt der stralen, of de plaats van het beeld, niet meer op de oppervlakte van het netvlies vallen, even min als zich op het scherm der camera obscura digtbijzijnde en verafzijnde voorwerpen te gelijker tijd even duidelijk afteekenen. Bevindt het voorwerp zich op eenen te verren, b. v. op eenen oneindigen afstand, zoodat de van hetzelfde komende stralen nagenoeg als evenwijdig kunnen beschouwd worden, zoo als *a* en *b* fig. 49, dan zal de plaats van het beeld ergens vóór het netvlies in *v* gelegen zijn, en van daar uit zullen de nu divergerende stralen hunnen weg voortzetten, en, het netvlies bereikende, daar geen scherp begrensd, maar een nevelachtig beeld vormen, een zoogenaamd *diffusie-* of *verstrooijingsbeeld*.

Eene overeenkomstige uitwerking moet eene te groote toenadering van het voorwerp tot het oog hebben, gelijk uit fig. 50 blijkt. Hier echter zoude het vereenigingspunt *v* achter het netvlies vallen, en op dit laatste komen derhalven stralen, die nog convergerend zijn. De invloed op de daardoor verkregen gezichtsvoorstelling is echter geheel dezelfde, als die van de divergerende stralen in het vorige geval, en het beeldje op het netvlies evenzeer een diffusiebeeld.

70. Bestond er derhalven geene inrigting, waardoor de plaats van het beeld in het oog veranderd konde worden, dan zoude door elk oog slechts zulke voorwerpen met voldoende juistheid worden waargenomen, die zich op eenen vasten bepaalden afstand bevinden. Alle overige, hetzij digter, hetzij verder af zijnde, zouden de netheid van omtrekken

missen, welke voor eenen naauwkeurigen gezichtsindruk een volstrekt vereischte is.

In de camera obscura nu zagen wij, dat hierin voorzien wordt, door eene verandering van den afstand tusschen de lens en het scherm. In het oog bestaat eene aan hetzelfde doel beantwoordende inrigting. Wij willen hier niet in het onderzoek treden van het moeilijke en nog niet geheel opgeloste vraagstuk, aangaande den eigenlijken aard dier inrigting. Het zij voldoende te doen opmerken, dat zulk eene inrigting werkelijk bestaat, zoodat het oog zich kan schikken naar den afstand der voorwerpen. Men noemt dit het *accomodatievermogen*.

71. Dit accomodatievermogen heeft echter deszelfs grenzen, en deze zijn voor verschillende oogen geenzins dezelfde. De een kan beter digtbijgelegen voorwerpen zien, dan verafgelegene; bij eenen anderen is het omgekeerde het geval. Eenigen kunnen even goed van zeer nabij als zeer veraf zien, doch ook in dit geval zijn er afstanden, waarbij het accomodatievermogen van het beste oog te kort schiet.

Dikwerf spreekt men van eenen bepaalden oogafstand, waarop men het duidelijkst ziet. Men heeft dit zelfs den brandpuntsafstand van het oog genoemd, en wij zullen in het vervolg zien, dat daarop ook de berekening van het vergrootend vermogen der mikroskopen steunt. In de werkelijkheid bestaat echter zulk een bepaalde oogafstand volstrekt niet, evenmin als er in de camera obscura een bepaalde afstand bestaat van het voorwerp tot de lens. Het is derhalven altijd eene vergeefsche poging zulk eenen zoogenaanden normalen gezichts- of duidelijkheidsafstand te bepalen, want voor een oog welks accomodatievermogen hetzelfde in staat stelt,

om van voorwerpen op 10 meters afstand een even scherp beeld op het netvlies te vormen, als van andere, welker afstand 0,1 meter bedraagt, is de gezichtsafstand van 10 meters even zeer normaal, als die van 0,1 meter. De normale gezichtsafstand beweegt zich dus altijd tusschen zekere grenzen, welke dezelfde zijn, als die van het accomodatievermogen.

72. Men heeft, tot het bepalen van den normalen gezichtsafstand, zich inzonderheid van handelwijzen en werktuigen (optometers) bediend, die alle gegrond zijn op de proef van Scheiner, dat men een voorwerp, b. v. eene naald, die niet op dien juisten afstand geplaatst is, dubbel ziet, indien men dezelve beschouwt door twee kleine openingen, welker onderlinge afstand geringer is, dan de doormeter der pupil. Het beeld vertoont zich namelijk dubbel, wanneer de afstand van het voorwerp zoodanig is, dat op het netvlies een diffusiebeeld ontstaat, terwijl het voorwerp alleen dan als enkelvoudig wordt waargenomen, wanneer het juist op den afstand geplaatst is, welke vereischt wordt, om de vereenigingspunten der stralen vlak op het netvlies te doen vallen.

Om gelijke reden zal een witte draad op eene zwarte lat gespannen, en door dezelfde kleine openingen beschouwd, dubbel gezien worden, terwijl de beide schijnbare draden elkander op een zeker punt kruissen, hetwelk dan den normalen gezichtsafstand zoude aanduiden. Op de laatstgenoemde wijze (1) zijn bij vijf personen, die alle met mikroskopische

(1) Ik heb aan dezelve de voorkeur gegeven, boven den meer zamengestelden optometer van Stampfer, welks aanwending het oog veel meer inspant, terwijl bovendien het punt, waar de beide beelden der spleet ineen smelten, moeilijker waarneembaar is, zoodat dan ook de bepalingen daarmee verrigt deorgaans te gering uitvallen. Zoo b. v. vond A, bij 10 waar-

waarnemingen vertrouwd, en derhalven aan naauwkeurig zien gewoon waren, de volgende bepalingen verrigt, en wel telkens aan dat oog, hetwelk zij bij voorkeur tot waarneming gebruiken. *Ab* is dezelfde als *A*, doch voorzien van den verstrooiingsbril, dien hij, als zijnde bijziende, gewoonlijk draagt. De orde der cijfers in het tafeltje is dezelfde, als die der opvolgende bepalingen. De maat is in onderdeelen van den meter uitgedrukt.

A.	<i>Ab</i> .	B.
max. 0,175.	0,414.	max. 0,455.
0,165.	max. 0,446.	min. 0,510.
0,164.	0,588.	0,541.
0,166.	min. 0,564.	0,551.
9,162.	0,585.	0,594.
0,161.	0,568.	0,551.
min. 0,145.	0,452.	0,401.
0,157.	0,597.	0,572.
0,162.	0,414.	0,555.
0,160.	0,596.	0,450.
Gemidd. 0,1617.	0,4004.	0,5718.
C.	D.	E.
0,502.	0,275.	0,192.
0,522.	max. 0,522.	0,191.
0,506.	0,500.	min. 0,146.
min. 0,224.	0,505.	0,245.
0,506.	0,272.	max. 0,528.
0,280.	0,265.	0,285.
0,552.	0,270.	0,280.
0,525.	0,250.	0,295.
0,505.	0,255.	0,295.
max. 0,541.	min. 0,252.	0,297.
Gemidd. 0,5059.	0,2726.	0,2554.

nemingen, als minimum van den afstand 0,137 met., als maximum 0,167 met., en als gemiddelde van alle bepalingen 0,1495 met.

Ik heb deze getallen opzettelijk in hun geheel medege-deeld, ten einde te doen zien, hoe hoogst veranderlijk de accomodatietoestand van het oog is, en hoe weinig vertrouwen zelfs het gemiddelde cijfer uit een vrij groot getal van zulke bepalingen verdient. Hetzelve kan nimmer tot vasten grondslag van eenige berekening strekken, daar de waarschijnlijke fout veel te groot is. Hoogstens kunnen deze gemiddelden als benaderingswaarden worden aangemerkt, welke eenigermate den individuelen toestand van het oog en den afstand, waarop hetzelve *gewoon* is duidelijk te zien, vertegenwoordigen, en als zoodanig zal ik dezelve ook in het vervolg aanwenden.

75. Eene meer ware voorstelling van dien toestand, en tevens van het accomodatievermogen van het oog, zoude men erlangen, indien het mogelijk ware de grenspunten te bepalen, waarop zich de voorwerpen moeten bevinden, om een zuiver beeld, zonder de minste diffusie, op het netvlies te vormen. Voor het eene dezer punten, namelijk dat, hetwelk zich het meest nabij het oog bevindt, is dit met tamelijke zekerheid te bewerkstelligen. Indien men eenen maatstok met het eene einde tegen het oog plaatst, en langs denzelfden eenig voorwerp, b. v. eene naald heen en weder beweegt, dan zal men, het oog naderende, spoedig eene plaats vinden, waar de randen der naald ophouden zich volkomen scherp te vertoonen. Het beeld valt nu niet meer op maar achter het netvlies, en dit laatste wordt alleen door convergerende stralen getroffen, terwijl het oogenblik, waarop dit begint, gemakkelijk waarneembaar is, omdat het diffusiebeeld in dit geval snel in grootte en uitgebreidheid toeneemt.

Voor dezelfde personen als de bovengenoemden, werd dit

naastbij gelegen of *eerste* grenspunt gevonden op eenen afstand van

A.	A b.	B.	C.	D.	E.
0,100	0,175	0,153	0,120	0,168	0,125 met.,

waaruit blijkt, bij eene vergelijking met de gemiddelde waarden voor den duidelijkheidsafstand, dat, hoewel over het algemeen een oog, hetwelk eenen geringeren gemiddelden duidelijkheidsafstand bezit, ook eene grootere toenadering van het voorwerp veroorlooft, zonder dat het accommodatievermogen te kort schiet, zulks echter geenzins zonder uitzondering is.

74. Doch, terwijl de bepaling van het meest nabij gelegen grenspunt geene bezwaren oplevert, is het anders gelegen met het *tweede* grenspunt. Verwijdert men eenig voorwerp meer en meer van het oog, dan zal er wel eindelijk in vele gevallen een punt moeten komen, waarop de stralen, die van het voorwerp uitgaan, zich niet meer op maar vóór het netvlies tot een beeld vereenigen, zoodat het netvlies alleen divergerende stralen ontvangt, en er dus een diffusiebeeld ontstaat. Doch het vinden van dit juiste punt, is daarom hoogst moeilijk, omdat het voorwerp, bij het verwijderen, al kleinere en kleinere beeldjes in het oog vormt, die schijnbaar nog even scherp begrensd zijn, als vroeger, toen het vereenigingspunt juist op het netvlies viel. Indien men echter zulk een netvliesbeeldje van een meer verwijderd voorwerp met een vergrootglas konde beschouwen, zoodat het zich even groot vertoonde, als dat van hetzelfde voorwerp, toen het binnen de grenzen van het accommodatievermogen was geplaatst, dan lijdt het geen twijfel, of het zoude aan den nevelachtigen rand, in de meeste gevallen, als een diffusie-

beeld herkend worden, al meent ook de waarnemer, dat hij het voorwerp nog scherp begrensd ziet. Men kan zich dit eenigermate verduidelijken, door op een scherm het beeld op te vangen, hetwelk door eene lens van eenig daarvoor gehouden voorwerp gevormd wordt. Heeft men dit eerst op zulken afstand geplaatst, dat het beeld zich met volkomen scherpe randen op het scherm afteekent, dan zal men, bij verkorting van dien afstand, oogenblikkelijk het vormen van het diffusiebeeld waarnemen, en de onduidelijkheid neemt zeer spoedig toe, omdat het beeld te gelijker tijd grooter wordt. Verwijdert men daarentegen het voorwerp van de lens, dan ziet men nog een tijdlang een tamelijk scherp beeld, hetwelk al kleiner en kleiner wordt, doch nu door een vergrootglas tot de vroegere grootte teruggebragt, eenen nevelachtigen omtrek vertoont.

Dat werkelijk ook voor oogen, die overigens geenzins tot de bijzienden behooren, zulk een tweede grenspunt van het accomodatievermogen bestaat, zal uit het vervolg blijken. Het is echter uit het gezegde duidelijk, dat deszelfs bepaling, op de zoo even vermelde wijze voor het eerste punt, alleen dan mogelijk is, wanneer het tweede grenspunt zich niet te ver van het oog bevindt, derhalven alleen bij eenen vrij aanzienlijken graad van bijziendheid. Voor het ongewapend oog van A was hetzelfde gelegen op 0,270 met. Zijn accomodatievermogen veroorloofde hem dus tusschen 0,100 en 0,270 met. met volkomen duidelijkheid te zien. Door den verstrooiingsbril werd het eerste punt verplaatst tot op 0,175 met., doch nu gelukte het hem niet meer de plaats van het tweede grenspunt te bepalen, in weerwil dat in het eigenlijk accomodatievermogen door de bril geen de minste verandering kon zijn te weeg gebragt. Zeer ver verwijderde

voorwerpen, b. v. de maan aan den helderen hemel, ziet hij met volkomen scherpe randen.

Overigens wordt door het gezegde de mogelijkheid niet ontkend, dat er bij de groote verscheidenheid der oogen, geene zouden kunnen bestaan, waar het vereenigingspunt voor *paralelle* stralen juist op het netvlies valt, zoodat het beeld van oneindig ver verwijderde voorwerpen niet alleen schijnbaar, maar ook werkelijk vrij van alle diffusie is. Alleenlijk komt het mij voor, dat deze toestand van het oog niet, gelijk vele schrijvers meenen, als de regel, maar veeleer als uitzondering is aan te merken. Later zal ik eenige voorbeelden bijbrengen, waaruit het blijken zal, dat er echter inderdaad zulke gevallen voorkomen.

75. Er is eene bijzonderheid van het netvliesbeeldje, waarop hier moet worden opmerkzaam gemaakt, daar zij den sleutel geeft tot verklaring van eenige verschijnselen bij het zien. Indien men naar eenig sterk lichtend voorwerp, b. v. de vlam eener lamp ziet, dan vertoont zich deze omgeven met eenen krans van zich naar alle zijden verbreidende stralen. Deze krans is geheel iets anders, dan de nevelachtige rand van een diffusiebeeld, want zij wordt ook dan waargenomen, wanneer het lichtend voorwerp zich binnen de grenzen van het accomodatievermogen bevindt. Zij vindt hare verklaring in eene zijdelingsche verbreiding van den op het netvlies plaats hebbenden indruk, en men noemt het verschijnsel zelf de *irradiatie*. Het werkelijke netvliesbeeld kan dus zeer klein zijn, in verhouding tot den omvang van het gedeelte van het netvlies, dat den indruk ontvangt. Dat eener vaste ster b. v. is bijna als een mathematisch punt te beschouwen, en echter neemt het oog hetzelfde met eene ze-

kere uitgebreidheid waar. Naar mate de hoeveelheid licht, die van eenig voorwerp uitstraalt, geringer is, zal ook de irradiatie verminderen, doch altijd heeft dezelve in meerdere of mindere mate plaats, en zij moet derhalven als eene der hoofdrekenen beschouwd worden, die bijdragen, om het onderscheidingsvermogen van het oog te beperken.

76. Behalven de begrenstheid van het accomodatievermogen en de irradiatie, zijn er nog andere algemeene oorzaken, waardoor het waarnemingsvermogen van het oog beperkt wordt.

In de eerste plaats komen hier in aanmerking de *werkelijke* en de *schijnbare grootte* der voorwerpen, welke laatste gemeten wordt, door den gezigtshoek, waaronder de voorwerpen gezien worden.

Onder gezigtshoek verstaat men den hoek gevormd door de stralen, welke, van de uiterste grenzen van eenig voorwerp b. v. *a* en *b* fig. 48 uitgaande, elkander in een binnen in het oog gelegen punt *o* kruissen. Dit punt noemt men het *kruissingspunt der rigtingsstralen* of *rigtingslijnen*. Hetzelve ligt, volgens de nieuwste onderzoekingen van Listing (1), die door de latere van Volkmann (2) bevestigd zijn, dicht bij de achtervlakte der kristallens, en derhalven iets vóór het middel- of draaipunt van den oogbol. De bepalingen, door den laatsten verrigt, gaven voor deszelfs gemiddelden afstand: van de voorste oppervlakte van het hoornvlies 9,95 millim.; van de achterste oppervlakte der kristallens 0,95 millim.; van het netvlies 14,02 millim.

(1) *Beitrag zur Physiologischen Optik*. Göttingen 1845. p. 17. Het kruissingspunt is eigenlijk de middelbare afstand van twee andere zeer nabij elkander gelegen punten, de zoogenaamde *knooppunten*.

(2) Wagner's *Handwörterbuch der Physiologie*, Art. *Sehen*, p. 239.

Moser (1) vond voor den afstand der beide knooppunten van de voorste oppervlakte van het hoornvlies, 7,98 en 8,19 millim., waarvan de gemiddelde, of de afstand van het kruissingspunt 8,085 millim. is, hetgeen aan eene verwijdering van 15,865 millim. van het netvlies beantwoordt. Listing neemt voor deze laatste, als rond getal, 15 millim. aan. Het spreekt echter van zelf, dat deze afstand veranderlijk is, niet alleen bij verschillende individus, maar ook bij verschillende accomodatietoestand van het oog, zoodat ook deze cijfers slechts als benaderend kunnen worden aangemerkt.

77. Dat de grootte van het netvliesbeeldje afhankelijk is van den gezigtshoek, waaronder men een en hetzelfde voorwerp ziet, blijkt uit fig. 51. Bevindt zich het voorwerp tusschen a en b , dan is de gezigtshoek aob , en het netvliesbeeldje ligt tusschen a' en b' . Brengt men hetzelfde voorwerp op eenen driemaal korteren afstand van het kruissingspunt in cd , dan is zoowel de gezigtshoek cod , als het netvliesbeeldje $c'd'$ driemaal grooter dan vroeger, toen het voorwerp zich bij ab bevond.

Bezaten dus alle oogen een gelijk accomodatievermogen, en het netvlies altijd dezelfde mate van gevoeligheid voor gezichtsindrukken, dan zoude ook de graad van kleinheid der voorwerpen, die nog waargenomen kunnen worden, voor alle oogen gelijk zijn. Dit is echter het geval niet, uit hoofde dat de grenspunten voor het duidelijk zien bij elk oog verschillende zijn.

78. De vraag, welke zijn de kleinst mogelijke voorwer-

(1) Dove's *Repertorium der Physik*. V. s. 364.

pen, die nog door het ongewapend oog kunnen waargenomen worden, is voor de theorie van het mikroskoop niet onbelangrijk. Ook zal hare beantwoording ons in het vervolg den maatstaf aan de hand geven, om de uitwerkselen van dit werktuig te beoordeelen. Deze beantwoording is echter niet zeer gemakkelijk met volkomen naauwkeurigheid te doen, daar het aan de middelen ontbreekt, om den doormeter van eenig voorwerp zoo trapsgewijze te verminderen, dat het oogenblik van deszelfs verdwijning met juistheid kan worden waargenomen (1). Ik heb mij daarom van eene reeks van zeer kleine voorwerpen bediend, welke veroorloofden althans eenigermate de grenzen te bepalen van de zichtbaarheid en de onzichtbaarheid voor verschillende oogen.

79. Tot dit oogmerk werden pollenkorrels van onderscheiden planten tusschen twee volkomen zuivere glasplaatjes be-

(1) Tot bereiking van dit doel heb ik twee paren plaatjes laten vervaardigen, waarvan die van het eene paar zoodanig onder eenen regten hoek waren uitgesneden, dat zij, door middel van een fijn rondselwerk over elkander glijdende, eene vierkante opening vormden, welke men naar willekeur grooter en kleiner kon maken. Het andere paar moest dienen, om, op eene dergelijke wijze, eene spleet van willekeurige grootte te vormen. Het is mij echter gebleken, dat op deze wijze geene naauwkeurige uitkomsten konden verkregen worden, omdat de beide plaatjes zich in een verschillend vlak bevinden, en er eene buiging van het licht plaats heeft, die de opening, wanneer zij zeer klein wordt, grooter doet schijnen, dan zij werkelijk is.

Eerst later, nadat de boven medegedeelde waarnemingen reeds verrigt waren, ben ik op eene andere methode bedacht geworden, die zeer naauwkeurige uitkomsten belooft. Deze zoude namelijk daarin bestaan, dat men, door middel eener aplanatische dubbellens, van eenig voorwerp, welks doormeter vooraf bepaald was, een luchtbeeld doet ontstaan, waarvan de grootte dan gemakkelijk berekend kan worden. Daar men de lens naar willekeur van het voorwerp verwijderen kan, zoo kan men ook het luchtbeeld alle trappen van kleinheid, tot verdwijnen toe, doen doorloopen. Een werktuig naar dit beginsel vervaardigd, zoude een meter wezen voor de scherpte van het gezigt.

sloten, indiervoege, dat elke korrel geheel geïsoleerd lag. De gebruikte korrels waren alle nagenoeg bolrond, wit en ondoorschijnend. De volgende bepalingen zijn verrigt bij doervallend licht, eensdeels dewijl de meeste mikroskopsche waarnemingen bij dit licht gedaan worden, anderendeels dewijl men hierbij minder gevaar loopt door de verschijnse-len der irradiatie misleid te worden, dan bij opvallend licht. Ten einde steeds eenen gelijken graad van verlichting te hebben, zijn alle waarnemingen geschied bij het licht eener Argandsche lamp achter een mat geslepen glas geplaatst, op 1 met. afstand van het voorwerp. De afstand van dit laatste van het oog was die, waarop de waarnemer hetzelfde het beste zag.

	Gemiddel- de duide- lijke- afstand in met.	Afstand van het naaste grenspunt in met.	Zigtbaar.	Onzichtbaar.
A.	0,162.	0,100.	$23 \text{ mm} = \frac{1}{43,5} \text{ millim.}$	
A b.	0,400.	0,175.	$46 \text{ » » } \frac{1}{21,5} \text{ »}$	$41 \text{ mm} = \frac{1}{24,4} \text{ millim.}$
B.	0,372.	0,135.	$40 \text{ » » } \frac{1}{25} \text{ »}$	$37,5 \text{ » » } \frac{1}{27} \text{ »}$
C.	0,304.	0,120.	$37,5 \text{ » » } \frac{1}{27} \text{ »}$	$32 \text{ » » } \frac{1}{31,3} \text{ »}$
D.	0,273.	0,163.	$46 \text{ » » } \frac{1}{21,5} \text{ »}$	$41 \text{ » » } \frac{1}{24,4} \text{ »}$
E.	0,255.	0,125.	$25,5 \text{ » » } \frac{1}{39,2} \text{ »}$	$23 \text{ » » } \frac{1}{43,5} \text{ »}$

Hieruit blijkt, dat voor de oogen der vijf personen, die deze waarnemingen bewerkstelligden, de grenzen der zichtbaarheid van ronde of bolvormige voorwerpen $\frac{1}{21,5}$ tot $\frac{1}{43,5}$ millim. waren. Mogelijk zelfs is dit laatste cijfer nog iets te groot, daar hetzelfde de doormeter is van het kleinste der

pollenkorrels, die tot het onderzoek werden aangewend. Niet altijd zijn de nog zichtbare voorwerpen des te kleiner, hoe geringer de afstand is van het naaste grenspunt, want bij C en E heeft het omgekeerde plaats, hetgeen bewijst, dat hier een verschil in gevoeligheid van het netvlies bestaat. Als regel echter mag men aannemen, dat het vermogen, om kleine voorwerpen te zien, toeneemt met het vermogen, om het oog voor korte afstanden te accomoderen. Daar dit nu bij bijzienden over het algemeen het grootst is, zoo kunnen zij ook veel scherper kleine voorwerpen onderscheiden, dan andere, wier oogen dit vermogen in mindere mate bezitten. Men kan het daarom reeds als zeker stellen, dat een nog sterker bijziend oog, dan dat van A, nog aanmerkelijk kleinere voorwerpen kan onderkennen. Hueck (1) verhaalt een geval, waarin het naaste grenspunt zich op eenen afstand van 20 millim., het verste op 74 millim. van het oog bevond. Zoo iemand zoude dus, voorondersteld, dat overigens het oog in goeden staat is, nog een vijf maal kleiner voorwerp dan A kunnen onderscheiden, derhalven van $\frac{1}{5 \cdot 17}$ millim., hetgeen merklijk geringer is, dan de doormeter van een menschelijk bloedschijfje.

80. In werkelijkheid gaat echter het waarnemingsvermogen van het bloote oog nog verder. Voorwerpen, die in verhouding tot hunne dikte zeer lang zijn, b. v. haren en draden, worden met veel meer gemak gezien, dan vierkante of ronde ligchaampjes van gelijken doormeter. De gelijktijdige indruk, dien het netvlies dan op vele punten van deszelfs oppervlakte ontvangt, en welke de som is van vele gedeeltelijke indruk-

(1) *Die Bewegung der Krystallinse*. Leipzig 1841. p. 7.

ken, is de oorzaak van dit verschil. Inderdaad is het mij niet gelukt in de natuur voorwerpen, die dezen vorm bezitten, te vinden, welke voor het bloote oog onzichtbaar zijn. De draad eener spin, welke eenen doormeter van $\frac{1}{475}$ millim. had, in de horizontaal geplaatste buis van een mikroskoop gespannen, waaruit de glazen verwijderd waren, en zoodanig tegenover een door eene Argandsche lamp verlicht mat glas gesteld, dat er geen de minste terugkaatsing (1) langs de randen van den draad plaats greep, werd nog door allen duidelijk gezien, zoodat met dezen doormeter nog geenzins de grens is aangegeven voor het vermogen, om draad- of haarvormige lichamen met het bloote oog waar te nemen. (2)

82. De grootte van den gezigtshoek (3), waaronder zulke

(1) Zoodra er terugkaatsing is, wordt de draad, ten gevolge der irradia-
tie, veel zichtbaarder. Elk weet, hoe gemakkelijk een spinneweb in den
zonneshijn herkend wordt. De bedoelde draad, juist in de as van de
buis geplaatst, kan door A nog op 0,192 met. afstand gezien worden,
doch toen dezelve 7 millim. ter zijde van de as geplaatst was, zoodat er
eene totale reflexie langs de oppervlakte plaats greep, werd die afstand
tot op 0,560 met. verlengd.

(2) Bij eene andere gelegenheid (*Recherches micrométriques sur le dé-
veloppement des tissus et des organes humains*. Utrecht 1845. p. 2) heb
ik gezegd, dat eene spinnewebdraad van $\frac{1}{755}$ milim. nog zichtbaar is. Daar
ik toen niet, zoo als nu, alle voorzorgen genomen had, om de terugkaatsing
en de daardoor veroorzaakte irradia-
tie te vermijden, zoo heb ik hierboven
alleen de latere uitkomst vermeld, ofschoon ik niet twijfel, dat nog veel
fijnere draden zichtbaar zijn.

(3) De grootte in seconden van zulke zeer kleine gezigtshoeken, als hier
alleen in aanmerking komen, wordt, indien de afstanden en de grootte van
het voorwerp zijn uitgedrukt in *mmm*, op de eenvoudigste wijze bere-
kend door de formule:

$$Q = \frac{162000}{0,7853981} \cdot \frac{d}{a+b} \text{ of } \text{Log. } 5,31473 + \text{Log. } \frac{d}{a+b},$$

waarin Q den gezigtshoek, a den afstand van het voorwerp van het hoorn-
vlies, d deszelfs doormeter, en b den afstand van het kruissingspunt der
rigtingstralen van het hoornvlies beteekent. Ik ben de mededeeling dezer

kleine voorwerpen gezien worden, is natuurlijk hoogst gering. Reeds verscheidene onderzoekers, Treviranus (1), Valentin (2), Harris (3) en vooral Hueck (4), hebben een aantal waarnemingen verrigt, om dezen kleinst mogelijken hoek te vinden. Dat zij niet tot geheel overeenstemmende resultaten zijn geraakt, ligt eensdeels daarin, dat het werktuig zelf, dat tot de waarneming moest worden aangewend, het oog namelijk, zoo hoogst verscheiden is, anderendeels echter ook daarin, dat de uitkomst door bijkomende omstandigheden, vooral door de wijze der verlichting, meer of min belangrijk gewijzigd wordt.

Ik reken het daarom niet ongepast in de bijgevoegde tafels de uitkomsten mede te deelen eener reeks van eigene onderzoekingen over dit onderwerp.

Tafel I bevat die, welke verkregen zijn met ligchaampjes, wier gedaante nagenoeg bolvormig is. Hunne namen en afmetingen zijn de volgende:

formule aan mijnen overledenen vriend Wenckebach verschuldigd. Zij is gegrond op de aanname, dat bij zeer kleine boogen de tangens en de boog nagenoeg gelijke lengte hebben.

(1) *Beiträge zur Anatomie und Physiologie der Sinneswerkzeuge*. s. 31.

(2) *Lehrbuch der Physiologie*. II. s. 331.

(3) Mackenzie, *The Physiology of Vision*. p. 146.

(4) L. c. s. 14, en Müller's *Archiv*. 1840. s. 82. De vroegere waarnemingen, van Jurin, Smith en Maijer zijn medegedeeld door Priestley, *The History and present state of discoveries relating to vision, light and colours* 1772. p. 678 et seq.

N ^o .	NAAM VAN HET VOORWERP.	Kleur.	DOORMETER IN mm.		
			Grootste.	Kleinste.	Gemiddelde.
1.	Korrel parelsago.	wit.	1340.	1460.	1300 = $1\frac{1}{2}$ millim.
2.	Pollenkorrel van <i>Laetara alba</i> .	id.	181.	173.	178 " $\frac{1}{3},7$ "
3.	" <i>Mirabilis Jalappa</i> .	geel.	174	171.	172,5 " $\frac{1}{3},8$ "
4.	" "	id.	161.	161.	161 " $\frac{1}{3},2$ "
5.	" "	id.	145.	140.	141,5 " $\frac{1}{3},1$ "
6.	" <i>Laetara alba</i> .	wit.	145.	140.	141,5 " $\frac{1}{3},1$ "
7.	" <i>Mirabilis Jalappa</i> .	geel.	141.	132.	136,5 " $\frac{1}{3},3$ "
8.	" <i>Cucurbita Pepo</i> .	id.	154.	150.	152 " $\frac{1}{3},6$ "
9.	" <i>Mirabilis Jalappa</i> .	id.	118.	117.	117,5 " $\frac{1}{8},5$ "
10.	" <i>Dipsacus pilosus</i> .	wit.	80.	78.	79 " $\frac{1}{12},6$ "
11.	" <i>Canna indica</i> .	geelachtig wit.	61.	60.	60,5 " $\frac{1}{16},5$ "
12.	" <i>Sabeia bracteata</i> .	id.	61.	50.	55,5 " $\frac{1}{8}$ "
13.	" <i>Phlox paniculata</i> .	wit.	48.	45.	46,5 " $\frac{1}{11},5$ "
14.	" <i>Campanula rapunculoides</i> .	id.	42	40.	41 " $\frac{1}{11},4$ "
15.	" <i>Dahlia Marhi</i> .	geel.	45.	37.	40 " $\frac{1}{15}$ "
16.	Sporidie	id.	59.	56.	57,5 " $\frac{1}{17}$ "
17.	Pollenkorrel	id.	55.	51.	52 " $\frac{1}{13},3$ "
18.	" <i>Delphinium hirsutum</i> .	id.	29.	26.	27,5 " $\frac{1}{36},4$ "
19.	" <i>Antirrhinum majus</i> .	wit.	53.	16.	23,5 " $\frac{1}{55},2$ "
20.	" <i>Clematis cylindrica</i> .	id.	24.	22.	25 " $\frac{1}{43},5$ "

In tafel II zijn de uitkomsten opgeteekend verkregen met voorwerpen, die aanmerkelijk veel langer dan breed zijn.

Hunne lengte bedroeg 25 tot 30 millim. Hun doormeter doorgaans op drie plaatsen gemeten was:

N ^o .	NAAM VAN HET VOORWERP.	DOORMETER IN <i>mmm.</i>			Gemiddelde.
		Uit-einde.	Mid-den.	Uit-einde.	
1.	Koperdraad.				279,0 = $\frac{1}{3,6}$ millim.
2.	Idem.				227,0 " $\frac{1}{4,4}$ "
3.	Idem.				194,0 " $\frac{1}{5,1}$ "
4.	Idem.				91,0 " $\frac{1}{10,8}$ "
5.	Haar van een Leeuw.				84,0 " $\frac{1}{12}$ "
6.	" " Luipaard.	87.	85.	82.	68,0 " $\frac{1}{13}$ "
7.	" " Mensch.	60.	65.	78.	65,4 " $\frac{1}{16}$ "
8.	" " Kat.	61.	60.	68.	46,5 " $\frac{1}{16}$ "
9.	" " Blaauwe Vos.	42.	35.	45.	57,0 " $\frac{1}{17}$ "
10.	Draad van een Zijworm. (1)	55.	42.	56.	25,5 " $\frac{1}{40}$ "
11.	Haar van een Blaauwe Vos.				17,7 " $\frac{1}{55}$ "
12.	" " Konijn.	16.	17.	20.	14,7 " $\frac{1}{65}$ "
13.	" " Mus laniger.	15.	17.	14.	15,7 " $\frac{1}{73}$ "
14.	" " idem.	10.	14.	17.	15 " $\frac{1}{77}$ "
15.	Draad van eenen Schroefmikrometer. (2)	15.	14.	12.	9,5 " $\frac{1}{105}$ "
16.	Spinnewebdraad. (3)				2,1 " $\frac{1}{470}$ "

(1) Grootste doormeter 29 *mmm.*, kleinste doormeter 23 *mmm.*

(2) Grootste doormeter 10 *mmm.*, kleinste 8,8 *mmm.*

(3) Grootste doormeter 2,5 *mmm.*, kleinste 1,9 *mmm.*

82. De waarnemingen zijn op de volgende wijze verrigt.

Voor opvallend licht werden de voorwerpen gelegd op eenen zwarten ondergrond. In de meeste gevallen echter is, zoo als uit de tafels blijkt, van doorvallend licht gebruik gemaakt. Tot verlichting van het gezigtsveld dienende, met uitzondering van de in de tafels aangeduide gevallen, eene Argandsche lamp, welker vlam zoodanig geregeld werd, dat hare lichtsterkte bij elke waarnemingreeks dezelfde was. De vlam was bedekt door een mat geslepen glas, en hiervoor stond op eenigen afstand een diaphragma, met eene opening van 5 centim., vóór het midden der vlam. De noodzakelijkheid dezer gelijkvormigheid in den graad van verlichting zal zoo aanstonds blijken. Het voorwerp, besloten tusschen twee zuivere glasplaatjes, werd op een geschikt onderstel geplaatst, op dezelfde hoogte als de opening in het diaphragma. Vóór het voorwerp bevond zich de horizontaal geplaatste buis van een mikroskoop, waaruit de glazen verwijderd waren, in dier voege, dat het voorwerp in de verlengde van de as der buis lag, welke verlengde as tevens door het midden van het diaphragma en van de vlam ging. De waarnemer eene andere buis voor het oog en dit steeds op het voorwerp gevestigd houdende, verwijderde zich nu langzaam daarvan, tot op het oogenblik, dat hetzelfde geheel verdwenen was. Alsdan weder even voorwaarts tredende, totdat eene spoor van het voorwerp zichtbaar was, werd de afstand van hetzelfde gemeten tot aan het oog. Uit den bekenden doormeter van het voorwerp, en den gevonden afstand, werd vervolgens de gezichtshoek berekend, onder bijvoeging nogthans van 10 millim., voor den afstand van het kruissingspunt in het oog tot aan de buitenste oppervlakte van het hoornvlies.

83. In weerwil van alle aangewende voorzorgen om de waarnemingen zoo naauwkeurig mogelijk te doen zijn, konden echter eenige tegenstrijdige uitkomsten niet vermeden worden. De lezer zal ontwaren, dat somwijlen door denzelfden waarnemer kleinere voorwerpen op eenen verderen afstand gezien zijn, dan andere, die eenigzins grooter waren; iets, dat uit den aard der zaak niet mogelijk is, indien de omstandigheden telkens volkomen gelijk waren. Doch indien men bedenkt, hoe hoogst veranderlijk de toestand van het oog is, hoe een gering verschil in de meer of minder juiste werking van het accomodatievermogen dadelijk eenen belangrijken invloed op de waarneming moet hebben, dan kunnen deze afwijkende uitkomsten niet verwonderen. Ook schaden dezelve in geenen deele aan de algemeene gevolgtrekkingen, die uit deze waarnemingen zijn af te leiden.

84. In de eerste plaats is de invloed der verlichting duidelijk. Bij opvallend zonlicht kan men een voorwerp veel verder zien, dan bij eenige andere verlichtingswijze. Blijkbaar moet dit toegeschreven worden aan de sterke irradiatie op het netvlies door het teruggekaatste licht, hetgeen ook daardoor bevestigd wordt, dat de afstand waarop kleinere voorwerpen (T. I, kol. *a*. N°. 14—19) nog zichtbaar zijn, in verhouding tot dien van grootere (N°. 1—9), geenzins zoo veel afneemt, als bij eene andere verlichtingswijze wordt opgemerkt. (z. kol. *e* en *h*) De uitgebreidheid der geirradieerde oppervlakte van het netvlies hangt namelijk minder af van de hoeveelheid, dan van de intensiteit van het licht. Voor eene berekening van den gezigtshoek zijn dus zulke waarnemingen geheel onbruikbaar.

Naar gelang de intensiteit van het opvallend licht afneemt

vermindert ook, zooals trouwens vooraf te verwachten was, de zichtbaarheidsafstand. (Verg. kol. *b.* en *c.*)

85. Juist het tegendeel neemt men waar bij doorvallend licht (verg. de kol. *d.*, *e.*, *f.*, *g.*) Binnen de grenzen, waartusschen de waarnemingen verrigt zijn, neemt de zichtbaarheidsafstand toe, en gevolglijk de gezichtshoek af, naar mate het licht verder verwijderd, en het gezigtveld minder verlicht is. Ook dit laat zich verklaren als een gevolg der irradiatie, welke hier echter in eenen tegengestelden zin werkt. Bij de waarneming namelijk, van een ondoorschijnend voorwerp op een verlicht veld, vormt zich op het netvlies geen waar beeld van het voorwerp, daar van hetzelfde geene stralen uitgaan, maar de waarneming geschiedt daardoor, dat, terwijl het geheele omringend gedeelte van het netvlies den indruk van het licht ontvangt, er zich te midden van dat lichtbeeld een klein plekje bevindt, hetwelk niet verlicht is. Aldaar ontstaat dus een schaduwbeeldje van het voorwerp, doch, even als elk ander licht naar alle zijden op het netvlies den indruk voortplant, zoo geschiedt zulks ook door den het schaduwbeeldje omgevenden lichtkring, zoodat ten gevolge van hare binnenwaartsche uitbreiding de plaats van het schaduwbeeldje minder donker en derhalven minder waarneembaar wordt, dan anders het geval zoude geweest zijn, en zulks in des te meerdere mate, hoe grooter de intensiteit van het op het netvlies vallende licht is.

86. Indien wij de uitkomsten van Taf. I vergelijken met die van Taf. II, dan wordt de vroeger gemaakte opmerking, dat voorwerpen, die in ééne rigting sterk verlengd zijn, veel gemakkelijker zichtbaar zijn dan voorwerpen, die in alle

rigtingen denzelfden doormeter hebben, ten volle bevestigd. Welke de hoegrootheid is van het door den vorm teweeggebrachte verschil in den zichtbaarheidsafstand, laat zich uit de in de tafels opgeteekende uitkomsten niet met juistheid opmaken. Daartoe zouden vergelijkende waarnemingen aan bol- en draadvormige lichamen van volkomen denzelfden doormeter vereischt worden, en bij diegenen, welke tot het onderzoek gediend hebben, is dit met geen enkel het geval. Echter kan men, door de meest overeenkomstige waarnemingen onderling te vergelijken, het doel nabijkomen.

BOLVORMIGE VOORWERPEN.				DRAADVORMIGE VOORWERPEN.			
	Door- meter.	Afstand.	Gezichts- hoek.		Door- meter.	Afstand.	Gezichts- hoek.
A.	178.	0,396.	90'',4.	194.	0,865.	45'',8.	
	79.	0,341.	46'',4.	84.	0,850.	19'',7.	
	46,5.	0,250.	36'',9.	46,3.	0,750.	12'',6.	
	25,5.	0,167.	29'',7.	25,3.	0,520.	9'',8.	
B.	178.	0,822.	44'',2.	194.	6,239.	6'',4.	
	79.	0,762.	36'',5.	84.	4,490.	3'',9.	
	40.	0,212.	37'',2.	37.	2,629.	2'',8.	
D.	178.	0,520.	69'',3.	194.	4,390.	9'',1.	
	79.	0,328.	37'',9.	84.	2,980.	6'',3.	
	46,5.	0,215.	42'',6.	46,3.	1,705.	5'',6.	

Deze zamenstelling doet zien, dat er in dit opzicht een niet onbelangrijk verschil tusschen onderscheiden waarnemers bestaat. De bijziende A ziet draadvormige voorwerpen ongeveer 2 tot 5 maal verder dan bolvormige; de verziende B daarentegen 8 tot 12 maal, de iets minder verziende D 8 tot 9 maal. Verders zal men opmerken, dat over het

algemeen dit verschil in de zichtbaarheidsafstand toeneemt, naar mate de doormeter geringer is.

87. De kleinste gezichtshoek, waaronder de voorwerpen nog zichtbaar zijn, is niet voor alle oogen dezelfde, gelijk de getallen in de tafels aantonen. De kleinste der waargenomen hoeken voor bolvormige voorwerpen onder de gewoonlijk aangewende verlichtingswijze bedroeg 24". Bij vermindering der verlichting van het gezichtsveld zoude dit cijfer echter nog eenigzins dalen, daar een, op dezelfde wijze, verlicht voorwerp, hetwelk om gezien te worden eenen hoek van 28" behoeft, na de lamp op eenen zesmaal grooteren afstand geplaatst te hebben, nog onder eenen hoek van 25",5 zichtbaar was. Een der waarnemers zag echter geene voorwerpen onder eenen kleineren hoek dan 40",5, zoodat men derhalven niet ver van de waarheid zal zijn, indien men aanneemt, dat de kleinste gezichtshoek voor bolvormige voorwerpen, die zich binnen de grenzen van het accommodatievermogen bevinden, voor onderscheiden oogen tusschen 20" en 40" in ligt, en gemiddeld 50" bedraagt. Voor draadvormige voorwerpen liggen de grenzen van den gezichtshoek, gelijk uit de tafel blijkt, tusschen 2" en 4", gemiddeld 3"; derhalven is zij tienmaal geringer dan voor de eerste soort van lichamen.

88. Een oppervlakkige blik op de tafels doet echter zien, dat grootere voorwerpen reeds onder eenen grooteren hoek ophouden zichtbaar te zijn. Dit verklaart zich uit, en is tevens een bewijs voor het vroeger gezegde, aangaande de grenzen van het accommodatievermogen. Wij zien den gezichtshoek tegelijk met den afstand, waarop de voorwerpen nog

zichtbaar zijn, toenemen, en wel des te sneller, hoe geringer het accomodatievermogen voor verre afstanden is. Hetzelfde merkt men op in de tafels van de door Hueck (1) verkregen uitkomsten, ofschoon hij voor diegenen, bij welken hij, op de boven opgegeven wijze, geen eerste grenspunt voor het accomodatievermogen vinden kon, aanneemt, dat het grooter worden van den gezichtshoek bij grootere afstanden alleen daaraan is toe te schrijven, dat de dampkring niet volkomen doorschijnend is. Het spreekt evenwel van zelf, dat bij kleinere afstanden van hoogstens 6 met., waarbij de bovenstaande waarnemingen, en ook vele van die van Hueck, verrigt zijn, deze invloed als niet bestaande moet worden beschouwd.

89. Echter is geenzins de mogelijkheid te ontkennen, dat het accomodatievermogen zich zooverre uitstrekt, dat het brandpunt voor parallelle stralen juist op het netvlies valt. Zulk een oog zoude, onder overigens gelijke omstandigheden, voorwerpen op eenen oneindigen afstand, onder eenen gelijken hoek kunnen zien als alle andere, die zich nog vóór deszelfs naaste grenspunt bevinden. Het groote verschil in het vermogen van het gezigt, om veraf zijnde voorwerpen te herkennen, is genoeg bekend. Ieder weet, hoe zeelieden een voorwerp, dat zich aan den rand van den horizon ver- toont, reeds als een schip onderkennen, terwijl het voor dengenen, wiens oogen minder geoefend zijn in het zien op

(1) *Die Bewegung der Kristallinse.* s. 14—17. Hueck heeft alle zijne waarnemingen bij opvallend licht verrigt. Ik heb boven reeds aangetoond, dat deze verlichtingswijze zeer bedriegelijk is. Van daar is het waarschijnlijk, dat het door hem waargenomen verschil geringer was voor witte streepen op een zwart veld, dan voor zwarte streepen op een wit veld.

afstanden, ter naauwernood een zichtbare stip schijnt. Ik wil hier een paar voorbeelden bijvoegen, welke bewijzen, dat het zien op zeer groote afstanden ook nog mogelijk is onder eenen zeer kleinen gezigtshoek, mits de omstandigheden gunstig zijn.

Von Humboldt (1) verhaalt van eene luchtballon, die 4 vademen (7,55 met.) doormeter bezat, en welke men te Berlijn op eenen afstand van 6700 vademen (12605 met.) zag naar beneden dalen; er echter bijvoegende, dat men denzelven op eenen grooteren afstand nog zoude hebben kunnen zien. Hij vond voor den gezegden afstand eenen gezigtshoek van 124". In den nevelachtigen dampkring onzer luchtstreek zijn natuurlijk de voorwerpen minder ver zichtbaar, dan in streken, waar de dampkring zeer doorschijnend is. In de provincie Quito kon dezelfde (2) den poncho of witten mantel van eenen man te paard nog met het bloote oog zien, op eenen afstand van 14022 vademen (26381 met., ongeveer $5\frac{1}{2}$ uur gaans), onder eenen gezigtshoek van slechts 15", derhalven ongeveer de helft van den kleinsten hoek, waaronder, blijkens de medegedeelde waarnemingen, voorwerpen die ongeveer even lang als breed zijn, op korten afstand zichtbaar zijn, hetgeen het vermoeden wettigt, dat de sterke terugkaatsing der zonnestralen door de witte kleur van het voorwerp hier eenen belangrijken invloed heeft uitgeoefend.

In de *Reis om de wereld* van Darwin (3) vinden wij een voorbeeld van lange voorwerpen, die op eenen zeer verren afstand nog zichtbaar waren. Bij het beklimmen van

(1) *Tableaux de la Nature*. T. II. p. 82, note.

(2) P. 83.

(3) *Duitsche vertaling door Dieffenbach*, II. s. 6.

den 6400 met. hoogen Campana of Klokkenberg in Chili, kon hij de masten der schepen, die te Valparaiso voor anker lagen, nog als dunne zwarte streepen onderscheiden, op eenen afstand van 26 geographische mijlen. Indien men den doormeter dier masten gelijk stelt aan 1 met., dan bedroeg de gezigtshoek op dien afstand niet meer dan $2'',4$, derhalven evenveel als de kleinste gezigtshoek, waaronder dergelijke voorwerpen ook op korten afstand zichtbaar zijn, (z. T. II), en de mededeeling dezer waarneming is daarom van te meer gewigt, omdat zij geschiedt is aan voorwerpen, die zich op de lucht, en dus op eenen verlichten achtergrond, vertoonden, zoodat hier derhalven geene misleiding door de irradiatie te vreezen was.

Wanneer het veroorloofd ware, de zichtbaarheid van zeer sterk verlichte voorwerpen tot maatstaf van den gezigtshoek te bezigen, dan zoude men moeten aannemen, dat dezelve voor bolvormige lichamen ook veel kleiner zijn kan. Zoo zouden de Otahitiers Uranus, die eenen schijnbaren doormeter van $5'',9$ heeft, reeds lang voor Herschel gekend hebben (1), terwijl de manen van Jupiter, waarvan de grootste eenen schijnbaren doormeter van $4'',5$ heeft, door sommigen met het bloote oog gezien zouden zijn (2). Doch ook, indien dit inderdaad waar zijn mogt, dan mogen zulke waarnemingen hier in geene aanmerking komen, omdat het beeld van alle sterk verlichte lichamen ten gevolge der irradiatie zich op het netvlies veel grooter vertoont dan het werkelijk is, zoodat eene vaste ster, welks schijnbare doormeter onmeetbaar klein is, toch nog een beeld vormt.

(1) Mädler, *Populäre Astronomie*, s. 273.

(2) Musschenbroek, *Introd. ad phil. natur.* II. p. 773.

90. Wanneer wij thans terugkeeren tot de in de tafels medegedeelde waarnemingen, dan zal het in het oog vallen, dat even als de gezichtshoek, waaronder de voorwerpen nog zichtbaar zijn, grooter wordt naar gelang de afstand toeneemt, zoo ook bij sommigen der waarnemers de gezichtshoek, na tot een minimum gekomen te zijn, wederom grooter wordt bij het zien van kleinere voorwerpen. Dit staat in verband met eene andere opmerking, dat namelijk een bijziende (A) zeer kleine voorwerpen (T. I. N°. 13 en 14, T. II. N°. 13—16) nog op eenen verderen afstand kan zien dan een ander (B. C. D.), die niet bijziende is. Deze, bij eene oppervlakkige beschouwing, tegenstrijdig schijnende daadzaken kunnen mijns inziens daardoor verklaard worden, dat het accomodatievermogen eigenlijk niet streeft, om het oog in dien toestand te plaatsen, waarin het beeld juist en scherp op het netvlies valt, maar wel in dien toestand, waarin het voorwerp het best wordt waargenomen. Een voorwerp kan derhalven zoo klein zijn, dat deszelfs volkomen scherp beeld geenen indruk op het netvlies zoude maken, maar door hetzelfde het oog zoo nabij te brengen, dat het eigenlijke beeld iets achter het netvlies valt, en dit laatste door een bundel convergerende stralen getroffen wordt, welks doorsnede eene grootere uitgebreidheid inneemt dan het beeld, kan dan nog een indruk worden teweeg gebragt, en aldus een voorwerp waargenomen, waarvan een scherp netvliesbeeld te klein is, om hetzelfde waarneembaar te maken.

91. Hieruit verklaart zich tevens een ander verschijnsel, dat ieder bij het doen van zulke waarnemingen kan opmerken. Wanneer men namelijk naar een voorwerp staart, hetwelk klein genoeg is, om deszelfs zichtbaarheidsafstand nog

binnen de grenzen van het accomodatievermogen te doen vallen, en men zich nu allengs van hetzelfde verwijderd, dan zal het voorwerp niet plotseling uit het gezigt verdwijnen, maar eerst breeder en nevelachtig worden, d. i. een diffusiebeeld op het netvlies daarstellen. Daar dit nu reeds geschiedt op eenen afstand, waarop het netvlies, van grootere voorwerpen, nog een volkomen scherp beeld kan opnemen, zoo is het hier wederom duidelijk, dat het oog als het ware streeft om den ontvangen indruk vast te houden, door het vereenigingspunt der stralen eenigzins te verplaatsen, zoodat de grootere uitgebreidheid van het dan ontstaande diffusiebeeld eenen indruk nog mogelijk maakt, daar waar de gevoeligheid van het netvlies voor het volkomen scherpe doch kleinere beeld reeds den uitersten grens heeft bereikt. Deze opmerkingen leeren ons dus eene niet onbelangrijke bijzonderheid van den aard der waarneming met het bloote oog kennen, welke wij later door de mikroskopische waarneming zullen bevestigd vinden.

92. Indien men aanneemt, dat het beeldje zich juist op het netvlies bevindt, op het oogenblik dat de gezigtshoek het geringst is, dan zoude men, uit de bekende grootte van het voorwerp, deszelfs afstand van het kruissingspunt der rigtingstralen, en den afstand van dit tot aan het netvlies, gemakkelijk de grootte kunnen berekenen van het kleinste nog waarneembare netvliesbeeldje (1). Verscheidene schrij-

(1) Door eenen eenvoudigen regel van dricën, gelijk bij de beschouwing van fig. 51 blijkt. De doormeter van het netvliesbeeldje is dan $= \frac{de}{a+b}$, indien de afstand van het voorwerp is a , die van het kruissingspunt tot aan het hoornvlies b , van het kruissingspunt tot aan het netvlies e , en de doormeter van het voorwerp d .

vers (1) hebben zulke berekeningen gemaakt, en, dezelve vergelijkende met den doormeter van de het netvlies zamenstellende elementaire deelen, gevonden, dat de nog waarneembare netvliesbeeldjes veel kleiner kunnen zijn dan deze.

Uit eenige der gegevens in de tafels zijn de volgende doormeters der overeenkomstige netvliesbeeldjes volgens deze handelwijze berekend, daarbij voor den afstand van het kruispunt van het netvlies, als gemiddeld cijfer, 14 millim. stellende.

	Doormeter van het voorwerp.	Doormeter van het netvliesbeeldje.
Taf. I. A. N°. 18. g.	27,5 <i>mmn.</i>	1,58 <i>mmn</i> = $\frac{1}{\frac{1}{0,33}}$ millim.
" " " " " e.	id. "	1,89 " " $\frac{1}{\frac{1}{5,30}}$ "
" " B. " 10.	79 "	2,03 " " $\frac{1}{\frac{1}{4,90}}$ "
" " " " 15.	40 "	2,64 " " $\frac{1}{\frac{1}{3,80}}$ "
" " C. " 12.	55,5 "	1,62 " " $\frac{1}{\frac{1}{6,20}}$ "
" " " " 15.	46,5 "	2,59 " " $\frac{1}{\frac{1}{3,90}}$ "
" " " " 14.	41 "	3,50 " " $\frac{1}{\frac{1}{3,00}}$ "
" " " " 15.	40 "	4,67 " " $\frac{1}{\frac{1}{2,14}}$ "
" " " " 16.	57,5 "	3,00 " " $\frac{1}{\frac{1}{2,00}}$ "
Taf. II. A. N°. 16.	2,1 "	0,13 " " $\frac{1}{\frac{1}{0,08}}$ "
" " Ab. " 15.	15,7 "	0,21 " " $\frac{1}{\frac{1}{4,80}}$ "
" " B. " 10.	25,5 "	0,16 " " $\frac{1}{\frac{1}{6,25}}$ "
" " " " 15.	15,7 "	0,59 " " $\frac{1}{\frac{1}{1,69}}$ "
" " " " 14.	13,0 "	0,66 " " $\frac{1}{\frac{1}{1,50}}$ "

Uit het vroeger gezegde blijkt echter, dat dergelijke berekeningen nimmer naauwkeurig kunnen zijn, eensdeels dewijl de afstand van het kruissingspunt geenzins voor alle oogen

(1) Hueck, Müller's *Archiv.* 1840. s. 86. — Valentin, *Lehrbuch* II. s. 427. — Volkmann, *Neue Beiträge zur Physiologie des Gesichtsinns.* s. 202, en in Wagner's *Handwörterbuch*, art. *Sehen.* s. 333-335.

dezelfde is, en hetzelfde bovendien, bij de werking van het accomodatievermogen, noodzakelijk eene verplaatsing ondergaat; anderendeels, dewijl de aanname, dat het beeldje zich juist op het netvlies bevond, blijkens de gemaakte opmerkingen, voor al de gevallen waarop de berekening is toegepast, als onjuist moet worden beschouwd.

Ook zoude ik het overbodig gerekend hebben deze uitkomsten hier op te teekenen, ware het niet, dat juist derzelve onderlinge vergelijking doet zien, dat de grond, waarop de berekening steunt, onmogelijk naauwkeurig zijn kan. Bij B en C zal men namelijk opmerken, dat, wel verre dat de kleinste zoogenaamde netvliesbeeldjes nagenoeg gelijke grootte zouden hebben, integendeel de allerkleinste voorwerpen (T. I. N°. 13, 14. T. II. N°. 15—16) al grootere en grootere beeldjes hebben gevormd. Dit nu verklaart zich zeer eenvoudig door het straks gezegde, dat namelijk de plaats van het ware beeldje voor zulke zeer kleine voorwerpen zich eigenlijk achter het netvlies bevindt. De gevonden doormeter is alsdan niet die van het beeld, maar van het door den convergerenden stralenbundel getroffen gedeelte van het netvlies, en deze zijn werkelijk de eenige gevallen, waar men de hooggroothed van het netvliesgedeelte, dat den indruk ontvangt, met zekerheid berekenen kan, voorondersteld namelijk dat men de juiste plaats van het kruissingspunt kent.

Dit aannemende, dan blijkt, dat de doormeter van het netvliesgedeelte, hetwelk den indruk ontvangt, niet zoo verschillend is van den doormeter der elementaire deelen van het netvlies, als velen meenen. Deszelfs zenuwvezelen hebben eene dikte van 1 tot 2 *mm*, terwijl de staafvormige ligchaampjes der achterste laag, welke echter niet als geleiders van den indruk in aanmerking kunnen komen, nog iets dikker zijn.

95. Doch zelfs al aangenomen, dat het gedeelte van het netvlies, hetwelk den indruk ontvangt en overbrengt, kleiner kan zijn dan de doormeter van deszelfs zenuwvezelen, dan is er iets onwaarschijns in, dat ééne enkele vezel, twee of meer verschillende indrukken ontvangende, dezelve ook afgezonderd tot de bewustheid zoude doen geraken. Dit brengt ons tot het onderzoek naar de grenzen van het onderscheidingsvermogen van het oog.

Dat deze grenzen verschillen moeten van die der eigenlijke *zichtbaarheid*, is duidelijk, want een enkel voorwerp, een diffusiebeeldje vormende, zal nog kunnen worden waargenomen, al heeft dit diffusiebeeldje eene tamelijke uitgebreidheid erlangd, doch indien zich twee zulke diffusiebeeldjes op het netvlies bevinden, dan vloeijen beide spoedig ineen, en men meent slechts een enkel voorwerp te zien.

Het was derhalven noodig ook hier de grenzen voor onderscheiden oogen te zoeken. Ten dien einde werden twee reeksen van waarnemingen in het werk gesteld, welker uitkomsten in Tafel III zijn opgeteekend. Tot de eersten dienden verschillende soorten van kopergaas, dat geheel dof en zonder den minsten glans was. Ook hier werd aan het doorvallend licht eener Argandsche lamp de voorkeur gegeven, en over het geheel op dezelfde wijze gehandeld, als vroeger (§ 82) voor het bepalen van den zichtbaarheidsafstand is opgegeven.

Vergelijkt men nu deze uitkomsten met elkander, en met die in Taf. II. N°. 1—4, waar de zichtbaarheidsafstanden der afzonderlijk geziene draden van het gaas gevonden worden, dan komt men tot de volgende uitkomsten.

Vooreerst is het verschil tusschen de zichtbaarheidsafstanden in beide gevallen, als ook tusschen de hiervan afhangende ge-

zigtshoeken, bij de meeste waarnemers, zeer aanzienlijk, doch geen zins bij allen even groot. Voor A was dit verschil zeer gering, terwijl B de afzonderlijke draden nog op eenen drie-maal grooteren afstand zag, dan de mazen van het daaruit vervaardigd gaas. Het enkele waarnemingsvermogen voor de zichtbaarheid houdt derhalven volstrekt geenen gelijken tred met het onderscheidingsvermogen.

Verders blijkt dat de onderscheidbaarheid der mazen evenzeer afhankelijk is van de dikte der dezelve begrenzende draden, als van hunnen onderlingen afstand, want, terwijl de doormeters der draden van N°. 1 en 2 niet zeer van elkander verschillen, maar daarentegen hun onderlinge afstand in het laatste slechts de helft van dien in het eerste bedraagt, zijn de onderscheidbaarheidsafstanden nagenoeg dezelfde voor beide soorten van gaas. Het omgekeerde geval heeft bij N°. 3 en 4 plaats. Hier is het verschil in den afstand der draden gering, terwijl de draad van N°. 3 dubbel zoo dik is als die van N°. 4, en dit laatste op eenen veel geringeren afstand dan het eerste reeds niet meer als gaas herkend wordt.

Deze voorbeelden bewijzen dus overtuigend, dat er, op de onderscheidbaarheid van verschillende gezichtsindrukken van elkander, twee omstandigheden invloed hebben, namelijk vooreerst hun onderlinge afstand, maar ook ten tweede de doormeter der voorwerpen zelve, daar hiervan afhangt de doormeter van het beeldje op het netvlies. Ter opheldering laat ik hier de berekende netvliesbeelden volgen, welke in dit geval niet zooveel van hunne ware grootte kunnen verschillen als bij derzelve berekening uit den zichtbaarheidsafstand, omdat de invloed der diffusie hier natuurlijk veel geringer is.

NETVLIESBEELDEN DER DRADEN EN DERZELVER AFSTANDEN IN <i>mm.</i>										
	A.		Ab.		B.		C.		D.	
	Draad	Af-stand	Draad	Af-stand	Draad	Af-stand	Draad	Af-stand	Draad	Af-stand
N ^o . 1.	3,72.	12,50.	1,78.	5,68.	1,54.	5,05.	1,30.	4,35.	2,12.	6,96.
» 2.	3,42.	7,36.	1,54.	3,28.	1,36.	2,93.	1,34.	2,88.	1,90.	4,10.
» 3.	4,06.	5,31.	2,02.	2,68.	1,71.	2,25.	1,48.	1,95.	2,19.	2,90.
» 4.	2,71.	7,45.	1,25.	3,72.	1,15.	3,15.	0,73.	2,00.	1,82.	5,00.

Bij vergelijking van N^o. 1 en 2 vinden wij de netvliesbeeldjes der draden telkens nagenoeg gelijk, die der tussenruimten daarentegen bij 2 schier de helft geringer dan bij 1. Hier beslist dus de grootte der verschillende indrukken zelve hunne onderscheidbaarheid, terwijl hun onderlinge afstand op het netvlies daarop eenen betrekkelijk geringen invloed uitoefent.

Bij N^o. 3 en 4 daarentegen is het de onderlinge afstand der indrukken op het netvlies, die eenen overwegenden invloed heeft. Zijn de beelden der draden grooter, dan is ook de afstand geringer, en omgekeerd.

Tevens kan uit deze uitkomsten blijken, dat de afstand op het netvlies, dien twee indrukken behoeven, om onderscheidenlijk waargenomen te worden, geenzins beneden de grootte der elementaire deelen is, waaruit hetzelfde bestaat. De geringste der hier gevonden afstanden bedraagt nog 2,25 *mm* of $\frac{1}{4\frac{1}{45}}$ millim., hetgeen nog iets meer is dan de doormeter der dikste zenuwvezelen in het netvlies.

94. Deze wederkeerige invloed van den doormeter der voorwerpen en van hunnen onderlingen afstand, op de on-

derscheidbaarheid der gezigtsindrucken, maakt het vraagstuk aangaande hare grenzen veel zamengestelder, dan het wezen zoude, indien alleen de afstand in aanmerking kwam. Het is ook daarom dat de uitkomsten eener andere reeks van waarnemingen, van welke ik mij aanvankelijk voorgesteld had, dat zij eenen vasten maatstaf voor het onderscheidingsvermogen zouden opleveren, in dit opzigt niet gerekend kunnen worden geheel aan het oogmerk te beantwoorden. Deze waarnemingen werden bewerkstelligd met eenen hoogst naauwkeurigen oculairschroefmikrometer, waarin zich twee volkomen evenwijdige draden bevinden, elk van $9,5 \text{ mm}$ ($\frac{1}{105}$ millim.) dikte, van welke de eene vast staat, terwijl de andere door eene schroef heen en weder bewogen kan worden. De wijzerplaat der schroef is verdeeld in graden, van welke elke gevonden werd te beantwoorden aan $4,57 \text{ mm}$. ($\frac{1}{229}$ millim.) Dit werktuig aan eene buis bevestigd, die verlengd kon worden, veroorloofde met groote naauwkeurigheid den afstand te meten, die vereischt werd, om de draden nog even dubbel te zien. Zelden verschilden onderscheiden waarnemingen meer dan 1 of 2 graden van elkander, en daar er telkens 5—3 werden verrigt, zoo bezitten de gemiddelde uitkomsten eene vrije groote naauwkeurigheid. Deze uitkomsten bevinden zich in Taf. III. 2. De zichtbaarheidsafstand voor elken draad afzonderlijk is in Taf. II. N°. 13 opgeteekend.

Dat het onderscheidingsvermogen in onmiddelijk verband staat tot de beide grenzen van het accomodatievermogen blijkt dadelijk bij het inzien der tafels, inzonderheid bij A, wiens accomodatievermogen het meest beperkt is. Maar bovendien is de tusschenruimte, die, op denzelfden afstand der oogen, voor de verschillende waarnemers tot onderscheiding der draden vereischt werd, geenszins dezelfde, in weer-

wil, dat die afstand, zoo als bij N°. 4, nog geheel binnen de grenzen van het accomodatievermogen van allen ligt. Dit verschil kan natuurlijk van onderscheiden omstandigheden in den individuëelen toestand van elks oog afhangen. Dat hier echter niet alleen aan een verschil in vatbaarheid van het netvlies, om indrukken te onderscheiden, kan gedacht worden, schijnt te blijken uit de vergelijking van A en Ab.

Vergelijken wij verders de hier verkregen uitkomsten met de daarboven staande, dan wordt wederom de waarheid van het vroeger gezegde bevestigd, dat de onderscheidbaarheid van twee indrukken, behalven van hunnen afstand, ook afhankelijk is van de uitgebreidheid der indrukken zelve. Voor C b. v. moest bij eenen oogafstand van 0,550 met. de ruimte tusschen de draden 251 *mmm* bedragen, om dezelve onderscheidenlijk te kunnen zien. Van kopergaas, welks mazen 250 *mmm* doormeter hadden, doch welks draden 10 maal dikker dan de mikrometerdraden waren, kon hij zich daarentegen op 1,742 met., dus op eenen vijfmaal grooteren afstand, verwijderen, alvorens de onderscheidbaarheid haren uitersten grens had bereikt.

Dit reeds doen zien, dat het niet mogelijk is, uit deze waarnemingen, tot de volstrekte grenzen van het onderscheidingsvermogen te besluiten. De geringste afstand der draden, die door A nog waargenomen kon worden, bedroeg 52 *mmm* ($\frac{1}{19}$ millim.), hetgeen beantwoordt aan eenen afstand der beelden op het netvlies van 4,44 *mmm* ($\frac{1}{225}$ millim.); voor B was dezelve 74 *mmm* ($\frac{1}{13,5}$ millim.) hetwelk voor den afstand op het netvlies 4,54 *mmm* ($\frac{1}{220}$ millim.) geeft. In alle andere gevallen was zoowel de tusschenruimte der draden als die der netvliesbeelden grooter. Boven hebben wij

echter gezien, dat de kleinste afstanden der netvliesbeelden, gevormd door de draden van kopergaas, meer dan de helft kleiner zijn; zoodat men dus veilig mag aannemen, dat indien, in plaats van de zeer dunne mikrometerdraden, koper- of andere draden van eenen grooteren doormeter konden worden aangewend (iets dat echter niet mogelijk is in een dergelijk werktuig, omdat dikkere draden te veel in een verschillend vlak zouden liggen), men bevinden zoude, dat de grens der onderscheidbaarheid ten hoogste op de helft van den gevonden afstand moet gesteld worden. A zoude dan b. v. nog eene ruimte tusschen twee voorwerpen kunnen zien van $\frac{1}{40}$ millim., B van $\frac{1}{27}$ millim., en het is niet onwaarschijnlijk, dat het onderscheidingsvermogen onder gunstige omstandigheden nog veel verder gaat, dewijl indien de doormeter der beide voorwerpen zeer groot is, de tusschenruimte meer en meer het karakter eener spleet aanneemt, die bij doervallend licht zich even als eene witte streep op eenen zwarten grond vertoont, en zulk eene streep voor het minst even dun kan wezen, als eene zwarte streep op eenen witten grond, om nog zichtbaar te blijven, gelijk overtuigend blijkt uit de meermalen aangehaalde waarnemingen van Hueck.

Uit een en ander volgt dus, dat er voor de onderscheidbaarheid der voorwerpen niet, zooals voor derzelver zichtbaarheid, bepaalde grenzen kunnen worden aangewezen, maar dat deze grenzen veranderlijk zijn, naar den aard en de grootte der voorwerpen, die de gezichtsindrukken te weeg brengen.

95. Tot hiertoe hebben wij, bij het onderzoek naar de grenzen van het gezichtsvermogen, ons alleen bepaald tot het geval, dat zich de voorwerpen onder bepaalde gunstige om-

standigheden bevinden, om eenen indruk op het oog te weeg te brengen. Er zijn echter behalven de kleinheid der voorwerpen nog andere oorzaken, die de waarneming beperken, en waarbij wij ten slotte moeten stilstaan, om aan het oogmerk te voldoen, waartoe dit hoofdstuk bestemd is.

96. De herkenning van elk voorwerp berust op het onderscheid, dat het netvlies ontwaart tusschen den indruk, dien het van het beeld ontvangt, en den algemeenen indruk, die op het overige gedeelte van hetzelfde plaats heeft, of, om juister en algemeener te spreken, op de tegenstelling van den toestand, in het netvlies door het beeld te weeg gebragt, met deszelfs algemeenen toestand. Die algemeene toestand kan als het beeld van het geheele gezigtsveld beschouwd worden, zoolang namelijk het oog niet in de volstrekte duisternis of op volkomen zwart staart, daar men alsdan slechts in den overdrachtelijken zin van een gezigtsveld kan spreken, en dit ook zwart noemen. Evenzeer kan men alleen in de oneigenlijke beteekenis een plekje op het netvlies, dat geene lichtstralen ontvangt, het beeld noemen van een zwart of van een ondoorschijnend voorwerp.

Wanneer wij zien, dan is dus het gezigtsveld of geheel onverlicht en zwart, of verlicht en gekleurd, en het is duidelijk uit het gezegde, dat het herkennen der voorwerpen, als iets verschillend zijnde van dat gezigtsveld, des te gemakkelijker zal zijn, naar mate de tegenstelling tusschen het algemeene gezigtsveld en het voorwerp grooter is.

Zwarte voorwerpen op een wit gezigtsveld, en witte op een zwart veld, of, hetgeen hetzelfde is, een ondoorschijnend voorwerp naar een wit licht gekeerd, en eene opening in een ondoorschijnend voorwerp, waardoor wit licht komt,

zullen dus altijd het gemakkelijkst herkend worden. Doch indien wij bij opvallend licht de voorwerpen beschouwen, zoodat hun beeld zich met hunne eigendomlijke kleur op het netvlies afteekent, dan kan het niet anders, of de graad van zichtbaarheid hangt zeer af van het betrekkelijk verschil dier kleur met die van het gezigtveld. Voorwerpen van dezelfde kleur als die van het veld, zouden niet meer waargenomen kunnen worden, indien zij door hunnen vorm en het daarop vallend licht geene schaduw bezaten. Een rond of een hoekig ligchaam wordt alleen hierom gemakkelijker gezien dan een ander van grootere uitgebreidheid, doch hetwelk plat en vlak is.

Legt men op een blad rood papier, hetwelk het gezigtveld van het daarnaar starend oog dus ook rood kleurt, strooken ander papier, die oranje, blaauw, of geel gekleurd zijn, dan zal men de laatste kleur het verst kunnen zien, maar legt men dezelfde strooken op een wit papier, dan zal waarschijnlijk de blaauwe, als de donkerste kleur, het verst kunnen worden waargenomen. De invloed van de tegenstelling der kleuren wordt overigens duidelijk gemaakt, door de volgende door Plateau (1) verrigte waarnemingen. Hij bevestigde smalle witte, gele, roode en blaauwe papierstrooken, van 1 centim. breedte, op eene loodregt geplaatste zwarte plank, en verwijderde zich toen zoolang, tot hij de strooken achtereenvolgens zag verdwijnen. Daarbij vond hij door berekening, voor elke der gekleurde papierstrooken, den volgende gezigtshoek, waaronder zij nog zichtbaar waren.

(1) *Dissert. sur quelques propriétés des impressions produites par la lumière*, p. 25.

GEZIGTSHOEK.

	In de schaduw.	In den zouneschijn.
Wit.	18".	12".
Geel.	19".	15".
Rood.	31".	25".
Blaauw.	42".	26".

Bij opvallend licht worden dus de grenzen der zichtbaarheid gewijzigd, eensdeels door den vorm, anderendeels door de kleur van het voorwerp, in verhouding tot dien van het gezichtsveld. Ware dit laatste, in plaats van zwart, wit geweest, dan zoude de zichtbaarheidsafstand der kleuren juist in de omgekeerde orde op elkander gevolgd zijn.

97. Bij doorvallend licht komen andere bijzonderheden in aanmerking.

Bij deze verlichtingswijze onderschept het voorwerp eene hoeveelheid lichtstralen, die, zonder deszelfs tusschenkomst, het netvlies zouden bereikt hebben, en derhalven zal de indruk des te sterker, de zichtbaarheid van het voorwerp des te grooter zijn, hoe aanzienlijker het aantal stralen is, dat, het netvlies niet bereikende, oorzaak is, dat daar ter plaatse een schaduwbeeldje ontstaat.

Het zijn echter geenzins alleen de werkelijk ondoorschijnende lichamen, die op deze wijze kunnen worden waargenomen. Ook de meest doorschijnende vaste en vloeibare lichamen, onder sommige omstandigheden zelfs de gazen, geven bij doorvallend licht eenen gezichtsindruk. De oorzaak hiervan is in de eerste plaats, dat vele lichamen alleen doorschijnend zijn voor sommige stralen, die het witte licht za-

menstellen, terwijl andere door hen worden opgeslorpt, zoodat zij zich dan gekleurd vertoonen.

Maar ten tweede komt hier ook het brekend en terugkaatsend vermogen dier lichamen in aanmerking, daar hierdoor de lichtstralen eene afwijking van hunne oorspronkelijke rigting ondergaan, zoodat eenige het oog niet binnentreden. Het gevolg dier afwijking is dus, dat een gedeelte van het doorschijnende ligchaam zich donker vertoont. Daar de hoegroothed der afwijking hier voor een aanzienlijk deel afhangt van den bijzonderen vorm, dien het ligchaam heeft, zoo heeft deze ook eenen belangrijken invloed op de zichtbaarheid; zoo zal b. v. eene dunne glasplaat slechts even herkend worden aan de randen, van welke wij (mits het opvallend licht uitgesloten zij) geene lichtstralen ontvangen. Maar, zoodra dezelfde glasmasa tot eenen bol versmolten is, dan zal men alleen het middengedeelte van dien bol verlicht zien, terwijl een breede donkere rand den omtrek inneemt.

Doch niet alleen de vorm, maar ook de rigting, waarin wij een en hetzelfde voorwerp beschouwen, oefent haren invloed uit. Een glazen cubus, met eene der vlakke zijden naar het oog gekeerd, zal veel minder goed gezien worden, dan wanneer een der hoekpunten naar hetzelfde gericht is. De oorzaak hiervan is duidelijk. In het eerste geval treden nagenoeg alle stralen, die de voorste oppervlakte bereikt hebben, in dezelfde rigting weder naar buiten, terwijl zij in het tweede geval naar alle rigtingen heen gebroken of teruggekaatst worden, zoodat een gedeelte der vlakken zich zwart vertoont.

Indien men eene kleurlooze glasplaat met evenwijdige oppervlakten had, waarvan de zijvlakken volkomen regthoekig en glad waren, (vereischten, die in de werkelijkheid

nimmer volkomen bereikbaar zijn) en men parallele lichtstralen loodregt op zulk eene plaat liet vallen, dan zoude een daarachter geplaatst oog geen spoor van deze plaat waarnemen. Alle de stralen (z. fig. 52) zouden door en langs dezelve heengaan, zonder eenige verandering van rigting. Maar wanneer dezelfde glasplaat door schuins invalende parallele lichtstralen, of door eenen bundel divergerende stralen (z. fig. 53) werd getroffen, dan zouden de randen zichtbaar worden, dewijl de stralen, welke deze treffen, gedeeltelijk naar *a* en *b* gebroken, gedeeltelijk naar *c* en *d* teruggekaatst worden, zoodat noch de gebroken noch de teruggekaatste stralen het oog bereiken. Dit is de hoofdreden, waarom vele doorschijnende lichamen zich bij kunstlicht met zwartere randen vertoonen, dan bij daglicht. Later zal de toepassing dezer opmerkingen op de verlichting van mikroskopische voorwerpen blijken.

In het algemeen kan men aannemen, dat hoe hoekiger en onregelmatiser de gedaante van een doorschijnend ligchaam is, des te meer worden de stralen door hetzelfde in alle rigtingen verstrooid. Van daar dat de kleine deeltjes van zeer doorschijnende lichamen, het tot poeder gestooten glas, het slijpsel van diamant enz., zich schier geheel ondoorschijnend vertoonen. Van daar ook, dat het dunste plaatje krijt ondoorschijnend is, hoewel de kleine deeltjes, waaruit hetzelfde bestaat, het licht zeer wel doorlaten.

98. Doch niet alleen heeft deze verstrooiing in zulke gevallen voor doervallende stralen plaats, ook die van het opvallend licht worden op talloze punten in allerhande rigtingen teruggekaatst en verstrooid, en dit is de reden, waarom zich het poeder van zulke lichamen met eene witte kleur

vertoont. Dit zelfde neemt men waar bij de lucht. Is deze sterk verdeeld, b. v. door het schudden met zeepwater, dan zullen de kleine bellen wit schijnen te zijn. Sluit men dan het opvallend licht buiten, en beziet dezelfde luchtbelletjes alleen bij doervallend licht, dan zal men aan allen eenen breeden zwarten rand waarnemen, op dezelfde wijs en om dezelfde reden, waarom men aan eenen glazen bol eenen dergelijken rand bespeurt.

Zelfs zeer kleine verschillen in brekend vermogen der middestoffen zijn voor het oog waarneembaar. De minste sporen van ongelijke menging (aderen of *striae*) in eene glazen lens, de afscheidingsgrens van twee vochten, die eenen verschillende brekingsindex hebben, b. v. van water en zwavelzuur, van water en ether enzv., worden zonder moeite herkend. Ja zelfs de golvende bewegingen in de lucht, die boven eene verwarmde oppervlakte, b. v. van eenen kagchel, opstijgt, en welke ontstaan door de vermenging der verwarmde met de koudere omringende lucht, worden bij sterk doervallend licht, b. v. zonlicht, waarneembaar, omdat het brekend vermogen van warme en van koude lucht niet volkomen hetzelfde is. Dat ook bij opvallend licht een gering onderscheid in den gang der teruggekaatste stralen aan het oog niet ontsnapt, leeren ons de velerlei linnen, katoenen en zijden stoffen, (damast, keper enzv.), waarin alleen ten gevolge van den afwisselenden loop der draden, die dan eens in deze, dan weder in gene rigting naar het oog toegekeerd zijn, allerlei teekeningen zichtbaar worden; terwijl bovendien elk weet, dat de meerdere of mindere duidelijkheid dier teekeningen geheel afhankelijk is van de wijze, waarop het licht op zulke stoffen invalt.

99. Daar nu het brekend en terugkaatsend vermogen der kleurlooze doorschijnende lichamen de eenige oorzaak is, waarom wij dezelve bij doorvallend licht kunnen zien, zoo spreekt het van zelf, dat de omringende middenstof eenen allerbelangrijksten invloed op hunne zichtbaarheid heeft. Hoe grooter het verschil is tusschen den brekingsindex der stof, waaruit het voorwerp bestaat, en dien van de middenstof, waardoor de stralen moeten gaan, om het oog te bereiken, des te grooter is het getal der stralen, die ten gevolge der breking hetzelfde niet kunnen binnentreden. Van daar dat men het in zijne magt heeft hetzelfde voorwerp meer of minder doorschijnend te maken. Glaspoeeder b. v. welks brekingsindex is 1,5, en hetwelk in de lucht (1,000294) schier geheel ondoorschijnend is, is zulks in veel geringere mate onder water (1,556), het wordt nog doorschijnender onder alkohol (1,574), terwijl het onder terpenhijnolie, waarvan de brekingsindex (1,478) slechts zeer weinig van dien van gewoon glas verschilt, ter naauwernood meer gezien wordt. Een glazen crownlens, in hetzelfde vocht geplaatst, wordt slechts met moeite, een zeer dun glasplaatje in het geheel niet meer waargenomen. Later zullen wij zien, hoe gewigtig de toepassing der hier opgemerkte daadzaken op de mikroskopische waarneming is.

100. Het spreekt van zelf, dat elke gezichtsindruk, eenen zekeren tijd vordert om waarneembaar te zijn. Dat die tijd echter uiterst kort kan wezen, blijkt uit de zichtbaarheid der elektrische vonk, die zoo spoedig verdwijnt, dat een daarmede verlicht zeer snel ronddraaijend ligchaam schijnt stil te staan. Volgens de proeven van Wheatstone (1) is een

(1) *Philos. Transact.* 1835. II. p. 583.

millioenste gedeelte van eene seconde voldoende, om eenen gezigtsindruk te weeg te brengen. Doch, terwijl men in dit opzigt de vatbaarheid van het oog, om gezigtsindrukken op te nemen, schier onbegrensd kan noemen, is het geheel anders gelegen met deszelfs vatbaarheid, om de in tijd elkander opvolgende gezigtsindrukken van elkander te onderscheiden. Elke gezigtsindruk namelijk eenmaal ontstaan zijnde heeft eenen zekeren duur, en blijft nog een tijd lang voort bestaan, ook nadat het lichtend voorwerp, hetwelk denzelfden heeft te weeg gebragt, reeds weder verdwenen is. Het gevolg hiervan is, dat eene reeks van gezigtsindrukken, welke elkander zeer spoedig opvolgen, niet meer afzonderlijk kunnen worden waargenomen. Zoo b. v. bemerken wij niets meer van de spaken der wielen van eenen snel bewogenen wagen. De nedervallende regendroppels en hagelkorrels vertoonen zich als streepen. Een gloeiend ligchaam snel rondgedraaid wordende, schijnt een vurige kring te zijn. Verschers vinden ook verscheidene aardige physische speeltuigen, de stroboskopische schijven, het daedaleum van Horner, enzv., in dit voortduren der gezigtsindrukken, hunne verklaring.

Het laat zich reeds vooraf verwachten, dat de duur van elken gezigtsindruk verschillend moet zijn, en afhangen van den indruk zelven. Dit is ook eenigermate door de proeven van Plateau (1) bevestigd, die onderscheiden gekleurde papierstrooken, op eenen zwarten achtergrond geplaatst, door middel van een raderwerk snel deed ronddraaijen, zoodat, de graad van snelheid der omdraaijing bekend zijnde, de tijd kon bepaald worden, die vereischt werd, om de gekleurde papierstrook nog als zoodanig te herkennen. Hierbij ver-

(1) L. c. p. 9.

kreeg hij de volgende uitkomsten; voor:

Wit 0,55 seconden.

Geel 0,55 „

Rood 0,54 „

Blaauw 0,52 „

Hieruit blijkt dus, dat de gezigtsindruk het korst duurt van die kleuren, welker zigbaarheid, gelijk uit de vroeger (§ 96) medegedeelde waarnemingen van denzelfden blijkt, onder gelijke omstandigheden, het geringst is; zoodat men in het algemeen als regel kan vaststellen, dat de onderscheidbaarheid der elkander in tijd opvolgende gezigtsindrukken toeneemt, naar mate derzelver sterkte afneemt. Overigens zijn de hier gevonden verschillen niet zeer aanzienlijk, en zouden welligt grooter uitvallen, door meerdere wijzigingen te brengen in den graad van verlichting der voorwerpen, gelijk dan ook Young (1) zegt, — zonder echter de proeven aan te voeren, waarop zijne uitkomst berust, — dat de duur van de gezigtsindrukken verschilt van 0,01 tot 0,50 seconde, en des te langer is, naar mate de indruk sterker is geweest. Niet ver bezijden de waarheid zal men echter zijn, door als gemiddelde uitkomst aan te nemen, dat, onder gewoone omstandigheden, tusschen elken opvolgenden gezigtsindruk $\frac{1}{3}$ seconde moet verloopen, om denzelven afzonderlijk tot het bewustzijn te brengen.

101. Dat er ook in den toestand van het oog zelve nog bijzondere oorzaken bestaan kunnen, die de grenzen van het gezichtsvermogen in meerdere of mindere mate beperken, is genoeg bekend, en voor zoover deze oorzaken gelegen zijn

(1) *A course of lectures on natural philosophy*. I. p. 455.

in eenigzins belangrijke pathologische toestanden van de verschillende deelen, die het oog zamenstellen, kan hunne beschouwing als hier ter plaatse overbodig geacht worden, daar wel niemand, wiens oogen zich niet in eenen gezonden staat bevinden, zich met mikroskopische waarnemingen zal onledig houden. Doch ook het gezondste oog ondervindt den storenden invloed van sommige verschijnselen, wier zitplaats het oog zelf is, en welke door hem, die met deze verschijnselen onbekend is, ligtelijk aan voorwerpen buiten hetzelfde worden toegeschreven.

De hier bedoelde verschijnselen, welke onder den algemeenen naam van *entoptische* kunnen begrepen worden, zijn voor verschillende personen geenzins altijd dezelfde, en daarom moet elk waarnemer die, welke aan zijn oog bijzonder eigen zijn, trachten te leeren kennen.

102. Indien de middenstoffen, waaruit het oog bestaat volkomen doorschijnend en helder waren, dan zoude op de verlichte oppervlakte van het netvlies zich nergens eenig schaduwbeeld vormen, zoo lang geen buiten het oog zich bevindend voorwerp hetzelfde te weeg brengt. Deze toestand van volkomen doorschijnendheid bestaat echter hoogst zelden, zoo immer, en, daar het netvlies een schaduwbeeldje ontvangt van alle voorwerpen, die den gang der lichtstralen tot hetzelfde onderscheppen, zoo zullen voorwerpen, welke binnen in het oog zijn, hetzij door hunne werkelijke doorschijnendheid, hetzij door de afwijking, die zij, ten gevolge der breking, aan de lichtstralen doen ondergaan, op het netvlies evenzeer een schaduwbeeld voortbrengen, als voorwerpen, welke zich buiten het oog bevinden. Zulke schaduwbeelden van inwendige voorwerpen zijn wel is waar zwak,

en daardoor dikwerf niet waarneembaar, doch onder bepaalde omstandigheden treden dezelve duidelijk te voorschijn, in welk geval de daarmede niet bekende waarnemer aan zelf-misleiding is blootgesteld. Inzonderheid vertoonen zij zich, wanneer het oog door eene kleine opening ziet, zooals bij het zien door verrekijzers of mikroskopen; doch daar deze verschijnselen in geen het minste verband staan tot de overige optische en werktuiglijke inrigting dezer werktuigen, zoo kan elk, die zich tot het regte gebruik derzelve wenscht voor te bereiden, vooraf den stoorenden invloed dezer voorwerpen in zijn eigen oog leeren kennen.

103. De beste wijze om zich deze kennis te verschaffen, is de volgende. Men prikke met eene fijne naald een zeer klein gaatje, van $\frac{1}{10}$ millim. ongeveer, in een genoegzaam ondoorschijnend kaartenblad, en houde dit zoo dicht voor het oog, dat de opening zich aanzienlijk vergroot vertoont; echter niet al te dicht, daar hierdoor de verschijnselen minder scherp te voorschijn treden. Daarop wende men het oog naar eene sterk verlichte oppervlakte, b. v. eene door de zon beschenen witte muur of blad papier, of naar den mat geslepen ballon eener Argandsche lamp. Men zal alsdan in de eerste plaats de opening als een zwak verlicht gezigtveld ontwaren, en, door het oog beurtelings te sluiten en te openen, tevens bespeuren, dat dit gezigtveld grooter of kleiner wordt, naar mate zich de pupil verwijdt of vernauwt. Werkelijk is ook de donkere rand, die het gezigtveld begrenst, niet anders dan het schaduwbeeld van de iris op het netvlies; op welk laatste zich tevens alle andere voorwerpen, die zich tusschen hetzelfde en de opening bevinden, als schaduwbeeldjes vertoonen. Daar alle deze beeldjes dus van voorwerpen komen, welke

onder eenen zeer grooten gezigtshoek worden waargenomen, zoo volgt hieruit, dat deze beeldjes, in verhouding tot de voorwerpen, welke dezelve voortbrengen, eene vrij aanzienlijke grootte bezitten, gelijk blijken kan uit een voor de opening gehouden zeer fijn gaas of ander klein voorwerp; als ook uit de schaduw, die de ooghaartjes op het netvlies werpen, wanneer zij door toeknijping van het oog voor de opening worden gebragt, waarbij men bovendien zal bespeuren, dat de haren van het bovenste ooglid zich naar boven gerigt vertoonen. De reden hiervan is, dat de kleine opening, die als een lichtend punt kan worden aangemerkt, zich in of nabij het oogbrandpunt bevindt, en de lichtstralen, die van daar uit het oog binnentreden, even als die uit het brandpunt van elke lens of vereeniging van lenzen (§ 59), parallel of zelfs eenigzins divergerend worden, zoodat er dus hier geene kruissing ontstaat, en het schaduwbeeld juist de omgekeerde stelling heeft van een gewoon netvliesbeeld. Natuurlijk geldt deze omgekeerde stelling ook voor al de overige hier bedoelde schaduwbeelden, alsmede voor de rigting hunner beweging, zoodat zij dus zullen schijnen te dalen, wanneer de voorwerpen inderdaad rijzen, terwijl deze dalende, de schaduwbeelden eene rijzende beweging hebben.

104. Het meest merkbare en tevens het meest stoorende dezer verschijnselen, is dat, hetwelk onder den hoogst oneigenaardigen naam van *vliegende muggen* (*mouches volantes*) bekend is. Bij weinige oogen ontbreekt dit verschijnsel geheel, doch hetzelfde vertoont zich bij den eenen in veel grootere mate dan bij den anderen, en zelfs bij eenen en denzelfden persoon op verschillende tijden dan eens sterker, dan eens minder. Niet zelden gebeurt het, dat deze vliegende

muggen ook reeds bij de gewone wijze van zien met verstrooid licht worden waargenomen, schoon zij zich bij het zien door kleine openingen altijd duidelijker vertoonen. Hunne gedaante is niet steeds dezelfde, doch hun grondvorm is meestal die van ronde kringetjes, welke van binnen helder zijn, en eenen donkeren, soms gekleurden rand bezitten. Zij hebben vrij scherpe omtrekken en hieruit blijkt, dat de ligchaampjes, die dit verschijnsel te weeg brengen (1), niet ver van het netvlies kunnen verwijderd zijn. Deze meest algemeene vorm der vliegende muggen heeft veel overeenkomst met dien van mensche-lijke bloedschijfjes bij eene matige vergrooting gezien. Somwijlen ziet men onderscheidene lagen van dezelve, welke daaraan herkenbaar zijn, dat de eene laag zich duidelijker dan de andere vertoont, zoodat dus niet alle even nabij

(1) Omtrent de verschillende vermoedens, die geopperd zijn aangaande de eigenlijke natuur der ligchaampjes in het oog, waaraan het verschijnsel der vliegende muggen deszelfs oorsprong verschuldigd is, leze men Ruete, *Leerboek der Ophthalmologie*, in het Nederduitsch bewerkt door Dr. Donders bl. 166. Donders zelf heeft in een zeer lezenswaardig opstel over de entoptische verschijnselen (*Nederlandsch Lancet* 1846, No. 6, 8 en 9) aangetoond, dat de zitplaats der ligchaampjes, die deze soort van vliegende muggen veroorzaken, in het achterste gedeelte van het glasvocht is. Hij en Janssen hebben aldaar zelfs ronde ligchaampjes ontdekt, wier doormeter ($\frac{1}{80} - \frac{1}{80}$ millim., 13—17 *mm*) vrij naauwkeurig beantwoordt aan dien, welke uit de berekening, gegrond op de grootte hunner schaduwbeeldjes op het netvlies, voortvloeit.

Ik kan hier nog bijvoegen, dat bij een later, gezamenlijk met mijnen amptgenoot Schroeder van der Kolk, in het werk gesteld onderzoek, het ons gelukt is ook vezelen te vinden, welke blijkbaar eene der andere in den tekst vermelde vormen van vliegende muggen veroorzaken. Hunne zitplaats is het vlies, dat het glasvocht omgeeft en dit, daarin binnendringende, in vakken verdeelt. Zij hangen er echter los mede samen, zijn gedeeltelijk geled of parelsnoervormig, en hebben eene groote geneigdheid om lussen te vormen. Een naauwkeuriger verslag hiervan zal op eene andere meer geschikte plaats worden medegedeeld.

het netvlies gelegen zijn. Dikwerf zijn deze kringetjes tot grootere en kleinere groepen vereenigd. Soms zijn zij parelsnoervormig vereenigd, terwijl deze vorm wederom overgaat in dien van dubbele streepen of vezelen, welke meer of minder scherp begrensd zijn, en niet zelden lussen vormen. Eindelijk ziet men dikwerf groepjes der eerstgenoemde kringetjes, welke met een vezelachtig verlengsel samenhangen. Het is waarschijnlijk deze vorm, dien sommige bij dien van spermatazoiden hebben vergeleken.

Al deze ligchaampjes bewegen zich in het gezichtsveld, ook onafhankelijk van de schijnbare beweging, welke het gevolg is eener verandering in de rigting der gezichtsas. Men kan zich hiervan gemakkelijk overtuigen, door, terwijl men de opening in het kaartenblad op dezelfde plaats houdt, de oogas snel naar boven of naar beneden te rigten, en dan weder met het oog door de opening te staren. Een aantal der ligchaampjes, welke de bedoelde verschijnselen te weeg brengen, is dan drijvende geworden, en men zal hunne schaduwen doorgaans in eene dalende beweging waarnemen, hetgeen bewijst, dat de ligchaampjes zelve rijzen, en dus specifiek ligter dan het glasvocht zijn.

103. Van deze vliegende muggen door hunne zitplaats zeer onderscheiden zijn andere verschijnselen, die men in het gezichtsveld, bij het zien door eene kleine opening, waarneemt. Daar alle veranderingen in den doorschijnendheidstoestand der middenstoffen zich op die wijze door schaduwbeelden op het netvlies kenbaar maken, zoo herkent men aldus het minste vlekje en streepje op het hoornvlies, elk anders geheel onwaarneembaar gebrek der kristallens, ligchaampjes die in het waterachtig of in het glasachtig vocht zwe-

ven, de vetachtige deeltjes uit de Meiboomsche kliertjes, die, na het toeknippen der oogleden, als glinsterende droppeltjes met breede schaduwranden, langs de oppervlakte van het hoornvlies schijnbaar nederdalen, doch in werkelijkheid opstijgen, de rimpeltjes, die op het hoornvlies ontstaan na drukking van den oogbol, enzv. Door acht te slaan op den gang der lichtstralen, is het zelfs mogelijk met volkomen zekerheid de zitplaats aan te wijzen, vóór, nabij, of achter de iris, der ligchaampjes, waardoor de schaduwbeelden ontstaan. Doch omtrent alle deze, voor den praktischen oogarts nog meer dan voor den mikroskopischen waarnemer, belangrijke bijzonderheden, moet ik den lezer naar het meermalen aangehaalde werkje van Listing verwijzen, waar hij tevens eene groote menigte afbeeldingen zal vinden dezer entoptische verschijnselen voor verschillende oogen; alsmede naar de reeds vermelde verhandeling van Donders, waarin een gedeelte dezer afbeeldingen is overgenomen, vermeerderd met eenige nieuwe, en met die der verschillende vormen van vliegende muggen.

ALGEMEENE BESCHRIJVING DER MIKROSKOPEN.

106. In de vorige hoofdstukken zijn de grondstellingen ontwikkeld, welker toepassing nu moet volgen. Overeenkomstig het plan, dat ik mij heb voorgeschreven, ga ik derhalven thans over tot eene *algemeene* beschouwing der verschillende wijzen, waarop zoowel lenzen als holle spiegels tot mikroskopen kunnen worden ingerigt. De lezer verwachte dus hier geene beschrijving van eenig dezer werktuigen in het bijzonder, daar zulk eene beschrijving, zal zij doeltreffend zijn, tevens eene kritische beschouwing moet wezen, gegrond op eene volledige kennis van den aard en de bepaalde bestemming van elk werktuig, alsmede, — indien ik dit woord hier gebruiken mag, — op deszelfs ontwikkelingsgeschiedenis. Hunne bijzondere beschrijving blijft daarom bespaard voor eene latere afdeeling, waartoe ik derhalven verwijs telkens, wanneer de lezer eenige inrigting of toestel niet vermeld vindt, welker beschrijving hem mogt voorkomen hier te huis te behooren.

In het eerste hoofdstuk heb ik de beschouwing van de rigtingsveranderingen der lichtstralen door katoptrische aan die door dioptrische middelen laten voorafgaan, omdat de wetten der eersten eenvoudiger zijn, dan die der laatsten.

Daar echter dioptrische mikroskopen tegenwoordig verreweg de meest gebruikelijke zijn, zoo willen wij hier, de orde omkeerende, aan dezen den hen voor het oogenblik toekomenden voorrang gunnen, en derhalven het eerst stilstaan bij de werking van lenzen en van lenzenstelsels, wanneer zij in de loupe en in het enkelvoudig mikroskoop gebruikt worden. Veel van hetgeen hier besproken zal worden, moet echter ook als van meer algemeene toepassing op de overige mikroskopen worden beschouwd.

DE LOUPE
EN HET
ENKELVOUDIG DIOPTRISCH MIKROSKOOP.

107. Uit de beschouwing van de wijze, waarop wij met het bloote oog zien (§ 70 en verv.), is gebleken, dat hetzelfde vermogen bezit, om voorwerpen op verschillende afstanden met gelijke duidelijkheid waar te nemen. Tevens zagen wij, dat de grootte van het beeldje op het netvlies, hetwelk een en hetzelfde voorwerp vormt, geheel afhankelijk is van den gezigtshoek waaronder, en dus van den afstand waarop, het voorwerp gezien wordt. Brengen wij eenig klein ligchaam al digter en digter bij het oog, dan zien wij het daarom schijnbaar al grooter en grooter worden. Dit bewijst, dat in het oog zelf een vergrootend vermogen huisvest, en inderdaad, indien het accomodatievermogen eene onbegrensde toenadering van het voorwerp tot het oog toeliet, dan zoude het gebruik van loupes en mikroskopen geheel overbodig zijn. De benaming van *vergrootglazen*, die men dikwerf aan lenzen geeft, is, hoe zonderling dit ook klinken moge, eigenlijk geheel onjuist, daar zij, op zich zelve als loupe, of in het

enkelvoudig mikroskoop aangewend, tot de eigenlijke vergroo-
ting niets bijdragen. Hun eenige dienst bestaat namelijk
daarin, dat zij het accomodatievermogen van het oog te hulp
komen, daar waar dit te kort schiet.

108. Dewijl dit punt voor de theorie van het mikrosko-
pische zien zeer gewigtig is, willen wij hetzelfde eenigzins
nader toelichten.

Wij zagen dat voor elk oog een zeker grenspunt bestaat,
binnen hetwelk geen voorwerp meer duidelijk en scherp kan
gezien worden, omdat de vereenigingspunten der stralen dan
achter het netvlies vallen. De verziende, wiens oogen een
verder grenspunt bezitten, dan tot het gewone zien van wei-
nig verwijderde voorwerpen vereischt wordt, verbetert dit ge-
brek van zijn accomodatievermogen door eene bril met bolle
glazen, die de lichtstralen in het oog eenigzins meer con-
vergerend maakt, zoodat het netvlies wederom de plaats van
het beeld kan worden. Doch ten opzichte van zeer kleine voor-
werpen, kunnen alle menschen als verziende beschouwd wor-
den. Het eenige dus, dat tot derzelver waarneming door
het oog vereischt wordt, is eene bolle lens te bezigen, welke
in staat is, om ook dan, wanneer het voorwerp zeer dicht
nabij het oog is geplaatst, de sterk divergerende rigting der
lichtstralen zoodanig te veranderen, dat zij bijna parallel of
slechts een weinig divergerend in het oog treden. Is deze
aan hen medegedeelde rigting dezelfde als die van lichtstra-
len afkomstig van voorwerpen, welke zich op den afstand
bevinden, waarop het oog duidelijk ziet, dan zal er zich,
even als van dezen, een duidelijk beeld van het voorwerp op
het netvlies vormen. Dit wordt opgehelderd, door de on-
derlinge vergelijking van fig. 54 en fig. 55. In de eerste

valt het beeld in v achter het netvlies, omdat de stralen van uit het voorwerp in a te sterk divergerend in het oog treden. Doch bevindt zich tusschen het voorwerp en het oog de lens AB fig. 55, dan wordt de divergerende rigting der stralen teruggebragt tot den graad, dien zij zouden hebben, wanneer het voorwerp zich niet in a , maar ergens in x op den afstand van duidelijk zien bevond, zoodat nu de plaats van het beeldje juist in v op het netvlies valt.

Men kan zich van de juistheid dezer beschouwing op eene eenvoudige wijze overtuigen, door eene kleine in eene kaart geprikte opening op eenen korten afstand voor het oog te houden. Dezelve zal zich vergroot vertoonen, doch de randen missen zoozeer alle netheid en scherpte, dat het niet gelukt de ware gedaante der opening te herkennen, daar, indien deze vierhoekig of driehoekig is, — b. v. die welke door de punt van eenen passer ontstaat, — zij zich bijna even rond vertoont, als wanneer zij door eene speld of naald is te weeg gebragt. Houdt men nu eene lens van passenden brandpuntsafstand tusschen het oog en de kaart, dan wordt de gedaante der opening volkomen duidelijk, en hare randen scherp. Doch niet alleen vertoont zij zich niets grooter, dan vroeger, maar zelfs iets kleiner, want het diffusiebeeld, dat zonder de lens zich op het netvlies afteekende, nam inderdaad eene grootere ruimte in dan het zuivere ware beeld, hetwelk door de juiste vereeniging der stralen ontstaan is. Wel verre dus van het beeld op het netvlies te vergrooten, brengt eene lens, welke digt voor het oog gehouden wordt, eene verkleining van hetzelfde te weeg, en bestaat hare eenige nuttige werking daarin, dat zij aan het netvliesbeeld die zuiverheid en netheid geeft, welke hetzelfde zonder tusschenkomst der lens zoude missen.

Deze opmerking is niet onbelangrijk, omdat zij ons als met den vinger aanwijst, hoe groot de nog bij zeer velen heerschende dwaling is, als of de deugd van een mikroskoop afhangt van deszelfs vergrootend vermogen. Daardoor wordt de eigenlijke bestemming van dit werktuig geheel miskend, welke wezenlijk daarin bestaat: diffuse netvliesbeelden in zuivere en scherpe te herscheppen. Bij het gebruik van het enkelvoudig mikroskoop komt de vergrooting zelve geheel voor rekening van het oog, en deszelfs vermogen in dit opzigt is, uit een theoretisch oogpunt beschouwd, onbegrensd. Echter zal hij, die op geenen korteren afstand dan 200 millim. scherp ziet, zich wel wachten de voorwerpen, die hij naauwkeurig beschouwen wil, op 50 millim. afstand van zijn oog te brengen, in weerwil dat hij dezelve 4 maal grooter zoude zien, omdat de ondervinding hem geleerd heeft, dat hij, door versterking der vergrooting op die wijze, in duidelijkheid der gezichtsvoorstelling meer verliest dan wint.

109. Ten einde de wijze, waarop eene enkele lens ons de voorwerpen vergroot vertoont, nog nader op te helderen, willen wij den gang der stralen van uit het voorwerp tot op het netvlies volgen. Indien *ab* fig. 56 een voorwerp voorstelt, hetwelk geplaatst is vóór eene lens *AB*, dan zullen van al deszelfs punten *a*, *c*, *b* enz., stralenkegels uitgaan, wier stralen, door de lens gebroken zijnde, slechts nog in geringe mate divergeren, zoodat zij schijnen afkomstig te zijn van de in een meer verwijderd vlak gelegen punten *a''*, *c''* en *b''*. Wanneer de afstand van dit vlak gelijk is aan den gemiddelden duidelijkheidsafstand van het oog, dan zullen de door de lens gebroken stralen zich, na hunne binnentreding in het oog, weder in *a'c'b'* tot een netvliesbeeldje vereenigen, het-

welk, zoo als altijd, ten opzichte van het voorwerp eene omgekeerde ligging heeft. In elken stralenkegel is ééne straal, die juist door het kruissingspunt gaat. Hier zijn het de stralen ana' , crc' en btb' , welke elkander in o snijden. Door de tusschenkomst der lens AB schijnt het voorwerp derhalven op eenen grooteren afstand geplaatst te zijn, waar de beenen van den gezigtshoek $a''ob''$ verder uit elkander wijken. Het vertoont zich daarom vergroot (1).

Dit schijnbeeld kan echter niet in een plat vlak geplaatst zijn, omdat de punten a , b enzv. van het voorwerp, welke buiten de optische as gelegen zijn, verder van het middelpunt der lens zijn verwijderd dan het punt c , waar de as het voorwerp snijdt. Indien derhalven het midden van het voorwerp zich op den vereischten afstand van de lens bevindt, zoodat de van daar uitgaande stralen zich juist op het netvlies weder vereenigen, en aldaar een scherp beeld vormen, dan zijn de randen a en b van het voorwerp niet op dien behoorlijken afstand, maar te ver verwijderd, zoodat hunne vereenigingspunten niet op, maar even vóór het netvlies vallen, en dit door divergerende stralen getroffen wordt, gelijk in de figuur is aangeduid. Daar ter plaatse ontstaan dus diffusiebeeldjes, welke zich iets grooter zullen vertoonen, dan de ware beeldjes, welke men ook van de randen zal verkrijgen, door het voorwerp eenigzins nader tot de lens te brengen, schoon nimmer volkomen even scherp als

(1) Door eene eenvoudige handelwijze kan elk zich overtuigen, dat het schijnbeeld van eenig door eene lens gezien voorwerp zich op eenen verderen afstand van het oog bevindt, dan het voorwerp zelf. Houdt men namelijk eene lens van niet te verren brandpuntsafstand boven den rand eener tafel of van een boek, en beproeft men nu met den vinger of eenig ander ligchaam tegen dien rand te stoten, dan zal men altijd bevinden, dat men op eenigen afstand beneden de plaats van het voorwerp stoot.

van het middengedeelte. Dewijl echter in dit geval het midden van het voorwerp de lens te veel nadert, zoodat het vereenigingspunt der asstralen achter het netvlies zoude vallen, zoo wordt dit aldaar door convergerende stralen getroffen, die mede een diffusiebeeld vormen.

Dat het schijnbeeld zich gebogen moet vertoonen blijkt verders ook daaruit, dat de stralen, welke uit het middenpunt c van het voorwerp uitgaan, na hunnen doortogt door de lens sterker divergeren (z. § 59) dan die, welke van de randen a en b afkomstig zijn, dewijl deze laatste zich op verderen afstand van het optische middelpunt bevinden. De verlengden van de gebroken middelste stralen zullen zich dus, aan de tegenovergestelde zijde digter bij de lens, weder ontmoeten, namelijk in h , dan die der randstralen, welker vereenigingspunten in a'' en b'' vallen. Tevens ziet men dat het schijnbeeld eene tegenovergestelde kromming heeft aan die van een waar beeld (§ 45).

Men kan derhalven wel beurtelings de verschillende deelen van een in een plat vlak gelegen voorwerp door eene lens scherp waarnemen, maar niet te gelijker tijd; en niet alleen vertoonen zich de verschillende gedeelten van het voorwerp met ongelijke duidelijkheid, maar ook de vorm van het schijnbeeld beantwoordt niet volkomen aan dien van het voorwerp. Dit neemt men het duidelijkst waar bij het beschouwen van een net of gaas, bestaande uit vierkante mazen of ruiten. Brengt men het midden op dien afstand van de lens, waarop het zich het scherpst vertoont, dan zal men in stede van regthoekige ruiten, zooals in fig. 67, het in fig. 66 afgebeelde net zien, welks mazen alleen in het midden ten naastenbij vierkant zijn, maar welker vorm naar den omtrek van het veld meer en meer verwrongen wordt, in-

diervoegte, dat de kromming der lijnen binnenwaartsch is, dat is, in de tegengestelde rigting van die van hetzelfde net als luchtbeeld gezien (z. fig. 65).

Is echter het vlak, waarin het voorwerp gelegen is, zoodanig gebogen, dat alle punten van dit laatste zich op dien afstand van het optische middelpunt der lens bevinden, welke vereischt wordt, om de vereenigingspunten van al de stralen juist op het netvlies te doen vallen, dan zal men de geheele oppervlakte van het voorwerp te gelijker tijd even scherp waarnemen. Men heeft dan datgene, wat men een *plat gezichtsveld* noemt. Bij het gebruik van enkelvoudige lenzen kan dit uit den aard der zaak zelden volkomen bereikt worden, daar schier altijd de voorwerpen zich in een plat vlak bevinden; doch daar het gezichtsveld hier meestal klein is, en alleen dat gedeelte van het beeld op het netvlies wordt opgevangen, hetwelk de geringste kromming heeft, zoo hindert dit gebrek niet in belangrijke mate. Overigens zullen wij straks zien, dat er middelen bestaan, om het enkelvoudig mikroskoop ook in dit opzigt te verbeteren.

110. Uit het vroeger (§ 59) gezegde, aangaande den verschillenden gang der door eene verzamelingslens gebroken lichtstralen, al naar gelang zich het voorwerp in, vóór, of achter haar hoofdbrandpunt bevindt, is het nu niet moeilijk de plaats te bepalen, die eenig voorwerp moet aannemen, opdat de lichtstralen, na door de lens gegaan te zijn, die bepaalde rigting zullen verkrijgen, welke vereischt wordt, om hunne vereenigingspunten op het netvlies te doen vallen. Hier moet echter voor onderscheiden oogen noodwendig eenig verschil plaats grijpen, daar de afstand waarop men gewoonlijk duidelijk ziet, dat is die, welke beantwoordt aan den

meest gewoonen accomodatietoestand van het oog, voor ieder verschillend is. Voor eenen verzienden, wiens duidelijkheidsafstand b. v. is 40 centim., zullen de stralen, die het oog binnentreden, merkelyk minder divergerend moeten gemaakt worden dan voor eenen anderen, die bijziende en gewoon is op 10 centim. scherp en duidelijk te zien. Bij beiden zal de plaats, die het voorwerp moet innemen, tusschen het hoofdbrandpunt en de lens gelegen zijn, doch de eerste zal hetzelfde meer nabij aan het hoofdbrandpunt moeten plaatsen dan de laatste. In het algemeen geldt de regel, dat hoe meer verziende iemand is, des te naderbij komt de plaats van het voorwerp aan die van het brandpunt der lens, en indien de duidelijkheidsafstand oneindig groot ware, zoodat het oog het beste zag bij parallel hetzelfde binnentredende stralen, dan zoude het voorwerp juist in het hoofdbrandpunt moeten geplaatst worden; iets dat echter niet dan uiterst zelden het geval is, en geenzins de regel, zoo als door sommige schryvers ten onregte gezegd is.

111. Daar nu de afstand van de lens tot aan het voorwerp verschillen moet, naar gelang van den duidelijkheidsafstand van het oog, zoo volgt hieruit: dat het netvliesbeeld van een en hetzelfde voorwerp, door dezelfde digt voor het oog gehouden lens beschouwd, des te grooter zal zijn, hoe korter de duidelijkheidsafstand is, omdat, gelijk wij zagen, de grootte van het netvliesbeeld geenzins afhangt van de lens, maar van den afstand, waarop het voorwerp zich van het oog des waarnemers bevindt. Indien een bijziende en een verziende derhalven door hetzelfde enkelvoudig mikroskoop zien, dan zal de eerste de voorwerpen werkelijk grooter waarnemen dan de laatste, alhoewel derzelver *vergrooting* voor dezen

aanzienlijker is. De juistheid dezer schijnbaar met zich zelve in tegenspraak zijnde stelling, zal, vertrouw ik, door het voorafgaande den lezer duidelijk zijn, indien hij daarbij bedenkt, dat de ware grootte van het netvliesbeeld en van den gezigtshoek eene *volstreckte* maat is, terwijl de graad van vergrooting steeds *betrekkelijk* moet zijn.

Hij die gewoon is alles, wat hij duidelijk wil zien, op eenen afstand van 10 centim. van zijn oog te houden, is ook gewoon alle zulke voorwerpen 4 maal grooter te zien, dan een ander, die dezelve bij voorkeur op eenen afstand van 40 centim. plaatst. Het is derhalven de duidelijkheidsafstand van het oog, welke bij elke berekening der vergrooting van mikroskopen ten grondslag moet gelegd worden. Streng genomen zoude dit de afstand van het naaste grenspunt moeten zijn, omdat tot aan dit punt toe het oog volkomen in staat is, door zijn accomodatievermogen alleen, de beelden scherp op het netvlies te brengen, doch daar de toestand, waarin het oog alsdan verkeert, altijd eene gedwongene en ongewoone is, zoo doet men beter de vergrooting te berekenen voor dien duidelijkheidsafstand, welke het meest aan den gewonen toestand van het oog bij het zien beantwoordt. Dat ook deze echter zeer verschillend is, weet elk. Daar nu dit verschil ook dadelijk invloed uitoefent op de plaats van het voorwerp ten opzichte der lens, zoo blijkt, dat om de vergrooting te vinden, het door velen gegeven voorschrift, om den duidelijkheidsafstand van het oog te deelen door den brandpuntsafstand der lens, niet geheel naauwkeurig kan zijn. Dit volgt reeds daaruit, dat men zulks doende tot de geheel valsche gevolgtrekking zoude komen, dat lenzen wier brandpuntsafstand grooter is dan de duidelijkheidsafstand, niet vergrooten, maar verkleinen zouden. Eene juiste uit-

komst verkrijgt men echter, door beide afstanden bij elkander op te tellen, en de som door den brandpuntsafstand te deelen.

Een paar voorbeelden mogen dit ophelderen. Er wordt gevraagd: welke de vergrooting is eener lens, van 10 millim. brandpuntsafstand, voor A, wiens gemiddelde duidelijkheidsafstand gevonden is te zijn ≈ 162 millim. (z. § 72). Het antwoord is $\frac{172}{10} = 17,2$ maal.

Voor B, wiens duidelijkheidsafstand gevonden werd 372 millim. te bedragen, vergroot dezelfde lens $\frac{582}{10} = 58,2$ maal.

112. Daar het voorwerp zich niet in maar binnen het brandpunt bevindt, zoo moet, om den waren afstand van hetzelfde van de lens te vinden, de brandpuntsafstand met een zeker cijfer verminderd worden. Dit vindt men, door het vierkant van den brandpuntsafstand te deelen door de som der duidelijkheids- en brandpuntsafstanden. In het gegeven voorbeeld is die afstand dus voor A $\approx 10 - \frac{100}{172} = 9,48$ millim.; voor B bedraagt zij $10 - \frac{100}{582} = 9,74$ millim. Het voorwerp is dus bij B 0,26 millim. verder van de lens, — dat is, met andere woorden, van het oog — verwijderd, dan bij A (1).

(1) In wiskundige taal uitgedrukt is de vergrooting $m = \frac{v+p}{p}$, of, hetgeen hetzelfde is, $\frac{v}{p} + 1$, en de afstand van het voorwerp tot de lens $= p - \frac{p}{v+p}$, waarin v den duidelijkheidsafstand, en p den brandpuntsafstand beteekent.

113. Het is nu ook niet moeilijk, volgens de vroeger opgegeven wijze (§ 92), de grootte der netvliesbeeldjes voor beide gevallen te berekenen. Stellen wij daartoe den waren doormeter van het voorwerp = 1 millim., en de dikte der lens, of liever den afstand van deszelfs optisch middelpunt van het hoornvlies = 2 millim. Alsdan wederom voor den afstand van het kruissingspunt van het hoornvlies 10 millim., en voor dien van het netvlies 14 millim. aannemende, zal de doormeter van het netvliesbeeld bij A 0,652 millim., en bij B 0,644 millim. bedragen. Door deze getallen wordt dus het zooeven (§ 111) gezegde, dat namelijk een bijziende door dezelfde lens de voorwerpen iets grooter ziet, dan een verziende, schoon voor dezen laatsten het vergrootend vermogen werkelijk sterker is, bevestigd en opgehelderd.

114. De berekening van het vergrootend vermogen eener lens is, zooals wij zagen, zeer gemakkelijk, zoodra men haren brandpuntsafstand kent. Vroeger (§ 58) is opgegeven hoe de brandpuntsafstand berekend kan worden, indien het brekend vermogen van de stof, waaruit de lens vervaardigd is, en de kromming harer oppervlakten bekend zijn. Voor zulke lenzen echter, als gewoonlijk in mikroskopen gebruikt worden, is het niet mogelijk met genoegzame juistheid hunnen vorm te bepalen, om dezen tot grondslag der berekening te doen dienen. Men moet derhalven op eene andere wijze te werk gaan. In die gevallen waar geene zeer groote naauwkeurigheid vereischt wordt, en de brandpuntsafstand nog een of meer centimeters bedraagt, kan men volstaan met het beeld der zon door de lens op een scherm op te vangen, en den afstand te meten, waarop zich dit beeld het kleinst en scherpst vertoont. Dezen afstand, vermeerderd met

dien van de lensoppervlakte tot aan het optische middelpunt, (derhalven, voor biconvexe lenzen met gelijke krommingen, met de halve dikte der lens) kan men dan als gelijk aan den waren brandpuntsafstand beschouwen, omdat de zonnestralen nagenoeg volkomen evenwijdig zijn.

In plaats der zon kan men ook elk ander lichtgevend lichaam, b. v. de vlam eener kaars, bezigen. Meet men dan de beide afstanden, van de lens tot aan het beeld en dien tot aan de vlam, vermenigvuldigt dezen met elkander, en deelt men het produkt door hunne som, dan is het quotient de gezochte brandpuntsafstand voor parallelle stralen (1).

145. Zoodra echter de brandpuntsafstand zeer gering is, dan zijn deze handelwijzen niet meer toereikend, maar moet men tot andere zijne toevlugt nemen.

Goring (2) heeft daartoe een middel gebezigd, hetwelk ook door v. Mohl (3) wordt aangeprezen. Hetzelve bestaat daarin, dat men de lens, welker brandpuntsafstand men bepalen wil, als oculair van eenen verrekijker aanwendt, en nu met behulp van eenen Ramsdenschen dynameter, de vergrooting meet. Eerst bepaalt men den brandpuntsafstand van het voorwerpglas of van den spiegel, waartoe men, om het brandpunt voor parallelle stralen te vinden, het beeld der zon kan opvangen. Deelt men dan den brandpuntsaf-

(1) Indien a de afstand is van de lens tot aan het lichtgevend voorwerp, b de afstand tusschen de lens en het beeld, dan is de brandpunts-

$$\text{afstand } p = \frac{ab}{a+b}.$$

(2) *Micrographia, containing practical essays, etc.* bij C. R. Goring and Andrew Pritchard. 1837. p. 55

(3) *Mikrographie, oder Anleitung zum Kenntniss und zum Gebrauche des Mikroskopes*, von Hugo von Mohl 1846. p. 15.

stand van het voorwerpglas door het cijfer der vergrooting, hetwelk de dynameter aangeeft, dan is het quotient de gezochte brandpuntsafstand van de als oculair gebezigde lens. Heeft men b. v. gevonden, dat de brandpuntsafstand van het voorwerpglas of van den spiegel bedraagt 2,5 meter, en dat het raam van den daarvoor geplaatsten dynameter eene opening heeft van 81,6 millim., terwijl deszelfs met den dynameter gemeten beeld, eenen doormeter van 1,55 millim.

bezit, dan is de vergrooting van den kijker $= \frac{81,6}{1,55} = 52,6$, en de brandpuntsafstand van de als oculair gebruikte lens $= \frac{2500}{52,6} = 47,5$ millim.

Deze methode moet noodzakelijk zeer juiste uitkomsten geven. Voor lenzen met eenen zeer geringen brandpuntsafstand, en die bij gevolg ook slechts eene geringe opening hebben, houdt dezelve echter op toepasselijk te zijn, dewijl deze te weinig licht doorlaten, om nog als oculair gebezigd te worden. Heeft men echter van ééne lens met groote juistheid den brandpuntsafstand bepaald, dan kan men deze bepaling tot grondslag leggen voor het vinden van den brandpuntsafstand van andere lenzen.

Tot dit einde wordt de lens, waarvan men den brandpuntsafstand gevonden heeft, als voorwerpglas in een zamengesteld mikroskoop gebruikt, hetwelk eenen mikrometer in het oculair heeft. Door dit mikroskoop beschouwt men nu eenen anderen mikrometer, en onderzoekt hoevele verdeelingen van den eersten, op ééne verdeeling van den laatsten komen; of wel, men laat den mikrometer in het oculair weg, en telt alleen hoevele verdeelingen van den als voorwerp gebezigten mikrometer in het gezigtveld van het mikroskoop

begrepen zijn. Wanneer men nu eene andere lens, welker brandpuntsafstand men bepalen wil, als objectief van hetzelfde mikroskoop aanwendt, (waarbij men natuurlijk zorg moet dragen, dat de afstand van het optische middelpunt der lens tot aan het oculair telkens zoo na mogelijk dezelfde is), en alsdan telt, hoeveel afdeelingen van den voorwerpmikrometer nu in het gezigtsveld, of in eene afdeeling van den oculairmikrometer, bevat zijn, dan kan men daaruit zeer gemakkelijk de verhouding tusschen het vergrootend vermogen dier beide lenzen vinden. Voorondersteld b. v., dat met de lens, welker brandpuntsafstand bekend is, zich 50 afdeelingen van eenen naar zekere maat verdeelden mikrometer in het veld vertoonen, maar dat, wanneer in de plaats dier lens achtereenvolgens drie andere als objectieven gebruikt worden, waarmee 100, 10 en 5 afdeelingen de breedte van het gezigtsveld innemen, dan is de verhouding van het vergrootend vermogen dier drie lenzen, tot dat der eerst gebezigde lens als 50:100, 50:10 en 50:5, of als 0,5:1, 5:1 en 10:1, d. i. de eerste der drie lenzen heeft slechts de helft van het vergrootend vermogen der eerste, de tweede het vijfvoudige en de derde het tienvoudige. Daar nu het vergrootend vermogen in gelijke verhouding toeneemt als de brandpuntsafstand afneemt, zoo zullen de brandpuntsafstanden dezer drie lenzen, indien die van de eerste, volgens de bepaling met den dynameter verrigt, is = 47,5 millim., 95, 9,5 en 4,75 millim. bedragen.

116. Er is echter nog eene andere wijze, waarop de brandpuntsafstand van zulke kleine lenzen kan gevonden worden, en welke, niet minder naauwkeurig dan die met den dynameter, tevens het voordeel heeft, dat zij op lenzen met zeer

korten brandpuntsafstand even toepasselijk is, als op die, waar deze nog eene grootere lengte heeft. Daartoe is het noodig, door middel der lens, welker brandpuntsafstand men bepalen wil, het beeld van eenen als voorwerp gebruikten mikrometer op een scherm op te vangen, dat op eenen zekeren bekenden afstand geplaatst is. Het best bedient men zich hierbij van het, later te beschrijven, draagbare zonmikroskoop, doch ook elk gewoon zonmikroskoop voldoet aan het oogmerk, terwijl hij, die geen van beiden bezit, ook de buizen van een gewoon zamengesteld mikroskoop kan aanwenden, door het oculair weg te nemen, in deszelfs plaats een mat glas in de buis te brengen, en de lens, welker brandpuntsafstand hij bepalen wil, als objectief te bezigen. Indien de lenzen niet al te klein zijn, kan men voor de verlichting ook de hydro-oxygeengasvlam op kalk, en zelfs voor de grooteren die eener gewone Argandsche lamp, aanwenden. Wanneer zich nu het beeld van den mikrometer volkomen scherp op het scherm vertoont, meet men de grootte der afdeelingen, en vindt daaruit onmiddellijk, hoeveel malen de vergrooting is, welke door die lens op dien afstand te weeg gebragt wordt. Om nu hieruit den brandpuntsafstand te vinden, moet men eerst den afstand kennen, waarop het voorwerp, d. i. hier de mikrometer, zich vóór de lens bevindt. Dezen afstand vindt men, door den bekenden doormeter van het voorwerp te vermenigvuldigen met den afstand van het beeld achter de lens, en het produkt te deelen door den doormeter van het beeld.

Men heeft b. v. gevonden, dat een voorwerp, van 0,5 millim. doormeter, op een scherm, dat op 250 millim. afstand geplaatst is, een beeld geeft van 110 millim., dan is

$$\text{de gezochte afstand} = \frac{250 \times 0,5}{110} = 1,136 \text{ millim. Deze af-}$$

stand is echter niet de ware brandpuntsafstand der lens, maar iets grooter, want, zal een voorwerp een beeld vormen, dan moet het zich altijd buiten het hoofdbrandpunt der lens bevinden (z § 42). Om dan uit den gevonden afstand den waren brandpuntsafstand te berekenen, vermenigvuldigt men den afstand van het beeld tot de lens met den afstand van het voorwerp, en deelt het produkt door de som dier afstanden.

In het gegeven geval is dus de brandpuntsafstand der lens $= \frac{250 \times 1,156}{251,156} = 1,151$ millim.

Men ziet dat het verschil tusschen den afstand, waarop zich het voorwerp bevindt, en den waren brandpuntsafstand der lens, zoo uiterst gering is (hier 0,005 millim.), dat men zulks in dit geval geheel kan verwaarloozen, en het dus, voor het bepalen van den brandpuntsafstand van sterk vergrootende lenzen volkomen voldoende is, indien men zich tot de berekening van den eersten afstand bepaalt (1).

117. Indien het alleen te doen is, om het vergrootend vermogen der lens, in een enkelvoudig mikroskoop gebruikt, te vinden, en hierbij geene zeer groote naauwkeurigheid vereischt wordt, dan kan men volstaan met de grootte van het beeld op het scherm te meten op dien afstand, welken men als den normalen duidelijkheidsafstand aanneemt,

(1) Indien de doormeter van het voorwerp is h , van het beeld d , de afstand van het beeld tot aan het middelpunt der lens b , de afstand van het voorwerp hiervan a , dan is $a = \frac{bh}{d}$, en de ware brandpuntsafstand

$$p = \frac{ab}{a+b}.$$

b. v. op 25 centim., of op elken anderen afstand, dienen bij de berekening der vergrootingen tot grondslag verkiest te leggen.

Doch ook, wanneer het scherm op den juisten afstand geplaatst is, welken men als gelijk aan den oogafstand aanneemt, voor welken alle vergrootingen zullen bepaald worden, dan moet men niet vergeten, dat het aldus gevonden cijfer slechts bij benadering naauwkeurig is. Terwijl toch het voorwerp dat men dóór de lens beschouwt, *binnen* het brandpunt moet gebragt worden, moet het daarentegen, om in een zon- of ander beeldmikroskoop een beeld te vormen, steeds iets daar *buiten* worden geplaatst. Vandaar dat de waarde van de door het laatste gevonden vergrooting altijd iets te gering uitvalt. Ik wil dit wederom door een voorbeeld ophelderen.

Wij zagen zoo even, dat een voorwerp, van 0,5 millim. doormeter, met eene lens van 1,151 millim. brandpuntsafstand, op eenen afstand van 25 centim. een beeld vormt, hetwelk 110 millim. doormeter heeft. Het vergrootend vermogen dezer lens, in een beeldmikroskoop gebruikt, is dus

$$\frac{110}{0,5} = 220 \text{ maal.}$$

Berekent men nu, volgens de vroeger (§ 111) opgegeven handelwijze, het vergrootend vermogen derzelfde lens, wanneer zij in een enkelvoudig mikroskoop ge- bezigd wordt, dan vindt men, voor eenen duidelijkheidsaf-

stand van 25 centim., eene vergrooting van

$$\frac{251,151}{1,151} = 222$$

maal. Men ziet dus, dat daar waar het op groote naauwkeurigheid aankomt, b. v. indien het kennen van het vergrootend vermogen noodig is om metingen te bewerkstelligen, men zich niet alleen verlaten kan op de gevonden

verhouding tusschen den doormeter van het voorwerp en dien van het beeld.

118. De eenvoudigste handelwijze, om het vergrootend vermogen, zoowel van lenzen als van mikroskopen in het algemeen (met uitzondering der beeldmikroskopen) te bepalen, en welke om naauwkeurig te zijn, slechts eenige oefening en geduld vereischt, is die, waarbij men met het éne oog door het mikroskoop naar een voorwerp ziet, welks grootte men kent, b. v. de verdeelingen van eenen glasmikrometer, en met het andere oog naar eenen ter zijde van het mikroskoop op den duidelijkheidsafstand gehouden maatstok of eenen passer, waarmede men den doormeter van het schijnbeeld bepaalt. Later zal ik op deze handelwijze terugkomen, en dan tevens aangeven, welke de voorzorgsmaatregelen zijn, die daarbij behooren te worden in acht genomen.

119. Heeft men door deze handelwijze of door eene andere, het vergrootend vermogen eener lens voor eenen bepaalden duidelijkheidsafstand gevonden, dan laat zich hieruit weder op zijne beurt de brandpuntsafstand berekenen. Deze is namelijk gelijk (1) aan het quotient, van den duidelijkheidsafstand gedeeld door het cijfer der vergrooting verminderd met de éénheid. Eene lens b. v., welke voor eenen duidelijkheidsafstand van 162 millim. 17,2 maal vergroot, zal eenen brandpuntsafstand bezitten van $\frac{162}{17,2-1} = 10$ millim.

(1) Indien p de brandpuntsafstand, v de duidelijkheidsafstand, en m het cijfer der vergrooting beteekent, dan is $p = \frac{v}{m-1}$.

120. Bij al het tot hiertoe gezegde over de vergroo-
ting door lenzen, is het in de werkelijkheid nimmer vol-
komen plaatst hebbend geval voorondersteld, dat de lens
vlak tegen het oog gehouden wordt, en dat dezelve boven-
dien geene dikte heeft. Dat inderdaad echter de afstand
tusschen het oog en de lens invloed op de vergroo-
ting uitoefent, blijkt reeds uit het vroeger opgemerkte, dat het
eigenlijk vergrootend vermogen in het oog ligt, en dus
de vergroo-
ting, bij het gebruik derzelfde lens, eene andere
moet zijn, zoodra de afstand van het oog tot het voorwerp
verandert. Reeds de beschouwing van fig. 56 doet zien,
dat indien de lens AB te gelijk met het voorwerp nader
aan het oog werd gebragt, de gezigtshoek $a''ob''$ grooter
zoude worden. Overigens kan men zich van de waarheid
hiervan op eene gemakkelijke wijze overtuigen.

Het best dient daartoe eene lens met eenen brandpunts-
afstand van 2 of 3 centimeters. Houdt men zulk eene lens
vlak voor het oog, en ziet men door dezelve naar de let-
ters van een boek, hetwelk op zulk eenen afstand gehouden
wordt, dat zich de letters duidelijk en scherp vertoonen,
en verwijderd men vervolgens het oog, de lens steeds op
denzelfden afstand van het boek houdende, dan zullen de
letters schijnbaar in grootte toenemen, omdat er zich een
diffusiebeeld op het netvlies vormt, hetwelk grooter is, dan
het vroegere scherpe beeld. Om dan echter, bij dien groo-
teren afstand van het oog, de letters weder even volkomen
scherp en duidelijk te zien als vroeger, moet men de lens
iets nader bij het boek brengen, waarbij dan de vergroo-
ting blijken zal geringer dan vroeger te zijn.

Hieruit volgt dus, dat de wijze, waarop eene lens gevat is,
geenzins zonder invloed op haar vergrootend vermogen is, en dat

men als algemeen voorschrift stellen kan, dat de werktuiglijke inrigting, welke dient om eene lens, voor een enkelvoudig mikroskoop bestemd, in te sluiten, zoodanig moet zijn, dat zij veroorlooft de lens zoo dicht mogelijk bij het oog te brengen. Terwijl het derhalven voor al die gevallen (zamengestelde dioptrische mikroskopen, zonnemikroskopen, enzv.), waar de eenige verrigting der lens bestaat in het vormen van een beeld van het voorwerp, volstrekt onverschillig is, of de busjes, welke de lenzen bevatten, kort of lang zijn, mits hunne randen slechts den weg der stralen niet belemmeren, zoo is het daarentegen voor de lenzen bij het enkelvoudig mikroskoop een volstrekt vereischte, dat hunne busjes zoo plat mogelijk en eenigzins uitgehold zijn, gelijk men dan ook trouwens bij alle nieuwere enkelvoudige mikroskopen dezen vorm aantreft.

121. Doch niet alleen uithoofde der vergrooting, maar vooral ook om eene andere reden, is die vorm verkieslijk. Hoe digter het oog namelijk bij de lens gehouden wordt, des te grooter is het *gezigtsveld*. Indien fig. 57 *aa* een voorwerp is, hetwelk door de lens *C* beschouwd wordt, en het oog zich in *a'* bevindt, dan ziet hetzelfde het geheele voorwerp *aa*, want de stralen *ax* en *az*, die beantwoorden aan de uiterste punten van het voorwerp, worden na den doorgang door de lens naar *a'* gebroken, en komen dus in het zich aldaar bevindende oog. Verwijdert men dit verder van de lens naar *b'*, dan ziet het de beide uiteinden van het voorwerp *aa* niet meer, want zelfs de uiterste van deze punten uitgaande stralen, welke nog de lens treffen, gaan in de rigting *xa'* en *za'* links en regts het oog voorbij, terwijl alle andere stralen, die van hetzelfde punt *a* uitgaan,

het oog nog veel minder bereiken, want zij worden evenwijdig met za' naar ay en av gebroken. In b' ziet het oog nog slechts het gedeelte bb van het voorwerp aa , want de stralen ab' en zb' , welke aan de punten bb beantwoorden, zijn de uiterste, die nog het oog bereiken; alle tusschen a en b liggende punten zijn voor het oog onzichtbaar. In c' eindelijk ziet het oog slechts het tusschen c en c gelegen gedeelte van het voorwerp, enzv.

Hieruit volgt dus, dat de door eene lens zichtbare vlakke, of, met andere woorden, het *gezigtsveld* des te grooter is, hoe korter de afstand is tusschen het oog en de lens, en dat hetzelfde het grootst is, wanneer beide in onmiddellijke aanraking zijn.

122. De grootte van het *gezigtsveld* is echter bovendien nog afhankelijk van de *opening der lens*. Om deze te bepalen is het bij lenzen, die nog eenen tamelijken doormeter bezitten, voldoende de middellijn der lens, of die van deszelfs onbedekt gedeelte, te meten. Bij zeer kleine lenzen moet men daartoe eenen anderen weg inslaan. Het best bereikt men zijn oogmerk door parallelle lichtstralen (1), b. v. die der zon, op de lens te doen vallen, gelijk a en b fig. 58; deze zullen zich achter de lens AB in het brandpunt p kruisen, en wanneer men nu op eenigen afstand van de lens een scherm houdt, dan vertoont zich daarop het vergroote beeld (eigenlijk een diffusiebeeld der zon) van de opening der lens. Wordt het scherm

(1) Is de lens zeer klein, dan moet geconcentreerd parallel licht worden aangewend. In het hoofdstuk over de verlichting zal men de middelen vinden aangegeven, om dit te verkrijgen.

op den afstand pq van het kruissingspunt gehouden, dan is cd de middellijn van het vergrootte beeld. Het spreekt van zelf, dat deze proef in eene donkere ruimte moet geschieden. De randen van den aldus op het scherm opgevangen lichtkring zijn wel is waar niet volkomen scherp, doch indien de afstand niet al te groot is, kan de doormeter nog met genoegzame naauwkeurigheid bepaald worden. Uit de figuur is het duidelijk, dat die doormeter zooveel malen grooter is dan die der lens, als de brandpuntsafstand op begrepen is in den afstand pq van het brandpunt tot aan het scherm. Heeft men dus vooraf, volgens de vroeger (§ 116) opgegeven handelwijze, den brandpuntsafstand bepaald, dan leert eene eenvoudige berekening de middellijn of de opening der lens kennen.

Ook de grootte van den openingshoek, hier ApB , kan dan door berekening gevonden worden (1). Voor praktische oogmerken, wanneer het niet op de uiterste naauwkeurigheid aankomt, kan men volstaan met de gevonden middellijn der lens alsmede haren brandpuntsafstand (of, indien beide klein zijn, hunne veelvouden) op een papier te brengen, en vervolgens, de lijnen Ad en Be door het brandpunt p te trekken. De hoek epd , die gelijk is aan den hoek ApB , kan dan met eenen graadboog gemeten worden.

Is b. v., zoo als in de figuur, de brandpuntsafstand der

(1) Indien de openingshoek is $\equiv Q$, de middellijn der lens $\equiv d$, de brandpuntsafstand $\equiv p$, de afstand der lens tot aan het scherm $\equiv a$, en

de doormeter van den lichtkring $\equiv b$, dan is $d \equiv \frac{bp}{a-p}$, en

$\text{Tang. } \frac{1}{2} Q \equiv \frac{d}{2p}$.

lens 10 millim., de afstand tot aan het scherm 50 millim., en de doormeter van den lichtkring 44 millim., dan is de middellijn der lens $= \frac{44 \times 10}{50 - 10} = 11$ millim. Brengt men dan deze uitkomst, op de gezegde wijze, op papier over, dan zal men voor den openingshoek ongeveer 58° vinden.

125. Behalven op het vergrootend vermogen en het gezigtveld, moet bij de inrigting van lenzen tot een enkelvoudig mikroskoop nog op eene andere omstandigheid gelet worden, t. w. op de mate van lichtsterkte of de helderheid, die de daardoor waargenomen voorwerpen bezitten, of, hetgeen hetzelfde is, op de hoeveelheid licht, welke door de lens heen in het oog geraakt.

Bij het gewone zien hangt de helderheid van een voorwerp af: *vooreerst* van den graad van deszelfs verlichting, maar ook *ten tweede* van de opening der pupil. Hoe meer stralen namelijk van eenig lichtend punt het oog kunnen binnentreden, des te helderder zal het zich vertoonen. Verwijdt zich de pupil, dan zal er ook meer licht doorgaan, en daar deze verwijding in een vlak geschiedt, en gelijkmatig naar alle rigtingen, zoo neemt de hoeveelheid licht toe of af, in verhouding der vierkanten van den doormeter der pupil, zoodat b. v. door eene pupil, die 4 millim. doormeter heeft, viermaal meer licht gaat, dan wanneer zij tot op eenen doormeter van 2 millim. vernaauwd is.

Hetzelfde geldt voor de lenzen, die tusschen het oog en een voorwerp gehouden worden. Bij zulke kleine lenzen, als waarvan hier sprake is, kan men zonder groote dwaling aannemen, dat de doormeter van de lens gelijk is aan den doormeter des stralenbundels, die dezelve treft, en dan volgt

hier wederom uit: dat de lichtsterkten van twee lenzen zich verhouden als de vierkanten hunner doormeters.

Om nu eenen maatstaf te hebben voor de bepaling van de helderheid der voorwerpen, die door zulk eene lens gezien worden, vergelijkt men dezelve bij de helderheid derzelfde voorwerpen, gezien met het bloote oog, en dan blijkt uit het gezegde, dat de helderheid van zulk een, met het bloote oog gezien, voorwerp zich verhoudt tot de helderheid van hetzelfde, door eene lens vergroot gezien, voorwerp, als het vierkant van den doormeter der pupil tot het vierkant van den doormeter der lens. Is dus de doormeter der lens gelijk aan den doormeter der pupil, dan is de helderheid van het daardoor beschouwde voorwerp, — indien men het geringe verlies bij den doorgang der lens zelve buiten rekening laat, — gelijk aan de helderheid van hetzelfde voorwerp door het bloote oog beschouwd; doch naarmate de vergrooting van de lens klimt, en dien ten gevolge deszelfs doormeter of opening afneemt, vermindert ook de helderheid in sterke mate. Dit wordt opgehelderd door het volgende door Littrow berekende tafeltje, waarin de doormeter ter pupil gelijk 0,1 Par. duim (ongeveer 2,7 millim.) is aangenomen, terwijl de doormeter der lenzen berekend is voor het geval, dat de kromming der beide oppervlakten eene zoodanige is, dat de sphaerische aberratie het geringst is. De bijgevoegde vergrootingen zijn voor eenen duidelijkheidsafstand van 8 Par. duimen (1).

(1) *Dioptrik.* p. 379. De vergrootingen zouden eenigzins anders uitvallen, indien zij berekend werden volgens de § 111 aangegeven handelwijze, en niet, zooals Littrow gedaan heeft, door alleen den duidelijkheidsafstand te deelen door den brandpuntsafstand.

Vergroo- ting.	Brandpunts- afstand in Par. duim.	Doormeter van de opening der lens in Par. duim.	Maat der helderheid.
8.	1,000.	0,100.	1,000.
10.	0,800.	0,080.	0,800.
20.	0,400.	0,040.	0,400.
40.	0,200.	0,020.	0,200.
60.	0,155.	0,015.	0,155.
80.	0,100.	0,010.	0,100.
100.	0,080.	0,008.	0,080.
120.	0,060.	0,006.	0,060.
140.	0,057.	0,006.	0,057.
160.	0,050.	0,005.	0,050.

Men ziet, dat de helderheid in gelijke verhouding afneemt als de brandpuntsafstand. Eene lens, welke 20 maal meer vergroot, dan eene andere, doet de lichtsterkte van het voorwerp ook tot op $\frac{1}{20}$ verminderen.

Hieruit volgt de noodzakelijkheid, om, bij het gebruik van kleine lenzen, de lichtsterkte der voorwerpen door kunstmid-
delen te vermeerderen.

Overigens verschilt de mate van helderheid ook naar gelang van den vorm der lenzen. Bij lenzen van den besten vorm en biconvexe lenzen met gelijke kromming der beide oppervlakten, staat volgen Littrow de helderheid der eersten tot die der laatsten ongeveer als 8:7, wanneer de lengte der sphaerische aberratie voor beiden dezelfde is.

Bezigt men in de plaats van lenzen glasbollen, dan zal men bevinden, dat, bij gelijke vergrooting, de helderheid iets sterker is, gelijk blijkt uit de vergelijking van het volgende door Euler (1) berekende tafeltje met het vorige.

(1) *Dioptrica* Cap. I. Probl. IV.

Vergroo- ting.	Afstand van het voorwerp in Par. duim.	Doormeter van den bol in Par. duim.	Maat der helderheid.
10.	0,252.	1,156.	0,998.
20.	0,116.	0,568.	0,499.
50.	0,077.	0,378.	0,353.
40.	0,058.	0,284.	0,249.
50.	0,046.	0,228.	0,199.
60.	0,058.	0,188.	0,166.

Doch hoewel deze grootere mate van helderheid een voordeel der glasbollen boven de lenzen schijnt, zoo wordt dit voordeel meer dan opgewogen door het nadeel, dat verbond is aan derzelver zeer korten brandpuntsafstand, en de daarmee zamenhangende kleinheid van het gezigtsveld (z. § 41). In vroegeren tijd, toen het zamengestelde mikroskoop nog niet dien trap van volkomenheid had bereikt, waarop wij hetzelfde thans kennen, en ook later toen goede aplanatische mikroskopen nog zeer hoog in prijs stonden, waren kleine sterk vergrootende glasbolletjes, even als lenzen in een enkelvoudig mikroskoop gebruikt, zeer doelmatig, omdat men zich, door derzelver vervaardiging, een stel vergrootingen kan verschaffen, hetwelk dat van geslepen glaslenzen verre overtreft. Thans echter, nu men voor eene betrekkelijk geringe som een goed mikroskoop kan verkrijgen, zal het niemand meer in de gedachte komen zijne toevlugt tot zulke glasbolletjes te nemen, die, hoewel men door dezelve, wanneer zij goed vervaardigd zijn, zeer juist en scherp kan waarnemen, toch veel te lastig in het gebruik zijn. Ik zal daarom hier niets over derzelver vervaardigingswijze zeggen, maar het overige dezelve betreffende, als tot de geschiedenis der

mikroskopische werktuigen behoorende, in het laatste gedeelte van dit werk behandelen.

124. Vroeger hebben wij met de noodige uitvoerigheid de beide hoofdgebreken der lenzen beschouwd, namelijk de *sphaerische* en de *chromatische aberratie*, en tevens de middelen aangegeven, die tot derzelver opheffing dienen. De laatste dezer beide aberratiën, de chromatische namelijk, is voor het gebruik der lenzen in het enkelvoudig mikroskoop, minder te vreezen dan de eerste, en oefent op de netheid van het netvliesbeeldje eenen veel geringeren invloed uit, dan wanneer dezelfde lenzen als objectieven van een zamengesteld mikroskoop gebezigd worden. Voor loupes en enkelvoudige mikroskopen levert het daarom weinig voordeel op achromatische lenzen aan te wenden, tenzij (gelijk trouwens altijd het geval is) tevens de sphaerische aberratie door de vereeniging van de crownglas- en flintglaslens verbeterd is.

Er zijn echter meerdere andere wijzen, waarop de sphaerische aberratie kan verbeterd worden, gelijk reeds vroeger (§ 49—52) gebleken is. Beschouwen wij dezelve hier nog kortelijk in hunne toepassing op het enkelvoudig mikroskoop.

In de eerste plaats dan kan de sphaerische aberratie tot een minimum gebragt worden, door aan de beide oppervlakten der lens eenen gepasten graad van kromming te geven. Voor crownglas, hetwelk eenen brekingsindex van 1,534 bezit, zagen wij (bl. 46), dat de sphaerische aberratie het geringst is, indien de radii der beide oppervlakten tot elkander staan als 1:8,6, terwijl het verschil dier verhouding nog toeneemt, naar gelang de brekingsindex grooter is. Daar nu eene plano-convexe crownglaslens in gedaante reeds zeer nabij komt aan eene lens van den besten vorm, zoo

volgt hieruit, dat zulke lenzen steeds de voorkeur verdienen boven lenzen, wier kromming aan beide zijden gelijk is. Bovendien moet de minstgekromde, en dus bij plano-convexe lenzen de platte oppervlakte naar het voorwerp gekeerd zijn.

Ten tweede is het noodig, wanneer de lens eene te groote opening heeft, deze opening kleiner te maken, omdat de sphaerische aberratie, gelijk wij zagen (bl. 47), in zeer sterke mate toeneemt, naar gelang de stralen digter bij den rand der lens doorgaan. Hiervoor nu bestaan verschillende middelen. Het oudste en meest gebruikelijke is het aanbrengen van een doorboord plaatje of diaphragma boven de lens, zoo dat de randstralen daardoor worden afgesloten. Het diaphragma kan ook tusschen twee met hunne vlakke zijden naar elkander toegekeerde plano-convexe lenzen geplaatst worden, die te zamen dan den dienst eener enkele biconvexe lens verrigten, gelijk Wollaston gedaan heeft, op de wijze, zoo als zulks in fig. 59 is voorgesteld. Hetzelfde doel zoude bereikt worden, door den voorslag van Brewster uit te voeren, en in eenen glazen bol, in de rigting van eenen grooten cirkel, eene diepe ringvormige groeve te slijpen (fig. 60). Verders moeten hier genoemd worden de verschillende soorten van cylinderloupen, waartoe ook de vogelooglenzen (fig. 61) en de Stanhopesche loupes (fig. 62.) behooren, welke laatste bovendien zoo ingerigt zijn, dat het brandpunt der eene bolle oppervlakte op de tegenovergestelde valt, waarvan de kromming tevens dient, om alle deelen van het gezigtsveld op gelijken afstand van het optische middelpunt te brengen (verg. § 109).

Bij alle dezen is, zooals dadelijk bij de beschouwing der figuren blijkt, het hoofddoel, de randstralen niet in het oog

te laten komen, hetzij dan door een tusschengevoegd diaphragma, of door een gedeelte van den bol, waarvan de oppervlakten der lens de segmenten zijn, geheel weg te nemen. Later zal ik over deze verschillende lenzen, en derzelver betrekkelijke doelmatigheid, in eene meer uitvoerige beschouwing treden. Hier zij het voldoende te doen opmerken, dat bij allen de opheffing der sphaerische aberratie, uit hoofde van den sterken biconvexen vorm, niet dan gebrekkig kan zijn, maar dat zij daarentegen het voordeel bezitten van een uitgebreid gezichtsveld, waaraan de eerste dezer soort van lenzen dan ook haren door Wollaston gegeven naam, van *periskopische*, verschuldigd is.

Een *derde* middel, hetwelk van allen het meest afdoende zoude zijn, indien het praktisch uitvoerbaar ware, vermeld ik hier slechts in het voorbijgaan. Namelijk het vervaardigen van lenzen met hyperbolische krommingen in plaats van de gewone sphaerisch gebogene oppervlakten. Tot nog toe is het echter, in weerwil van talrijke pogingen, niet gelukt aan geslepen lenzen eenen anderen, dan den sphaerischen vorm te geven, en ik zoude dit punt zelfs geheel met stilzwijgen zijn voorbij gegaan, indien niet bij door *smelting verkregen glasbolletjes* eene hyperbolische kromming door een gelukkig toeval werkelijk ontstaan kan. Het is althans hierdoor, dat het mij verklaarbaar toeschijnt, dat, onder een groot aantal van zulke glasbolletjes, men er steeds eenige zal aantreffen, die, in netheid en scherpte van de door hen te weeg gebrachte beelden, geslepen lenzen van een gelijk vergrootend vermogen, aanmerkelijk overtreffen.

Ten vierde kan men, door lenzen te vervaardigen uit stoffen, welke een sterker brekend vermogen dan glas bezitten, de vergrooting versterken, terwijl de aberratie dezelfde blijft.

De brandpuntsafstanden (z. § 58) van gewone glaslenzen staan tot die van lenzen, welke van granaat, van saphir en van diamant geslepen zijn, als 1:0,62, 1:0,65 en 1:0,55. Daar nu het vergrootend vermogen in gelijke mate klimt als de brandpuntsafstand afneemt, zoo volgt, dat b. v. eene diamanten lens eene bijna driemaal sterkere vergrooting zal bezitten dan eene glazen lens van denzelfden vorm, en dus met gelijke sphaerische aberratie. De betrekkelijke waarde van eene glazen en van eene diamanten lens wordt opgehelderd door fig. 65. D is de halve doormeter van eene diamanten lens, C die eener glazen lens. Het hoofdbrandpunt van beiden ligt in F. De randstraal der diamanten lens snijdt de as in d , die der glazen lens in g ; de lengte der aberratie voor de diamanten lens is dus dF , en voor de glazen lens gF .

Hierbij komt nog, dat het kleurschiftend vermogen van den diamant nagenoeg gelijk staat met dat van crown glas (§ 55), zoodat bij eene diamanten lens van gelijke opening, en hetzelfde vergrootend vermogen, niet alleen eene veel geringere sphaerische aberratie bestaat, maar ook de chromatische aberratie merkelyk minder is, dan bij eene lens, die uit glas is vervaardigd.

Dezelfde voordeelen, schoon in mindere mate, zijn ook aan lenzen van granaat, saphir en andere edelgesteenten eigen. Doch hoe onmiskenbaar deze voordeelen van zoodanige lenzen ook zijn, zoo laat het zich echter niet vooruitzien, dat dezelve immer opwegen zullen tegen de groote bezwaren, die aan hunne vervaardiging verbonden zijn, en de aanzienlijke kostbaarheid, welke hiervan, nog meer dan van de gebruikte stoffen zelven, het gevolg is. Deze bezwaren worden inzonderheid veroorzaakt door de omstandigheid, dat

deze edelgesteenten (met uitzondering van den granaat, welks kleur echter hinderlijk is) eene dubbele breking bezitten, zoodat alleen zulke daaruit vervaardigde lenzen bruikbaar zijn, wier as zamenvalt met de as van dubbele breking, eene voorwaarde welke niet dan zeer moeilijk op eene volkomene wijze kan vervuld worden. Thans nu men in het aplanatisch zamengesteld mikroskoop een werktuig bezit, hetwelk in al die gevallen, waar lenzen uit edelgesteenten van werkelijk nut zouden kunnen zijn, voor het minst even goed aan het oogmerk beantwoordt, kan men veilig de pogingen, die aangewend zijn, om het enkelvoudig mikroskoop door zulke lenzen te verbeteren, als reeds geheel tot het gebied der geschiedenis behorende, beschouwen. Eenige nadere bijzonderheden betreffende dezelve zullen dus in de laatste afdeeling hunne plaats vinden.

Eindelijk *ten vijfde* kan de vergrooting versterkt worden, zonder dat de sphaerische aberratie in gelijke verhouding toeneemt, indien men in plaats van eene enkele lens gebruik maakt van twee, drie of meer tot een stelsel vereenigde lenzen, welke te zamen beantwoorden aan eene enkele lens van sterkere kromming. Zulke vereenigingen heeten *doubletten*, *tripletten*, enzv., en derzelver nut is te belangrijk, dan dat wij niet eenige oogenblikken zoude stilstaan bij de beschouwing hunner voornaamste eigenschappen.

125. De onderscheiden soorten van lenzen kunnen, op een aantal verschillende wijzen, met elkander verbonden worden. Hier ter plaatse komt alleen in aanmerking het geval, dat twee of meer verzamelingslenzen, dezelfde optische as met elkander gemeen hebbende, op eenen onderlingen afstand geplaatst zijn, welke kleiner is, dan hun brandpuntsafstand.

Indien fig. 64 A en B twee lenzen zijn, welker hoofdbrandpunten gelegen zijn in f en f' , en derzelver onderlinge afstand vw korter is dan vf , dan zullen de paralelle stralen ze , na door de eerste lens A convergerend geworden te zijn, zoodat zij zich zonder tusschenkomst eener andere lens in f zouden vereenigd hebben, nu langs ie' de lens B bereikende bij i' nog sterker convergerend worden, zoodat het brandpunt der beide vereenigde lenzen in f'' valt.

De afstand van dit brandpunt, en het vergrootend vermogen van het stelsel, verschilt naar gelang van den onderlingen afstand der lenzen. De brandpuntsafstand is het geringst, wanneer de beide lenzen met elkander in onmiddellijke aanraking zijn. Zijn de beide lenzen plano-convex, dan is het vergrootend vermogen der vereeniging gelijk aan het vergrootend vermogen eener biconvexe lens, welker beide krommingen die derzelfde lenzen zijn. Twee gelijke plano-convexe lenzen met elkander verbonden, hetzij door vereeniging der beide platte oppervlakten, hetzij door de bolle oppervlakte der eene te plaatsen tegen de platte oppervlakte der andere lens, hebben slechts den halven brandpuntsafstand en dus het dubbele vergrootend vermogen van elke afzonderlijke lens.

Indien de brandpuntsafstanden verschillend zijn, dan zal de brandpuntsafstand van het stelsel, voor het geval dat de onderlinge afstand der lenzen $= 0$ is, gevonden worden, door het produkt dier beide afstanden te deelen door hunne som. Eene doublet b. v. bestaande uit twee vlak aan elkander liggende lenzen, wier brandpuntsafstanden zijn 10 en 5 millim., zal eenen brandpuntsafstand bezitten van $\frac{5 \times 10}{15} = 5,55$ millim.

Zoolang de beide lenzen met elkander in onmiddellijke

aanraking zijn, heeft hunne betrekkelijke plaatsing geenen invloed op den brandpuntsafstand hunner vereeniging. Doch anders wordt het, zoodra zij op eenigen afstand van elkander zijn geplaatst. In een mikroskopisch doublet noemt men die lens, welke naar het voorwerp gekeerd is, de *voorste*, terwijl de andere de *achterste* lens heet. Indien deze beiden nu eenen verschillenden brandpuntsafstand hebben, dan is het niet onverschillig of men de sterkste lens achter of voraan plaats. In het algemeen wordt de brandpuntsafstand der vereeniging gevonden, door den brandpuntsafstand van de voorste lens te vermenigvuldigen met het verschil tusschen den brandpuntsafstand der achterste lens en den afstand der beide lenzen, en daarna het produkt te deelen door de som van dit verschil en den brandpuntsafstand der voorste lens (1). Stellen wij nu den brandpuntsafstand van de voorste lens = 5 millim., die van de achterste = 10 millim., en hunnen onderlingen afstand = 3 millim., dan heeft

de doublet eenen brandpuntsafstand van $\frac{5 \times 7}{5 + 7} = 2,9$ millim.

Doch keeren wij de betrekkelijke plaatsing der beide lenzen om, zoodat de lens, die vroeger de achterste was, nu de voorste wordt, terwijl hun onderlinge afstand dezelfde blijft,

dan ligt het brandpunt der doublet op $\frac{10 \times 2}{10 + 2} = 1,7$ millim.

Hierbij rekt men dan den brandpuntsafstand van af het

(1) Indien de brandpuntsafstand van de voorste lens is = p , die van de achterste lens = p' , en de afstand tusschen de beide lenzen = d ,

dan is de brandpuntsafstand der vereeniging = $a = \frac{p(p' - d)}{p + (p' - d)}$.

Is $d = 0$, dan wordt $a = \frac{pp'}{p + p'}$, en wanneer $p = p'$ is, dan is $a = \frac{1}{2} p$.

optische middelpunt der voorste lens. Wanneer men echter het vergrootend vermogen van de doublet naar deze uitkomsten wilde berekenen, dan zoude men in eene groote dwaling vervallen, daar dan het gevonden vergrootingscijfer veel te hoog en voor de beide betrekkelijke stellingen der lenzen verschillend zoude zijn. Men moet daarom door berekening der brandpuntsafstand zoeken eener aequivalente enkelvoudige lens, d. i. van zulk eene, die in vergrootend vermogen met de doublet gelijk staat. Deze vindt men, door het produkt den beide brandpuntsafstanden te deelen door derzelver som verminderd met hunnen onderlingen afstand (1). In het gegeven geval zoude dus de doublet beantwoorden aan eene

lens met eenen brandpuntsafstand van $\frac{50}{12} = 4,17$ millim.,

welker vergrooting, voor eenen duidelijkheidsafstand van 25 centim., 61 maal is.

Door den brandpuntsafstand der doublet af te trekken van dien der aequivalente lens, vindt men het punt tusschen de beide lenzen, hetwelk gerekend kan worden te beantwoorden aan het optische middelpunt eener enkelvoudige lens. In de eerste betrekkelijke stelling der lenzen ligt hetzelfde dus op $4,17 - 2,9 = 1,27$ millim.; in de andere op $4,17 - 1,7 = 2,47$ millim. achter het optische middelpunt der voorste lens.

Deze voorbeelden zullen voldoende zijn, om aan te toonen, hoe men door berekening den brandpuntsafstand en het vergrootend vermogen van doubletten bepalen kan. Bij tripletten gelden dezelfde voorschriften, wanneer men dezelve

(1) De brandpuntsafstand der aequivalente lens is $= \frac{pp'}{p+p'-d}$

beschouwt als de vereeniging van eene doublet met eene enkele lens. Het zal onnoodig zijn dit nader door een voorbeeld op te helderen.

Overigens vinden de vroeger (§ 114—116) aangegeven handelwijzen, om den brandpuntsafstand van enkelvoudige lenzen door meting te bepalen, ook geheel hunne toepassing op de lenzenstelsels, mits men in het oog houde, dat men daardoor nimmer den afstand van het brandpunt van de voorste lens vindt, maar wel dat der aequivalente enkelvoudige lens.

126. Een belangrijk voordeel der doubletten en tripletten is dus gelegen, in het geven van sterke vergrootingen door de vereeniging van minder vergrootende lenzen, welke gemakkelijker met de vereischte juistheid vervaardigd kunnen worden, dan enkele lenzen van zeer korten brandpuntsafstand. Doch het hoofdvoordeel van zulke lenzenstelsels bestaat in het verminderen van den invloed der beide aberratiën. Deze vermindering der aberratiën wordt opgehelderd door fig. 68. Indien van het voorwerp *ab* stralenbundels uitgaan, dan zullen die, welke van de tegenovergestelde punten ter zijde der optische as komen, zich kruissen. Dit punt is tevens datgene, waar met het meeste voordeel een diaphragma *cd* wordt aangebragt, ter afsnijding der te schuins invallende randstralen. Bij deze kruissing zullen de stralen, welke in de eerste lens *A* het digst bij den rand zijn doorgegaan, en derhalven het meest den invloed der sphaerische aberratie hebben ondervonden, in de tweede lens het naast aan de as doorgaan, en omgekeerd zullen diegene, welke in *A* zich het meest nabij aan de as bevonden, *B* het digst bij den rand treffen. Hierdoor wegen de tegengestelde invloeden der beide lenzen op den gang der stralen elkander groo-

tendeels op, schoon nimmer geheel, want het is blijkbaar, dat deze tegenstelling vermindert, naar gelang de stralen meer nabij aan de as door het lenzenstelsel gaan.

Dat ook in de chromatische aberratie eene gelijktijdige verbetering plaats grijpt, blijkt daaruit, dat, bij elken doorgang der stralen door eene der beide lenzen, de rigting der violette stralen, als de meest breekbare, de grootste verandering ondergaat, en deze verandering is in de lens B eene tegengestelde aan die in de lens A, want terwijl in deze de roode stralen naar den omtrek, en de violette stralen naar de as toe gekeerd zijn, is hunne betrekkelijke ligging, ten gevolge der kruissing, in de tweede lens eene juist omgekeerde, en daar nu de violette stralen dus het sterker brekend gedeelte der tweede lens treffen, worden zij wederom naar de roode stralen toe gebogen, zoodat de gekleurde stralen, bij het verlaten der lens om het oog binnentreden, merklijk minder divergerend zullen zijn dan vroeger, hoewel een volkomen evenwijdige toestand, zooals vereischt zoude worden tot daarstelling van geheel ongekleurd licht (z. § 60), op die wijze nimmer volkomen kan bereikt worden.

127. Wanneer de verschillende lenzen, die eene doublet of triplet zamenstellen, eene gelijke grootte hebben, dan is de opening van elke lens ook tevens die van het stelsel, schoon de openingshoek van het laatste grooter is, uit hoofde van den korteren brandpuntsafstand. Indien echter de lenzen verschillend van grootte zijn, moet de doormeter der opening van het stelsel als gelijk beschouwd worden aan dien des stralenbundels, welke de achterste lens treft. Zoowel deze doormeter, als de grootte van den openingshoek der aan het stelsel beantwoordende aequivalente lens, kan overigens op

gelijke wijze gevonden worden, als in § 122 voor eene enkele lens is opgegeven. De eenige moeilijkheid ligt in het bepalen van het juiste punt binnen in het stelsel, van waar uit de afstanden moeten gerekend worden. Men vindt hetzelfde, gelijk reeds gezegd is (§ 125), door den brandpuntsafstand van het stelsel af te trekken van dat der aequivalente lens. Indien echter de brandpuntsafstanden der lenzen niet zeer veel onderling verschillen, zal men dit punt zonder aanmerkelijke dwaling als op de helft van den afstand tusschen de voorste en de achterste lens geplaatst kunnen beschouwen, terwijl, indien het beeld der opening op eenigzins grooten afstand wordt opgevangen, het verschil in de uitkomst, van welk punt in het stelsel men ook uitgaat, schier geheel verdwijnt.

Dat, ten gevolge der verbetering van de aberratiën, een lenzenstelsel eene veel wijdere opening kan bezitten dan eene enkele lens van gelijk vergrootend vermogen, blijkt uit de vergelijking der volgende getallen (1), welke de betrekkelijke maat uitdrukken der opening van de lens of van het lenzenstelsel, welke nog bestaanbaar is, wanneer de sphaerische aberratie tot een minimum is gebracht.

Gelijkzijdige biconvexe lens 1,00.

Lens van den besten vorm 1,19.

Doublet 2,06.

Triplet 5,41.

De vierkanten dezer getallen drukken tevens de betrekkelijke maat der helderheid uit, zoodat dus, terwijl de scherpte van het beeld dezelfde blijft, eene doublet de viervoudige, en

(1) Tot hunne berekening zijn de door Littrow (*Dioptrik.*, p. 378, 383 en 386, en in Gehler's *Wörterbuch*, *Art. Mikroskop*) gevonden waarden ten grondslag gelegd.

eene triplet meer dan de tienvoudige helderheid eener enkele lens van gelijken brandpuntsafstand kan bezitten (1). Wordt daarentegen de opening dezelfde gemaakt, dan vermindert de aberratie in de omgekeerde verhouding derzelfde getallen; men heeft het derhalven in zijne magt zoowel de netheid van het beeld als deszelfs helderheid te gelijker tijd eene aanzienlijke verbetering te doen ondergaan, terwijl bovendien tevens met de opening ook het gezigtsveld grooter wordt.

Eindelijk is er nog eene reden, waarom de lenzenstelsels de voorkeur verdienen boven enkele lenzen. Dewijl namelijk de breking over meerdere oppervlakten van geringere kromming verdeeld is, zoo vertoont zich het gezigtsveld platter, dan met eene enkele lens van gelijke vergrooting het geval zoude zijn.

128. In het algemeen kan men aannemen, dat de meest gepaste vorm voor de lenzen, die tot doubletten en tripletten vereenigd worden, de planoconvexe is, met den platten kant benedenwaarts gerigt, en het laat zich vooraf berekenen, welke hunne meest gunstige stelling is, om bij het behoud van eene zekere mate van helderheid, de grootste verbetering der aberratie te bereiken. Zulke berekeningen zijn evenwel in de praktijk van weinig toepassing, daar de

(1) Geheel juist is zulks wel is waar niet, omdat, bij elken doorgang van het licht door eene lens, een gedeelte der stralen wordt teruggekaatst en geabsorbeerd. Indien men de berekeningen van W. Herschel (*Phil. transact.* 1800 p. 65) tot grondslag legt, dan treden van 100 op eene lens van gewone dikte invallende stralen er 94,8 weder aan de andere oppervlakte naar buiten. Dit geeft voor eene doublet 89,9, en voor eene triplet 85,2. Het blijkt hieruit echter, dat het verlies zeer gering is, in verhouding tot de meerdere lichtsterkte, die het gevolg is van de grootere opening, welke men aan de lenzenstelsels geven kan.

afstanden te kort en de lenzen zelve te klein zijn, dan dat het mogelijk zoude wezen een lenzenstelsel geheel naar vooraf door berekening gevonden getalswaarden te vervaardigen. Het is daarom, dat de juiste daarstelling van doubletten en tripletten inderdaad grootendeels op de praktische oefening van den vervaardiger en vooral op zijn geduld aankomt, om door herhaalde beproeving over hunne gunstige uitwerking te oordeelen. Hier komt bij, dat de optische assen der verschillende lenzen volkomen moeten te zamen vallen, of, zooals men het gewoonlijk noemt, dat het stelsel behoorlijk gecentreerd moet zijn, iets dat uit hoofde van de kleinheid der lenzen eene groote zorgvuldigheid bij de bewerking der busjes vereischt, waarin de onderscheiden lenzen bevat zijn. Pritchard verzekert, dat hij somwijlen geheele dagen heeft noodig gehad, om eene uit elkander genomen doublet we- in orde te brengen.

Behalven de in het enkelvoudig mikroskoop meest gebruikelijke uit planoconvexe lenzen bestaande doubletten, moet hier nog eene doublet van eene eigendomlijke samenstelling vermeld worden, welke door J. Herschel het eerst is aangegeven, en bestaat (fig. 69) uit eene biconvexe lens van den besten vorm verbonden men eenen convergerenden meniscus. De betrekkelijke krommingen der beide lenzen zijn zoodanig, dat de aberratiën tot een minimum gebragt zijn. Voor sterke vergrootingen schijnt deze combinatie minder geschiktheid te bezitten, daar de krommingen der lenzen zeer naauwkeurig aan de door de berekening gestelde voorwaarden moeten beantwoorden, en zulks bij kleine lenzen uiterst moeilijk uitvoerbaar is, doch voor loupes en tot verscheidene andere doeleinden, die later ter sprake zullen komen, is zulk eene doublet zeer nuttig, daar zij eene zeer wijde opening ver-

oorlooft, en dien ten gevolge een ruim gezigtsveld bezit.

Eindelijk merk ik nog aan, dat niet alleen doubletten en tripletten uit glaslenzen, maar ook uit lenzen van diamant en andere edelgesteenten kunnen zamengesteld worden, en het is duidelijk, dat indien aan de vervaardiging van zulke lenzen niet zulke groote bezwaren verbonden waren, men aan de uit dezelve bestaande stelsels nog verre de voorkeur zoude moeten geven boven die van glas. Doch, bij den tegenwoordigen stand van zaken, moet men erkennen, dat zulke kostbare lenzenstelsels eene geheel overtollige weelde zijn, en veilig gemist kunnen worden door elk, die in het bezit is van een goed aplanatisch mikroskoop.

129. Over de *werktuiglijke inrigting van loupes en enkelvoudige mikroskopen* kan ik hier kort zijn. Tusschen deze beiden bestaat geen waar onderscheid. Alleenlijk noemt men gewoonlijk loupes zulke werktuigen, waarbij de vergrooting van de lens of van het lenzenstelsel geringer, en wier geheele inrigting eenvoudiger is.

Wat de wijze aanbelangt, waarop de lenzen moeten gevat zijn, zoo is reeds uit het vroeger gezegde gebleken, dat deze zoodanig behoort te zijn, dat zij veroorlooft het oog zoo nabij mogelijk aan de lens te brengen. Weinig vergrootende lenzen kunnen of in de hand gehouden, of, indien men beide handen tot het arbeiden wenscht te gebruiken, aan een bijzonder gestel of statief bevestigd worden, hetwelk veroorlooft de lens op den vereischten afstand van het voorwerp te brengen. Deze laatste inrigting is bij sterkere lenzen, zooals die, welke in het enkelvoudig mikroskoop worden aangewend, een volstrekt vereischte, en bovendien moet hier een gepaste verlichtingstoestel aanwezig

zijn, tot het opvangen van licht, ten einde de voorwerpen op eenen verlichten achtergrond te zien, zonder genoodzaakt te zijn dezelve naar den helderen hemel of naar eenig ander licht te keeren, waarbij de vertikale stand in menigerlei opzigt, vooral bij het praepareren zeer hinderlijk zoude zijn. Eindelijk moet tusschen den spiegel en de lens eene doorboorde plaat zijn aangebragt, welke dient om er de voorwerpen op te plaatsen.

De meer bijzondere inrigting van elk dezer gedeelten van den toestel zal later uitvoerig beschouwd worden. Dezelve moet geheel afhangen van den dienst, dien men, hetzij van eene loupe, hetzij van een enkelvoudig mikroskoop, verlangt. Hierbij moet ik echter reeds dadelijk doen opmerken, dat, sedert de aanzienlijke verbeteringen, welke het zamengesteld mikroskoop ondergaan heeft, dit laatste werktuig voor alle onderzoekingen, waarbij sterke vergrootingen vereischt worden, verreweg de voorkeur verdient, daar hetzelfde, bij schier alle de voordeelen van het enkelvoudig mikroskoop nog een grooter gezigtveld, eenen verderen afstand der voorwerpen, grootere lichtsterkte en voor het minst eene even groote scherpte bezit, terwijl bovendien deszelfs gebruik voor het oog veel minder vermoeijend is, dan dat der zeer kleine lenzen, die voor sterke vergrootingen met het enkelvoudig mikroskoop gevorderd worden.

Alleen in één opzigt kan men ook nu nog tot onderzoek aan het enkelvoudig mikroskoop de voorkeur geven, namelijk wegens den kleineren vorm, die veroorlooft het werktuig op reis gemakkelijk met zich te voeren, en voor zulk een geval kunnen bij hetzelfde sterk vergrootende lenzen of lenzenstelsels van wezenlijk nut zijn. In verreweg de meeste andere gevallen kunnen deze echter gemist worden, omdat het eigenlijke nut van het enkelvoudig mikroskoop thans nog

hoofdzakelijk bestaat in het geven van een hulpmiddel, om bij vergrooting de voorwerpen voor nader onderzoek te praepareren, iets dat onder het zamengesteld mikroskoop, uit hoofde van het omgekeerde beeld, steeds hoogst moeilijk, en niet dan na zeer langdurige oefening kan gedaan worden, en hoezeer men ook reeds middel gevonden heeft, om in dit gebrek van het zamengesteld mikroskoop te voorzien, zoo zullen echter nog lang vele de voorkeur blijven geven aan het gebruik van het enkelvoudig mikroskoop.

Indien wij aldus aan het enkelvoudig mikroskoop deszelfs meer beperkten werkring aanwijzen, dan blijkt dadelijk, dat hetzelfde van geene sterkere vergrootingen, dan van hoogstens 50 of 60 maal behoeft voorzien te zijn. Bij deze vergrooting is de afstand tot aan het voorwerp nog even groot genoeg, om onder de lens te kunnen arbeiden, hetgeen bij sterker vergrooting weldra ondoenlijk wordt; niet alleen om de nabijheid der lens aan het voorwerp, maar ook omdat de bewegingen der hand niet naauwkeurig, en onze werktuigen niet fijn genoeg zijn, om met vrucht sterkere vergrootingen bij het praepareren aan te wenden.

Verders blijkt, indien wij dit doel in het oog houden, dat de geheele inrigting van een enkelvoudig mikroskoop zoo eenvoudig mogelijk moet wezen. Alle zamengestelde en zeer fijne bewegingen, die bij het zamengesteld mikroskoop van eenig nut kunnen zijn, zijn zulks niet meer bij een alleen tot praepareren bestemd enkelvoudig mikroskoop. De voorwerpplaat behoort tot dit doel groot, stevig, geheel vrij en onbewegelijk te zijn, indiervoege dat niet het voorwerp tot de lens, maar deze tot het voorwerp genaderd wordt. Voor deze toenadering verdient eene rondselbeweging de voorkeur boven die door middel eener schroef, omdat

de eerste bewegingswijze sneller is, en, bij de geringe hier aan te wenden vergrootingen, eene voldoende naauwkeurigheid bezit. Wenscht men ook sterke vergrootingen te bezigen, dan kan nog eene tweede fijnere beweging, door middel eener mikrometerschroef, worden aangebragt. Als verlichtingstoestel is een vlakke spiegel in alle gevallen toereikend, waar de vergrooting 50 of 60 maal niet te boven gaat. In bijzondere omstandigheden en bij het aanwenden van sterkere lenzen kunnen echter ook andere verlichtingstoestellen te pas komen, waarvoor ik naar een volgend hoofdstuk verwijs. Eindelijk moet de geheele hoogte van het werktuig, en bepaaldelijk van de voorwerptafel, zoodanig zijn, dat men gemakkelijk in eene zittende houding kan arbeiden.



150. **O**nder dezen algemeenen naam willen wij verschillende werktuigen zamenvatten, die allen daarin overeenkomen: dat het, door eene lens of door eene vereeniging van lenzen, gevormde beeld van een sterk verlicht voorwerp, in eene donkere ruimte op een scherm wordt opgevangen.

Hiertoe behooren het *zonmikroskoop*, het *lampmikroskoop*, het *gasmikroskoop* en het *photo-elektrisch mikroskoop*.

Het schijnt mij gepast toe de algemeene beschouwing van den aard en de bestemming dezer werktuigen hier ter plaatse te doen volgen, omdat zij door hunne optische inrigting eenen overgang daarstellen tusschen het enkelvoudig en het zamengesteld mikroskoop.

151. De theorie der beeldmikroskopen is zeer eenvoudig, en reeds geheel bevat in het vroeger (§ 42 en 45) gezegde, opgehelderd door fig. 50, en 50', betreffende het vormen van beelden door lenzen in het algemeen. Toen is gebleken:

1° Dat zich achter eene lens altijd een beeld vormt van eenig voorwerp vóór dezelve, mits zich dit voorwerp op eenigen afstand buiten het hoofdbrandpunt bevindt. Datgene wat van eene enkele lens geldt, is ook geheel toepasselijk op

zulk eene vereeniging van lenzen, welke in hare uitwerking gelijk staat met eene enkele lens.

2°. Dat het beeld, ten opzichte van het voorwerp, zich omgekeerd vertoont.

3°. Dat het beeld van een plat voorwerp, in een volgens eene kegelsnede gebogen vlak, is gelegen.

4°. Dat hetzelfde grooter is dan het voorwerp, zoodra de afstand, waarop het zich vormt, den dubbelen brandpuntsafstand der lens overtreft. Daar nu in alle beeldmikroskopen de afstand, waarop het beeld wordt opgevangen, zeer groot is, in verhouding tot den brandpuntsafstand der lens, zoo volgt eensdeels, dat het beeld zich sterk vergroot moet vertoonen, anderendeels, dat het voorwerp zeer nabij het brandpunt der lens moet geplaatst worden. De berekening leert b. v., dat, bij de aanwending eener lens van 5 millim. brandpuntsafstand, het voorwerp moet worden geplaatst op 5,05 millim. afstand van de lens, indien het beeld zich op eenen afstand van 0,5 meter zal vormen. Bedraagt deze laatste afstand 2 meters, dan moet het voorwerp tot op 5,012 millim. afstand van de lens gebragt worden, d. is. tot op $\frac{1}{83}$ millim. van het brandpunt. Daar nu het scherm gewoonlijk, op eenen nog verderen afstand dan die van 2 meters, verwijderd is, zoo kan men met genoegzame naauwkeurigheid voor de meeste gevallen aannemen, dat zich het voorwerp werkelijk in het brandpunt der lens bevindt, en dan zoude de vergrooting van het beeld gelijk zijn aan den afstand van het scherm gedeeld door den brandpuntsafstand der lens. (1) Hieruit

(1) Naauwkeurig uitgedrukt is de afstand van het voorwerp tot aan het optische middelpunt der lens $= \frac{pb}{b-p}$, en het cijfer der vergrooting $= \frac{b-p}{p}$, indien b de afstand is, waarop zich het beeld vormt, en p de brandpuntsafstand der lens.

volgt tevens, dat de vergrooting in gelijke verhouding met den afstand toe- en afneemt.

152. Elk beeldmikroskoop bestaat uit drie hoofdbestanddeelen:

1°. Een toestel om de voorwerpen op den behoorlijken afstand van de lens of van het lenzenstelsel te brengen.

2°. Een toestel ter verlichting van het voorwerp.

3°. Een scherm, dat zich in eene donkere ruimte bevindt, ten einde het beeld voor het oog zichtbaar te maken.

Beschouwen wij achtereenvolgens elk dezer bestanddeelen in het bijzonder.

153. Het eerste gedeelte dezer inrigting is het belangrijkste en wezenlijkste. Wat de hoofdzaak betreft, zoo beantwoordt hetzelfde geheel aan het enkelvoudig mikroskoop, mits met weglating van den hierbij gebruikelijken verlichtingstoestel. Daar de bestemming van het beeldmikroskoop echter niet volkomen dezelfde is, als die van het enkelvoudig mikroskoop, zoo moeten in de verschillende onderdeelen van den toestel eenige wijzigingen worden aangebragt.

Dezelfde lenzen en lenzenstelsels, welke bij het enkelvoudig mikroskoop gebruikt worden, zijn ook hier bruikbaar. Alleenlijk is de invloed der chromatische aberratie op de zuiverheid van de omtrekken der beelden merkbaarder, zoodat het raadzaam is zich hier, niet alleen van doubletten en tripletten te bedienen, welker lenzen uit eene enkele glassoort bestaan, maar stelsels van achromatische dubbellenzen aan te wenden, welke op dezelfde wijze zijn ingerigt als die, waarvan bij het zamengesteld mikroskoop gebruik wordt gemaakt, doch met dit verschil, dat de crown- en flintglas-

lenzen niet door middel van canadabalsem vereenigd moeten zijn, omdat deze door de warmte, waaraan de lenzen zijn blootgesteld, zoude smelten en troebel worden. Bovendien moeten zulke stelsels niet oververbeterd zijn, gelijk bij het zamengesteld mikroskoop, uithoofde der aberratie van het oculair, noodig is, maar zooveel mogelijk volkomen aplana-tisch. De wijze, waarop de lenzen gevat zijn, behoort verders zoodanig te wezen, dat de uiterste randstralen in hunnen weg niet belemmerd worden, ten einde het veld, waarop zich het beeld vormt, zoo groot mogelijk te maken.

Ook bij de beeldmikroskopen is het gepast, dat de lens naar het voorwerp, en niet omgekeerd dit naar de lens toe bewo-gen wordt, omdat in het laatste geval de graad van verlich-ting, waarop hier vooral veel aankomt, telkens eene verande-ring zoude ondergaan. Voor de beweging is wederom die door middel van een rondselwerk de meest verkieslijke. Daar verders de voorwerptafel hier nimmer dient tot het praepa-reren der voorwerpen, maar alleenlijk om dezelve te bevesti-gen, zoo behoeft deze niet vrij te zijn, en slechts zoo groot als volstrekt noodig is, om voorzien te worden van de ver-eischte hulpmiddelen tot het vastklemmen der schuifjes, glasplaatjes, enzv., waarop zich de voorwerpen bevinden.

154. De lichtsterkte van de beelden der voorwerpen neemt af, in de dubbele verhouding van de vierkanten der doormeters van de gebruikte lenzen en van het vierkant des afstands, waarop zich het beeld vormt. Hieruit blijkt de noodzakelijkheid, om in een beeldmikroskoop de voorwerpen, of, indien deze ondoorschijnend zijn, het gezigtsveld sterk te verlichten. De verlichtingstoestel maakt dan ook een zeer

belangrijk en steeds het omvangrijkste gedeelte van elk beeldmikroskoop uit.

Alle licht, op welke wijze ook voortgebragt, kan tot verlichting der voorwerpen dienen, mits het slechts den noodigen graad van intensiteit bezit. Het spreekt dus van zelf, dat bij de verschillende middelen, die men tegenwoordig bezit, om een sterk licht voort te brengen, ook de verlichtingstoestellen zeer verschillend kunnen zijn.

Voor zeer geringe vergrootingen kan het licht eener Argandsche lamp, op het voorwerp geconcentreerd door eene lens van vrij grooten omvang dienstig zijn, en werkelijk heeft men in vroegeren tijd zulke *lampmikroskopen* vervaardigd. Thans echter zijn deze geheel in onbruik, sedert men andere kunstmiddelen heeft leeren kennen, om een veel sterker licht voort te brengen.

155. Hiertoe behoort in de eerste plaats het licht, dat ontstaat, wanneer kalk gehouden wordt in de vlam van water- en zuurstofgas, naar welke verlichtingswijze het *gas hydro-oxygeen-mikroskoop* deszelfs naam voert. Er zijn velerlei toestellen uitgedacht, welke hiertoe aanwendbaar zijn, en later zullen beschreven worden. Derzelver hoofdvereischen, waardoor hunne betrekkelijke waarde bepaald wordt, zijn gemakkelijke en veiligheid in het gebruik. De beide gazen moeten daartoe elk in eenen afzonderlijken gashouder besloten zijn, en zich eerst vermengen digt bij de plaats waar zij vereenigd uitstroomen. Verders is het een vereischte, dat de toestrooming der gazen en de grootte der vlam behoorlijk kunnen geregeld worden, en dat de kalkcylinder om hare as beweeglijk zij, hetgeen het best door een uurwerk geschiedt. Het licht wordt vervolgens op het nagenoeg in het vereenigingspunt der

stralen geplaatst voorwerp geconcentreerd, door middel van eenen hollen spiegel of van eene lens van grooten omvang, welke om de nabijheid der lichtbron eenen korten brandpuntsafstand moeten hebben. Is een enkele holle spiegel of ééne groote sterk bolle lens daartoe niet voldoende, dan kan hunne werking nog door eene tweede lens ondersteund worden.

156. Bij het *photo-elektrisch* mikroskoop wordt de verlichting te weeg gebracht door het licht, hetwelk ontstaat tusschen twee koolspitsen als polen eener galvanische batterij. De daartoe noodige inrigting bestaat uit eenen der verschillende onder den naam van constante batterijën bekende toestellen, waardoor twee kegelvormig toeloopende stukken kool, die aan de pooleinden bevestigd, en in elkanders nabijheid gesteld zijn, tot gloeiing worden gebracht. Hun licht wordt dan even als bij het gasmikroskoop door eenen hollen spiegel of eene glazen lens op het voorwerp geconcentreerd. Ter behoorlijke regeling der verlichting zijn verders eene reeks van voorzorgen noodig, die later uitvoerig zullen vermeld worden.

157. Het *zonmikroskoop* is van de verschillende beeldmikroskopen het oudste, en overtreft de beide vorigen nog altijd verre in lichtsterkte. Volgens de proeven van Fizeau (1), welke zich gronden op den korteren of langeren tijd, die vereischt wordt, om photographische afbeeldingen van gelijke sterkte te verkrijgen, is de intensiteit van het zonlicht = 4 zijnde,

(1) *Bull. de la Soc. d'encouragement*, Sept. 1845 p. 393, en *Dingler's Polyt. Journ.* 1846 Bd. C. p. 115.

die van kalk in de hydro-oxygeenvlam, $= \frac{1}{146}$,

van de koolspitsen eener Bunsensche bat-

terij van 80 elementen, $= \frac{1}{4,2}$,

» » 138 » $= \frac{1}{2,5}$.

Hoewel de beide laatsten dezer uitkomsten een sterk sprekend bewijs opleveren, voor de meerdere lichtsterkte van de in het photo-elektrisch mikroskoop gebezigde lichtbron, boven die van het gasmikroskoop, zoo blijkt echter tevens, dat, in weerwil van den hoogst omslagtigen toestel, het elektrisch licht tusschen de koolspitsen nog geen zins het zonlicht evenaart. Bovendien moet men niet vergeten, dat voor het zonnemikroskoop de lichtbron op eenen oneindigen afstand staat, zoodat het mogelijk is, door middel eener concentrerende lens, in het brandpunt alle stralen in een zeer kort bestek te vereenigen, en het zonnebeeld weinig meer dan een stip inneemt, terwijl daarentegen bij elke kunstmatige lichtbron, zulk eene vereeniging niet dan in veel geringere mate kan verkregen worden, omdat haar afstand in verhouding tot dien, waarop zich de stralen, na door de concentrerende lens gegaan te zijn, snijden, altijd hoogst gering is in vergelijking met dezelfde verhouding tusschen den zonneafstand en de plaats, waar de zonnestralen achter eene lens te zamen komen. Het beeld van het kunstlicht is derhalven slechts weinig verkleind, en de concentratietoestand van het licht daar ter plaatse om die reden altijd veel geringer dan van zonlicht. Hieruit volgt, dat, zelfs indien het mogelijk ware door kunst eene lichtbron daar te stellen, welker intensiteit die van het zonlicht evenaart of zelfs overtreft, het in weer-

wil hiervan niet mogelijk zoude zijn het licht zoo sterk te concentreren, dat het met het door eene lens geconcentreerde zonlicht gelijk staat.

Werkelijk is het zonmikroskoop van alle beeldmikroskopen nog steeds het beste, en het zoude alle andere toestellen van dien aard geheel overbodig maken, indien daaraan niet het bezwaar verbonden ware, dat men bij deszelfs gebruik van den toestand des hemels afhankelijk is.

158. De verlichtingstoestel van een zonmikroskoop bestaat uit eenen beweegbaren spiegel om het zonlicht op te vangen, en eene lens tot concentrering van hetzelfde. Het is voordelig, indien deze lens eenen grooten doormeter heeft, b. v. van 12—15 centim.; niet zoo zeer tot vermeerdering der verlichting, want met zulk eene lens is het licht zoo sterk, dat voor geringere vergrotingen de voorwerpen niet in het vereenigingspunt der stralen behoeven geplaatst te worden, waar bovendien de warmte voor vele organische voorwerpen te groot zoude zijn; maar omdat men bij eene kleinere lens, om gelijke lichtsterkte te erlangen, de voorwerpen digter bij het vereenigingspunt der stralen moet plaatsen, waar de doorsnede des lichtkegels geringer is, en men gevolglijk meer moeite heeft, om de gelijkmatigheid der verlichting te bewaren.

Bij ieder zonmikroskoop behoort verders eene inrigting gevoegd te worden, om de verlichting te matigen en te versterken, naar gelang de vergrooting en de aard der voorwerpen het vorderen. Dit doel kan op drieërlei wijzen bereikt worden:

1° door verandering van den afstand tusschen het voorwerp en de verlichtingslens;

2° door op den weg der stralen lenzen te plaatsen van korteren en verderen brandpuntsafstand, en

3° door den doormeter van den stralenkegel te vermindern, door middel van een op deszelfs weg geplaatst diaphragma, welks opening verwijd en vernaauwd kan worden.

Deze laatste handelwijze, welke voor zoo ver mij bekend is, nog niet praktisch is toegepast, schijnt de voorkeur te verdienen boven de tweede, welke geene trapsgewijze verandering in de lichtsterkte veroorlooft, en boven de eerste om de meerdere juistheid en gemakkelijheid der beweging. Zulk een diaphragma kan bestaan uit twee regthoekig uitgesneden koperen platen, die te zamen eene vierkante opening vormen, en door eene rondselbeweging over elkander glijden.

Het eenige doel van den spiegel is het bezwaar weg te nemen, dat er in gelegen zoude zijn, van steeds de verlichtingslens naar de zon toegekeerd te moeten houden. Om de stralen behoorlijk in alle stellingen van de zon te kunnen opvangen, is het daarom noodig den spiegel in twee-derlei rigtingen te kunnen bewegen. Daar vooreerst namelijk de zon schijnbaar rijst en daalt, zoo moet de hoek, dien de spiegel met de verlichtingslens vormt, vergroot en verkleind kunnen worden. Om ten tweede de schijnbare beweging der zon van Oost naar West te kunnen volgen, moet de spiegel eene draaijende beweging bezitten om de as van den verlichtingstoestel, welke tevens die van het geheele mikroskoop is. Aan deze beide voorwaarden der beweging beantwoorden verschillende werktuiglijke inrigtingen. De meest verkieslijke, schoon de kostbaarste, is de beweging des spiegels door middel van eenen heliostaat.

Verders behoort de grootte van den spiegel zoodanig te

wezen, dat de breedte voor het minst gelijk is aan de middellijn der verlichtingslens, terwijl hij eene voldoende lengte moet bezitten, om, ook bij eenen lagen stand der zon, nog eenen stralenbundel op te vangen, welks doorsnede aan diezelfde middellijn gelijk is.

139. Bij de tot nog toe beschreven verlichtingstoestellen moet nog eene tweede inrigting gevoegd worden, ter verlichting van ondoorschijnende voorwerpen. Dit kan wederom op onderscheiden wijzen geschieden, die echter allen ten doel hebben, om door middel van vlakke of van holle spiegels, welke vóór het voorwerp geplaatst zijn, het licht van den verlichtingstoestel op te vangen, en op de voorvlakte van het voorwerp terug te kaatsen. Natuurlijk moeten deze spiegels in dier voege worden aangebragt, dat zij den doortogt der lichtstralen door de vergrootende lens niet belemmeren.

140. Ter vermindering van den invloed der warmte, welke, tevens met het licht op het voorwerp geconcentreerd wordende, niet zelden zeer nadeelig hierop werkt, kunnen verschillende zelfstandigheden op den weg der stralen worden geplaatst, van welke het bekend is, dat zij een gedeelte der warmtestralen opslorpen, schoon zij het licht doorlaten. Nadere proefnemingen zullen echter moeten beslissen, welke zelfstandigheden voor de licht- en warmtebronnen, welke bij de beeldmikroskopen in aanmerking komen, als de beste te beschouwen zijn (1).

(1) De bekende uitkomsten der onderzoekingen van Melloni, over de doordringbaarheid der lichamen door de warmtestralen, kunnen hier wel eenige wenken geven, doch geenzins geheel tot rigtsnoer strekken, omdat de doordringbaarheid verandert met den warmtegraad van de warmte-

141. Elk beeldmikroskoop vordert eindelijk eene *donkere ruimte* en een *scherm*, om het beeld zichtbaar te maken. Voor de eerste bezigt men doorgaans een duister gemaakt vertrek, doch men kan ook voor bepaalde oogmerken zich van elke andere duister gehouden ruimte bedienen, waarin men het beeld opvangt, op de wijze zooals zulks in eene camera obscura geschiedt. Verschillende draagbare toestellen van dien aard zullen later vermeld worden. Indien de donkere ruimte een geheel vertrek is, dan is het van belang alle licht, ook dat van den verlichtingstoestel, geheel buiten te sluiten. Bij het gas- en het photoëlektrisch mikroskoop wordt daarom de lichtbron omgeven door een daarvoor bestemd kastje, hetwelk voorzien is van eenen schoorsteen, om doortogt te verleenen aan de door de verbranding voortgebragte gazen. Bovendien is het doelmatig, dat er zich aan het kastje eene opening bevindt, die gesloten is door een zeer donker gekleurd glas, doch hetwelk nog veroorlooft het licht te zien, ten einde hetzelfde behoorlijk te kunnen regelen.

Bij het zonmikroskoop bevindt zich de spiegel buiten het

bron, gelijk uit de proeven van Melloni zelven voortvloeit. Tot nog toe is het doordringend vermogen noch van de warmtestralen der zon, noch van het elektrisch licht, noch van de hydro-oxygeen-gasvlam op kalk, voor zoo ver mij bekend is, opzettelijk met een genoegzaam aantal stoffen onderzocht geworden. Waarschijnlijk moet zulks daaraan worden toegeschreven, dat al deze warmtebronnen te weinig standvastigheid bezitten, om zeer zuivere uitkomsten te kunnen leveren. Door vermenigvuldiging echter van het aantal proefnemingen mag men zich vleijen tot eenige uitkomsten te geraken, welke althans voor het praktische hier beoogde doel eene vereischte naauwkeurigheid bezitten. Ik had gewenscht hier ter plaatse eenige zulke uitkomsten te kunnen mededeelen van daartoe in het werk gestelde proeven met mijnen amptgenoot van Rees. De ongunstige weersgesteldheid heeft ons echter tot nu toe (4 Mei) verhinderd ons voornemen te volvoeren. Ik hoop echter, bij eene latere gelegenheid, op dit onderwerp terug te komen.

vertrek, terwijl een koker, welke de verlichtingslens met de voorwerptafel in verband brengt, verhindert, dat het licht, hetwelk door de eerste stroomt, zich in het vertrek verspreidt. Om dezelfde reden behoort ook de ruimte tusschen het voorwerp en de vergrootende lens zooveel mogelijk afgesloten te zijn, zoodat slechts zoo veel plaats is open gelaten, als vereischt wordt, om de voorwerpen op de voorwerpplaat te bevestigen.

142. Als scherm om het beeld op te vangen kan men bij alle beeldmikroskopen dezelfde stoffen gebruiken. Voor verdere afstanden dient een wit linnen of katoenen laken, dat niet te grof, en groot genoeg behoort te zijn om het geheele verlichte veld op te nemen. Een wit gepleisterde muur is minder verkieslijk, omdat in deszelfs afstand geene verandering kan gemaakt worden. Voor kleinere schermen, die op korteren afstand kunnen gebruikt worden, is glad wit papier dienstig, hetwelk ook met lijnolie of vernis kan doortrokken worden, om het beeld aan de tegenovergestelde oppervlakte zichtbaar te maken. Tot hetzelfde oogmerk kan men ook met vrucht eene mat geslepen glasplaat aanwenden, welke in al die gevallen de voorkeur verdient, waar men het beeld niet alleen zien, maar ook meten of afteekenen wil. Aan dit laatste doel wordt nog beter beantwoord door eene doorschijnende plaat van gewoon spiegelglas, waarop dan met terpenhijnolie doortrokken papier wordt geplaatst.

Een scherm te bezigen, hetwelk niet plat maar gebogen is, zoodat deszelfs kromming beantwoordt aan de kromming van het vlak, waarin zich het beeld vormt (z. § 43), schijnt oppervlakkig beschouwd voordeelig te zijn, doch zelfs al ware

het daarstellen van zulk een scherm niet zeer moeilijk, dan zoude het nog weinig bruikbaar wezen, eensdeels omdat, gelijk vroeger is aangetoond, de vergrooting van het beeld van uit het midden van het veld naar den omtrek toe afneemt, anderendeels omdat de kromming van het vlak voor elken afstand en voor elke gebezigde lens eene verschillende zoude behooren te zijn.

143. Het tot hiertoe gezegde over de beeldmikroskopen wordt opgehelderd door fig. 70. Indien het voorwerp ab zich iets buiten het brandpunt o van het achromatische lenzenstelsel cde bevindt, dan zal zich een vergroot omgekeerd beeld van hetzelfde vormen in $b'a'$. Hiertoe is het echter noodig, dat, hetzij de naar het lenzenstelsel toe gekeerde oppervlakte van ab verlicht worde, in welk geval het beeld zich met al de kleuren zal vertoonen, die het voorwerp bezit, of dat hetzelfde van achteren worde verlicht, zoodat zich een schaduwbeeld in $b'a'$ afteekent. Als zoodanig is het in de figuur voorgesteld, waarin AB eene lens is, welke dient, hetzij om de zonnestralen tz en um , teruggekaatst door den spiegel CD , hetzij de stralen pA , pB , uitgaande van eenig kunstlicht, dat in p geplaatst is, op de achtervlakte van het voorwerp ab te concentreren, in dier voege echter, dat slechts een gedeelte ir van den stralenkegel daardoor onderschept wordt, zoodat het overige, na door het lenzenstelsel gegaan te zijn, dient tot verlichting van het veld, waarvan hier fg de doorsnede voorstelt. Het is duidelijk dat, indien dit veld een plat vlak is, het beeld alleen in n volkomen scherp kan wezen.

144. Uit het boven (§ 154) ontwikkelde vloeit voort, dat

men bij het beeldmikroskoop tweederlei hoofdmiddelen heeft, om de vergrooting te vermeerderen: namelijk vooreerst de verwijdering van het scherm, en ten tweede de aanwending van lenzen of lenzenstelsels van eenen korteren brandpuntsafstand. Het laatste middel verdient in elk geval, waar het kan aangewend worden, de voorkeur, daar door de verwijdering van het scherm het beeld spoedig veel aan duidelijkheid verliest. Bovendien vermeerdert hierdoor de kromming van het vlak, waarin zich het beeld vormt, omdat met de verwijdering van het scherm eene toenadering van het voorwerp tot de lens gepaard moet gaan (z. § 45).

Er zijn echter nog twee andere middelen, welke in sommige gevallen kunnen te pas komen. Het eerste derzelve bestaat in de stralen, alvorens zij het scherm bereiken, te laten gaan door eene biconcave of plano-concave lens. Zulk eene lens heeft, gelijk in § 45 is aangetoond, het vermogen, om divergerende stralen nog sterker divergerend te maken, en daar de mate der vergrooting van het beeld op eenen bepaalden afstand geheel afhangt van den graad van uiteenwijking der verschillende stralenkegels, die samenwerken tot vorming van hetzelfde, zoo is het duidelijk, dat door zulk eene verstrooijingslens de vergrooting versterkt moet worden. Overigens is het wenschelijk dat deze lens, even als diegene, welke het lenzenstelsel uitmaken, achromatisch zij, en dus uit flint- en crownglas zamengesteld.

Eindelijk kan men op eenigen afstand vóór het lenzenstelsel een gewoon oculair van een zamengesteld mikroskoop plaatsen. Hierdoor wordt echter het beeld niet alleen meer vergroot, maar ook weder in de oorsponkelijke rigting van het voorwerp gebragt, iets dat in sommige gevallen nuttig kan zijn. Bovendien levert deze handelwijze het voordeel op, dat men door eene

gepaste keuze der beide lenzen, die het oculair zamenstellen, de kromming van het beeld geheel kan wegnemen, gelijk later blijken zal bij de beschouwing van het zamengesteld mikroskoop. Daarentegen is met dezelve het nadeel gepaard van eene verkleining van het veld en van een aanzienlijk verlies aan licht, ten gevolge der herhaalde terugkaatsingen bij den doortogt der stralen door het oculair. In de gas- en photoëlektrische mikroskopen is derhalven van dit middel weinig vrucht te hopen, en ook bij het gewone zonmikroskoop kan men deszelfs aanwending gevoeglijk ontberen. Doch voor het draagbare zonmikroskoop is zulk eene inrigting de verkieslijkste van allen, gelijk mij gebleken is door het veelvuldig gebruik van eenen dergelijken toestel, waarvan ik later de uitvoerige beschrijving zal geven. Alleen merk ik hier nog aan, dat wanneer gewone niet aplanatische oculairen worden gebezigd, de lenzenstelsels, even als die in het zamengesteld mikroskoop, oververbeterd behooren te zijn, ten einde de aldus tegengestelde aberratiën elkander wederkeerig opheffen. Indien men lenzenstelsels bezigde, welke, op zich zelve gebruikt, een zeer scherp beeld geven, gelijk die van een gewoon zonmikroskoop behooren te zijn, dan zoude een niet aplanatisch oculair aan het beeld veel van deszelfs scherpte benemen.

143. Onder alle soorten van mikroskopen geven de beeldmikroskopen de sterkste vergrootingen. Het is niet moeilijk met het zonmikroskoop, door de aanwending van lenzen met eenen korten brandpuntsafstand, beelden te vormen, die den 7—8000 voudigen doormeter der voorwerpen hebben. Eene lens b. v., welke in een enkelvoudig mikroskoop gebruikt, voor eenen duidelijkheidsafstand van 25 centim., 400 maal ver-

groot, zal op een scherm, hetwelk op dien zelfden afstand geplaatst is, een beeld geven, hetwelk mede nagenoeg (z. § 117) eenen 400 maal grooteren doormeter dan het voorwerp heeft. Wordt het scherm tot op den afstand van 1 meter verwijderd, dan bedraagt de vergrooting reeds 1600 maal, op drie meters 4800, en op 5 meters 8000 maal. Werkelijk behoudt men in een goed ingerigt en bestuurd zonnemikroskoop nog lichtsterkte genoeg, om bij deze verbaazende vergrootingen, en zelfs bij nog sterkere (1), de beelden der voorwerpen te kunnen onderscheiden. Bij een gasmikroskoop, welks lichtsterkte veel geringer is, kan men echter reeds bij eene 1500 malige vergrooting weinig meer van het beeld herkennen. De grenzen voor het photoëlektrisch mikroskoop kan ik niet uit eigen ondervinding aangeven, maar uit het voorgaande blijkt, dat zij tusschen die van het zonnen die van gasmikroskoop in moeten gelegen zijn.

Het zijn deze sterke vergrootingen, welke den onkundigen toeschouwer in deze soort van werktuigen de meest vermogende hulpmiddelen tot onderzoek doen zien, en hem in den waan brengen, dat zij alle andere soorten van mikroskopen verre overtreffen. Tot dien waan werkt mede de grootte van het gezichtsveld. Een klein insekt, van b. v. een millim. lengte, zal zich bij eene 1000 malige vergrooting nog in deszelfs geheel op het scherm vertoonen, als een monster van een meter lengte. Dit zelfde insekt kan door een zamengesteld mikroskoop, en zelfs door eene enkele lens even sterk vergroot worden, doch men ziet dan slechts een zeer klein gedeelte van hetzelfde op eens, en de vergrooting,

(1) Ik heb, door de aanwending van sterk vergrootende glasbolletjes, vergrootingen van 16000 maal in doormeter te weeg gebracht.

hoewel in werkelijkheid volkomen gelijk, schijnt den onge- oefenden geenzins zoo sterk toe, omdat hij de verschillende kleine gedeelten, die achterevolgens in het gezigtsveld gebragt worden, niet tot een geheel weet te vereenigen. De beeld- mikroskopen laten dan ook nimmer na op het publiek eenen veel grooteren indruk te maken, dan het zien door andere mikroskopen, schoon deze voor werkelijk onderzoek oneindig beter geschikt zijn. Men moet zelfs als regel vaststellen, dat voor wetenschappelijke nasporingen nimmer van een beeld- mikroskoop alleen gebruik mag gemaakt worden, want des- zelfs sterk vergrootend vermogen wordt slechts verkregen ten koste van de zuiverheid der omtrekken van het beeld. Bij de gewone gebreken der lenzen, de sphaerische en chroma- tische aberratie, welke hoe ook verbeterd, nimmer geheel kunnen worden opgeheven, en welker invloed aangroeit in sterk toenemende verhouding, naar mate het scherm verder verwijderd wordt, voegen zich nog de menigvuldige interfe- rentiën der lichtstralen, die noodzakelijk gepaard gaan met de hier aangewende verlichtingswijzen. Het gevolg hiervan is, dat men reeds zeer spoedig voor den afstand van het scherm eene grens vindt, welke niet overschreden kan wor- den, zonder dat het beeld, alhoewel het in grootte wint, in duidelijkheid verliest, zoodat men bij sterkere vergrooting daarin werkelijk minder ziet, dan wanneer deze geringer is. Naar gelang men meer vergrootende lenzen of lenzenstelsels aan- wendt, valt deze grens digter bij het voorwerp, doch in het algemeen kan men stellen, dat men in het door eene lens of len- zenstelsel op een scherm gevormd beeld zelden ietst meer waarneemt, dan hetgeen men, door dezelfde lens of vereeni- ging van lenzen, reeds bij de noodige opmerkzaamheid zien kan, indien deze in het enkelvoudig mikroskoop gebruikt

worden, zoodat, hoewel men met eene lens, die b. v. 100 maal vergroot, gemakkelijk eene 1000 malige vergrooting kan verkrijgen, door het scherm op eenen afstand van 2,5 meter te plaatsen, dit beeld niets vooruit heeft boven het 10 maal kleinere, hetwelk op eenen afstand van 25 centim. ontstaat.

Doch ofschoon om deze redenen het sterk vergrootend vermogen der beeldmikroskopen slechtst geschikt is, om den onkundigen te misleiden, en zij, als werktuigen tot onderzoek bestemd, naauwlijks in eenige aanmerking kunnen komen, zoo heeft hunne aanwending daarentegen het niet onbelangrijke voordeel, dat zij veroorlooven het vergroote beeld aan vele toeschouwers te gelijker tijd te toonen. Voor lessen en publieke demonstratiën hebben de beeldmikroskopen derhalven hunne groote nuttigheid, vooral indien de toeschouwers vroeger of later in de gelegenheid gesteld worden, om de bijzonderheden van elk voorwerp naauwkeuriger door andere en betere mikroskopen waar te nemen.

HET ZAMENGESTELD DIOPTRISCH

MIKROSKOOP.



146. Door vereeniging der beide in de twee vorige hoofdstukken beschouwde mikroskopen tot een enkel werktuig, ontstaat het *zamengesteld dioptrisch mikroskoop*.

Beschouwen wij dit het eerst in deszelfs allereenvoudigsten vorm.

Als zoodanig is de optische samenstelling voorgesteld in fig. 71. Even buiten het brandpunt van de lens CD bevindt zich een voorwerp *ab*, waarvan lichtkegels uitgaan, die aan de tegenovergestelde zijde der lens een omgekeerd en vergroot beeld *b'a'* vormen. Het is een luchtbeeld, dat in een gebogen vlak ligt (§ 45), en even als in een beeldmikroskoop zichtbaar zoude worden, indien men het daar ter plaatse op een scherm opving. Om dit beeld nu nog sterker vergroot waar te nemen, beschouwt men hetzelfde door een enkelvoudig mikroskoop, hetwelk hier door de lens AB wordt voorgesteld, en waardoor de het oog binnentredende stralen dien graad van divergentie verkrijgen, welken zij zouden bezitten, wanneer het voorwerp op den juisten duidelijkheidsafstand *vz'* geplaatst was. De naar het voorwerp toe gekeerde lens draagt den naam van *voorwerpglas*, *objectieflens*, of eenvoudig van *objectief*, terwijl de lens, waarvoor het oog gehouden wordt, het *oogglas* of het *oculair* heet.

Uit de figuur blijkt verders, dat wanneer de doormeter van het voorwerp tamelijk groot is, deszelfs beeld alsdan niet meer door het oogglas kan overzien worden, gelijk volgt uit het in § 121 gezegde, betreffende het gezichtsveld van het enkelvoudig mikroskoop. Het zijn hier alleen de stralen van het tusschen c en d bevatte gedeelte van het beeld, beantwoordende aan het gedeelte $d'c'$ van het voorwerp, die de lens en het oog bereiken; terwijl diegene welke van uit de tusschen b' en c , alsmede tusschen d en a' gelegen punten voortkomen, de randen der lens links en regts voorbijgaan. Verlengt men nu de door het oogglas gebroken stralen, welke van de punten c , z en d van het beeld afkomstig zijn, tot zij zich weder aan de tegenovergestelde zijde der lens ontmoeten, dan zullen deze en alle de overige vereenigingspunten aldaar een vergroot schijnbeeld vormen tusschen c'' en d'' , hetwelk in een gebogen vlak is gelegen, waarvan de kromming die van het vlak overtreft, waarin het ware beeld $b'a'$ ligt. Dit vloeit daaruit voort, dat reeds een in een plat vlak gelegen voorwerp, gelijk vroeger (§ 109) is aangewezen, door eene enkele lens beschouwd, een schijnbeeld vertoont met eene bovenwaartsche kromming. Daar nu hier de randen c en d van het beeld nog verder van het optische middelpunt der lens AB verwijderd zijn, dan indien het beeld in een plat vlak lag, zoo volgt daaruit, dat de bovenwaartsche kromming in het hier gegeven geval nog aanzienlijker moet zijn. Een uit vierkante ruiten bestaand net zal zich dus vertoonen, als in fig. 66.

147. Het onderscheid tusschen eene doublet en een zamengesteld mikroskoop van de eenvoudigste inrichting bestaat derhalven daarin, dat de onderlinge afstand der beide lenzen

in de eerste korter is, dan de afstand van het vereenigingspunt der stralen achter de voorste lens, terwijl, zoodra zich tusschen twee lenzen een beeld vormt, hetwelk ver genoeg verwijderd is van de achterste of bovenste lens, om door deze vergroot gezien te kunnen worden, een zamengesteld mikroskoop ontstaat. Dit laatste vereischte is echter noodig, want indien het beeld zich te dicht bij de voorste lens vormt, dan komen de stralen van nabij zijnde voorwerpen te sterk divergerend in het oog, en er ontstaat geen beeld op het netvlies, dan alleen van zulke voorwerpen, die zich op eenen tamelijk grooten afstand van de voorste lens bevinden, d. i. men heeft, in plaats van een mikroskoop, eenen verrekijker. Werkelijk is de samenstelling van deze beide werktuigen, wat de hoofdzaak betreft, volkomen dezelfde, en kan men den verrekijker zeer gepast een mikroskoop voor verafzijnde voorwerpen noemen. Ook blijkt hieruit, hoe men werktuigen (*polydynamische* mikroskopen geheten) vervaardigen kan, die beurtelings den dienst van een mikroskoop of van eenen verrekijker verrigten, dewijl hiertoe niets anders noodig is, dan, terwijl de optische samenstelling volkomen dezelfde blijft, den onderlingen afstand tusschen het oogglas en het voorwerpglas te wijzigen naar den afstand, waarop zich het voorwerp bevindt.

Daar nu het beeld zich (z. § 42) steeds des te verder achter de lens vormt, hoe digter het voorwerp bij het hoofdbrandpunt is, zoo volgt, dat om het beeld op den juisten afstand van het oogglas te brengen, — zoodat de stralen daardoor dien graad van uiteenwijking verkrijgen, welke eigen is aan de stralen, die van voorwerpen uitgaan, welke op den gemiddelden duidelijkheidsafstand van het oog zijn geplaatst, — men den onderlingen afstand tusschen

oog- en voorwerpglas moet vermeerderen voor verafzijnde, en verkorten voor nabijzijnde voorwerpen.

Verders volgt hieruit, dat men het in zijne magt heeft, om het vergrootend vermogen van een zamengesteld mikroskoop naar willekeur te versterken, door het oogglas van het voorwerpglas te verwijderen, en tevens het voorwerp nader aan de lens te brengen, zoodanig dat het beeld steeds op denzelfden afstand van het oogglas blijft. Het beeld namelijk wordt hierbij al grooter en grooter, terwijl het vergrootend vermogen van het oogglas geene verandering ondergaat, en dus zal men, door den afstand van de plaats, waar zich het beeld vóór het oogglas vormt, tot aan het voorwerpglas, grooter te maken, ook het vergrootend vermogen van het mikroskoop in gelijke verhouding vermeerderen.

148. Voor de berekening van het vergrootend vermogen van een zamengesteld mikroskoop van de eenvoudigste inrichting komen derhalven in aanmerking:

1° de brandpuntsafstand van het voorwerpglas, daar hiervan de plaats en de grootte van het luchtbeeld afhangt. Dit beeld is in een waar mikroskoop (met uitsluiting van de zoo even met een woord vermelde polydynamische of verrekijker-mikroskopen) altijd grooter dan het voorwerp, en dit laatste bevindt zich dus (§ 42) altijd tusschen het hoofdbrandpunt en den dubbelen brandpuntsafstand der lens.

2° De brandpuntsafstand van het oogglas;

3° de gemiddelde duidelijkheidsafstand van het oog.

Uit deze beide laatste gegevens laat zich, op de in § 111 en 112 aangegeven wijze, vooraf de plaats berekenen, waar het luchtbeeld zich moet bevinden, om duidelijk door het

oogglas vergroot waargenomen te kunnen worden, en tevens de mate der vergrooting, welke hetzelfde daarbij ondergaat. Kent men dan:

4° den onderlingen afstand tusschen de beide lenzen, dan weet men ook hoe ver het beeld van de voorste lens verwijderd, en derhalven ook, hoe groot dit is. Die afstand namelijk is gelijk aan den onderlingen afstand der beide lenzen verminderd met den afstand van het beeld tot aan het oogglas, terwijl de grootte van het beeld gevonden wordt, door het verschil tusschen den afstand van het beeld en den brandpuntsafstand der lens te deelen door den brandpuntsafstand, en dit quotient te vermenigvuldigen met den doormeter van het voorwerp (z. de formule in de noot op bl. 163).

De geheele vergrooting is dan gelijk aan de vergrooting van het beeld vermenigvuldigd met die, welke door het oogglas wordt te weeg gebracht.

Helderen wij dit wederom door een voorbeeld op. Gesteld zijnde, dat men wenscht te berekenen, hoe groot zich een voorwerp zal vertoonen, indien deszelfs doormeter is

	= 0,5 millim.
de brandpuntsafstand der voorwerplens	» 6 »
de brandpuntsafstand van het oogglas	» 50 »
de onderlinge afstand der beide lenzen	» 200 »
de duidelijkheidsafstand van het oog van A	» 162 »

Volgens den in § 112 gegeven regel moet in dit geval de afstand van het beeld van het oogglas zijn =

$$50 - \frac{900}{162+50} = 25,5 \text{ millim.}, \text{ en dus is de afstand van het beeld achter het voorwerpglas } = 200 - 25,5 = 174,5 \text{ millim.}$$

De grootte van het beeld op dien afstand is =

$\frac{174,7 - 6}{6} \times 0,5 = 14,05$ millim., en het cijfer der vergrooting dus 28,1 maal.

Dat der vergrooting van het oogglas is volgens § 111 $= \frac{162 + 50}{50} = 6,4$ maal, en derhalven de geheele vergrooting $= 28,1 \times 6,4 = 179,84$ maal, zoodat een voorwerp van 0,5 doormeter, door zulk een mikroskoop gezien, zich met eenen doormeter van 89,92 millim. zal vertoonen voor den- genen, wiens duidelijkheidsafstand de genoemde is.

Zoodra echter de duidelijkheidsafstand verandert, dan veranderen ook alle deze uitkomsten. Verrigten wij b. v. dezelfde berekening voor het oog van B, wiens gemiddelde duidelijkheidsafstand gevonden werd te bedragen 572 millim., dan bevinden wij, dat het beeld op 27,8 millim. voor het oogglas moet gelegen zijn, dat dus de afstand tusschen het beeld en de voorwerplens is $= 172,2$ millim., deszelfs vergrooting 27,7 maal, en de doormeter van het beeld 15,85 millim., derhalven iets geringer dan in het vorige geval. Daarentegen bedraagt het vergrootend vermogen van het oogglas voor hem 15,4 maal, en hierdoor wordt het geheele cijfer der vergrooting 571,18 maal.

Men ziet dus, dat, even als wij reeds gelegenheid hadden ten aanzien van het enkelvoudig mikroskoop op te merken, zoo ook een en hetzelfde zamengesteld mikroskoop voor eenen verzienden meer vergroot, dan voor eenen bijzienden. Ook hier echter is het overwigt van den eersten meer schijnbaar dan werkelijk, gelijk blijkt, indien men op de reeds meermalen opgegeven wijze (verg. § 92 en 113) de grootte der netvliesbeeldjes berekent. Wanneer men de zoo even gevonden grootte en afstand van het beeld in beide

gevallen ten grondslag legt, en aanneemt dat de afstand van het hoornvlies tot aan het optische middelpunt van het oogglas bedraagt 6 millim., dan heeft het netvliesbeeldje van een voorwerp van 0,5 millim., door een zamengesteld mikroskoop van de boven onderstelde inrigting beschouwd, eenen doormeter van 4,76 millim. voor A, en van 4,45 millim. voor B. Inderdaad ziet dus de bijziende door een zamengesteld mikroskoop de voorwerpen nog iets grooter, alhoewel betrekkelijk minder vergroot, dan de verziende.

149. Ook op den afstand, waarop het voorwerp van de voorwerplens moet gebragt worden, ten einde het beeld zich op de behoorlijke plaats vóór het oogglas vormt, oefent de duidelijkheidsafstand van het oog eenigen invloed uit. Het is namelijk klaar, indien de onderlinge afstand der beide lenzen dezelfde blijft, dat dan een bijziende, wiens oog eene grootere toenadering van het beeld tot het oogglas vordert, hierin voorzien moet, door aan den grooteren afstand van het luchtbeeld achter de voorwerplens eenen korteren afstand tusschen deze en het voorwerp te doen beantwoorden. Daar nu deze afstand gelijk is aan het quotient verkregen, door het produkt van den afstand van het beeld en den brandpuntsafstand te deelen door derzelver verschil, zoo is die afstand in het bovengestelde geval voor A $= \frac{174,7 \times 6}{174,7 - 6} =$ 6,214 millim., en voor B $= \frac{172,2 \times 6}{172,2 - 6} =$ 6,216 millim.

Bij eenen brandpuntsafstand der voorwerplens van 6 millim., en bij nog kortere brandpuntsafstanden, is derhalven het verschil ($\frac{1}{500}$ millim.) gering, en oefent op het duidelijk zien door personen, wier oogen eenen verschillenden duidelijk-

heidsafstand bezitten, slechts weinig invloed uit, gelijk dan ook de ondervinding leert, dat, naar mate de vergrooting door het aanwenden van sterker objectieven stijgt, er in de stelling van een zamengesteld mikroskoop voor onderscheiden oogen minder verandering behoeft gemaakt te worden, hetgeen daarentegen zeer noodig wordt bij geringere vergrootingen. Verwisselen wij b. v. het voorwerpglas van 6 millim. brandpuntsafstand met een ander, dat eenen brandpuntsafstand van 20 millim. heeft, dan moet het voorwerp voor A op 22,585 millim., en voor B op 22,628 millim., van de voorwerplens verwijderd worden. Hier is het verschil ongeveer $\frac{1}{23}$ millim., en dus zeer merkbaar.

150. Het tot dus verre gezegde bevat de theorie van het zamengesteld mikroskoop reeds in hare hoofdtrekken. Het is er echter verre af, dat een werktuig van deze meest eenvoudige inrigting geschikt zoude zijn tot het doen van naauwkeurige en juiste waarnemingen. Deszelfs gebreken zijn de volgende:

Vooreerst is het gezichtsveld zeer klein, gelijk reeds blijkt uit fig. 71, waar slechts een gedeelte der stralen, die, van het voorwerp uitgaande, de objectieflens treffen, het oog bereiken.

Ten tweede is het vlak, waarin zich het schijnbeeld vormt, sterk gekromd, en beantwoordt de vorm van dit laatste dus niet aan den vorm van het voorwerp.

Ten derde eindelijk is zulk een uit twee lenzen bestaand mikroskoop in hooge mate met al de gebreken behebt, welke het gevolg zijn, zoowel der sphaerische, als der chromatische aberratie.

Beschouwen wij thans de middelen, die worden aange-

wend om het zamengesteld mikroskoop van deze gebreken te bevrijden, en waardoor hetzelfde reeds eenen trap van volmaaktheid heeft bereikt, waarmede men zich voor eenige jaren ter naauwernood had durven vleijen.

151. Onder deze middelen zijn er echter, die reeds van voor langen tijd in gebruik zijn geweest. Daartoe behoort de tusschenvoeging eener derde lens (EF fig. 72), op zoodanigen afstand van de beide anderen geplaatst, dat het beeld van het voorwerp tusschen deze lens en het oogglas ontstaat. Dit tusschenglas is in meer dan een opzigt nuttig.

In de *eerste* plaats vereenigt het de stralen weder, die van het voorwerp uitgaan, gelijk uit de figuur blijkt. Zonder de lens EF zoude het beeld zich gevormd hebben in $b'a'$, doch door deze lens worden de stralenkegels $Cb'D$, $Ca'D$, en al de overige, welke tot het ontstaan van het beeld medewerken, binnenwaarts gebogen, zoodat zich een ander beeld $b''a''$ vormt, dat wel is waar kleiner is dan $b'a'$, doch in deszelfs geheel door het oogglas AB kan overzien worden, of, hetgeen hetzelfde is, het geheele voorwerp ab neemt nu het gezichtsveld in, terwijl het vroeger slechts deszelfs gedeelte $d'e'$ fig. 71 was. De vergrooting van het mikroskoop is derhalven iets verminderd, te weten zooveel als het beeld $b''a''$ kleiner is dan $b'a'$, doch het gezichtsveld is grooter geworden ten gevolge van de verzameling der stralen, van welke een gedeelte ongebruikt verloren gingen. Het is aan deze meest in het oog vallende dienst, dat dit tusschenglas deszelfs benaming van *verzamelingsglas* of *collectiefglas* verschuldigd is.

Doch hetzelfde is in de *tweede* plaats ook nuttig, omdat het de lichtsterkte van het beeld vermeerdert. Al de stra-

len namelijk, die gediend zouden hebben om het beeld $b'a'$ te vormen, worden vereenigd tot het kleinere beeld $b''a''$, en daar de lichtsterkte toeneemt in de omgekeerde reden der vierkanten van de doormeters der beelden, zoo zal het beeld $b''a''$, indien hetzelfde b. v. slechts half zoo groot is als $b'a'$ (voor het oogenblik het geringe verlies door de terugkaatsing en opslorping daarlatende), vier maal meer lichtsterkte bezitten.

Eene *derde* hoogst nuttige werking van het collectiefglas bestaat in het wegnemen van de kromming van het schijnbeeld, of, zooals men zulks gewoonlijk noemt, het *plat maken van het gezichtsveld*. De oorzaak dezer werking zal blijken, indien wij opmerken, dat de afstand tusschen het middengedeelte der lens EF en het midden van de voorwerplens CD geringer is dan tusschen de randen der beide lenzen. De stralen, die uit het in de optische as gelegen punt c afkomstig zijn, treffen derhalven de oppervlakte der lens EF vroeger, dan die, welke van de punten a en b aan den rand van het voorwerp uitgaan. Het noodzakelijk gevolg hiervan is, dat de nabij de as doorgaande stralen zich vroeger weder vereenigen zullen, namelijk in z'' , dan de stralen, die de lensoppervlakte in eene meer schuinsche rigting treffen, en welker uiterste vereenigingspunten derhalven iets verder in b'' en in a'' zullen gelegen zijn. Het tweede luchtbeeld $b''a''$ heeft dus eene tegengestelde kromming aan die van het eerste $b'a'$, en daar nu hierdoor de randen b'' en a'' van dat tweede luchtbeeld meer naderen aan het optische middelpunt van het oogglas AB, zoo volgt uit het vroeger (§ 109) gezegde, dat het hierdoor waargenomen schijnbeeld $b'''a'''$ zich, bij eene zekere verhouding tusschen den graad van kromming van het collectief- en van het oogglas, niet

gebogen, maar regt zal vertoonen. Een net van vierkante mazen zal dan den vorm hebben, als in fig. 67.

De *vierde* en, hoewel minder in het oog vallende, niet minder gewigtige dienst van het collectiefglas bestaat in de verbetering der beide aberrationen. Dat zulk eene verbetering plaats moet hebben kan op eene dergelijke wijze betoogd worden, als in § 126 voor de verbinding van twee lenzen tot eene doublet reeds geschied is. Ook tusschen het collectief- en het oogglas heeft eene kruissing der lichtstralen plaats, en het is uit het daar gezegde duidelijk, dat terwijl de violette stralen steeds de sterker brekende gedeelten van het oogglas treffen, er eene toenadering moet ontstaan tusschen de onderscheiden gekleurde stralen, zoodat zij het oog in eene betrekkelijke rigting binnentreden, die meer tot den evenwijdigen toestand, d. i. tot dien van wit licht, nadert, dan indien het collectiefglas niet aanwezig is. Hetzelfde geldt van de sphaerische aberratie, welke ook eene verbetering ondergaat, omdat, gelijk reeds uit fig. 72 blijkt, de stralen, die in het collectiefglas EF het meest nabij aan den rand doorgaan, het oogglas AB nader aan de as treffen, en zoo ook omgekeerd. De aberratiën der beide lenzen werken derhalven in eenen tegengestelden zin, en kunnen elkander tot op eene zekere hoogte wederzijds opheffen.

De theorie leert, dat deze verbetering het grootst is, wanneer de brandpuntsafstand van het collectiefglas drie maal grooter is dan die van het oogglas, en hunne onderlinge verwijdering gelijk is aan het dubbele van den laatsten, zoodat de brandpuntsafstand van het collectiefglas, de afstand tusschen de beide lenzen, en de brandpuntsafstand van het oogglas tot elkander staan als de getallen 5, 2 en 1. Later zullen wij echter zien, dat in de aplanatische mikroskopen

deze afstanden eenige wijzigingen kunnen ondergaan, beantwoordende aan den graad van verbetering der objectieven.

152. Daar de tusschenvoeging van het collectiefglas eene verkleining van het beeld ten gevolge heeft, zoo spreekt het van zelf, dat de straks (§ 148) aangegeven handelwijze, om het vergrootend vermogen te vinden van een zamengesteld mikroskoop, hetwelk slechts uit een objectief en een enkel oogglas bestaat, eenige wijziging behoeft. Hiertoe is het noodig den brandpuntsafstand te berekenen, welke eene enkele lens zoude bezitten, die in werking gelijk staat met de vereeniging van het collectief- en het oogglas. Kent men den brandpuntsafstand van zulk eene aequivalente lens, en gevolglijk ook deszelfs vergrootend vermogen, dan kan men de geheele vergrooting gemakkelijk vinden, door even als vroeger de grootte van het luchtbeeld, dat zonder het collectiefglas zoude ontstaan zijn, te vermenigvuldigen met het vergrootingscijfer der aequivalente lens.

Deze berekening geschiedt door de brandpuntsafstanden van het collectief- en van het oogglas te zamen te vermenigvuldigen en het product te deelen door hunne som verminderd met hunnen onderlingen afstand (1). Stellen wij b. v. den brandpuntsafstand van het collectiefglas = 50 millim., dien van het oogglas = 10 millim., en hunnen onderlingen afstand = 20 millim., dan zal de brandpuntsafstand der aequivalente lens zijn
$$= \frac{50 \times 10}{50 + 10 - 20} = 15 \text{ mil.}$$
 lim., zoodat dezelve tot dien van het oogglas staat als 5:2.

(1) De brandpuntsafstand der aequivalente lens is
$$= \frac{pp'}{p + p' - d}.$$

Hieruit volgt dus, dat wanneer de verhouding tusschen de brandpuntsafstanden en de verwijdering der beide lenzen de hier aangenomene zijn, namelijk diegene, waarbij de verbetering der aberratiën het grootst is, het collectiefglas het beeld juist tot op $\frac{2}{3}$ verkleint, en het geheele mikroskoop derhalven ook slechts $\frac{2}{3}$ van het vergrootend vermogen bezit, hetwelk het hebben zoude, indien het collectiefglas verwijderd, en het beeld alleen door het oogglas beschouwd werd.

Door het collectiefglas en het oogglas nader tot elkander te brengen klimt echter de vergrooting. Zijn de bovengenoemde lenzen elkander tot op 15 millim. genaderd, dan zal de brandpuntsafstand der aequivalente lens 12 millim. bedragen. En, zoodra hun onderlinge afstand geringer is dan de brandpuntsafstand van het oogglas, overtreft hunne gezamenlijke werking die van het oogglas alleen. Voor eene onderlinge verwijdering van 5 millim. b. v. zoude de brandpuntsafstand der aequivalente lens zijn $= 8,6$ millim. Doch in dit geval valt het beeld niet meer tusschen de beide lenzen, maar vóór het collectiefglas, en is eigenlijk eene andere inrigting van het oculair ontstaan, die later nog nader besproken zal worden.

155. Hoewel de tusschenvoeging van het collectiefglas reeds als eene aanzienlijke verbetering moet worden aangemerkt, zoo volgt echter uit het reeds meermalen aangemerkte over het nut van het gebruik van lenzenstelsels boven dat van enkele lenzen, dat men door gepaste combinatiën voor dezen in plaats te stellen, de verbetering nog veel verder kan drijven. Elk der drie zamenstellen glazen kan dan ook door een stelsel van twee of meer lenzen vervangen worden,

welke te zamen als eene enkele lens werken, doch waarvan de krommingen en afstanden zoodanig zijn ingerigt, dat bij hunne vereenigde werking de aberratiën verminderd worden. Werkelijk is het aantal van mogelijke combinatiën zeer groot, en men heeft er zeer vele, hetzij op theoretische gronden voorgeslagen, hetzij praktisch uitgevoerd. Het zoude ons hier te ver afleiden, indien wij bij elk hunner wilden stilstaan, en bovendien ook ter dezer plaatse minder gepast zijn, dewijl een groot deel derzelve reeds tot het gebied der geschiedenis behoort. Het hoofdonterscheid namelijk tusschen de vroegere pogingen tot verbetering van het zamengesteld mikroskoop, en die van onzen tijd, bestaat daarin, dat men vroeger vooral die verbetering zocht in de samenstelling van het oog- en van het collectiefglas; terwijl men thans heeft leeren inzien, dat hoewel de wijze, waarop deze zijn ingerigt, geenzins onverschillig is voor de juiste werking van een mikroskoop, het echter van oneindig grooter belang is het objectief zoodanig te vervaardigen, dat reeds het eerste vergroote beeld van aberratiën grootendeels vrij is; want wanneer deze eenmaal bestaan, dan kunnen zij door oog- en collectiefglas nog wel iets worden verbeterd, doch deze verbetering is altijd uiterst beperkt.

154. Thans overgaande tot de beschouwing van de optische samenstelling der nieuwere mikroskopen, komt dus in de eerste plaats in aanmerking de inrigting van derzelve meest belangrijk gedeelte, het *objectief*.

Wij hebben vroeger (§ 61) gezien, hoe door de vereeniging eener biconvexe crownlens met eene plano-concave of biconcave flintglens, eene dubbellens ontstaat, waarin, bij eene gepaste verhouding der beide lenzen tot elkander,

zoowel de chromatische als de sphaerische aberratie zeer merkelyk verbeterd zijn. Wij hebben echter tevens (§ 64) opgemerkt, dat de aberratie door deze verbinding nimmer geheel kan worden opgeheven, om de aldaar uiteengezette redenen. Zulk eene achromatische dubbellens is derhalven, indien zij op zich zelve als voorwerpglas gebezigd wordt, wel is waar reeds te verkiezen boven eene gewone lens, zelfs boven eene van den besten vorm, doch met hare aanwending is eigenlijk nog weinig gewonnen. Eensdeels namelijk is de verbetering der aberratie te onvolkomen, en anderen deels is het zeer moeilijk zulke achromatische dubbellenzen van eenen zeer korten brandpuntsafstand te vervaardigen.

Men zoude derhalven de vergrooting hoofdzakelyk moeten bewerkstelligen door de aanwending van sterkere oculairen, of door het mikroskoop langer te maken, en deze beide hulpmiddelen leveren steeds hoogst gebrekkige uitkomsten op, en hebben zeer spoedig grenzen bereikt, die niet overschreden kunnen worden, zonder, in weerwil dat het vergrootend vermogen toeneemt, het beeld zoozeer in scherpte te doen verliezen, dat men in werkelijkheid minder van deszelfs bijzonderheden kan waarnemen, dan bij eene geringere doch scherpe vergrooting. Daar waar slechts eene kleine vergrooting noodig is, zijn daarom enkele achromatische dubbellenzen nog altijd bruikbaar, omdat zij het groote voordeel bezitten van eene wijde opening te veroorlooven, en dus veel licht doorlaten, doch zoodra de vergrooting eenigzins aanzienlijk behoort te zijn, dan verliest dit voordeel veel van zijnen waarde.

Gelukkig echter is er een middel om zoowel hun vergrootend vermogen te vermeerderen, als de aberratiën nog verder te verbeteren. Dit middel bestaat in hunne vereeni-

ging tot *stelsels*. Wat het eerste, — de versterking van het vergrootend vermogen door zulk eene vereeniging —, aangaat, zoo geldt hier geheel hetzelfde, wat vroeger (§ 123) omtrent doubletten en tripletten in het algemeen gezegd is. Het tweede, de verdere verbetering der aberratiën, vordert, behalven het daar ter plaatse reeds hieromtrent aangevoerde, nog eenige nadere opheldering.

155. Vroeger (§ 64) is gebleken, dat elke dubbellens slechts voor twee punten in de optische as gelegen werkelijk aplanatisch is, terwijl stralenbundels, van alle andere daartusschen of daarbuiten gelegen punten uitgaande, hetzij oververbeterd of onderverbeterd worden. Stellen wij nu, dat van de dubbellens A fig. 75 het verste aplanatische brandpunt in a gelegen zij, dan zal dezelve voor den stralenbundel, die van daar uitgaat, volkomen verbeterd zijn, doch voor die welke van hooger gelegen punten (tot aan het hier niet in aanmerking komende kortste aplanatische brandpunt) komen, is zij oververbeterd, en voor die van de lagere onderverbeterd. Plaatst men dan voor deze dubbellens eene andere B, en wel in dier voege, dat de stralen, die van haar kortste aplanatische brandpunt b uitgaan, aan de bovenste oppervlakte bij c , zamenvallen met de stralen, welke afkomstig zijn van uit het verste aplanatische brandpunt van A, dan heffen de tegengestelde aberratiën der beide lenzen elkander wederkeerig op, en de uitkomst is, dat hunne vereeniging voor stralenbundels, die uitgaan van onderscheiden punten der optische as telkens van aberratie vrij is. — Worden de beide dubbellenzen nader tot elkander gebragt, zoodat b. v. A in A' komt te liggen, en dus het verste aplanatische brandpunt van deze lens in a' , dan zal de stralenbundel, die, na door

de lens B gegaan te zijn, zamenvalt met den uit a' afkomstigen stralenbundel, niet meer beantwoorden aan het kortste aplanatische brandpunt b van de lens B, maar aan een lager gelegen punt b' , hetwelk zich tusschen hare beide aplanatische brandpunten in bevindt, en gevolglijk zal alsdan het stelsel oververbeterd zijn. Worden daarentegen de dubbellenzen A en B meer van elkander verwijderd, dan ontstaat er onderverbetering.

Deze door Lister (1) het eerst gegeven verklaring van de verbetering der aberratie in de uit achromatische dubbellenzen bestaande stelsels, doet zien, dat het reeds bij de vereeniging van slechts twee zulke lenzen mogelijk is de aberratie grootendeels op te heffen. Voor sterkere vergroo-tingen is het echter voordeelig stelsels van drie lenzen te bezigen, welke dan wederom op zulk eenen onderlingen afstand geplaatst worden, dat hunne afzonderlijke aberratiën wederkeerig tegen elkander opwegen. Volgens de ondervinding van Lister is het doelmatig door de onderste lens eenen iets onderverbeterden lichtbundel op te vangen, en dezen dan door de middelste lens over te verbeteren. In den regel zal men dan ook bij lenzenstelsels, welke uit de beste werkplaatsen afkomstig zijn, bevinden, dat de flintglaslens der onderste meest vergrootende dubbellens plano-concaaf is, terwijl bij de tweede, en wanneer het eene triplet is, bij de tweede en derde, of wel bij de laatste alleen, ook de naar buiten gekeerde oppervlakte der flintglaslens eenigzins concaaf is, zoodat de dubbellens eenen convergerenden meniscus daargestelt, waarin de invloed der biconcave flintglaslens eenigzins overwegend is,

(1) *Philos. Transact.* 1830. p. 198.

156. Het vinden van den juisten afstand tusschen de dubbellenzen, is, even als ik reeds ten aanzien van hunne vervaardiging heb opgemerkt, meer het werk van geduld en herhaalde beproeving, ondersteund door praktische ervaring, dan van voorafgaande berekening, welke wel is waar eenige niet te minachten wenken kan geven, doch welker toepassing nimmer zulk eenen graad van zekerheid en juistheid voor de uitvoering van mikroskopische objectieven kan bereiken, als bij de verrekijker-objectieven het geval is. De oorzaak hiervan is niet gelegen in gebrek aan genoegzaam naauwkeurige theoretische gronden, waarop de berekeningen steunen kunnen, maar daarin, dat bij den grooten invloed, welke het allergeringste verschil in den vorm en in den onderlingen afstand der lenzen op hunne gezamenlijke werking uitoefent, geen werkman in staat is een lenzenstelsel te vervaardigen, dat geheel aan vooraf berekende voorwaarden voldoet. Lister (1) verhaalt, dat bij eene crownglaslens en eene flintglaslens, waarvan de bolle oppervlakte der eene zoo naauwkeurig in de holle der andere sloot, dat de plaats der vereeniging door de bekende kleuren van dunne lagen werd ingenomen, een laagje canadabalsem, hetwelk tusschen de beide lenzen gebragt werd, en zoo dun was, dat er deze kleuren niet door werden weggenomen, toch reeds eene zeer merkelyke verandering in den graad der sphaerische aberratie te weeg bragt. Waar zulke hoogst geringe verschillen reeds niet zonder uitwerking zijn, is het blykbaar dat de beste berekeningen op de uitvoering schipbreuk moeten lijden.

Uit het hier opgemerkte kan men tevens de gevolgtrekking afleiden, dat mikroskopen, welke uit eene en dezelfde werk-

(1) L. c. p. 197.

plaats afkomstig zijn, toch nimmer onderling volkomen gelijk kunnen wezen, al is hunne uitwendige en werktuiglijke inrigting ook geheel dezelfde. De kokers, de voorwerptafel, de rader- en schroefbewegingen, de spiegel enzv., dit alles kan naar vaste modellen vervaardigd worden, en vordert niet meer tijd en geduld dan elke andere fijne handenarbeid, doch, tot de daarstelling der dubbellenzen en tot hunne juiste vereeniging tot stelsels, kunnen vroeger vervaardigde dubbellenzen en stelsels slechts van verre tot modellen dienen. Telkens moet het beproeven en weder beproeven van voren af beginnen, tot dat de verlangde uitwerking verkregen is, of liever tot dat de vervaardiger oordeelt de verkregen verbetering toereikend te zijn in verhouding tot den prijs, welke hem voor zijne moeite en volhardend geduld betaald wordt, want het zal naauwlijks behoeven gezegd te worden, dat eene volkomene verbetering onbereikbaar is, en dat het beste lenzenstelsel alleen datgene is, waarin de verbetering der beide aberratiën het meest nabij aan de volledige opheffing komt (1).

Ik meende ter dezer plaatse de moeilijkheden, welke aan het vervaardigen der objectiefstelsels nog steeds verbonden zijn, en, naar het zich laat aanzien, wel steeds verbonden zullen blijven, kortelijk te moeten vermelden, omdat het mij voorgekomen is, dat velen daaromtrent onjuiste denkbeelden hebben, en het hen b. v. verwondert, dat de kleinere en minder duur betaalde mikroskopen van denzelf-

(1) Toen Oberhäuser voor enige maanden mij een bezoek bragt, en het gesprek ook over dit onderwerp liep, verhaalde hij mij één enkel lenzenstelsel te bezitten, hetwelk hij reeds voor vele jaren begonnen had te vervaardigen, hetzelfde telkens uit zijnen steeds toenemenden voorraad van lenzen verbeterende, en hiermede nog steeds voortgaande. Teregt noemde hij dit stelsel onbetaalbaar.

den maker, niet altijd van volkomen even deugdzame lenzenstelsels voorzien zijn, als de grootere, die uit dezelfde werkplaats komen. Indien men bedenkt, hoeveel tijd elk stelsel vordert, om tot eenen betrekkelijken graad van volkomenheid gebragt te worden, dan moet men zich veeleer verwonderen, dat voor den geringen prijs, waarvoor zulke kleinere mikroskopen tegenwoordig verkrijgbaar zijn, nog zulke goede werktuigen geleverd worden, en dat het verschil met de grootere en kostbaardere, voor welke de vervaardiger, zooals van zelf spreekt, zijne best gelukte stelsels bespaart, niet nog veel aanzienlijker is. Ook moge het hier gezegde tot verklaring strekken van den langen tijd, die in den regel tusschen het bestellen en het ontvangen van een mikroskoop verloopt, en tevens eenigermate tot waarschuwing om den maker niet te zeer te overhaasten, daar zoo ergens, dan bij de vervaardiging van objectiefstelsels het „*festina lente*” van toepassing is.

157. Er zijn twee hoofdwijzen, volgens welke de lenzen tot stelsels verbonden worden. De eerste en oudere is die, dat de afzonderlijke dubbellenzen, naar hunne sterkte gewoonlijk, genummerd met 1, 2, 3, 4 enzv., op elkander geschroefd worden, zoodat $1+2$, $1+2+3$, $2+3+4$ enzv. de gepaste combinatiën zijn, om een stelsel te vormen. Beter is echter de thans meer en meer algemeen gevolgde handelwijze, om de dubbellenzen, die een stelsel uitmaken, onderling duurzaam te verbinden. Hierdoor wordt het aantal afzonderlijke lenzen, hetwelk voor een gelijk getal combinatiën vereischt wordt, wel is waar grooter, en de prijs van het werktuig bij gevolg iets hooger, doch dit wordt rijkelijk opgewogen door de grootere volkomenheid, waartoe elk op zich zelf staand stelsel

kan gebragt, en door de meerdere gemakkelijheid, waarmede de objectieven bij deze inrigting kunnen verwisseld worden.

Wat de betrekkelijke orde aangaat, waarin de lenzen op elkander volgen, zoo neemt men algemeen en teregt den regel aan, dat de sterkste en dus de kleinste lenzen naar het voorwerp moeten toegekeerd zijn. Deze stelling is om twee redenen verkieslijk. Vooreerst is het brandpunt of de plaats van het voorwerp dan verder verwijderd van de onderste lens (z. § 125), en ten tweede is deze stelling de gunstigste voor de helderheid van het beeld, gelijk niet moeilijk valt in te zien, indien men bedenkt, dat door de tegenovergestelde inrigting, een groot gedeelte der stralen, welke door de voorste grootere lens gaan, niet door de daarboven gestelde kleinere zoude doorgelaten worden; terwijl daarentegen wanneer de kleinste lens benedenwaarts gekeerd is, de betrekkelijke verhouding tusschen de openingen der op elkander volgende lenzen zoodanig kan zijn, dat al de stralen die de voorste oppervlakte der naar het voorwerp toe gekeerde lens treffen, aan de achterste weder naar buiten treden, gelijk blijkt bij de beschouwing van fig. 74. Inderdaad is de groote opening, welke de aplanatische lenzenstelsels veroorlooven, derzelver aanzienlijkste voordeel boven objectieven, die uit eene enkele lens bestaan, daar, gelijk later zal worden aangetoond, onze nieuwere mikroskopen voornamelijk daaraan de eigenschap verschuldigd zijn, die men met den naam van het *doordringend vermogen* heeft bestempeld.

158. Gaan wij thans over tot eene nadere beschouwing van het overig gedeelte der optische inrigting, in verband tot het gebruik van aplanatische lenzenstelsels als objectieven.

Ik heb reeds aangetoond (bl. 190), dat het collectiefglas en het oogglas niet geheel zonder invloed zijn op de beide aberratiën. Reeds dit doet inzien, dat hunne vereenigde werking zoowel eenen na- als eenen voordeeligen invloed kan uitoefenen op de scherpthe van het schijnbeeld, en dat derhalven de juiste betrekkelijke verhouding tusschen hen zelve en het objectief geenzins onverschillig is ter bereiking van den hoogsten graad van volkomenheid, waarvoor het zamengesteld mikroskoop vatbaar is. Hier nu zijn een aantal gevallen mogelijk, bij welke wij achtereenvolgens moeten stilstaan.

Bij onze nieuwere mikroskopen is in den regel, ten einde de verwisseling gemakkelijker te maken, elk oogglas met het daarbij behoorend collectiefglas te zamen in een koker vereenigd, en het is deze vereeniging, welke men thans gewoonlijk, hoewel niet geheel juist, het *oculair* noemt.

Oppervlakkig beschouwd schijnt het tot eene volledige opheffing der beide aberratiën het doelmatigst te zijn, om zoowel de objectiefstelsels als de beide het oculair zamenstellende lenzen zoo aplanatisch mogelijk te maken, en derhalven voor het laatste ook achromatische dubbellenzen te bezigen. Werkelijk hebben dan ook sommige vervaardigers van mikroskopen zulke aplanatische oculairen bij hunne mikroskopen gevoegd, doch altijd slechts voor zeer geringe vergrootingen en met een uiterst klein gezigtveld. Het volgende zal echter toonen, dat zulke oculairen, zullen zij bij afwisseling met andere gebruikt worden, nimmer geheel aplanatisch mogen zijn, daar juist de aberratiën van het oogglas het middel aan de hand geven, om die van het objectief op te heffen, mits deze in eenen tegengestelden zin plaats hebben.

Om dit duidelijk te maken moet ik hier herinneren, dat de aard der sphaerische aberratie (z. § 48) medebrengt, dat het brandpunt voor de randstralen digter bij de lens ligt, dan dat der asstralen, terwijl ten gevolge der chromatische aberratie (z. § 55) het brandpunt der sterker breekbare violette stralen zich meer nabij de lens bevindt, dan de brandpunten der overige gekleurde stralen. Ten einde derhalven door het oogglas een schijnbeeld waar te nemen, hetwelk zoo na mogelijk uit eene vereeniging van alle gekleurde stralen bestaat, wordt gevorderd, dat de orde der afzonderlijke elkander opvolgende beelden (z. § 56 en 151) wordt omgekeerd, d. i. dat de beelden, die bij eene niet verbeterde voorwerplens het digst bij het oogglas zouden komen te liggen, nu de daarvan het meest verwijderde plaats innemen, of met andere woorden: het objectiefstel behoort, wanneer hetzelfde in een zamengesteld mikroskoop wordt aangewend, niet volkomen aplanatisch te zijn, maar iets oververbeterd.

Ter opheldering van het gezegde strekke fig. 75. Hetzelfde stelt de optische inrigting voor van het door Huygens het eerst voor verrekijkers aanbevolen oculair (1), doch hetwelk thans algemeen bij de nieuwere mikroskopen wordt aangewend. AB is het oogglas, CD het collectiefglas. Beide zijn plano-convex en met de bolle zijden benedenwaarts gewend. Deze stelling is geenzins onverschillig. Voor het collectiefglas blijkt hare nuttigheid door de in § 151 gegeven verklaring van de wijze, waarop dit glas de kromming van het beeld

(1) In den ruweren vorm, namelijk uit twee biconvexe lenzen bestaande, heet dit oculair dat van Campani. Ook draagt hetzelfde den naam van *negatief oculair*, in tegenoverstelling van dat van Ramsden, hetwelk het *positief oculair* genoemd wordt, en waarover later zal gehandeld worden.

tegengaat. Doch voor het oogglas zoude het bij eene oppervlakkige beschouwing kunnen schijnen, als of het gepaster ware de platte zijde naar het luchtbeeld toe te keeren, daar alsdan (§ 52) de sphaerische aberratie merkelyk geringer is. Dat dit intusschen hier geen voordeel aanbrengt, hiervan kan elk, die een mikroskoop met zulk een oculair bezit, zich overtuigen, door het bovenste glas om te keeren. De uitkomst zal zijn, — indien namelyk het mikroskoop goed vervaardigd is, — dat het veld kleiner, minder plat, en het beeld minder scherp wordt, omdat bij eene juiste verhouding tusschen de tegengestelde aberratiën van het oververbeterde lenzenstelsel en van het niet verbeterde oogglas, de beelden juist op dien afstand van het laatste komen te liggen, welke vereischt wordt, om dezelve vereenigd op het netvlies te doen geraken. Voor de chromatische aberratie is zulks in de figuur aangeduid. Zonder tusschenkomst van het collectiefglas CD zullen zich, door een oververbeterd objectiefstelsel, een aantal gekleurde beelden vormen, waarvan het meest verwijderde en grootste a violet en het naastbijzijnde en kleinste b rood zal zijn. Door het collectiefglas wordt in de orde der beelden geene verandering te weeg gebragt, maar zij komen iets digter bij elkander in c en d . Is nu de afstand tusschen deze gekleurde beelden en het oogglas zoodanig, dat het violette beeld c iets binnen deszelfs brandpuntsafstand v voor violette stralen, en het roode beeld d iets binnen den brandpuntsafstand r voor roode stralen ligt, dan zullen de van uit de beelden divergerende gekleurde stralen, na door de lens gebroken te zijn, onderling evenwijdig, en dus, — behoudens de altijd overblijvende kleuren van het secundaire spectrum (z. § 62), — als wit licht het oog binnentreden.

Op eene dergelyke wijze laat zich ook betoogen, dat de

sphaerische aberratie van het oogglas juist voldoende kan zijn, tot vereeniging der op elkander volgende beelden, die door een voor sphaerische aberratie oververbeterd lenzenstelsel ontstaan. Daartoe namelijk is slechts noodig, dat de afstand tusschen de beide uitersten dezer beelden gelijk zij aan de lengte der sphaerische aberratie van het oogglas, zoodat het bovenste en grootste beeld iets binnen het brandpunt van het randgedeelte, en het onderste of kleinste iets binnen het brandpunt van het middengedeelte van het oogglas gelegen is. Na den doorgang der stralen door hetzelfde zullen dan de vroeger afgezonderde beelden zich gezamenlijk tot één beeld op het netvlies vereenigen.

159. Uit het gezegde blijkt, dat om de door het oogglas aan te brengen verbetering zoo volkomen mogelijk te doen zijn, het doel moet wezen: om den onderlingen afstand tusschen de uitersten der twee soorten van beelden juist te doen beantwoorden aan de lengte der beide aberratiën van het oogglas. Zijn de beelden daartoe te ver van elkander verwijderd, dan behoudt het objectiefstelsel eenen overwegenden invloed, en de lichtbundels zijn bij het verlaten van het oculair, nog oververbeterd; is daarentegen de lengte der aberratie van het oogglas grooter dan de afstand tusschen de beelden, dan worden dezelve onderverbeterd. Hierbij moet men wel is waar niet vergeten, dat de lengten der beide aberratiën niet geheel dezelfde zijn, zoodat wanneer voor de eene het maximum der verbetering is bereikt, de andere nog onder- of reeds oververbeterd kan zijn, doch er zal altijd eene zekere middelbare verhouding kunnen gevonden worden, welke het best aan het oogmerk voldoet.

Het zoude nu eene zeer moeilijke opgaaft zijn, om telkens

het oogglas en het objectiefstelsel zoo juist bij elkander te doen passen, dat hunne wederzijdsche tegengestelde aberratiën zich naauwkeurig opwegen. Bovendien zoude dan elk objectiefstelsel slechts met een enkel oculair de meest voldoende uitkomsten opleveren. Doch gelukkig bestaat er meer dan een middel, om hierin te voorzien.

In de *eerste* plaats komt hier in aanmerking de invloed van het collectiefglas op den onderlingen afstand der beelden. Door hetzelfde tot het oogglas te doen naderen worden de luchtbeelden grooter, en neemt tevens de hen van één scheidende tusschenruimte, of liever de dikte der laag, die zij vormen, toe. Het tegenovergestelde is het gevolg eener verwijdering der collectieflens van het oogglas. De vervaardiger van een mikroskoop heeft het dus in zijne magt, om, door herhaalde beproevingen, den juisten afstand te vinden, welke tusschen de beide glazen van het oculair moet bestaan, om de meest gunstige werking voort te brengen. Hieruit vloeit echter reeds dadelijk voort, dat een oculair, hetwelk met een zeker lenzenstelsel een uitstekend scherp beeld geeft, met een ander, dat overigens volkomen goed gearbeid zijn kan, doch bij hetwelk de oververbetering iets meer of iets minder bedraagt, eene minder gepaste vereeniging zal vormen, ten zij, — zooals trouwens in den regel het geval niet is, — het oculair uit twee in elkander schuivende buisjes bestaat, waarvan het eene het oog —, het andere het collectiefglas bevat, zoodat de waarnemer zelf hunnen onderlingen afstand zoodanig wijzigen kan, als voor het gebezigde stelsel het meest gepast is.

Het *tweede* middel bestaat in het veranderen van den afstand tusschen het oculair en het objectief. Reeds in § 147 is aangetoond, dat eene verlenging van dien afstand het ver-

grootend vermogen vermeerdert, eene verkorting daarentegen hetzelfde vermindert. Daar nu tevens met de vergrooting de onderlinge afstand van de uiterste luchtbeelden toe- en afneemt, zoo volgt, dat men ook hierdoor aan de in § 158 gestelde voorwaarden kan voldoen. Bij het gebruik van hetzelfde lenzenstelsel en van hetzelfde oculair kan dus de verbetering der aberratiën ook slechts voor eenen bepaalden afstand tusschen deze beiden haar maximum bereiken. Door dien afstand langer te maken vallen de uiterste luchtbeelden verder van elkander. Men kan dezelve dan wel is waar weder op den vorigen onderlingen afstand terug brengen door het collectiefglas van het oogglas te verwijderen, doch hierbij verliest de vergrooting wederom, hetgeen zij door de vroegere verlenging gewonnen heeft. De lengte der buis van een zamengesteld mikroskoop staat dus in een naauw verband met den graad van oververbetering der objectiefstelsels. Hoe geringer deze oververbetering is, binnen zekere niet te overschrijden grenzen, des te minder zal de zuiverheid en scherpte van het schijnbeeld verliezen, door de buis langer te maken, en, in het algemeen, door de vergrooting op andere wijzen te versterken, dan door verwisseling der objectieven.

Als *derde* middel komt hier in aanmerking het plaatsen eener verstrooijingslens op den weg der stralen van het objectief naar het oculair. Dat zulk eene verstrooijingslens de vergrooting versterkt, blijkt uit het reeds (§ 144) gezegde, betreffende hare aanwending bij beeldmikroskopen. Ook heeft men het bovendien in zijne magt, om, door dezelve op geringeren of verderen afstand van het objectief te plaatsen, deze versterking der vergrooting willekeurig te verminderen of te vermeerderen. Oefende derhalven zulk eene lens geen anderen invloed uit op de lichtstralen, dan dat zij streeft

om dezelve minder convergerend te maken, dan zoude hare aanwending volkomen gelijk staan met eene verlenging van den afstand tusschen het oculair en het objectief, en de uitkomst ten opzichte van den onderlingen afstand der uiterste luchtbeelden geheel dezelfde wezen. Doch bij eene verstrooijingslens bestaan, evenzeer als bij eene verzamelingslens, de chromatische en sphaerische aberratie; alleenlijk werken dezelve hier in eenen tegenovergestelden zin als bij deze (z. § 61). Eene holle lens uit enkel crownglas bestaande zal derhalven, met een oververbeterd objectiefstelsel gebruikt, ten gevolge hebben, dat de uiteenwijing der beelden sterker toeneemt, dan het enkele gevolg van de meerdere vergrooting zoude zijn. De aanwending van zulk eene lens zal om die reden in bijna alle gevallen schadelijk zijn. Ook van eene uit crown- en flintglas bestaande verstrooijingslens, welke zoo naauwkeurig mogelijk achromatisch gemaakt is, kan men zich weinig voordeel belooven, daar tegen de meerdere vergrooting, het verlies aan lichtsterkte ten gevolge der terugkaatsingen aan de oppervlakten der lens en bij den doortogt der stralen, overstaat. Daarentegen kan eene iets oververbeterde achromatische holle lens van werkelijk nut zijn, dewijl door dezelve de luchtbeelden nader tot elkander worden gebragt, en zij derhalven met vrucht dienen kan, om, wanneer de lengte der aberratie van een oculair te gering is, in betrekking tot den graad van oververbetering van het objectiefstelsel, de juiste verhouding tusschen deze beiden daar te stellen.

160. Eene omstandigheid, waarop men eerst in de laatste jaren is opmerkzaam geworden (1), heeft het vraagstuk, om

(1) Na dat reeds sommige vervaardigers (Powell, Amici) van mi-

bij een mikroskoop den hoogst mogelijken trap van optische volkomenheid te bereiken, nog eenigzins zamengestelder gemaakt. Men heeft namelijk bevonden, dat de dikte der glasplaatjes, welke men schier bij alle mikroskopische onderzoekingen bezigt, om het voorwerp mede te bedekken, eenen niet te veronachtzamen invloed uitoefent op de scherpte der door het mikroskoop waargenomen beelden. Ofschoon deze dekplaatjes ook bij het gebruik van alle andere soorten van mikroskopen te pas komen, zoo acht ik het hier de meest geschikte plaats te zijn, om op dien invloed opmerkzaam te maken, te meer dewijl dezelve in onmiddelijk verband staat tot de verschillende reeds vermelde handelwijzen ter verbetering van de uitwerkselen der aberratiën, in welke handelwijzen tevens de middelen worden gevonden, om deze bedekking met glasplaatjes grootendeels onschadelijk te maken.

Reeds in § 29 is aangetoond, dat indien stralen, welke uit een nabijzijnd punt komen, divergerend door eene glasplaat gaan, welke evenwijdige oppervlakten bezit, zij na den doortogt afkomstig zullen schijnen van een oneindig groot getal boven elkander gelegen punten, terwijl, indien in plaats van een enkel lichtend punt, een voorwerp gesteld wordt, de uitkomst zijn zal, dat een oneindig groot getal van beelden elkander zullen schijnen te bedekken, welke alle hooger gelegen zijn dan het voorwerp zelf, en van welke het meest verwijderde of hoogst liggende beeld gevormd wordt door de het schuinst invallende stralen. Zulk een glasplaatje brengt derhalven eene dergelijke uitwerking voort als de sphaerische

kroskopen door ondervinding den invloed der dekplaatjes hadden leeren kennen, en tevens de middelen uitgedacht, om denzelven te verbeteren, is dit punt het eerst uitvoerig uiteengezet door v. Mohl in zijne *Mikrographie*, s. 157.

aberratie, terwijl het duidelijk is, dat de hier bedoelde afwijking en de dikte der beeldenlaag, die er het gevolg van is, des te grooter wezen zal, hoe dikker het tot bedekking gebezigde glasplaatje zelf is.

Den invloed dezer afwijking op de luchtbeelden tusschen het collectief- en het oogglas kan men zich het best voorstellen, door in het oog te houden, dat elk der afzonderlijke beelden, die het gevolg zijn der aanwending van een dekplaatje, zich, na den doortogt der stralen door het objectiefstelsel, weder in eene reeks van boven elkander gelegen beelden scheidt. Al deze reeksen van beelden grijpen wel is waar in elkander, maar zoodanig dat elke volgende reeks iets lager ligt, zoodat ten slotte de afstand tusschen het uiterste bovenste en het uiterste benedenste beeld grooter is, dan zij zonder de bedekking met een glasplaatje zoude wezen. In de betrekkelijke plaatsing der luchtbeelden, hetzij dezelve door een oververbeterd of door een onderverbeterd objectiefstelsel zijn voortgebragt, brengt dus zulk een dekplaatje geene verandering of omkeering te weeg, maar alleen in hunnen onderlingen afstand.

Van het bestaan dezer afwijking kan men zich gemakkelijk overtuigen. Wel is waar is dezelve veel te klein om met het bloote oog waarneembaar te zijn; en zelfs bij geringe vergrootingen, van 20—60 malen, heeft zij nog geen bespeurbaren invloed; maar, daar de dikte der beeldenlaag toeneemt met de vergrooting dier beelden zelve, zoo volgt, dat die invloed des te belangrijker wordt, naar gelang het vergrootend vermogen der gebezigde objectieven en oculairen toeneemt. Men beschouwe b. v. bij eene 500 of 400 malige vergrooting hetzelfde proefvoorwerp, eerst geheel onbedekt, en legge er vervolgens een glasplaatje op van 1—2

millim. dikte. Indien dan het geheel onbedekte voorwerp zich volkomen scherp heeft vertoond, zal de invloed van het glasplaatje zich kenbaar maken door eene zekere troebelheid en nevelachtigheid, welke veroorzaakt, dat de moeilijk waarneembare bijzonderheden van het voorwerp, de dwarsstreepjes b. v. op de schubbetjes van vele vlinders, zich nu niet meer, of althans minder duidelijk laten onderscheiden dan vroeger.

Het tegenovergestelde kan echter evenzeer plaats grijpen, dat namelijk de scherpte van het beeld, door het bedekken met een glasplaatje, in stede van verminderd, bevorderd wordt. Hiertoe wordt slechts vereischt, dat de graad van oververbetering van het objectiefstelsel te gering is, in verhouding tot de lengte der aberratie van het oogglas. Een dekplaatje van eene gepaste dikte zal alsdan de beelden verder uiteen doen wijken, en de juiste verhouding daarstellen tusschen het oogglas en het objectief.

Men ziet dus, dat deze glasplaatjes, telkens wanneer zij aangewend worden, als een geenzins onverschillig bestanddeel van den optischen toestel moeten worden beschouwd, en dat een goed mikroskoop zoodanig behoort te zijn ingerigt, dat het den onderzoeker in staat stelt, om het overig gedeelte van dien optischen toestel zoodanig te wijzigen, als noodig is, om denzelven met de dekplaatjes van onderscheiden dikte, welke hij bij zijne nasporingen bezigt, in behoorlijke overeenstemming te brengen.

Hiertoe nu kunnen al die handelwijzen dienen, welke wij reeds hebben leeren kennen, als bestemd zijnde om in den betrekkelijken afstand der luchtbeelden vóór het oogglas eene verandering te doen ontstaan. Is derhalven een mikroskoop zoodanig ingerigt, dat hetzelfde onbedekte voorwerpen het scherpst doet waarnemen, dan zal, bij de aanwending van

een dekplaatje, hetzij de verkorting van de buis, hetzij de verlenging van den afstand tusschen het oogglas- en het collectiefglas, hetzij eene oververbeterde achromatische verstrooijingslens op den weg der stralen geplaatst, aan het oogmerk beantwoorden.

Dat de aan te brengen wijzigingen verschillen moeten naar gelang de dekplaatjes meer of minder dik zijn, moge uit het volgende aan v. Mohl (1) ontleende voorbeeld blijken. Hij bevond dat een objectiefstelsel, hetwelk met het zwakste oculair van zijn Amicisch mikroskoop eene vergrooting van 188 malen geeft, bij eene lengte der buis van 5"4'', een dekplaatje vordert, welks dikte, zonder merkelijke storing, verschillen kan van 1,2 tot 1,6 millim.; bij eene lengte der buis van 5",11''' worden dekplaatjes van 1,5—1,8 millim., en voor eene buis van 2"6''' lengte dekplaatjes van 1,8—2,5 millim. dikte vereischt. Hieruit volgt tevens, dat de dikte der dekplaatjes tusschen zekere grenzen afwisselen kan, zonder dat de stoorende invloed nog zeer merkbaar wordt.

Doch behalven in de genoemde handelwijzen, heeft men ook nog een ander middel om aan den invloed der dekplaatjes te gemoet te komen. Door namelijk het objectiefstelsel zoodanig in te rigten, dat de vereenigde werking van dit en van het dekplaatje beide, tot het daarstellen van den vereischten onderlingen afstand der luchtbeelden, gevorderd wordt, en derhalven het dekplaatje als het ware een deel van het objectiefstelsel uitmaakt. Dat dit inderdaad geschieden kan blijkt, dewijl, volgens het in § 155 gezegde, de oververbetering van een lenzenstelsel zal toenemen, door de lenzen, waaruit hetzelfde bestaat, tot elkander te doen naderen, ter-

(1) *Mikrographie*, p. 162

wijl daarentegen de oververbetering zal afnemen, en eindelijk zelfs in onderverbetering overgaan, door dezelve van elkan- der te verwijderen. Daar nu een objectiefstelsel, welks graad van oververbetering gering is, door de aanwending van een dekplaatje gelijk kan gemaakt worden aan een ander, waarin de oververbetering meer bedraagt, zoo volgt, dat dezelfde lenzen, alleen door verandering van hunnen onderlingen af- stand, kunnen verbonden worden tot stelsels, die hetzij zon- der, hetzij met dekplaatjes van onderscheiden dikte moeten gebruikt worden, om bij de aanwending van een bepaald oculair, en voor eene bepaalde lengte van het mikroskoop, de meest voldoende uitkomst op te leveren.

Een vervaardiger van mikroskopen kan dus, behalven de reeds genoemde, nog twee wegen inslaan, die beide tot het beoogde doel leiden. Hij kan *of* de objectiefstelsels zoodanig inrigten, dat de waarnemer zelf in staat gesteld is, door wijziging van den onderlingen afstand der lenzen, tel- kens de noodige verbeteringen aan te brengen, *of* wel hij kan bij het mikroskoop een zeker getal objectiefstelsels voe- gen, wier lenzen vast aaneen verbonden zijn, doch welke bepaaldelijk voor het gebruik met dekplaatjes van verschillende dikte zijn bestemd en ingerigt. Beide deze handelwijzen zijn reeds praktisch uitgevoerd. De laatste, ofschoon de omslag- tigste voor den vervaardiger, schijnt echter over het algemeen de verkieslijkste te wezen, daar hierbij voor den waarnemer veel tijd bespaard wordt, en het zekerder en gemaklijker is de objectiefstelsels geheel te verwisselen, dan voor elke nieuwe waarneming, door het op en neder schroeven der lenzen, den juisten onderlingen afstand vooraf te zoeken, welke het best beantwoordt aan de dikte van het gebezigde dekplaatje. Beide handelwijzen kunnen echter ook vereenigd worden aan-

gewend, door de busjes waarin de lenzen gevat zijn, zoodanig in te rigten, dat elk stelsel zoowel zonder als met een dekplaatje van eene bepaalde dikte gebruikt kan worden, en dus de plaats vervangt van twee afzonderlijke hiervoor bestemde stelsels. De daartoe strekkende werktuiglijke inrigting, welke eene binnen bepaalde grenzen liggende verlenging of verkorting van den afstand tusschen de lenzen van een objectiefstelsel ten doel heeft, zal later beschreven worden.

161. Dat het Huygenssche oculair, waarbij het luchtbeeld tusschen het collectief- en het oogglas in valt, over het algemeen als het meest gepaste voor een aplanatisch mikroskoop moet worden aangemerkt, wordt door de boven (§ 158) gegeven theorie van deszelfs werkingswijze in verband met oververbeterte objectiefstelsels, genoegzaam aangetoond. Ook is hetzelfde datgene, aan hetwelk de vervaardigers van mikroskopen doorgaans de voorkeur geven, gelijk reeds daaruit blijkt, dat nagenoeg alle bij de nieuwere mikroskopen gevoegde oculairen deze samenstelling bezitten. Echter zijn er nog andere inrigtingen van het oculair, welke onder bepaalde omstandigheden eene nuttige aanwending kunnen vinden, en daarom hier vermeld moeten worden.

Als zoodanig komt vooral in aanmerking het *oculair van Ramsden*, ook *positief oculair* geheeten. Sommigen (1) hebben zelfs beweerd, dat dit oculair boven dat van Huygens de voorkeur verdient, en hunne verwondering niet ontveinsd, dat hetzelfde niet meer algemeen wordt aangewend.

(1) Littrow, *Gehler's Wörterbuch*, VI. Art. *Mikroskop*. p. 2249, en in navolging van hem Vogel, *Anleitung zum Gebrauch des Mikroskopes*. p. 29.

Het is derhalven noodig de wederzijdsche voor- en nadeelen van beide deze klassen van oculairen eenigzins nader te overwegen, ten einde de gevallen aan te wijzen, waarin elk hunner met de meeste vrucht kan gebruikt worden.

Het Ramsdensch oculair bestaat, even als dat van Huygens, uit twee plano-convexe lenzen, doch welke met de bolle zijden naar elkander toegekeerd, en digter bij elkander geplaatst zijn (z. fig. 89 C en D), zoodat het beeld niet tusschen dezelve, maar op eenen zeer korten afstand vóór het onderste glas ligt, dat is, tusschen dit laatste en het objectief. Zulk een oculair is dus eigenlijk eene doublet, en staat in vergrootende werking gelijk met een enkel oogglas van sterkere kromming.

Door den onderlingen afstand der beide lenzen, binnen zekere grenzen, te veranderen, verandert ook de brandpuntsafstand van het stelsel (§ 125), en tevens de lengte der chromatische en die der sphaerische aberratie, zoodat men het met zulk een oculair evenzeer in zijne magt heeft, als met een van de Huygenssche inrigting, om, bij het gebruik van een oververbeterd objectiefstelsel, de dikte der luchtbeeldenlaag te doen beantwoorden aan de lengte der aberratie van het oculair. In dit opzicht staan dus de beide klassen van oculairen tamelijk gelijk.

De voordeelen nu der Ramsdensche inrigting bestaan daarin, dat terwijl in het Huygenssche oculair het beeld door het collectiefglas (z. fig. 72) eerst verkleind wordt, en de vergrooting van hetzelfde vervolgens alleen door het oogglas wordt te weeg gebragt, hier daarentegen geene voorafgaande verkleining van het beeld ontstaat, en de vergrooting het gevolg is van de vereenigde werking der beide lenzen. Indien derhalven lenzen van gelijke opening en krom-

ming, en gevolglijk ook dezelfde chromatische en sphaerische aberratie bezittende, tot een Huygenssch of tot een Ramsdensch oculair worden vereenigd, dan zal de vergrooting door het laatste te weeg gebragt, aanmerkelijk sterker zijn, zonder dat de aberratiën in gelijke verhouding toenemen. Bovendien, hoe nader twee lenzen tot elkander gebragt worden, des te meer zullen ook de zijdelings invallende stralen door de beide lenzen gaan, zoodat het gezigtveld van een Ramsdensch oculair grooter is, dan van een van Huygens.

Tegen deze voordeelen staan echter niet onbelangrijke nadeelen over. Daar vooreerst het beeld zeer dicht bij de oppervlakte van het onderste glas ligt, zoo vertoonen zich de minste gebreken der polituur, de kleinste krasjes en stofjes, die zich op deszelfs oppervlakte bevinden, in het gezigtveld. Wanneer dus deze oppervlakte niet met de grootste zorg gepolijst is, en telkens van stof gereinigd wordt, loopt men gevaar deze onzuiverheden voor werkelijke deelen van het beeld te houden, dat zich in het gezigtveld vertoont.

Verders zagen wij, dat het bij het oculair van Huygens (bl. 189), door eene gepaste verhouding tusschen de krommingen van het collectiefglas en van het oogglas, mogelijk is de kromming van het vlak, waarin het beeld gelegen is, door het eerstgenoemde glas zoodanig om te keeren, dat het door het oogglas waargenomen schijnbeeld zich in een plat vlak gelegen vertoont. Bij het Ramsdensch oculair kan zulks niet zoo volkomen geschieden, omdat er in den eigenlijken zin bij hetzelfde geen collectiefglas bestaat.

In al die gevallen dus, waar het minder op een groot gezigtveld aankomt, dan wel op eene zoo groot mogelijke scherpte van het beeld in de geheele ruimte van hetzelfde, is het Huy-

gensch oculair het verkieslijkste (1). De minst vergrootende oculairen behooren daarom in den regel deze inrigting te bezitten. Voor sterkere oculairen, waartoe, bij de Huygensche inrigting, zeer convexe oogglazen, die een aanzienlijk gedeelte van eenen bol uitmaken, moeten gebezigd worden, zoude het Ramsdensch oculair, als, bij gelijke vergrooiting minder aberratie bezittende, in aanmerking kunnen komen, zoo niet juist deze aberratie in overeenstemming met de tegengestelde aberratie van het objectiefstelsel, voor de gezamenlijke werking voordeelig ware. Hier moet derhalven de graad van oververbetering der objectiefstelsels de keuze beslissen.

Doch ook voor geringe vergrooitingen, en bij de aanwending van objectiefstelsels, die een ver brandpunt bezitten, en gevolglijk een slechts weinig gebogen luchtbeeld geven, kan een oculair van eene dergelijke samenstelling met vrucht gebruikt worden tot het bepaalde doel, om een groot gezichtsveld te erlangen, en dus in die gevallen, waar het meer te doen is om een algemeen overzicht van het voorwerp, dat men onderzoekt, dan om eene zeer naauwkeurige waarneming van al deszelfs bijzonderheden. Dit doel wordt dan het best

(1) Men vatte dit echter niet in dien zin op, als of elk Huygenssch oculair noodzakelijk een platter veld dan een Ramsdensch zal hebben. Integendeel zal, indien in het eerste het overwigt van het oogglas te groot is, de kromming veel aanzienlijker kunnen zijn, en werkelijk is mij bij een vergelijkend onderzoek van onderscheiden Huygenssche en Ramsdensche oculairen gebleken, dat zelfs in mikroskopen uit de beste werkplaatsen afkomstig, de oculairen van de eerste soort nog dikwijls in eene zeer aanmerkelijke mate aan dit gebrek lijden. Hetzelve kan echter bij dezen geheel opgeheven worden, bij die der tweede soort niet; schoon de kromming, die van het oculair zelve afhangt, hier veel geringer is, even als bij doubletten in het algemeen, als ook omdat de bolle oppervlakten der beide lenzen hier naar elkander toe gekeerd zijn, zoodat het gezichtsveld bij geringe vergrooitingen nog tamelijk plat zijn kan.

bereikt door de beide lenzen, die eenen aanzienlijken doormeter behooren te bezitten, digt bij elkander te plaatsen.

Nog beter dan twee plano-convexe lenzen, dient tot dit oogmerk de aplanatische doublet (§ 128 fig. 69) van J. Herschel, welke ook in verband kan gebragt worden met een collectiefglas van geringe kromming, ten einde het veld platter te maken. Het ware te wenschen dat elk mikroskoop van een oculair van deze laatste samenstelling voorzien werd. Carpenter (1) bevond, dat bij deszelfs aanwending de doormeter van het gezigtveld, voor eenen duidelijkheidsafstand van 10 Eng. duimen, 14 duimen (ongeveer 36 centim.) bedragen kan, hetgeen meer dan het dubbele is van dien, welken het gezigtveld gewoonlijk heeft bij het gebruik der Huygenssche oculairen.

Eindelijk is er nog een geval, waarin aan het Ramsdensch oculair de voorkeur moet gegeven worden boven dat van Huygens, namelijk voor oculairmikrometers van verschillende inrigting. Wanneer een glasmikrometer of de beweegbare draden van eenen schroefmikrometer tusschen het collectiefglas en het oogglas worden aangebragt, zoodanig dat men door het laatste ziende de mikrometerverdeelingen of de draden duidelijk waarneemt, dan zal hun vergroot schijnbeeld in een zeer gebogen vlak liggen, even als alle andere voorwerpen die door eene enkele lens beschouwd worden (§ 109). De zich nabij den rand van het gezigtveld bevindende verdeelingen zullen zich aanzienlijk grooter vertoonen, dan die in deszelfs midden; alle lijnen, welke niet juist door het midden van het gezigtveld gaan, en zoo ook de draden

(1) *The cyclopaedia of anatomy and physiology* bij R. B. Todd. Part. XXII. p. 342.

van den schroefmikrometer zullen eenigzins buitenwaarts gekromd schijnen. Dit nu is in eene veel geringere mate het geval, wanneer de mikrometer vóór een Ramsdensch oculair is geplaatst, om dezelfde reden, waarom het gezigtveld bij het gebruik van doubletten altijd platter is, dan bij het gebruik eener enkele lens van gelijke vergrooting. Men ziet derhalven met zulk een oculair alle regte lijnen, welke zich op deszelfs brandpuntsafstand bevinden, ook nagenoeg volkomen regt, en, wanneer men zich niet te ver uit het midden van het veld verwijderd, ook op hunnen juisten betrekkelijken afstand, gelijk zulks bij het doen van metingen een noodzakelijk vereischte is.

Ik zoude hier thans nog gewag moeten maken van zulke oculairen, welke dienen om het omgekeerde beeld weder in de oorspronkelijke rigting van het voorwerp te brengen. Doch het komt mij gepaster voor over deze, tegelijk met de overige middelen, die tot hetzelfde oogmerk worden aangewend, in een afzonderlijk hoofdstuk te handelen.

162. Na deze beschouwing der hoofdbestanddeelen van elk zamengesteld dioptrisch mikroskoop, en van de verhouding, waarin de objectieven en de oculairen tot elkander staan, kunnen wij thans de vraag beantwoorden: hoe een zamengesteld mikroskoop behoort te zijn ingerigt, ten einde te voldoen aan de billijke eischen van dengenen, die hetzelfde tot wetenschappelijke nasporingen verlangt aan te wenden.

Het hoofdvereischte in elk mikroskoop is eene zoo groot mogelijke optische volkomenheid. Een geoefend waarnemer kan met een mikroskoop, welks werktuiglijk gedeelte zeer slecht en gebrekkig is, maar hetwelk voorzien is van goede objectieven en oculairen, nog uitstekende nasporingen doen;

doch zoodra het optisch gedeelte slecht is, kan noch zijne geoefendheid, noch het voortreffelijkste mechanismus hiervoor eenige de minste vergoeding geven.

De algemeene regelen, tot beproeving van den graad van optische volkomenheid der verschillende mikroskopen, voor eene latere opzettelijke behandeling besparende, willen wij ons hier bepalen tot de opsomming van datgene, wat in het bijzonder tot de inrigting van een zamengesteld mikroskoop gevorderd wordt.

Bij deze beschouwing kan men echter van tweederlei standpunt uitgaan. Men kan zich namelijk of de vraag ter beantwoording stellen: welke is de meest volkomene inrigting van een zamengesteld dioptrisch mikroskoop, overeenkomstig de tegenwoordige vorderingen der kunst? Of, hoe moet zulk een mikroskoop zijn ingerigt, opdat het voldoende zij voor wetenschappelijke nasporingen? Het antwoord op deze beide vragen zoude natuurlijk eensluidend zijn, indien men de hoogste volkomenheid der kunst niet ook met den hoogsten prijs moest betalen; en daar ik mij onder mijne lezers er velen voorstel, voor wie deze laatste omstandigheid niet geheel onverschillig is, terwijl het er bovendien verre af is, dat de bruikbaarheid van een mikroskoop in gelijke verhouding met deszelfs kostbaarheid zoude klimmen, zoo zal ik, in het volgende, dit punt niet uit het oog verliezen.

In de eerste en voornaamste plaats komen de objectiefstelsels in aanmerking. Wat hun aantal betreft, zoo kan men des noods met drie stelsels van verschillende vergrooting volstaan. Wenschelijk is het echter er eenige meer, b. v. vijf of zes, te bezitten, daar men telkens, wanneer zulks mogelijk is, de versterking der vergrooting niet door de verwisseling der oculairen, maar door die der objectieven moet

trachten te bewerkstelligen. Om de vroeger (§ 137) aangevoerde redenen is het verkieslijk, dat deze lenzen onderling vast tot stelsels verbonden zijn.

Verscheidene vervaardigers van mikroskopen hebben het in de laatste jaren zeer ver gebragt in de vervaardiging van sterk vergrootende objectiefstelsels. Hij, die een zoo volledig mogelijk ingerigt mikroskoop verlangt, is thans in de gelegenheid, om zich daarbij stelsels aan te schaffen, welke met het zwakste gewoonlijk gebruikt oculair, hetwelk de beelden ongeveer 3 maal vergroot, bij eene lengte der buis van omstreeks 20 centim., eene 3—600 malige vergrooting geven. Het zwakste der objectieven kan gevoegelijk met hetzelfde oculair aan eene 50—40 malige vergrooting beantwoorden; terwijl dan, tusschen deze beide uitersten in, de vergrootingen liggen, verkregen met de overige objectiefstelsels, zooveel mogelijk in geregelde opvolging.

Aan elk die een mikroskoop ontbiedt, waarbij aan hem zelve de keuze der objectiefstelsels is overgelaten, moet ik ten sterkste aanraden zich vooral niet alleen tot het aanschaffen der sterkere stelsels te bepalen, zooals velen, die met den aard van het mikroskopisch onderzoek weinig vertrouwd zijn, zeer geneigd zijn te doen. Inderdaad zal ieder, die van het mikroskoop een veelvuldig gebruik maakt, bevinden, dat de sterkste vergrootingen slechts zelden te pas komen, terwijl daarentegen geringe en middelmatige vergrootingen van het veelvuldigst nut zijn. De oorzaak hiervan ligt gedeeltelijk daarin, dat de minder vergrootende objectiefstelsels altijd volkomener zijn in verhouding tot de sterkere, welke, uit zeer kleine lenzen bestaande, nimmer zoo goed aplanatisch kunnen vervaardigd worden. Men wint derhalven bij hunne aanwending geenzins zooveel, als hun meerder vergroo-

tend vermogen oogenschijnlijk belooft. Maar bovendien komen de sterkste objectiefstelsels zeer nabij aan het voorwerp, zoodat de aard van dit laatste derzelver aanwending dikwerf niet gedooft. Die afstand is voor een objectiefstelsel, hetwelk met het zwakste oculair eene 5—600 malige vergrooting geeft, zoo gering, dat men ter naauwernood glazen dekplaatjes kan vinden, die dun genoeg zijn, om daarbij gebruikt te worden, ofschoon men zich tegenwoordig zulke glasplaatjes kan verschaffen, welke niet dikker dan $\frac{1}{5}$ millim. zijn. Eindelijk hebben geringere vergrootingen het aanzienlijke voordeel, dat zij den waarnemer in staat stellen een grooter gedeelte van het voorwerp op eens te overzien, en dus den onderlingen samenhang en het verband tusschen deszelfs deelen met éenen blik waar te nemen, hetgeen verre verkieslijk is boven het opvolgend brengen daarvan in het gezichtsveld, daar het dan dikwerf aan de levendigste verbeelding niet mogelijk is, al de afzonderlijk tot het bewustzijn gekomen gezichtsindrukken later tot een samenhangend geheel te verbinden.

Hij derhalven, die, ten einde kosten te vermijden, niet meer dan een drietal objectiefstelsels van onderscheiden vergrooting wenscht te ontbieden, zal beter doen, met vooreerst af te zien van het zoo even genoemde sterkst vergrootende stelsel, en daarvoor liever een ander te kiezen, dat eene iets geringere vergrooting, b. v. van 300—550 maal met het zwakste oculair, geeft. Wanneer dan de beide andere stelsels zoodanig zijn, dat het eene met hetzelfde oculair aan eene 30—40 malige, en het andere aan eene 120—150 malige vergrooting beantwoordt, dan zal hij, bij het gebruik van zijn mikroskoop, slechts zelden in de gelegenheid komen, om naar een meer volledig stel objectieven te verlangen;

want, schoon het niet te ontkennen is, dat er eenige weinige gevallen bestaan, waarin de aanwending van de sterkste thans vervaardigde objectiefstelsels noodig is, om met overtuiging datgene waar te nemen, wat de iets zwakkere eenigzins minder duidelijk doen herkennen, en de eerste derhalven, bij een zoo volkomen mogelijk ingerigt mikroskoop, niet mogen ontbreken, zoo is echter het getal der gevallen, waarin hunne aanwending van werkelijk nut is, uiterst gering, in verhouding tot de groote menigte van andere gevallen, waarin zij, zonder enig nadeel voor de juistheid der waarneming, veilig gemist kunnen worden. Bij verreweg de meeste mikroskopische onderzoekingen is eene 500 malige scherpe vergrooting de uiterste grens, welke hoogst zelden behoeft overschreden te worden, en bij deze vergrooting zal een geoefend waarnemer reeds zeer veel ontdekken, wat aan den minder geoefenden bij eene 1000 malige ontsnapt. Het spreekt overigens van zelf, dat het hier gezegde slechts voor den tegenwoordigen toestand der mikroskopen geldt. Mogt het aan de kunst gelukken de sterkste objectiefstelsels nog tot eenen hooger trap van volkomenheid te brengen, dan is het oogenblik ook daar, waarop elk, die met de vorderingen der wetenschap gelijken tred wenscht te houden, volstrekt genoodzaakt is dezelve bij zijnen mikroskopischen toestel te voegen.

Een punt echter, dat hier niet uit het oog verloren mag worden, is de boven (§ 160) geschetste invloed der dekplaatjes op de scherpte van het door het mikroskoop waargenomen beeld. Ofschoon er nu, gelijk wij zagen, verschillende andere handelwijzen bestaan, om de daardoor te weeg gebrachte storing te verbeteren, zoo schijnt het echter wel, dat het beste middel daartoe, in de opzettelijke inrigting van eenige der sterker vergrootende objectiefstelsels voor het gebruik met

dekplaatjes van eene bepaalde dikte bestaat. Het is dus wenschelijk, dat de vervaardigers van mikroskopen hierop meer bedacht zijn, dan tot nog toe bij het meerendeel hunner het geval is geweest.

De wijze, waarop de lenzen gevat en onderling verbonden zijn, is natuurlijk niet geheel onverschillig voor de deugd en de bruikbaarheid van het stelsel. Vooral moeten zij met zorg gecentreerd zijn, zoodanig dat al de optische assen der verschillende lenzen in dezelfde rechte lijn liggen. Is zulks niet het geval, dan kan het niet anders zijn, of de zuiverheid en de vorm van het beeld moeten daaronder lijden.

Dat de sterkste lens in een stelsel naar het voorwerp moet toe gekeerd zijn, is reeds vroeger (§ 107) opgemerkt. Verder is het tot beveiliging dier lens wenschelijk, dat een smalle rand van het koperen busje, waarin dezelve besloten ligt, iets beneden hare oppervlakte uitpuilt, ten einde zooveel mogelijk te verhinderen, dat, bijaldien men onvoorzigtiglijk het stelsel met de benedenzijde op de tafel plaatst, of hetzelfde bij het gebruik in het mikroskoop te dicht op het voorwerp brengt, de oppervlakte dezer lens beschadigd wordt. De vorm der busjes behoort overigens zoodanig te wezen, dat daardoor de vrije door- en uitgang der lichtstralen geene belemmering ondervindt, terwijl het verkieslijk is, dat de gedaante der busjes van de sterkste objectieven, welke het digst bij het voorwerp moeten gebragt worden, benedenwaarts kegelvormig toeloopend is; iets dat wel bij vele, doch nog niet bij alle onze hedendaagsche mikroskopen wordt aangetroffen, en toch niet zonder belang bij het gebruik zal bevonden worden, dewijl men daardoor veel minder gevaar loopt, van de onderste lens met het voorwerp in aanraking te brengen, dan wanneer het geheele stelsel van onderen even wijd als van

boven is, waarbij men niet dan met moeite zien kan of er gevaar voor zulk eene aanraking bestaat.

De verbinding der stelsels met de buis van het mikroskoop geschiedt gewoonlijk door middel eener schroef. Zonder van andere vroeger in gebruik geweest zijnde wijzen hier te gewagen, daar zij minder geschikt zijn voor eene juiste centrering, moet ik hier echter de bajonetverbinding noemen, als even goed aan dit oogmerk voldoende als de schroef, en het voordeel bezittende van eene spoedigere verwisseling, terwijl bovendien daarbij geen gevaar bestaat, dat de objectiefstelsels aan de hand ontglippen en vallen, zooals bij het losdraaijen der schroefverbinding zeer ligt gebeurt. Het is hierom inderdaad te verwonderen, dat deze verbindingswijze nog slechts bij weinige mikroskopen wordt aangetroffen.

165. Het getal der oculairen bij een mikroskoop kan des noods nog beperkter wezen dan dat der objectieven. Als volstrekt vereischt, tot verrigting van nagenoeg alle soorten van onderzoekingen, beschouw ik niet meer dan een tweetal Huygenssche oculairen, waarvan het eene het door het objectiefstelsel gevormde beeld 5—6, het andere hetzelfde 8—10 malen vergroot, bij eene lengte der buis van omstreeks 20 centim. Wil men sterkere vergrootingen aanwenden, hetgeen in sommige gevallen zijne nuttigheid kan hebben, bepaaldelijk bij het doen van zeer naauwkeurige mikrometrische bepalingen, dan kan men er nog een oculair van 12—14 malige vergrooting bijvoegen. Oculairen, die het vergrootend vermogen nog meer versterken, kunnen als geheel overtollig en nutteloos beschouwd worden, want ofschoon het niet moeilijk is, bij alle nieuwere mikroskopen, door middel van sterke oculairen, of door het

langer maken der buis, de vergrooting tot 4—5000 doormeters te doen stijgen, zoo levert zulks niet het minste voordeel op, gelijk uit later uitvoerig mede te deelen daadzaken overtuigend blijken zal.

Als een wenschelijk, schoon geenzins noodwendig, bijvoegsel tot een mikroskoop meen ik om reeds (bl. 217) vermelde redenen, een oculair te moeten beschouwen, waarvan het oogglas eene Herschelsche aplanatische doublet is. Daar de bedoeling inzonderheid is daardoor een groot gezichtsveld te erlangen, zoo behoeft dit oculair geenzins sterk vergrootend te zijn, en kan hetzelfde in dit opzigt zeer gevoeglijk zelfs nog iets onderdoen voor het zwakste der zoo even genoemde Huygenssche oculairen.

De beide lenzen, welke een oculair zamenstellen, worden vereenigd door eene korte buis. Bij een Huygenssch oculair is daarin een ringvormig diaphragma geplaatst, op de hoogte, waar zich het beeld vormt, dus nagenoeg op den brandpuntsafstand van het oogglas. Hetzelve dient tot afsnijding der te schuins invallende stralen, die de zuiverheid van het beeld zouden benadeelen.

Wanneer het oogglas kleiner is dan de doormeter der pupil, of dien slechts weinig te boven gaat, dan behoort de platte bovenste oppervlakte van hetzelfde gelijk te zijn met de oppervlakte van den omgevenden rand, ten einde het oog zoo nabij mogelijk aan het oogglas te kunnen brengen, in welke stelling het gezichtsveld dan het grootst is. Doch naar mate de doormeter van het oogglas dien der pupil overtreft, zal men het oog op eenen verderen afstand daarvan moeten houden, ten einde aan de van de randen van het gezichtsveld komende stralen gelegenheid te geven het oog door de pupil binnen te treden. Hier is het dus gepast het oogglas iets beneden de bovenste opening te plaatsen.

De verbinding der oculairen met de buis van het mikroskoop geschiedt tegenwoordig vrij algemeen door eenvoudige inschuiving, hetgeen dan ook voorzeker, uit hoofde der gemakkelijker verwisseling, de voorkeur verdient boven de vroeger dikwerf gebruikelijke schroefverbinding.

164. Dat de lengte der buis, die het objectief met het oculair vereenigt, geenzins onverschillig is voor de juiste verbetering der aberratiën, en gevolglijk ook voor de scherpte van het beeld, hebben wij boven (§ 159) gezien. Men zoude het dus in het algemeen verkieslijk kunnen achten, dat aan dezelve door den vervaardiger die bepaalde lengte gegeven wordt, welke het meest in overeenstemming is met de verhouding der objectiefstelsels en oculairen tot elkander. Echter is het in eenige gevallen voordeelig, wanneer zij uit twee in elkander schuivende buizen is zamengesteld, welke veroorlooven den afstand tusschen het objectief en het oculair zoowel te verkorten als te verlengen. Deze inrigting is in tweederlei opzicht nuttig. Vooreerst levert zij een belangrijk middel tot verdere verbetering. Bij een mikroskoop namelijk, dat van verscheidene objectieven en oculairen voorzien is, is het schier onmogelijk te verwachten, dat eene en dezelfde buislengte ook het best bij alle combinatiën voldoen zal. Verders kan het verkorten der buis te pas komen bij de aanwending van dekplaatjes. Een voorafgaand onderzoek zal derhalven kunnen leeren, bij welke lengte der buis de optische volkomenheid van het mikroskoop in de verschillende gevallen haren hoogsten trap bereikt heeft, en dit kan alsdan tot rigtsnoer voor het vervolg dienen.

Eene tweede nuttige zijde dezer inrigting bestaat daarin, dat men het in zijne magt heeft door inschuiving of uit-

trekking der binnenste buis het vergrootend vermogen tot een bepaald cijfer te brengen. Dit is zeer gemakkelijk voor de toepassing van eenige mikrometrische handelwijzen. Het is b. v. veel eenvoudiger den doormeter van het beeld te deelen door 500, dan door 485 of 515; door 100, dan door 95 of 107. Ook is het bij sommige waarnemingen nuttig den waren doormeter van het gezichtsveld op eene bepaalde grootte te brengen, b. v. van 1, 2, 5 millim. enzv. Beide kan geschieden door eene verlenging of verkorting van den afstand tusschen het objectief en het oculair, en, mits dezelve binnen zekere grenzen blijven, ook zonder eene zeer in het oog vallende vermindering der scherpte van het beeld.

Het best beantwoordt aan deze verschillende oogmerken eene op de binnenste buis ingesneden verdeeling. De vervaardiger, of de gebruiker van het mikroskoop zelf, kan dan met behulp derzelve eene lijst ontwerpen, en hierop, naar aanleiding van een voorafgaand naauwkeurig onderzoek van het werktuig, al die bijzonderheden aanteekenen, welke later gedurende zijne nasporingen te pas kunnen komen.

165. Terwijl de tot hiertoe ontwikkelde grondbeginselen der optische inrichting van een zamengesteld mikroskoop als algemeen geldig, en op elk zoodanig werktuig in het bijzonder toepasselijk kunnen worden aangemerkt, zoo is het daarentegen veel bezwaarlijker bepaalde regelen te geven, volgens welke het overig werktuiglijk gedeelte behoort te zijn ingerigt. Hier komt veel aan op de eigendomlijke behoeften van den waarnemer, en den aard der nasporingen, waartoe hij zijn werktuig bij voorkeur wenschte te gebruiken. Van twee mikroskopen, welke beide, uit een mechanisch oogpunt beschouwd, even voortreffelijk zijn, zal het eene beter voor

een zeker bepaald onderzoek geschikt kunnen zijn, terwijl men voor andere onderzoekingen weder aan het andere de voorkeur zal geven.

Wel is het mogelijk een en hetzelfde werktuig aan een groot aantal doeleinden te doen beantwoorden, doch zulk eene vereeniging van verschillende werktuiglijke hulpmiddelen, waarvan eene groote kostbaarheid van het werktuig het noodzakelijke gevolg is, kan daarom nog geenzins in alle opzigten als winst beschouwd worden. Ligtelijk gaan, onder die overlading met toestellen van allerlei aard, met geledingen en bewegingen in allerlei rigting, andere meer wezenlijke voordeelen, namelijk stevigheid van het geheele werktuig, en eene geringe hoogte, zoodat men er zittende mede arbeiden kan, verloren. Zeer teregt zegt v. Mohl (1): »Hoe eenvoudiger de werktuiglijke inrigting van een mikroskoop is, des te sneller en gemakkelijker zal men alle de noodige bewegingen kunnen maken; hoe zamengestelder dezelve is, des te meer overweging en tijd kosten dezelve, en des te meer wordt de opmerkzaamheid gedurende de waarneming, tot nadeel van deze, verdeeld. Hij, wiens handen de noodige vaardigheid missen, om met een mikroskoop van een eenvoudig maaksel waar te nemen; wie voor iedere beweging, in plaats van zijne vingers te gebruiken, eene schroef noodig heeft, die is ook buitendien als mikroskopisch waarnemer ongeschikt, want hij zal te vergeefs trachten een bruikbaar praeparaat te vervaardigen.»

Deze woorden zijn volkomen waar, en mogen tot geruststelling en aanmoediging van hen strekken, wier tijdelijke middelen hun niet veroorlooven eenige honderde guldens te

(1) *Mikrographie*. s. 39.

besteden voor den aankoop van een enkel werktuig, en die desnietteenstaande wenschen den toestand der wetenschap te leeren kennen door eigen aanschouwing, en het hunne bij te dragen tot hare uitbreiding. Elk waarnemer, die zich gedurende eenige jaren opzettelijk met mikroskopisch onderzoek heeft bezig gehouden, zal het liefst een werktuig van de allereenvoudigste inrigting bezigen; en aan ieder, die er zich op wenscht toe te leggen, meen ik, — zelfs indien hij geene kosten behoeft te ontzien, — den op ondervinding gegronnen raad te moeten geven, van zich bij voorkeur een mikroskoop aan te schaffen, waarbij hij genoodzaakt is vele dier bewegingen, waartoe anders kunstmatige middelen dienen, met de hand te bewerkstelligen. Na eenige weken zal hij erkennen, dat de best aangebragte schroeven en raderen nimmer met eene geoefende hand kunnen wedijveren. Vele jaren lang heb ik een mikroskoop gebruikt, bestaande uit eenen kartonnen koker, met eene houten voorwerpplaat, en eenen spiegel gevat in eenen beenen ring; terwijl kleine glasbolletjes voor lenzen dienden, en ter beweging der busjes, waarin deze besloten waren, een rondsel strekte, zoo als bij de ouderwetsche Engelsche lampen wordt aangetroffen. Thans, nu eenige der beste en kostbaarste mikroskopen ter mijner beschikking staan, kan ik nagenoeg alle de gedurende dat tijdperk, met dit, in een mechanisch opzigt, hoogst gebrekkig werktuig, verrigte waarnemingen slechts bevestigen, en daar, waar er iets bij te voegen valt, is zulks niet te wijten aan de meerdere volkomenheid van de werktuiglijke inrigting, maar wel aan de betere optische samenstelling der hedendaagsche aplanatische mikroskopen.

De hoofdbedoeling van elke werktuiglijke inrigting van een

mikroskoop is de buis, welke den optischen toestel bevat, op den vereischten afstand van het voorwerp te brengen. Deze buis behoort derhalven zoodanig aan het gestel van het mikroskoop bevestigd te zijn, dat hare as zich juist boven het midden der doorboorde voorwerptafel en het middelpunt van den verlichtingstoestel bevindt. Middelen welke dienen moeten om deze stelling te veranderen, zoodat de buis boven verschillende punten der voorwerptafel kan worden gebracht, zijn geheel overbodig, daar het veel eenvoudiger is het voorwerp alleen te bewegen, en bovendien schadelijk, omdat daardoor eene goede regeling der verlichting, waarop zooveel aankomt, gestoord wordt.

Voor de toenadering kan *of* de buis, *of* de voorwerptafel beweegbaar gemaakt zijn. Beide handelwijzen hebben hunne voor- en hunne nadeelige zijde, en men treft zoowel de eene als de andere inrigting bij de tegenwoordige mikroskopen aan. Is de voorwerptafel beweegbaar gemaakt, dan behoudt het mikroskoop steeds dezelfde hoogte, iets dat den waarnemer eenig gemak verschaft. Ook voor het bijzonder geval, dat men (waarover later meer uitvoerig) het zamengesteld mikroskoop tevens als draagbaar zonnemikroskoop wenscht te gebruiken, is het verkieslijk niet de buis, maar de voorwerptafel op en neder te bewegen.

Daar echter het eerstgenoemde voordeel ter naauwernood in aanmerking mag komen, en bovendien zeer gering is, terwijl het tweede slechts bij eene bijzondere inrigting kan bestaan, zoo acht ik het, met v. Mohl en Goring, over het algemeen het doelmatigst, dat de voorwerptafel vast en onbeweeglijk zij, dewijl dezelve alleen dan die stevigheid kan bezitten, welke in vele gevallen, vooral bij het gebruik van den schroefmikrometer, zeer wenschelijk is. Hier komt

bij, dat wanneer de voorwerpplaat op en neder bewogen wordt, de verlichting telkens eene verandering ondergaat, tenzij de verlichtingstoestel aan de voorwerptafel zelve bevestigd is, waardoor hare zwaarte aanzienlijk vermeerderd wordt, hetgeen dan weder nadeelig werkt op de juistheid der beweging.

Staat daarentegen de voorwerptafel vast, dan kan dezelve zoo groot en zoo zwaar gemaakt worden, als men verlangt, en noodig oordeelt voor de verschillende toestellen, die men daarop plaatsen wil. Bovendien is zulk eene groote voorwerptafel van veel gemak bij het meten en teekenen door middel van het dubbelzien.

Overigens kunnen, bij eene juiste bewerking, de optische as van de buis en het middelpunt van den spiegel, gedurende de beweging der eerste, naauwkeurig gecentreerd blijven, zoodat ook deze door Chevalier (1) voor de onbeweeglijkheid van den optischen toestel aangevoerde grond vervalt.

Wanneer men dan als beginsel vaststelt, dat het in den regel de buis van het mikroskoop moet wezen, welke op en neder bewogen wordt, dan heeft de vervaardiger nog de keus tusschen een aantal verschillende wijzen, waarop deze beweging daaraan kan worden medegedeeld. Zonder in bijzonderheden te treden, willen wij ook hier bij de voornaamste stil staan. De minst kostbare inrichting bestaat in de buis te doen op en neder schuiven in eene tweede. Deze handelwijze kan echter alleen voor geringe vergrootingen genoegzaam naauwkeurig zijn, zoodat dan noodzakelijk nog een

(1) *Des microscopes et de leur usage*. 1839. Duitsche vertaling door Kerstein 1843. p. 98.

tweede bewegingsmiddel hierbij moet worden gevoegd, waartoe het best eene mikrometerschroef dient. Het is daarom, dat ik de voorkeur geef aan eene rondselbeweging. Zijn het getande rad (1) en de stang (de zaag) zuiver bewerkt, en het eerste voorzien van eene schijf van tamelijk grooten doormeter en met eenen gekartelden rand, dan kunnen daarmee zoowel de grovere als de fijnere bewegingen met spoed en geheel voldoende naauwkeurigheid verrigt worden. Bovendien is deze bewegingstoestel veel minder aan slijting onderhevig, dan eene mikrometerschroef. Mogelijk echter is de laatste meer aan hen aan te raden, die weinig gewoon zijn met het mikroskoop om te gaan, en daarom eerder gevaar lopen het objectief tegen het voorwerp te doen stuiten, indien de beweging door een rondsel geschiedt, dan wanneer daartoe eene steeds veel langzamere schroefbeweging dient. Het is dan ook om die reden, dat de vervaardigers van mikroskopen deze doorgaans van beide beweeginrigtingen voorzien.

De grondbeginselen waarnaar de verlichtingstoestel behoort te zijn ingerigt, ga ik, als dezelfde zijnde voor alle soorten van mikroskopen (met uitzondering der beeldmikroskopen), hier voorbij, dezelve voor eene latere opzettelijke beschouwing besparende.

166. Sommigen hebben de voorkeur gegeven aan eene horizontale stelling van het mikroskoop boven eene vertikale, ja zelfs heeft men beweerd (1), dat het de beste houding

(1) Welligt zoude in de plaats van het getande rad eene schroef zonder einde nog beter voldoen, daar hare beweging gelijkmatiger is. Ik weet niet, dat dezelve echter tot nog toe in aanwending is gekomen.

(2) Brewster, *Treatise on the microscope*. p. 166.

voor den waarnemer zoude wezen, indien hij op den rug liggend in de naar boven gekeerde mikroskoopbuis zag, zich daarbij grondende op de omstandigheid, dat alleen in die houding het vocht op het hoornvlies gelijkmatig naar alle rigtingen vloeit. Zulk eene voorzorg, zoowel als de vrees, dat door de voorovergebogen houding bloedophooping naar het hoofd zoude ontstaan, is gewis overdreven, en de aangevoerde gronden mijns inziens geenzins toereikend, om de ongepastheid eener vertikale stelling van het mikroskoop te bewijzen. Voor het gewone onderzoek is deze voorzeker de beste, daar, indien het geheele mikroskoop horizontaal geplaatst wordt, geene vochten op de alsdan vertikaal staande voorwerpplaat kunnen gebragt worden; terwijl wanneer in de buis een regthoekig gebogen glasprisma wordt geplaatst, de voorwerpplaat wel is waar horizontaal blijft, doch er een niet onbelangrijk verlies aan licht ontstaat. Alleen bepaaldelijk voor de aanwending der camera lucida tot teekenen is het wenschelijk de buis van het mikroskoop horizontaal te kunnen stellen; doch hierop, als ook op de verschillende andere katoptrische middelen, die dienen kunnen om de rigting der stralen naar willekeur te wijzigen, zal ik in een volgend hoofdstuk terugkomen.

167. Hetgeen van de geheele werktuiglijke inrigting van een mikroskoop geldt, dat namelijk al deszelfs deelen stevig en vast aaneensluitend behooren te wezen, zoodat geene andere bewegingen daarin ontstaan, dan die, welke men er opzettelijk aan mededeelt, is ook inzonderheid van toepassing op deszelfs voet. Deze moet de noodige zwaarte en omvang bezitten, om het daarop rustende ligchaam voor omkanteling te bewaren. Overigens is het tamelijk onver-

schillig, of die voet uit drie of uit vier pooten of klauwen bestaat, welke toegevouwen kunnen worden, of dat dezelve rond en trommelvormig is, of dat het kistje, waarin het mikroskoop geborgen wordt, tevens tot voetstuk dient.

Voor het gemak der waarnemers zoude ik het echter wenschlijk achten, dat de kistjes, zooals zij tot nog toe gewoonlijk in gebruik zijn, en waarin het mikroskoop in eene liggende stelling besloten is, door kastjes vervangen werden, waarin het werktuig regtop kan staan, en die veroorlooven hetzelfde spoedig er uit te nemen, en er na den afloop van het onderzoek weder in te plaatsen. Daardoor zoude het lastige uit- en in elkander vouwen van den voet vermeden worden, welker geledingen bovendien daardoor op den duur lijden. Ook heeft men dan het niet geringe voordeel van het mikroskoop te kunnen wegzetten, terwijl het glasplaatje, waarop zich eenig voorwerp bevindt, hetwelk eerst na eenige uren of den volgenden dag nader moet onderzocht worden (b. v. bij mikrochemische onderzoekingen), op de voorwerpplaat kan blijven liggen.

Deze opmerking moge aan sommigen van minder gewigt toeschijnen; zij zal zulks niet aan diegenen, welke van hun mikroskoop een dagelijksch gebruik maken. Reeds zijn velen met mij gewoon hunne mikroskopen onder glazen stolpen te plaatsen, doch het is duidelijk, dat een behoorlijk ingerigt regtopstaand kastje nog doeltreffender zoude wezen.

In het tot hiertoe gezegde is, naar ik meen, het hoofdzakelijke begrepen, wat bij eene algemeene beschouwing der optische en werktuiglijke inrigting van een zamengesteld mikroskoop in aanmerking behoort te komen. Eene menigte toestellen, die tot verschillende onderzoekingen moe-

ten dienen, en van welke een groot gedeelte geenzins tot de onmisbare vereischten voor den geoefenden waarnemer behoort, wiens vernuft hem niet alleen leert dezelve te ontbeeren, maar hem dikwerf betere schoon dan ook minder sierlijke middelen aan de hand zal geven, om dezelve te vervangen, zullen later vermeld en beschreven worden.

KATOPTRISCHE EN KATADIOPTRISCHE
MIKROSKOPEN.



168. **D**ezelfde oorzaak, welke den dioptrischen verrekijker gedurende eenen geruimen tijd het veld deed ruimen voor het spiegelteleskoop, de schadelijke invloed namelijk der chromatische aberratie, bragt ook te weeg, dat vele pogingen werden aangewend, om voor het dioptrische mikroskoop katoptrische en katadioptrische mikroskopen in plaats te stellen. De geschiedenis dezer pogingen is in menigerlei opzigt belangrijk, gelijk blijken zal uit het overzicht derzelven, dat in de laatste afdeeling van dit werk zal worden aangetroffen. Hier ter plaatse zal ik slechts in eenige hoofdtrekken de algemeene inrigting der tot deze klasse behoorende werktuigen schetsen, en tevens de opmerkzaamheid vestigen op die daadzaken, welke het oordeel moeten leiden bij hunnen vergelijking zoowel onderling als met andere soorten van mikroskopen, ter bepaling hunner betrekkelijke waarde voor het mikroskopisch onderzoek.

169. Daar de terugkaatsing van spiegelende oppervlakten, evenzeer als het brekend vermogen der doorschijnende stoffen, het middel aan de hand geeft, om de lichtstralen naar willekeur van hunnen weg te doen afwijken, zoo is

het duidelijk, dat spiegels van eenen zekeren vorm even goed vergroote beelden kunnen vormen, als lenzen. Dewijl echter over de theorie dezer beeldvorming door holle spiegels reeds vroeger (§ 13—25) het noodige gezegd is, zoo zal ik daar hier niet op terugkomen, maar mij alleen vergenoegen met te doen opmerken, dat men, door holle spiegels in plaats van lenzen te bezigen, zoowel katoptrische enkelvoudige mikroskopen (§ 16 5°), als katoptrische beeldmikroskopen (§ 16 5°) en katoptrische zamengestelde mikroskopen kan daarstellen, geheel beantwoordende aan de dioptrische werktuigen van gelijken naam en beteekenis.

De uitvoering der laatsten echter, t. w. der katoptrische zamengestelde mikroskopen, waarbij dus zoowel het objectief als het oculair door spiegels zoude vervangen worden, is (hoewel geenzins onmogelijk, daar men dit doel bereiken zoude, door het oculair zamen te stellen uit twee met de spiegelende oppervlakten naar elkander toegekeerde spiegels, waarvan de voorste doorboord is) tot nog toe achterwege gebleven, omdat deze inrigting vele bezwaren zoude opleveren, welke niet schijnen te kunnen opwegen tegen het betrekkelijk geringe voordeel van een volkomen achromatisme in het oculair. Men heeft derhalven in het zamengesteld mikroskoop, met behoud van het gewone dioptrische oculair, alleen het objectief met eenen katoptrischen toestel verwisseld, en zoo ontstonden de verschillende soorten van *katadioptrische* mikroskopen, welke hier inzonderheid in aanmerking komen.

170. Het getal der, gedeeltelijk werkelijk uitgevoerde, gedeeltelijk slechts voorgeslagen inrigtingen van dien aard, is vrij aanzienlijk, en zoude waarschijnlijk door nog andere combinatiën van holle, bolle en vlakke spiegels kunnen ver-

meerderd worden. Hunne optelling en waardering voor het vervolg besparende, wil ik, ten einde den minder met deze soort van mikroskopen bekenden lezer eenig voorloopig denkbeeld te geven van hunne werkingswijze, een paar dezer inrigtingen hier kortelijk vermelden.

De eene is die, welke het eerst door Amici is uitgevoerd. Fig. 76 stelt (naar zeer verkorten maatstaf) de optische samenstelling van zijn katadioptrisch mikroskoop voor. AB is een elliptische metalen spiegel. Zij behoort tot het schedelgedeelte eener ellipsoïde tegenover de groote as, gelijk *ab* in fig. 10. De beide brandpunten zijn in *x* en in *y*. Van een voorwerp in *x* geplaatst zoude zich dus (§ 25) in *y* een beeld vormen. Doch bij deze plaatsing van het voorwerp zoude hetzelfde noodzakelijk binnen in de buis moeten gelegen zijn, die den spiegel met het oculair in verband brengt, en het dus bij deze inrigting hoogst bezwaarlijk wezen het voorwerp behoorlijk te verlichten. Daarom is in het naastbijzijnde brandpunt *x* een klein vlak spiegeltje *cd*, onder eenen hoek van 45° , geplaatst. Dit spiegeltje vangt de stralen op, die uitgaan van het zich daaronder bevindend voorwerp *ab*, en kaatst dezelve terug naar den hollen spiegel AB, zoodat zich nu een beeld *a'b'* vormt, welks middelpunt in het andere brandpunt *y* ligt. Dit beeld wordt dan vervolgens op dezelfde wijze verder door het oculair vergroot, als dit bij het gewone zamengesteld mikroskoop geschiedt. In de afbeelding is zulks voorgesteld bij het gebruik van een Huygenssch oculair met een collectiefglas CD, waardoor het eenigzins verkleinde beeld *a''b''* ontstaat, hetwelk zich op den vereischten afstand van het oogglas EF bevindt, om daardoor vergroot gezien te worden. Evenzeer zoude men hier echter ook gebruik kunnen maken van het Ramsdensch

oculair, en welligt is aan hetzelfde voor katadioptrische mikroskopen bepaaldelijk de voorkeur te geven boven het eerstgenoemde, omdat het door den spiegel gevormde beeld dan niet vooraf verkleind wordt, en juist in het tweede brandpunt der ellips kan blijven.

Ook zoude bij deze soort van mikroskopen het gebruik van aplanatische oculairen, welke bij dioptrische zamengestelde mikroskopen van minder nut zijn, een groot voordeel opleveren, omdat het luchtbeeld vrij zijnde zoowel van de chromatische als van de sphaerische aberratie, ook het oculair vrij van alle aberratie zijn kan, en zelfs behoort te zijn, daar hier geene tegenstelde aberratiën elkander opwegen.

Men ziet, dat de holle spiegel AB in verband met het vlakke spiegeltje *cd* geheel den dienst vervult van het objectief in een zamengesteld mikroskoop, en van de vergrootende lens of het lenzenstelsel in een beeldmikroskoop. Het zoude zelfs niet moeilijk vallen elk dioptrisch mikroskoop van dien aard zoodanig in te rigten, dat hetzelfde ook met katoptrische objectieven kan gebruikt worden. Daartoe zoude echter een ander katoptrisch objectief, hetwelk door Brewster is voorgeslagen, doch, voor zoover mij bekend is, nog nimmer werkelijk uitgevoerd, nog meerdere geschiktheid bezitten. Hetzelfde is afgebeeld in fig. 77. Ook hier is een holle elliptische spiegel AB en een klein vlak spiegeltje voorhanden. De eerste is echter doorboord ten einde de van eenig voorwerp *ab* afkomstige lichtstralen toegang te verschaffen tot het vlakke spiegeltje *cd*, dat loodregt op de optische as gesteld is. Het is duidelijk, dat indien dit spiegeltje zich in het eene brandpunt *x* bevindt, dat dan in het andere brandpunt *y*, zich een beeld *a'b'* vormen zal.

Dit beeld kan dan of, even als in elk ander beeldmikroskoop, op een scherm worden opgevangen, of door een oculair verder vergroot worden beschouwd.

171. Uit de in § 25 gegeven ontwikkeling van de eigenschappen eener spiegelende ellipsoidische oppervlakte vloeit voort, dat behalven het schedelgedeelte ab of st fig. 10, ook nog andere gedeelten dier oppervlakte als katoptrisch objectief zouden kunnen gebezigd worden. Doppler heeft daartoe het gedeelte cd voorgeslagen. Hieraan zouden twee voordeelen verbonden zijn. Vooreerst kan dan het voorwerp zelf in het brandpunt x worden geplaatst, waarbij de dubbele terugkaatsing van twee spiegels, hetgeen altijd een aanmerkelijk verlies aan licht ten gevolge heeft, zoude vermeden worden. Ten tweede doet hij opmerken, dat het beeld door dit spiegelgedeelte gevormd minder onderhevig is aan die soort van afwijking, welke wij de elliptische aberratie (§ 25) genoemd hebben. Inderdaad is de ruimte tusschen de beelden $g'h'$ en $g'''h'''$ gevormd door de spiegelgedeelten ab en cd merkelyk grooter, dan die tusschen de beelden $g'''h'''$ en $g''h''$, welke ontstaan door de spiegelgedeelten cd en fe ; zoodat men dus besluiten moet, dat de elliptische aberratie des te grooter is, hoe meer nabij zich het spiegelgedeelte bevindt aan het punt, waar de groote as der ellipsden omtrek treft. Een niet onbelangrijk nadeel staat echter tegen deze voordeelen over, dat namelijk het vergrootend vermogen van het spiegelgedeelte cd merkelyk geringer is, dan van het schedelgedeelte ab . De brandpuntsafstand zoude dus in eene hieraan beantwoordende verhouding moeten verkort worden, in welk geval eene behoorlijke verlichting al spoedig groote bezwaren zoude ontmoeten; of wel de ver-

grooting zoude moeten versterkt worden, door aan de ellipsoïde, van welks oppervlakte de spiegel een gedeelte uitmaakt eene veel grootere lengte te geven. Daardoor zoude echter, gelijktijdig met den doormeter van het beeld, ook de invloed der elliptische aberratie aangroeijen. Alleen de ervaring zal kunnen beslissen, of het bezigen van zulk een spiegelgedeelte (al ware het dan ook niet gansch volgens het geheel onuitvoerbare en onpraktische voorstel van Doppler, die voor een katadioptrisch mikroskoop van deze samenstelling een geheel huis wil gebouwd hebben) inderdaad de voorkeur verdient boven het gewoonlijk gebruikte schedelgedeelte, voorondersteld namelijk, dat het aan de kunst gelukt eenen spiegel van dien vorm te slijpen, iets dat nog met eenigen grond kan betwijfeld worden.

172. Een katadioptrisch mikroskoop volgens de laatstgenoemde inrigting zoude echter nog het voordeel bezitten, dat de geheele spiegeloppervlakte in werkelijk gebruik komt, en dat de openingshoek ook eene juiste betrekkelijke maat voor de lichtsterkte van het beeld oplevert. Bij de andere inrigtingen is zulks namelijk niet het geval, omdat, hetzij door de opening in het midden des spiegels, hetzij door den vlakken spiegel, welke den weg voor de middelste stralenbundels afsluit, alleen die stralen, welke van de ter zijde gelegen gedeelten des spiegels worden teruggekaatst, tot samenstelling van het beeld medewerken. Voor zulke katoptrische objectieven moet derhalven eene herleiding verrigt worden, door te berekenen, hoe groot de opening en bij gevolg de openingshoek wezen zoude van eenen aequivalenten hollen spiegel, wiens geheele oppervlakte in werkelijk gebruik komt.

Nemen wij tot voorbeeld, hoe zulks geschieden kan, eenen doorboorden hollen spiegel, en stellen wij daarbij eenvoudigheidshalve, — hetgeen hier zonder aanmerkelijke dwaling kan geschieden, — dat de doormeter van den lichtkegel, ter plaatse waar deze den spiegel treft, gelijk is aan den middellijn des laatsten. Alsdan heeft men het geval, dat uit de cirkelvormige doorsnede van den lichtkegel een mede cirkelvormig gedeelte is weggenomen, en de opening van den aequivalenten spiegel zal dus gelijk zijn aan de middellijn van eenen anderen cirkel, welks inhoud overeenkomt met dien van het overgebleven ringvormig gedeelte. De straal van dien cirkel of de halve doormeter der opening wordt gevonden, door den vierkantswortel te trekken uit het verschil tusschen de vierkanten der stralen van den grooten en van den kleinen cirkel. Men vindt alsdan of door berekening, of door volgens deze uitkomst den gevonden doormeter en den brandpuntsafstand naar eenen vergrooten maatstaf op papier te brengen, (op eene dergelijke wijze als zulks voor het vinden van den openingshoek van lenzen is aangegeven (§ 122)), den openingshoek van den aequivalenten hollen spiegel (1).

Stelt men b. v. dat een holle spiegel, van 18 millim. in middellijn, eenen brandpuntsafstand van 15 millim. heeft, dan zal men den openingshoek $= 61^{\circ}56'$ vinden. Doch wanneer in dien spiegel een cirkelvormig onwerkzaam gedeelte of eene opening is van 6 millim. in middellijn, dan

(1) Indien de halve middellijn van den spiegel is $= R$, die van deszelfs onwerkzaam gedeelte $= r$, dan is die van den aequivalenten hollen spiegel $= R = \sqrt{R^2 - r^2}$, en, den brandpuntsafstand $= p$ en den openingshoek $= Q$ stellende, $\text{Tang. } \frac{1}{2} Q = \frac{R}{p}$.

zal het in werkelijk gebruik komend gedeelte gelijk zijn aan eenen spiegel, welks halve middellijn is $= \sqrt{(81 - 9)} = 8,49$ millim. De geheele doormeter der opening bedraagt dus 16,98 millim., en dit geeft voor denzelfden brandpuntsafstand eenen openingshoek van $58^{\circ}12'$.

175. Wanneer wij nu de dioptrische objectieven met de, alleen bruikbare, elliptische katoptrische objectieven vergelijken, dan blijkt, dat een hoofdverschil daarin gelegen is, dat, terwijl de eersten op alle afstanden beelden kunnen vormen, voor de laatsten daarentegen slechts één bepaalde afstand bestaat, waarop zich het beeld scherp vertoont. Voor beeldmikroskopen, waar het inderdaad wenschelijk is dien afstand te kunnen doen afwisselen, zijn dus de katoptrische objectieven, wanneer zij overigens, wat de uitwerking betreft, met de dioptrische gelijk mogten staan, minder verkieslijk.

Bij katadioptrische mikroskopen is dit bezwaar van veel minder aanbelang, en de zaak enkel uit een theoretisch oogpunt beschouwende zoude men zeer geneigd zijn aan dezelve den voorrang toe te kennen boven de dioptrische mikroskopen. Men heeft toch bij de eersten niets te vreezen van den invloed der chromatische aberratie, welke bij de laatsten, zoo als wij zagen, schoon aanzienlijk verbeterd, nimmer volkomen kan worden opgeheven. Verders is de sphaerische aberratie, zelfs bij spiegels, welker kromming bolvormig is, veel geringer dan bij lenzen van gelijke opening en brandpuntsafstand. Indien beide b. v. gelijk zijn aan 10 deelen, dan bedraagt de lengte dezer aberratie:

sphaerische holle spiegel,	0,51 deelen,
gelijkzijdige biconvexe glazen lens ($n = 1,5$),	4,17 "

lens van den besten vorm (1), 2,68 deelen,
 In het gunstigste geval is dus deze lengte bij den spiegel
 niet meer dan $\frac{1}{8} - \frac{1}{9}$ van die bij eene lens van gewoon glas.

Bovendien kan de invloed dezer afwijking geheel worden
 vermeden, door aan de spiegels eenen juisten elliptischen vorm
 te geven. Wel is waar blijft dan nog de elliptische aberratie
 over, doch haar invloed is zeer gering in verhouding tot
 dien der beide andere soorten van afwijking, terwijl zij in
 het midden van het gezichtveld volstrekt nul is.

Doch hoezeer men erkennen moet, dat deze voordeelen
 hoogst belangrijk zijn, zoo zijn zij nog geenzins voldoende
 om het pleit te beslissen, zoolang de praktische uitvoering
 niet met de theoretische beschouwing gelijken tred heeft ge-
 houden. De strijd tusschen dioptrische en katoptrische mi-
 kroskopen is geheel dezelfde, als die tusschen dioptrische en
 katoptrische telescopen. Beurtelings heeft dan het eene, dan
 het andere beginsel gezegevierd, al naar gelang het aan de
 kunst gelukte op den eenen of op den anderen weg grootere
 vorderingen te maken, en het laat zich niet met zekerheid
 voorzeggen, welke inrigting eindelijk den palm zal wegdragen.

Met groote waarschijnlijkheid kan men echter beweerden,
 dat de dioptrische mikroskopen, vooral na den hoogstaanzien-
 lijken vooruitgang, welken zij in de laatste jaren gemaakt
 hebben, nimmer geheel door de katoptrische zullen ver-
 drongen worden. Zoowel de vervaardiging als het gebruik
 der laatsten is aan groote bezwaren onderhevig, welker uit
 den weg ruiming zich niet voorzien laat. De naauwkeurige
 elliptische vorm is, inzonderheid bij spiegeltjes met eenen kor-

(1) Indien glas gebezigd wordt, dat eenen grooteren brekingsaanwijzer
 heeft, vermindert de lengte der sphaerische aberratie eenigzins. Verg. het
 tafeltje op bl. 47.

ten brandpuntsafstand, niet dan met de grootste moeite en zorg uitvoerbaar. Goring (1) verhaalt, dat Cuthbert, die tot nog toe onder allen de beste katadioptrische mikroskopen vervaardigd heeft, dikwerf eene geheele week lang over een enkel spiegeltje arbeidde, alvorens hetzelfde den vereischten vorm bezat. Volgens denzelfden zoude eene verandering van den vorm, welke niet meer dan een millioenste van een duim bedraagt, reeds invloed hebben op de zuiverheid van het beeld. En alhoewel deze op schatting berustende beweesing welligt eenigzins overdreven is, zoo bewijst zij echter, dat Goring, wien men ten aanzien van mikroskopen, en bepaaldelijk ook van de katadioptrische, geene kennis en ondervinding ontzeggen kan, zich ten volle overtuigd had van de groote moeilijkheid, die aan de vervaardiging van goede katoptrische objectieven verbonden is.

Doch ook al wanneer het gelukt, hetgeen werkelijk het geval schijnt te zijn geweest, om katadioptrische mikroskopen daar te stellen, die optisch even volkomen zijn, als de dioptrische, zoo als wij deze thans kennen, dan nog zouden de eerste bij het gebruik bezwaren opleveren, die niet over het hoofd mogen gezien worden bij een werktuig, dat bestemd is om mede te arbeiden, maar niet als een kunst- en pronkstuk in eene kast te worden weggezet, om er bij zeldzame gelegenheden uit de voorschijn te komen, en er dan eenige bepaaldelijk daarvoor geschikte voorwerpen door te laten zien. Bij schier alle mikroskopische onderzoekingen moeten de voorwerpen bevochtigd worden, niet alleen met water, maar ook met vlugtige zuren, azijnzuur, salpeterzuur, zoutzuur, enzv. Wanneer het voorwerp bedekt is met een glasplaatje, dan hebben de glazen lenzen van een

(1) *Micrographia*, p. 23, 25.

dioptrisch objectief daarvan weinig of niets te vreezen, terwijl daarentegen een metalen spiegeltje er onherstelbaar door bedorven zoude worden.

Eindelijk mogen wij bij deze vergelijking nog een belangrijk punt niet met stilzwijgen voorbijgaan. Door eene glazen lens treedt een zeer aanzienlijk gedeelte der lichtstralen weder aan de andere oppervlakte naar buiten. Reeds vroeger heb ik gezegd, dat, indien men de berekeningen van W. Herschel (1) tot grondslag legt, van 100 invallende stralen door eene enkele lens 94,8, door eene doublet 89,9 en door eene triplet 85,2 stralen zullen doorgelaten worden. Dezelfde nu bevond, dat, door de terugkaatsing eener enkele spiegellende metalen oppervlakte, van 100 invallende stralen 67,5, en na eene dubbele terugkaatsing, dus gelijk bij het meerendeel der katadioptrische mikroskopen, slechts 45,2 stralen overblijven.

Nagenoeg hiermede overeenkomend zijn de uitkomsten der vergelijkende waarnemingen van Tulley (2). Hij bevond dat de helderheid van eenen Newtoniaanschen spiegelteleskoop tot die van eenen dioptrischen verrekijker met een voorwerpglas van gelijke opening als de spiegel, stond als 1:2,56. Goring heeft hieruit berekend, dat de lichtsterkte van een Amicisch katadioptrisch mikroskoop, welks optische samenstelling geheel aan die van eenen Newtonschen teleskoop beantwoordt, tot de helderheid van een zamengesteld dioptrisch mikroskoop, hetwelk voorzien is van een enkel voorwerpglas, staat als 1:2,88, wanneer de kleine vlakke

(1) *On the Power of penetrating into space by Telescopes. Philos. transact.* 1800. p. 65.

(2) Goring and Pritchard, *Micragraphia*, p. 111.

spiegel, gelijk gewoonlijk, een derde van den doormeter des grooten heeft, en als $1:5,04$, indien (zoo als bij de sterkste katoptrische objectieven van deze samenstelling noodig is) de middellijn van den kleinen spiegel de helft van dien des grooten bedraagt. Daar nu, gelijk zoo even gebleken is, de helderheid eener enkele lens tot die eener triplet staat als $94,8:85,2$, zoo volgt, dat bij gelijken openingshoek de verhouding tusschen de helderheid van een katoptrisch objectief naar de samenstelling van Amici, en die van een uit drie lenzen bestaand objectiefstelsel, onder gewone omstandigheden is als $1:2,59$, en voor sterkere objectieven als $1:2,75$.

Wel is waar heeft dit aanzienlijk verschil in lichtsterkte bij mikroskopen niet zulk eenen belangrijken invloed als bij telescopen, omdat gene boven deze het groote voordeel vooruit hebben, van de voorwerpen sterk te kunnen verlichten, en om die reden is Goring dan ook van meening, dat de meerdere of mindere lichtsterkte der mikroskopen geenen grond oplevert, om hunne betrekkelijke deugdzaamheid te beoordeelen. Ik kan hem zulks echter geenzins geheel toestemmen. Ook schijnt deze meening werkelijk in strijd te zijn met het door hem zelve aangenomen beginsel, dat het doordringend vermogen eens mikroskoops afhangt van de grootte van den openingshoek van het objectief, dat is, met andere woorden, van deszelfs lichtsterkte. Elk mikroskopisch waarnemer weet trouwens, dat eene sterkere kunstmatige verlichting geenzins voldoende is, om het gemis aan helderheid van het werktuig zelve geheel te vergoeden, daar bij doervallend licht de zwakste tinten, of die, welke veroorzaakt worden door de minst ondoorschijnende gedeelten van een voorwerp, dan geheel verloren gaan, en er bovendien eerder interferentiën ontstaan, die verwarring in den gezichtsindruk te weeg brengen.

Eene andere opmerking mede door Goring (1) gemaakt, en welke ik ook door mijn ondervinding bevestigen kan, is de bruinachtige tint van het geheele gezichtsveld in een katadioptrisch mikroskoop, daardoor ontstaande, dat niet alle stralen in gelijke mate door metalen spiegels worden teruggekaatst. Deze kleur is onaangenaam voor het oog; echter levert zij geene genoegzame reden op, om het gebruik van katadioptrische mikroskopen daarom alleen af te keuren, daar dezelve bekend zijnde geenen invloed kan hebben op de naauwkeurigheid der waarneming.

Als slotsom dezer vergelijking meen ik te mogen vaststellen, dat, hoewel het geenzins als eene onmogelijkheid kan beschouwd worden, dat het aan de kunst eenmaal gelukt katoptrische objectieven te vervaardigen, die de beste dioptrische overtreffen, de aanwending der eersten toch altijd zeer beperkt zal blijven. Mogt de kunst het zoover gebragt hebben, dan kunnen bij een dioptrisch zamengesteld mikroskoop ook een of meerdere katoptrische objectieven gevoegd worden, om bij daarvoor geschikte voorwerpen te worden aangewend. Doch, naar het zich thans laat aanzien, zal ook voor het vervolg van tijd het dioptrisch mikroskoop, als werktuig tot eigenlijk onderzoek bestemd, den roem, dien het zich sedert eenige jaren verworven heeft, steeds blijven handhaven.

(1) L. c. p. 115.

MIDDELEN TOT VERANDERING VAN DE RIGTING DER STRALENBUNDELS
EN TOT HET PROJICIEREN DER BEELDEN.

174. Tot sommige doeleinden, zoo als tot het meten, teekenen enzv. van door het mikroskoop waargenomen voorwerpen, kan het nuttig zijn aan de stralen, alvorens zij het oog binnentreden, eene andere rigting mede te deelen, zoodat het vlak, waarin zij zich bewegen, eenen hoek vormt met dat van hunnen oorspronkelijken loop, zonder dat echter hunne betrekkelijke onderlinge rigting hierdoor eene verandering ondergaat.

Daartoe dienen onderscheidene katoptrische middelen, welke, als van meerdere of mindere toepassing zijnde op alle soorten van mikroskopen, het gevoegelijkst te zamen in een afzonderlijk hoofdstuk behandeld worden.

Men kan hier twee klassen onderscheiden, t. w.

1° die middelen, welke ten doel hebben, om aan de lichtstralen binnen in de buis van het mikroskoop eene veranderde rigting te geven, en

2° die, welker bestemming het is de reeds buiten het mikroskoop getreden stralen onder eenen anderen hoek in het oog te doen geraken, in dier voege, dat zij van eene andere plaats buiten het mikroskoop afkomstig schijnen te zijn.

175. Ter bereiking dezer oogmerken kunnen wederom twee hoofdwegen worden ingeslagen.

Vooreerst namelijk kan men gebruik maken van vlakke metalen spiegels, en ten tweede kan hier het beginsel der totale reflectie (z. § 50) aan de grensscheiding tusschen twee doorschijnende middenstoffen, worden in toepassing gebracht.

De ondervinding leert, dat over het algemeen aan de laatste de voorkeur moet worden gegeven, omdat daarbij minder verlies aan licht wordt geleden. Terwijl namelijk bij de terugkaatsing van eene metalen spiegelende oppervlakte ongeveer 0,55 der loodregt invallende stralen niet weder worden teruggekaatsst, bedraagt het verlies, bij den doorgang van eene niet te dikke plaat van wit glas, niet meer dan 0,08, en zelfs nog minder.

176. Daar, waar men verlangt aan de stralen binnen in de buis van het mikroskoop eene andere rigting te geven, maakt men dus teregt gebruik van glazen prismata, wier vorm de rigting bepaalt, waaronder de stralen hunnen verderen weg naar het oog zullen vervolgen.

De meest gebruikelijke vorm is die van een regthoekig prisma, waarvan de doorsnede in fig. 78 is voorgesteld. Wanneer op zulk een prisma evenwijdige stralen a , b , c , d en e loodregt vallen, dan zullen zij, zonder gebroken te worden, de hypothenusevlakte AB bereiken, en deze treffen onder eenen hoek van 45° , en, daar de grenshoek voor gewoon glas ongeveer 40° bedraagt, zoo heeft aan deze oppervlakte eene volkomene terugkaatsing plaats onder denzelfden hoek van 45° , zoodat derhalven de stralen, eenen regten hoek vormende met de oorspronkelijke rigting, zich naar e , d , c , b en a zullen begeven. Wanneer men dus zulk een prisma met de zijde BC naar het oog houdt, dan zal men alle de voorwerpen waaruemen, welke stralen zenden naar

de oppervlakte AB. Hierbij zal men echter tevens opmerken, dat zich de voorwerpen niet meer geheel in hunne oorspronkelijke rigting vertoonen. Even als bij elke terugkaatsing (§ 9) heeft ook hier eene halve omkeering plaats, gelijk ook uit de figuur blijken kan, waar de teruggekaatste stralen ten opzichte der invallende stralen in eene omgekeerde orde op elkander volgen.

Zulk een regthoekig glazen prisma nu kan op alle punten van de buis tusschen het objectief en het oculair geplaatst worden, terwijl, gelijk van zelf spreekt, de buis alsdan daar ter plaatse regthoekig moet zijn omgebogen. Fig. 79 stelt den gang der lichtstralen voor, indien zulk een prisma digt boven het objectief van een zamengesteld mikroskoop geplaatst is. Zonder tusschenkomst van het prisma ABC zouden de divergerende stralenbundels van welke a en b de grenzen zijn, zich langs de gestippelde lijnen naar a'' en b'' begeven. Door het prisma worden zij naar a' en b' teruggekaatst, doch hierbij blijft de graad hunner uiteenwijking volkomen dezelfde, zoodat de afstand, waarop zich het beeld vormt, daardoor geene verandering ondergaat.

Het nut van zulk een prisma, waardoor men in de gelegenheid gesteld wordt in eene horizontale rigting in een mikroskoop te zien, zonder genoodzaakt te zijn ook de voorwerptafel regtop te plaatsen, hetgeen de aard van de meeste onderzoekingen niet gedooft, laat zich uit tweederlei oogpunt beschouwen.

Vooreerst is het voor sommigen gemakkelijker in een horizontaal dan in een vertikaal gesteld mikroskoop te zien (verg. § 166). Deze grond zoude echter dan alleen ten voordeele van het prisma kunnen beslissen, wanneer hetzelfde geenerlei schadelijken invloed op de scherpte van het beeld uitoefende. Dit is echter inderdaad het geval. Twee oorza-

ken kunnen hiertoe zamenwerken. Eensdeels namelijk verliest het mikroskoop hierdoor aan lichtsterkte; want, hoewel het verlies geringer is dan door eenen metalen spiegel, is hetzelfde toch geenzins zoo gering, dat het geheel kan veronachtzaamd worden. Anderendeels moet de allergeeringste afwijking der oppervlakten van volkomen platte vlakken schadelijk werken, daar hierdoor eene verwarring ontstaat in de oorspronkelijke betrekkelijke rigting der stralen. Dat nu het slijpen van een volkomen plat vlak eene der moeilijkste opgaven is, weet elk werktuigkundige, en het laat zich verwachten, dat zelfs de met de meeste zorg bearbeide prismata niet volmaakt vlakke oppervlakten zullen hebben. Hoe het zij, de ondervinding heeft geleerd, dat ook het uitmuntendste prisma eenigen afbreuk doet aan de scherpte der beelden, en als *vast* bestanddeel der optische inrigting van een mikroskoop is hetzelfde derhalven volstrekt af te keuren. Ook zijn diegene, welke het vroeger als zoodanig gebezigd hebben, thans daar weder van terugkomen.

Doch ten tweede kan zulk een prisma worden aangewend, om de stralen in eene horizontale rigting te brengen, ten einde in de gelegenheid gesteld te zijn door middel van de camera lucida en andere toestellen van dien aard, waarover zoo aanstonds nader, de beelden te kunnen meten en teekenen. Hier derhalven is het prisma als *tijdelijk* bestanddeel van het mikroskoop geheel op deszelfs plaats, en als zoodanig gebruikt behoort hetzelfde tot de nuttigste toevoegselen aan een mikroskoop. Tot dit doel is het echter voldoende, dat het prisma in eene afzonderlijke regthoekig omgebogen buis bevat zij, welker eene einde in de buis van het mikroskoop past, terwijl het andere einde voor het opnemen der oculairen geschikt is.

Ook is het niet te ontkennen, dat gedurende langdurige onderzoeken, alsmede bij het teekenen, deze inrigting eenig gemak voor den waarnemer oplevert. Nog beter voldoet evenwel aan dit oogmerk (schoon niet bij de aanwending der camera lucida) een prisma, hetwelk, gelijk dat in fig. 80, de stralen in eene rigting terugkaatst, die meer beantwoordt aan de gewone houding van het hoofd, en bij welks gebruik het oculair ongeveer eenen hoek van 45° met de buis van het mikroskoop maakt.

Bij het gebruik van zulke prismata, vooral van het eerste, is het raadzaam gedurende de waarneming, het licht af te sluiten, dat ter zijde van het oculair in het oog zoude kunnen dringen, omdat de pupil hierdoor kleiner wordende, deze eenen stralenbundel van geringeren doormeter uit het mikroskoop zoude doorlaten, en het netvliesbeeld bij gevolg minder lichtsterkte zoude bezitten. Hiertoe is het voldoende het oculair te omgeven met eene doorboorde schijf, welke van bordpapier kan vervaardigd zijn, dat met zwart papier overplakt is.

177. Eene tweede klasse van katoptrische middelen heeft, gelijk gezegd is, ten doel de rigting der stralenbundels te veranderen, nadat zij het mikroskoop verlaten hebben, en vóór zij het oog binnentreden.

Het eenvoudigste hulpmiddel van dien aard levert eene gewone glasplaat op. Wanneer men deze, fig. 81 AB, onder eenen hoek van 45° met de as van het oog houdt, dan zullen de stralen, welke van eenig voorwerp *p* uitgaan, die mede eenen hoek van 45° met de glasoppervlakte vormen, naar het oog toe worden teruggekaatst, zoodat het beeld van het voorwerp gezien zal worden in eene rigting, welke eenen regten hoek daarstelt met de ware rigting,

waarin zich het voorwerp bevindt. Daar nu de glasplaat doorschijnend is, zoo ziet het daarboven gehouden oog tevens de zich daaronder bevindende voorwerpen; is b. v. *ef* de doorsnede van eenig vlak, dan zal het beeld *p'* daarop worden waargenomen, of, zoo als men dit gewoonlijk noemt, daarop worden geprojecteerd. Bevindt zich dus daar ter plaatse een stuk papier, dan zal men als het ware eene afteekening van het beeld hierop waarnemen.

Zulk een glasplaatje nu kan onder den genoemden hoek boven de opening van een oculair worden bevestigd (hetgeen gevoeglijk met een weinig was geschieden kan), en dan zal men de beelden die het gezichtsveld innemen, in een vlak zien, dat evenwijdig loopt met de buis van het mikroskoop. Is deze vertikaal geplaatst, dan vertoonen zich de beelden ook in een vertikaal vlak; is de buis daarentegen horizontaal, dan ziet men de beelden in een horizontaal vlak, en daar deze laatste stelling voor teekenen en meten de verkieslijkste is, zoo behoort de buis bij deze en bij alle volgende toestellen van dien aard horizontaal geplaatst te zijn, waartoe dan het zoo even (§ 176) beschreven regthoekige prisma het meest geschikte hulpmiddel aanbiedt.

178. Wanneer men echter als terugkaatsingsmiddel zulk een glasplaatje bezigt, dan zal wel een groot gedeelte, maar niet alle, der onder eenen hoek van 45° invallende stralen worden teruggekaatst, omdat de grenshoek voor stralen, die uit de lucht komende eene glasoppervlakte treffen, ongeveer 50° bedraagt. Een gedeelte der stralen treedt dus het glas binnen, en indien nu het plaatje uit spiegelglas van de gewone dikte, b. v. 1—2 millim., bestaat, dan zal aan de onderste oppervlakte *ab* eene tweede terugkaatsing plaats grijpen.

Daar nu, gelijk uit de figuur blijkt, de aan de beide oppervlakten teruggekaatste stralen geenzins tezamen vallen, zoo ziet het oog, behalven het beeld p' , noch een daar nevens geplaatst iets flauwer beeld p'' , hetwelk door de terugkaatsing aan de andere oppervlakte ontstaan is.

Dit bezwaar kan op tweederlei wijzen worden uit den weg geruimd. Vooreerst kan men een plaatje gebruiken, hetwelk zoo dun is, dat de rand van het tweede beeld ophoudt zichtbaar te zijn, omdat dezelve nagenoeg zamensmelt met die van het eerste beeld. De dunste geslepen glasplaatjes zijn hiertoe echter niet voldoende. Zelfs wanneer men daartoe dekplaatjes aanwendt, die niet meer dan $\frac{1}{5}$ millim. dikte bezitten, zal men nog altijd de beelden door eenen dubbelen rand omzoomd zien. Veel beter voldoet hier een zeer dun en vlak micaplaatje. Men kan de mica gemakkelijk in plaatjes splijten, die niet meer dan $\frac{1}{20} - \frac{1}{30}$ millim. dikte bezitten; de dubbele randen der beelden houden bij deze dunheid op waarneembaar te zijn, en werkelijk heb ik bevonden, dat zulk een micaplaatje van ongeveer 10—12 millim. in het vierkant, met een weinig was boven de opening van het oculair onder eenen hoek van 45° vastgekleefd, de kostbaardere camera lucida en andere toestellen van dien aard in zeer vele gevallen ontbeerlijk maakt.

In de tweede plaats kan men hetzelfde doel bereiken, door in stede van een glasplaatje van gewone dikte, een ander aan te wenden, hetwelk zoo dik is, dat de stralen, die aan de onderste oppervlakte teruggekaatst worden, niet meer gelijktijdig met die van de bovenste de pupil kunnen binnentreden. Het glas moet daartoe eene dikte van 5—6 millim. bezitten. Wanneer $ABcd$ fig. 81 de doorsnede van zulk een glasplaatje voorstelt, waarvan AB de bovenste, cd de onderste

oppervlakte is, dan is het uit de figuur duidelijk, dat de van de onderste oppervlakte teruggekaatste stralen ter zijde van de pupil vallen, zoodat dus het beeld in het oog alleen gevormd wordt door de stralen, die van de bovenste oppervlakte worden teruggekaast.

179. Uit het reeds gezegde volgt echter, dat men bij de eene of andere dezer handelwijzen steeds eenig licht verliest, omdat de totale reflectie hier niet volkomen plaats grijpt. In vele gevallen zal men wel is waar met dezelve kunnen volstaan, doch wanneer het beeld in het gezichtsveld van het mikroskoop weinig lichtsterkte bezit, dan verdient de aanwending der *camera lucida* van Wollaston de voorkeur, omdat in deze niet meer licht verloren gaat, dan bij den doorgang door glas in het algemeen.

Zij is in doorsnede afgebeeld in fig. 82. ABCD is een klein glazen prisma, waarvan de hoek B regt is, terwijl de hoek C 155° bedraagt. De stralen, die van een in p geplaatst voorwerp uitgaan, zullen dan tweemaal, bij a en bij b , de totale reflectie ondergaan, en in zulk eene rigting in het oog geraken, als of het voorwerp zich in p' bevond. Wanneer dus de oppervlakte BD voor de opening van een oculair gesteld is, dan wordt het beeld onder eenen regten hoek op eene zich daaronder bevindende vlakte geprojicieerd.

180. Er zijn nog andere wijzen, waarop hetzelfde doel kan bereikt worden, doch welke gedeeltelijk op een ander beginsel steunen. Fig. 85 a stelt de doorsnede voor van een klein rond metalen spiegeltje, hetwelk door Sömmering is uitgedacht, en naar hem zijnen naam voert. Dit spiegeltje,

welks middellijn omstreeks 2 millim. bedraagt, is kleiner dan de pupil. Wordt hetzelfde onder eenen hoek van 45° naar eenig voorwerp p gekeerd, dan treden de teruggekaatste stralen het oog onder eenen gelijken hoek binnen. Dewijl echter de pupil iets grooter is, dan het spiegelkje, zoo ziet het oog te gelijker tijd de voorwerpen, die in dezelfde rigting geplaatst zijn, want van de oppervlakte de zullen de stralen, die van de punten b , c enz. uitgaan, gelijktijdig met de door het spiegelkje teruggekaatste stralen, langs de randen van dit laatste gaande, het oog bereiken, en door de pupil toegang tot het netvlies vinden. Er heeft dus hier, evenzeer als in de vorige gevallen, eene projectie van het beeld p' plaats, en zulk een spiegelkje kan derhalven bij een mikroskoop op gelijke wijze als eene camera lucida gebruikt worden.

Oberhäuser heeft het beginsel der totale reflectie ook hier met vrucht toegepast, door het spiegelkje te verwisselen met een zeer klein regthoekig glazen prisma. Door fig. 84, waar a de doorsnede van het prisma is, wordt zulks opgehelderd. De terugkaatsende hypothenusevlakte is mede kleiner dan de pupil, terwijl de wijze van werking en aanwending ook overigens volkomen gelijk is aan die van het Sömmersche spiegelkje, zoodat het zoo even gezegde over den gang der stralen ook hier volkomen toepasselijk is.

181. Nog eene andere, het eerst door Amici vervaardigde inrigting moet hier vermeld worden, dewijl, hoewel zij in beginsel eenigzins afwijkt van de vorigen, zij in doel er geheel mede overeenstemt. Deze inrigting bestaat uit een regthoekig glazen prisma A , fig. 85, en een rond doorboord spiegelkje, waarvan de doorsnede in ab is voorgesteld. Dit spiegelkje vormt met de as van het mikroskoop eenen hoek

van 45° , terwijl de bovenrand van het prisma iets onder den benedenrand van het spiegeltje is gelegen. Dit prisma nu is zoo geplaatst, dat een straal, welke van eenig punt p' komt, gelegen in het vlak ef , na bij d eene totale reflectie ondergaan te hebben, wederom door het spiegeltje naar het oog wordt teruggekaatst, en de pupil binnentreedt gelijktijdig met den straal, die van p , in de optische as gelegen, door de opening c van het spiegeltje gaat.

Deze toestel onderscheidt zich dus daarin van de vorigen, dat het oog, door de opening van het spiegeltje heen, onmiddellijk het gezigtsveld van het mikroskoop ziet. Er heeft derhalven geene projectie der hierdoor waargenomen beelden plaats, maar daarentegen worden de zich in het vlak ef bevindende voorwerpen, de hand des teekenaars, het papier enz., geprojectieerd op het gezigtsveld, zoodat ten slotte het oogmerk, om beide terzelfder tijd in één vlak te zien, eveneens bereikt wordt, terwijl deze toestel het voordeel heeft van de gelegenheid te verschaffen, om gemakkelijker in eene zittende houding te arbeiden.

182. Het gebruik van alle deze toestellen vordert eenige voorzorgsmaatregelen, om hunne werking zoo volkomen mogelijk te doen zijn. Later, wanneer ik over het teekenen en over het meten van mikroskopische voorwerpen opzettelijk handelen zal, zal ik tevens op die voorzorgen opmerkzaam maken, welke bij hunne aanwending tot deze bepaalde oogmerken in acht moeten genomen worden. Hier zij het voldoende aan te teekenen, dat het vlak, waarop het beeld wordt geprojectieerd, steeds weinig licht behoort terug te kaatsen, ten einde de opening der pupil zoo groot mogelijk zij. Geschiedt dus de projectie op een daaronder ge-

plaatst wit papier, dan moet men, hetzij met de hand of door eenig ander voorwerp daarop eene schaduw laten vallen. Eene zwart gekleurde oppervlakte, b. v. van eene lei, voldoet doorgaans het best, en daar men hierop tevens met eene griffel teekenen kan, zoo wend ik dezelve bij voorkeur aan.

183. Eindelijk meen ik ook nog hier ter plaatse van eene handelwijze gewag te moeten maken, welke, ofschoon de rigting der lichtstralen daardoor geenerlei verandering ondergaat, echter in bedoeling na overeenstemt met de aanwending der reeds vermelde katoptrische hulpmiddelen. Ik meen het projicieren der beelden, die het eene oog waarneemt, op die, welke door het andere oog gezien worden. Men noemt dit het *dubbelzien*. Wanneer men eenig ondoorschijnend ligchaam, b. v. eenen vinger op eenigen afstand voor het eene oog houdt, zoodat een eenigzins verwijderd voorwerp daardoor voor dit oog bedekt is, dan zal men hetzelfde met het andere oog nog ontwaren, en bij eene zekere rigting van dit laatste zal het schijnen, als of men het voorwerp door den vinger heen ziet. Iets dergelijks zal men, na eenige oefening, door het mikroskoop zien. Wanneer men met het eene oog het voorwerp in het gezichtsveld waarneemt, en met het andere naar eenig ter zijde van het mikroskoop gehouden ligchaam, b. v. een potlood, eenen passer, enzv. ziet, dan zal het schijnen als of deze zich gelijktijdig met het voorwerp in het gezichtsveld vertoonen. Ziet men b. v. met het linker oog door het mikroskoop, en heeft men ter regter zijde van hetzelfde een stuk papier geplaatst, dan zal het gezichtsveld en het papier op elkander geprojecteerd zijn, en men zal op het laatste de omtrekken der

beelden kunnen teekenen, die zich in het eerste bevinden.

Dit dubbelzien vordert wel is waar eenige oefening, doch men kan zich deze handelwijze echter spoedig eigen maken, hetgeen ik aan beginnende waarnemers niet genoeg kan aanbevelen, eensdeels omdat het de eenvoudigste wijze is om de beelden te projicieren, en anderendeels, omdat het de eenige is, waarbij volstrekt geen verlies aan licht ontstaat. Dit voordeel inzonderheid is zeer belangrijk, want bij alle de vroeger vermelde handelwijzen is men, bij eenigzins aanzienlijke vergrootingen, genoodzaakt de voorwerpen sterk te verlichten, waardoor de waarneming hunner fijnste bestanddeelen zeer benadeeld wordt. Bij het dubbelzien heeft men daarvoor niet te vreezen, en de eenige voorzorg die men nemen moet, ten einde de illusie meer volkomen te maken, bestaat daarin: dat men aan de oppervlakte, waarop het beeld zal geprojiceerd worden, bij voorkeur eene kleur geeft, die zoo na mogelijk met die van het gezichtsveld overeenstemt, aan welk oogmerk papier van verschillende tinten, op de voorwerptafel geplaatst, het best beantwoordt.

MIDDELEN TOT REGTREERING DER BEELDEN; HET
PANKRATISCH MIKROSKOOP.

184. **D**e omgekeerde rigting, welke alle beelden in zamengestelde mikroskopen aannemen, heeft wel is waar op de juistheid der waarneming volstrekt geen invloed, doch desniettemin is dezelve zeer lastig in die gevallen, waar men genoodzaakt is de voorwerpen onder het mikroskoop te praepareren.

Door veel oefening kan men dit bezwaar wel voor een groot deel te boven komen, doch ik twijfel echter, of wel ooit iemand volkomen even goed bij deze omgekeerde stelling der beelden onder het zamengestelde mikroskoop zal leeren arbeiden, als onder het enkelvoudig mikroskoop en de loupe. Zij althans, die niet dagelijks de eenmaal met veel moeite verkregen vaardigheid onderhouden, zullen telkens ondervinden, dat de bewegingen van onze handen en vingers slechts dan de meeste vastheid, juistheid en fijnheid bezitten, wanneer zij in de rigting geschieden, waaraan ons de vergelijking tusschen de gezichtsindrukken en de gevoelsindrukken van kindsbeen af gewend heeft.

Het is derhalven niet onbelangrijk dit gebrek van het zamengesteld mikroskoop te verbeteren. Zulks kan echter niet geschieden zonder eenige opoffering. Door het gewone ge-

tal van glazen toch laat zich zulk een regtkeering der beelden niet bewerkstelligen. Steeds moeten er tot dit doel meerdere glasoppervlakten op den weg der stralen gesteld worden, en daar elk derzelve eenig verlies aan lichtsterkte met zich brengt, zoo spreekt het van zelf, dat men door zulk een regtkeerend mikroskoop nimmer het voorwerp zoo scherp ziet, als door een ander, waarin zich de beelden omgekeerd vertoonen.

Dit leidt reeds dadelijk tot den regel: dat men daar, waar het op naauwkeurigheid en scherpte der waarneming aankomt, zich nimmer van de verschillende middelen tot regtkeering bedienen moet. Als vast bestanddeel der optische inrigting mogen zij derhalven nooit in aanwending komen, doch als tijdelijk bestanddeel, dat men naar willekeur gebruiken, en weder verwijderen kan, zijn zij daarentegen van het grootste nut.

184. Er zijn twee verschillende handelwijzen, waarop de regtkeering der beelden kan bewerkstelligd worden; de eerste berust op katoptrische, de tweede op dioptrische grondbeginselen. Beiden, inzonderheid de laatste, laten dan nog onderscheiden wijzigingen toe.

Reeds zagen wij (§ 176), dat, indien een prisma, hetzij regthoekig gebogen zijnde, gelijk in fig. 78 en 79, of van den vorm als dat in fig. 80, op den weg der lichtstralen gesteld wordt, de beelden eene halve omkeering ondergaan, even als wij in eenen gewonen spiegel ziende, alles wat regts is links, en alles wat links is regts waarnemen, terwijl de verhouding tusschen boven en onder dezelfde blijft. Het eenige dus dat men te doen heeft, om de omkeering, en derhalven in een zamengesteld mikroskoop de regtkeering van

het beeld, volkomen te doen zijn, is eene tweede terugkaatsing te doen plaats hebben, welke geschiedt in een vlak, dat regthoekig gesteld is op het vlak, waarin de eerste terugkaatsing geschiedt. Men zoude dus een tweede regthoekig prisma met een der regthoeksvlakken zoodanig boven het oculair kunnen plaatsen, dat het hypothenusevlak regthoekig gesteld was op dat van het eerste prisma. Wanneer men dan, van ter zijde ziende, de stralen opving, die door de andere regthoekvlakte naar buiten treden, dan zoude men een geheel om- en dus regtgekeerd beeld waarnemen.

Zulk eene houding, waarbij men in eene horizontale rigting van ter zijde in een mikroskoop ziet, zoude echter zeer lastig zijn, en althans volstrekt niet geschikt, om het praepareren op de voorwerptafel gemakkelijker te maken. Men kan echter hetzelfde regthoekige prisma ook op eene andere wijze aanwenden, die beter aan dit oogmerk beantwoordt. Indien men het namelijk in de houding plaatst, zooals het in fig. 86 A is voorgesteld, d. i. met de hypothenusevlakte *wv* in evenwijdige rigting met de optische as van het mikroskoop, dan zullen de stralen *a*, *b*, *c*, *d* bij hunne intrede van hetzelfde gebroken, en vervolgens bij *d'*, *c'*, *b'*, *a'* aan de hypothenusevlakte teruggekaatsd worden naar *d''*, *c''*, *b''*, *a''*. Zulk een prisma kan derhalven in deze houding, hetzij in de buis van het mikroskoop, of vóór het oculair worden geplaatst; en wanneer hetzelfde geschiedt in een mikroskoop, dat reeds voorzien is van een terugkaatsend prisma, dan kan de waarnemer in dezelfde rigting blijven zien als vroeger, d. i. in de horizontale, indien dit prisma regthoekig is, of onder eenen zekeren hoek, van b. v. 45° , wanneer, gelijk bij dat in fig. 80, de terugkaatsing onder zulk eenen hoek geschiedt. Zelfs kunnen twee regthoekige prismata in de houding als

in fig. 86 A en B dicht boven elkander in de buis van een vertikaal mikroskoop gebragt worden, zoodat bij de regtkeering van het beeld ook de vertikale stelling behouden blijft.

Het is derhalven op deze wijze mogelijk niet alleen het beeld weder in de oorspronkelijke rigting van het voorwerp te brengen, maar zulks ook met behoud van de voordeelen, die voor het praepareren op de voorwerptafel, aan de vertikale of eene daarvan weinig afwijkende stelling van het mikroskoop verbonden zijn. Bovendien blijft de verbetering der aberratiën dezelfde, dewijl er geen grooter getal bolle glasoppervlakten dan anders gebezigd wordt.

Doch tegenover deze gunstige eigenschappen staat een zeer belangrijk nadeel. Het verlies aan licht is bij dezen regtkeeringstoestel veel aanzienlijker dan bij eenigen anderen. Uit de beschouwing van fig. 86 blijkt dadelijk, dat evenwijdige stralen onder eenen hoek van 45° op de eene reghoekvlakte moeten vallen, om onder denzelfden hoek weder de andere te verlaten. Bij dezen schuinschen inval wordt het meerendeel der stralen, eerst aan de oppervlakte *xv* en vervolgens aan de andere *xu* teruggekaatst, zoodat een betrekkelijk klein gedeelte aan deze zijde naar buiten treedt, en in werkelijk gebruik komt. Zijn nu bovendien twee zulke prismata boven elkander gesteld, dan is het verlies aan licht zoo groot, dat slechts zeer weinige stralen van die, welke van het voorwerp uitgaan, tot het oog geraken, en men, in weerwil van eene sterke kunstmatige verlichting van het voorwerp, deszelfs omtrekken slechts flauw bespeurt. Elk, die twee zulke prismata bezit, kan zich hiervan overtuigen. Indien slechts een der beide prismata het licht schuins invallend opvangt, dan is het verlies wel is waar veel geringer, doch ook dan nog zoo groot, dat naar mijne meening alleen dan van dit hulp-

middel zoude mogen gebruik worden gemaakt, indien er geen ander bestond, dat tot hetzelfde doel leidt.

185. Beschouwen wij thans de dioptrische handelwijzen, die hier in aanmerking kunnen komen. Ofschoon in eigenlijk wezen niet verschillende, daar allen ten doel hebben door tusschenbrenging van eene of meerdere lenzen eene omkeering van het beeld te weeg brengen, zoo willen wij dezelve echter duidelijkheidshalve tot twee hoofdwijzen brengen, waarvan de eerste beoogt de omkeering reeds nabij het objectief, de andere in het oculair te doen plaats grijpen.

Op elken afstand, mits langer zijnde dan de brandpuntsafstand, kan men achter eene lens het beeld doen ontstaan van eenig daarvoor geplaatst voorwerp. Hetzelfde geldt dus ten opzichte van het objectief van een zamengesteld mikroskoop. Wanneer men, in stede van het voorwerp digt bij deszelfs brandpunt te brengen, gelijk vereischt wordt, om het beeld vóór het oogglas te doen vallen (§ 146), het voorwerp al verder en verder van het objectief verwijderd, dan nadert het beeld de tegenovergestelde oppervlakte meer en meer, en wordt tevens allengs kleiner, tot dat eindelijk, wanneer beider afstanden van het optische middelpunt gelijk zijn aan den dubbelen brandpuntsafstand van het objectief, luchtbeeld en voorwerp even groot zijn, terwijl vervolgens, door nog grootere verwijdering van het laatste, het eerste kleiner dan dit wordt. Indien men nu het omgekeerde luchtbeeld, even als of het een voorwerp ware, door een zamengesteld mikroskoop beziet, dan zal het schijnbeeld zich in de oorspronkelijke rigting van het voorwerp vertoonen.

Op dit beginsel steunt de inrigting van het *pankratisch* (van *παν* alles en *κρατεω* magtig zijn) mikroskoop, aldus ge-

noemd, omdat men, alleen door verandering in de plaats van het luchtbeeld te brengen, de vergrooting binnen tamelijk ruime grenzen kan versterken of verminderen. Fig. 87 moge zulks verduidelijken; A en B stelt een gewoon doubletstelsel van aplanatische lenzen voor, waaraan men natuurlijk de voorkeur boven eene enkele lens geeft, dewijl het hier van groot belang is het luchtbeeld in al deszelfs deelen zoo volkomen mogelijk aan een waar voorwerp gelijk te maken. De oververbetering van dit stelsel behoort daarom ook zeer gering te wezen. Een voorwerp ab zal dan, op behoorlijken afstand van het brandpunt p geplaatst zijnde, in $b'a'$ een omgekeerd beeld vormen. Dit beeld vóór een tweede objectiefstelsel CD vallende, zal in $a''b''$ wederom een beeld geven, hetwelk de oorspronkelijke rigting van het voorwerp zal hebben aangenomen. Dit beeld kan nu, hetzij als zoodanig op een scherm worden omgevangen, en men heeft dan een regtkeerend beeldmikroskoop, of men kan hetzelfde door een gewoon oculair beschouwen, als wanneer men een regtkeerend zamengesteld mikroskoop zal hebben.

Indien het stelsel CD het objectief van een zamengesteld mikroskoop is, dan is het duidelijk, dat, voor hetzelfde oog, de afstand van het beeld $b'a'$ van de onderste oppervlakte der dubbellens D steeds dezelfde moet blijven. Om dus de vergrooting te wijzigen wordt vereischt, dat beide stelsels, AB en CD elk in eene afzonderlijke buis bevat zijn, waarvan de eene over de andere glijdt. Door den afstand tusschen de beide stelsels grooter te maken, zal dan ook het beeld $b'a'$ in grootte toenemen, doch omgekeerd verminderen, door de beide stelsels digter bij elkander te brengen; totdat eindelijk wanneer beider brandpunten in één vallen, er zich geen beeld meer daartusschen vormt, en de vergrooting bij

gevolg nul is. De afstanden der brandpunten van beide stelsels bepalen dus eene der grenzen voor de beweegruimte; de andere grens wordt alleen beperkt, eensdeels door het bezwaar, hetwelk verbonden is aan eene te groote lengte van het werktuig, anderendeels door het verlies aan scherpte in de beelden bij toenemende vergrooting.

Ten einde het gezegde door een voorbeeld op te helderen willen wij stellen, dat het zamengesteld mikroskoop, waarvan het stelsel CD het objectief is, op zich zelve gebruikt den doormeter van eenig voorwerp 25 maal zoude vergrooten. Stellen wij verders, dat de brandpuntsafstand van het voorste stelsel bedraagt 10 millim., en dat de lengte der beide over elkander glijdende buizen eene beweegruimte van 55 millim. toelaat, indiervoege dat, wanneer de stelsels het digst bij elkander gebragt zijn, het beeld op 15 millim., en, wanneer zij het verst van elkander verwijderd zijn, op 50 millim. achter het optische middelpunt van het stelsel AB valt. Dan zal, in het eerste geval, de grootte van het beeld (z. de noot bij § 151) zijn $= \frac{15 - 10}{10} = 0,2$ van die van het voorwerp, en dus de geheele vergrooting $= 25 \times 0,2 = 5$. De afstand van het voorwerp bedraagt dan $\frac{10 \times 15}{15 - 10} = 30$ millim.

In het tweede geval zal het beeld $\frac{50 - 10}{10} = 4$ maal grooter zijn, dan het voorwerp, en het geheele cijfer der vergrooting dus zijn $25 \times 4 = 100$; terwijl het voorwerp zich op eenen afstand zal bevinden van $\frac{10 \times 50}{50 - 10} = 12,5$ millim. van het optische middelpunt van het voorste stelsel.

Tusschen deze beide uiterste vergrootingscijfers 5 en 100 in, liggen dan al de overige.

Het is duidelijk, dat elk gewoon zamengesteld mikroskoop tijdelijk in een pankratisch kan veranderd worden, door in de plaats van een gewoon objectiefstelsel een pankratisch objectief te gebruiken. Ten einde een groot gezigtsveld te erlangen, hetgeen het arbeiden op de voorwerptafel gemakkelijker maakt, is voor zulk een geval aan een Ramsdensch oculair de voorkeur te geven boven dat van Huygens.

186. Zulk een pankratisch objectief zoude dus als een zeer wenschelijk bijvoegsel tot elk zamengesteld mikroskoop moeten worden beschouwd, indien er niet nog eene andere handelwijze bestond, welke ten minste even goed aan het hoofdoogmerk, de regtkeering der beelden namelijk, beantwoordt, en het voordeel heeft van minder kostbaar te zijn, omdat hiertoe geene achromatische dubbellenzen volstrekt gevorderd worden. Men kan namelijk de regtkeering in het oculair verplaatsen, op dezelfde wijze als men zulks gewoon is te doen in den verrekijker, wanneer deze ingerigt is voor het zien naar aardsche voorwerpen.

Daartoe kan het oculair op meer dan eene manier gewijzigd worden. De eenvoudigste is die, welke voorgesteld is in fig. 88. De lens A is een gewoon collectiefglas, dat, even als in elk ander geval (z. fig. 72 EF), de stralen, die van het objectief komen, tot een omgekeerd beeld *ba* vereenigt. Wanneer nu het voorwerp op den vereischten afstand van het objectief geplaatst is, dan zal dit beeld op eenen zoodanigen afstand van de tweede lens B komen te liggen, dat er op niet te grooten afstand daarachter in *a'b'* een tweede, doch nu regtgekeerd beeld ontstaat, hetwelk

dan door het oogglas C vergroot kan beschouwd worden. Zulk een regtkeerend oculair, als in de figuur is voorgesteld, kan derhalven beschouwd worden als bestaande uit een gewoon Huygenssch oculair A en B, en een oogglas C. Doch hetzelfde laat nog verscheidene wijzigingen toe. In de plaats van door dit laatste glas alleen, kan het regtgekeerde beeld, hetzij door een Huygenssch, of nog beter, uithoofde van het grootere veld (1), door een Ramsdensch oculair beschouwd worden, zooals in fig. 89, waar $a'b'$ het regtgekeerde beeld voorstelt, hetwelk zich vóór de voorste lens van een oculair dezer laatste samenstelling bevindt. Hieruit vloeit dadelijk voort, dat elk, die bij zijn mikroskoop twee oculairen bezit, hetzelfde in een regtkeerend mikroskoop kan veranderen, door het eene oculair op eenen zekeren afstand, met behulp eener buis die beiden vereenigt, boven het andere te plaatsen. Wel is waar zullen de beelden zich dan niet zoo scherp en vrij van aberratie vertoonen, als wanneer men door één oculair alleen waarneemt (2), doch voor het praktische doel, dat men beoogt, het praepareren der voorwerpen namelijk voor een nader naauwkeurig onderzoek, is zulks ook minder noodig. Het pankratisch beginsel kan hier overigens ook in toepassing worden gebragt,

(1) Waarschijnlijk zal eene Herschelsche aplanatische doublet hier nog beter voldoen (z. bl. 207).

(2) De theorie leert, dat de hoegrootheid der aberratie verminderen moet, in reden van het vierkant van het aantal der in een oculair gebruikte glazen, indien deze op de behoorlijke afstanden van elkander verwijderd zijn; zoodat derhalven, bij een oculair, dat uit vier glazen bestaat, de aberratie vier maal geringer zoude zijn, dan indien het uit slechts twee glazen was zamengesteld. Hier is echter een van die gevallen, waar de ervaring of met de theorie in strijd is, of hare eischen niet volkomen vervullen kan, want elke lens, die boven het getal van twee, tot samenstelling van een oculair wordt gebezigd, vermindert niet alleen de lichtsterkte, maar ook de netheid van het beeld.

want door verwijdering van de lens C fig. 88, of van het tweede oculair CD, fig. 89, van de lens B, neemt de vergroting toe, terwijl zij afneemt, door de lenzen tot elkander te doen naderen. Wanneer men echter gewone oculairen onderling verbindt, dan zal het verschil bij eene gelijke mate van verlenging minder aanzienlijk wezen, dan bij het gebruik van een pankratisch objectief, omdat de brandpuntsafstanden van de niet verbeterde lenzen der eersten langer moeten zijn.

Een bezwaar, dat tegen de verplaatsing der regtkeering van het beeld tusschen de glazen van het oculair zoude kunnen worden aangevoerd, is de meerdere lengte, welke het mikroskoop daardoor verkrijgt. Werkelijk zullen sommigen, die beproeven mogten, om, naar de zooeven gegeven aanwijzing, een tweede oculair op eenigen afstand boven het eerste te plaatsen, bevinden, dat hun werktuig daardoor zoo lang wordt, dat zij moeite hebben daardoor behoorlijk te zien, en tevens met de handen op de voorwerpplaat te arbeiden. Dit bezwaar ontspruit echter niet zoo zeer uit het beginsel van een regtkeerend oculair, dan wel uit de te grootte hoogte, die vele vervaardigers buiten noodzakelijkheid aan hunne werktuigen geven.

Tevens leert men bij zulk eene gelegenheid het voordeel kennen van de buis van het mikroskoop te kunnen verkorten (§ 164). Dat men alsdan met gewone oculairen zeer wel een regtkeerend mikroskoop van eene matige lengte kan daargestellen, moge uit het volgende voorbeeld blijken. Van een klein, dagelijks door mij gebruikt mikroskoop van Amici (1), kan de helft der buis verwijderd worden. Wanneer

(1) Amici voegde vroeger bij zijn groot horizontaal mikroskoop eenen

dit geschied, en er behalven een Huygenssch oculair nog een Ramsdensch met eene verlengbuis op geplaatst is, waardoor het mikroskoop regtkeerend is geworden, dan bedraagt de hoogte van het geheele werktuig tot aan de tafel 52 centim., zoodat men nog met veel gemak in eene zittende houding arbeiden kan. Ook lijdt het geen twijfel, of men zoude, door, naar gelang men de lengte der buis vermindert, sterkere lenzen in de oculairen te gebruiken, regtkeerende mikroskopen kunnen daarstellen, die nog aanzienlijk veel korter zijn.

Over het geheel genomen schijnt het mij toe, dat de laatste handelwijze (1) de voorkeur verdient boven de eerste, omdat zij eenvoudiger, minder kostbaar en even doelmatig is, want het pankratisch objectief geeft wel eene grootere speelruimte voor de vergrooting, doch dit voordeel is hoogst gering, daar men voor de geringste vergrotingen, bij welke men praepareert, toch altijd liever eene loupe zal gebruiken, en bij de sterkere, die b. v. 50 maal te boven gaan, de beweging onzer handen niet meer vast en zeker genoeg is, om met vrucht daarvan gebruik te maken. Het komt mij daarom wenschelijk voor, dat de vervaardigers van mikroskopen meer algemeen, dan tot nu toe het geval is geweest, bij dezelve een regtkeerend oculair voegen, hetwelk,

kleinere vertikale toestel, welke voor het gebruik van dezelfde objectieven en oculairen, die bij het eerste behooren, geschikt is. Het is deze, welke boven bedoeld is.

(1) Nog moet ik hier doen opmerken, dat bij katadioptrische mikroskopen de regtkeering van het beeld op dioptrische wijze, alleen door het oculair kan bewerkstelligd worden; tenzij men door het katoptrisch objectief zich een beeld laat vormen, dat men vervolgens door een gewoon dioptrisch zamengesteld mikroskoop beziet. Op die wijze zoude een katadioptrisch pankratisch objectief ontstaan.

gelijk boven gebleken is, dan zoo zoude kunnen ingerigt zijn, dat het uit twee oculairen bestaat, die ook elk op zich zelve kunnen worden aangewend. Zulk eene bijvoeging, waardoor de prijs van een mikroskoop schier geene verhooging kan ondergaan, zoude veel doelmatiger zijn, dan de vervaardiging van zoogenaamde *dissectiemikroskopen*, welke volgens de boven ontwikkelde beginselen zijn ingerigt, en, hoezeer geheel voldoende aan het eigenlijke oogmerk, waartoe zij bestemd zijn, den bezitter in de noodzakelijkheid brengen zich nog bovendien een ander mikroskoop, voor meer naauwkeurig onderzoek bestemd, aan te schaffen.

Men vergeete nimmer, dat tot vermeerdering van het getal der beoefenaren eener wetenschap, welke stoffelijke hulpmiddelen tot hare beoefening vordert, niets krachtiger medewerkt, dan die stoffelijke hulpmiddelen, niet alleen zoo goed, maar ook zoo goedkoop mogelijk te maken.

187. Eenigzins moeilijk is de beantwoording der vraag: of, — nu het zamengesteld mikroskoop niet alleen door deszelfs meerdere scherpte en andere deugden, als werktuig tot waarneming boven het enkelvoudig mikroskoop te verkiezen is, maar het bovendien gelukt is aan hetzelfde het eenige daaraan klevend gebrek, de omgekeerde rigting van het beeld namelijk, te ontnemen, — men voortaan het enkelvoudig werktuig geheel zal kunnen ontbeeren? Waarschijnlijk zullen velen, die een regtkeerend zamengesteld mikroskoop bezitten, en zich aan deszelfs gebruik gewend hebben, deze vraag met ja beantwoorden, en men moet erkennen, dat het enkelvoudig mikroskoop daardoor werkelijk in zeer vele gevallen ontbeerlijk gemaakt is, terwijl het grootere gezigtsveld en de verdere afstand der objectieven van het voorwerp niet

te miskennen voordeelen zijn. Anderen zullen daarentegen met v. Mohl (1) de voorkeur blijven geven aan het enkelvoudig mikroskoop, bij hetwelk het hoofd voorover gebogen en het oog, gedurende het arbeiden, digt boven de handen wordt gehouden. Hier komt natuurlijk veel op gewoonte aan.

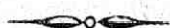
Eene meer gewigtige bedenking schijnt de mindere optische volkomenheid van het regtkeerend mikroskoop in vergelijking met het enkelvoudige, vooral wanneer dit van dubletten voorzien is. Inderdaad komt het mij niet waarschijnlijk voor, dat het eerste in dit opzicht ooit geheel met het laatste zal kunnen wedijveren, eensdeels uit hoofde van het groote getal der terugkaatsende oppervlakten, anderendeels omdat eene volledige verbetering der aberratiën bij de meerdere zamengesteldheid hier moeilijker bereikbaar schijnt dan bij het gewone zamengesteld mikroskoop, inzonderheid wanneer het pankratische beginsel in toepassing wordt gebragt, daar elke verandering in den onderlingen afstand der lenzen met eenige verandering in den graad van verbetering gepaard gaat (z. § 159). Echter moet men erkennen, dat bij de geringe vergrootingen, waarbij het regtkeeren der beelden alleen te pas komt, deze invloed weinig merkbaar is, terwijl bovendien, wanneer men zich tot eene kleinere speelruimte in de afwisseling der vergrooting bepaalt, het niet moeilijk is den regtkeerenden toestel zoodanig in te rigten, dat de beelden eene genoegzame scherpte bezitten, die volkomen toereikend is voor het doel, waartoe de inrigting bestemd is.

In één opzicht zal evenwel het enkelvoudig mikroskoop steeds

(1) *Mikrographic*, s. 227.

den voorrang blijven behouden, t. w. door de kleinheid van deszelfs bestek, waardoor het op reizen en wetenschappelijke wandelingen een gemakkelijk draagbaar werktuig is; en daarom zal het voor hem, wiens werkring zich niet binnen de grenzen van het enge studeervertrek bepaalt, maar die de natuur te midden der natuur zelve wil bestuderen, altijd onmisbaar blijven.

VERLICHTING DER MIKROSKOPISCHE
VOORWERPEN.



188. **D**e meeste mikroskopische waarnemingen vorderen de aanwending van eenen toestel tot verlichting der voorwerpen, eensdeels ten einde deze met behoud der horizontale stelling van de voorwerptafel op eenen helderen achtergrond te kunnen zien, anderendeels ten einde zoowel bij het onderzoek van doorschijnende als bij dat van ondoorschijnende lichamen, het door- of opvallend licht naar gelang der omstandigheden te kunnen wijzigen.

De verlichtingstoestel maakt daarom steeds een belangrijk deel van elk mikroskoop uit, en hoewel men niet hoopen kan door eene goede verlichting immer een slecht mikroskoop tot een goed te maken, zoo zal echter de werking van een mikroskoop, welks overig optisch gedeelte de meeste volkomenheid bezit, steeds meer of minder gebrekkig blijven, indien er de middelen aan ontbreken, om de voorwerpen op zulk eene wijze te verlichten, welke voor hunne eigendomslijkheid de meest gepaste is.

Dat doorschijnende en ondoorschijnende voorwerpen elk eenen bijzonderen toestel tot verlichting vorderen, spreekt van zelf, doch elk mikroskopisch waarnemer zal bovendien bevinden, dat de aard der voorwerpen ook in andere opzig-

ten den aard der verlichting bepaalt, dat sommige een sterk, andere een zwak licht vorderen, dat eenige zich het best vertoonen bij parallel, anderen bij divergerend of bij convergerend, wederom andere bij schuins invallende lichtstralen. Reeds dit doet zien, dat de verlichtingstoestel aan verschillende vereischen moet beantwoorden, en dat hare doelmatige inrigting eene der hoofdvoorwaarden is van de bruikbaarheid van een mikroskoop.

Wanneer men de mikroskopen van onderscheiden vervaardigers onderling vergelijkt, zal men bespeuren, dat, terwijl zij het omtrent de wijze, waarop de objectieven en oculairen moeten zijn vervaardigd en ingerigt, tamelijk wel eens blijken te zijn, er daarentegen in de verlichtingstoestellen nog veel verschil wordt opgemerkt. Dit verschil kan alleen daaraan worden toegeschreven, dat het grondbeginsel, hetwelk elk hunner leidt, hoewel op zich zelve beschouwd en voor sommige gevallen volkomen waar, veelal te eenzijdig en te uitsluitend wordt toegepast, met verwaarlozing van andere grondbeginselen, die in andere gevallen evenzeer hunne toepassing vinden. In het laatste gedeelte van dit werk zal de lezer de bewijzen hiervoor aantreffen, bij de nadere beschrijving der toestellen zelve, terwijl ik mij hier bepalen zal bij de ontwikkeling der regelen, die tot eene goede verlichting der mikroskopische voorwerpen behooren te worden in acht genomen, daarbij uitgaande van een algemeen standpunt, welks juistheid zoowel door de theorie als door de ervaring gestaafd wordt.

189. In de eerste en voornaamste plaats willen wij daartoe stilstaan bij de verlichting met doervallend licht, omdat deze de bij het onderzoek meest gebruikelijke is.

Zij vordert ook nog daarom eene meer uitvoerige beschou-

wing, omdat bij het gewone zien, buiten het mikroskoop, het oog minder aan deze verlichtingswijze gewoon is, dewijl men verreweg de meeste voorwerpen van boven verlicht waarneemt.

Indien echter het eenige middel, om ook met het bloote oog de voorwerpen te zien, daarin bestond, dat men dezelve op eenen verlichten achtergrond plaatste, zoodat het netvlies schaduwbeeldjes van dezelve opving, dan zoude het blijken, dat in het wezen der zaak de verlichting van voorwerpen, die met het bloote oog zullen gezien worden, en van diegene, welke door het mikroskoop worden beschouwd, aan gelijke voorwaarden voldoen moeten.

Hetgeen vroeger (§ 97) omtrent het zien met het bloote oog bij doorvallend licht gezegd is, kan dus op het mikroskopische zien bij dezelfde verlichtingswijze, als van onmiddelijke toepassing geacht worden. Echter bestaat tusschen beiden één belangrijk verschil, hetwelk wij hier niet uit het oog moeten verliezen. Zoowel bij het zien met het bloote oog, als door het mikroskoop, zal men over het algemeen een voorwerp in deszelfs geheel het best dan waarnemen, wanneer de lichtstralen gelijkmatig vallen op alle punten van het vlak, waarin het voorwerp gelegen is; doch tot de waarneming van sommige bijzonderheden in hetzelfde is het dikwerf voordeelig het in eene zoodanige rigting door het licht te doen treffen, dat het eene gedeelte anders dan het andere daardoor beschenen wordt. Bij het gewone zien keeren wij daarom het voorwerp in die stelling naar het licht, waarbij wij deze bijzonderheden het duidelijkst waarnemen. Men heeft b. v. eene glasplaat, waarin, uithoofde eener gebrekkige menging, zoogenaamde striae aanwezig zijn. Deze zullen welligt bij eene zekere stelling der plaat niet waar-

neembaar zijn, omdat de daardoor veroorzaakte afwijking der lichtstralen alsdan te gering is, om een schaduwbeeld op het netvlies te weeg te brengen; doch door dezelfde glasplaat in eene eenigzins veranderde stelling tegenover het licht te houden, vertoonen zich de striae duidelijk, dewijl de afwijking der lichtstralen, die het gevolg is van het verschillend brekend vermogen der onderscheiden aaneengrenzende lagen, nu groot genoeg is, om eenen indruk op het netvlies te veroorzaken. Hebben wij een dergelijk schoon kleiner glasplaatje onder het mikroskoop, of wel, hetgeen hetzelfde is, een mengsel van twee zich niet dadelijk vermengende vochten, welke een verschillend brekend vermogen bezitten, b. v. zwavelzuur en water, dan kan het zeer wel gebeuren, dat wij van de ook hier werkelijk aanwezige striae bij eene zekere rigting van het doervallend licht niets bespeuren. De inrigting van een mikroskoop nu laat niet toe de stelling der voorwerpen even zoo te veranderen, als zulks bij het zien met het bloote oog kan geschieden, maar daarom moet hier het omgekeerde plaats hebben, d. i. terwijl bij het gewone zien de voorwerpen in de gunstigste stelling tegenover het licht worden gebracht, moet bij het zien door een mikroskoop de verlichtingstoestel zoo zijn ingerigt, dat het licht in de gunstigste stelling ter waarneming van het voorwerp kan gebracht worden. En werkelijk zoude men bevinden, indien men op de zoo even als voorbeeld gekozen glasplaat, of op het mengsel van twee vochten, het licht in eene schuinsche rigting liet invallen, dat dan de blijken van gebrekkige menging te voorschijn komen.

Iets dergelijks nemen wij in talrijke andere gevallen waar. Een dun voorwerp, b. v. eene strook papier, met den smalle kant naar het oog gekeerd, wordt gemakkelijker waar-

neembaar, zoodra het door de stelling tegenover het licht, eene slagschaduw werpt. Even zoo is het alleen bij eene schuins invallende verlichting mogelijk, sommige moeilijk zichtbare mikroskopische voorwerpen, b. v. de dwarsstreepjes op de schubbetjes van sommige vlinders, te onderscheiden, omdat zich alsdan aan derzelver tegen het licht overstaande zijde eene slagschaduw vormt.

Bij volkomen ondoorschijnende lichamen is het alleen de onderschepping der lichtstralen, welke het voorwerp zichtbaar maakt. Hier kan derhalven de betrekkelijke onderlinge rigting der lichtstralen die tot verlichting dienen, slechts van weinig invloed zijn. Doch de meeste voorwerpen, die onder het mikroskoop bij doorvallend licht onderzocht worden, zijn meer of minder volkomen doorschijnend, en het is alleen het brekend en terugkaatsend vermogen, dat zij op de door dezelve vallende lichtstralen uitoefenen, waardoor een gedeelte van deze niet tot het oog geraakt, en ten gevolge hiervan zulke voorwerpen zichtbaar worden. Nu is het duidelijk, dat het geenzins onverschillig kan zijn, of parallele, divergerende of convergerende stralen zulke voorwerpen treffen, maar tevens ook dat men aan geene dezer drie betrekkelijke rigtingen eene onbepaalde voorkeur kan toekennen, daar het geheel van den vorm der oppervlakten van de voorwerpen afhangt, of zij zich bij eene derzelve het duidelijkst zullen vertoonen. Een uiterst dun kristalplaatje b. v., hetwelk met deszelfs platte oppervlakte naar het oog des waarnemers ligt toegekeerd, zal niet meer zichtbaar zijn, indien hetzelfde door parallele loodregt van onderen daarop vallende stralen verlicht wordt, terwijl het daarentegen nog waargenomen zal kunnen worden, indien divergerende stralen deszelfs oppervlakte treffen, omdat dan de schuins invallende stralen sterker gebroken

of teruggekaatst wordende, de hoeveelheid licht, die het oog niet bereikt, aanzienlijker is, en de randen aldus zichtbaar worden (1).

190. Het is verders vroeger (§ 96) gebleken, dat een voorwerp dan het best gezien zal worden, wanneer de tegenstelling tusschen den indruk van dezelfs netvliesbeeldje en den indruk van het lichtbeeld op het omgevende netvliesgeedeelte het grootst is, doch tevens (§ 84), dat het bloote oog de voorwerpen bij doervallend licht geenzins het best ziet, wanneer dat licht zeer sterk is, maar integendeel beter, wanneer het gezigtveld zwak verlicht is. De oorzaak hiervan is toen aangewezen. Ook bij het zien met het

(1) Deze verschillende invloed der voorwerpen op den gang der lichtstralen verklaart tevens hoe het komt, dat er, zoowel bij de vervaardigers van mikroskopen, als bij de schrijvers over dit onderwerp, zoo weinig overeenstemming bestaat in de beantwoording der vraag: welke betrekkelijke rigting der stralen tot de verlichting van mikroskopische voorwerpen de voorkeur verdient. Bij de door Wollaston (*Philos. Transact.* 1829. p. 13) aanbevolen verlichtingswijze wordt het voorwerp door convergerende nog niet in een brandpunt vereenigde stralen getroffen. Brewster (*Treatise on the microscope.* p. 145) is van oordeel, dat het voorwerp juist in het brandpunt van convergerende stralen moet geplaatst zijn. Hetzelfde beginsel wordt ook door Dujardin (*Manuel de l'observateur au microscope.* p. 18.) gehuldigd. Nobert (*Poggend. Ann.* 1846. p. 185) daarentegen geeft aan eene verlichting met parallele stralen de voorkeur. Hetzelfde doet ook Schleiden (*Grundzüge der Wissensch. Botanik.* I. p. 102), terwijl eindelijk volgens Pritchard (*Micrographia* p. 186. note) moeilijke proefvoorwerpen alleen bij divergerend licht goed te zien zijn. Reeds uit deze uiteenlopende meeningen mag men besluiten, dat geene der drie verlichtingswijzen bij uitsluiting de voorkeur verdient, en inderdaad zal elk waarnemer bevinden, dat, hoewel men, hetzij parallel, hetzij divergerend, of convergerend licht op de voorwerpen latende vallen, bij elke dier verlichtingswijzen tamelijk goed ziet, de zeer moeilijk waarneembare bijzonderheden van eenig voorwerp zich alleen bij eene bepaalde betrekkelijke rigting der stralen het best vertoonen, doch tevens dat deze rigting geenzins dezelfde moet zijn voor alle voorwerpen.

gewapend oog neemt men geheel hetzelfde waar. Zoodra zeer kleine of zeer doorschijnende voorwerpen in een te sterk verlicht gezigtveld geplaatst zijn, worden zij geheel of gedeeltelijk onzichtbaar, ten gevolge der binnenwaartsche irradie op het netvlies. Elk voorwerp vordert daarom eene voor hetzelfde passende intensiteit der verlichting. Voor sommige zeer ondoorschijnende voorwerpen kan een zeer geconcentreerd licht noodig zijn, doch voor het meerendeel geldt de regel, dat, naar gelang een voorwerp of deszelfs deelen moeilijker waarneembaar zijn, het gezigtveld minder moet verlicht worden.

191. Wanneer wij nu uitgaan van de hier ontwikkelde grondbeginselen, dan blijkt dat de verlichtingstoestel de volgende hoofdvereischen in zich vereenigen moet.

1°. Zij moet veroorlooven het licht in alle rigtingen op het voorwerp te doen vallen, doch tevens zoodanig zijn ingerigt, dat hare as weder met zekerheid in de optische as van het geheele werktuig kan gebragt worden.

2°. Zij behoort de middelen te bezitten, om zoowel parallelle, als divergerende en convergerende stralen tot verlichting van het gezigtveld aan te wenden, naar mate de omstandigheden en de aard van het voorwerp zulks vorderen.

3°. Eindelijk moet zij veroorlooven het licht naar willekeur te versterken of te matigen.

Zien wij thans hoe deze drie hoofdvorwaarden kunnen vervuld worden.

192. Het eerste en noodzakelijkste bestanddeel van elken verlichtingstoestel is de spiegel. Bij sommige mikroskopen treft men alleen eenen hollen spiegel aan; bij andere is de-

zelve aan de eene zijde hol, en aan de andere zijde vlak. Deze vereeniging van beiden verdient voorzeker de voorkeur, want bij geringe vergrootingen zal men het best bij parallel licht, dat door eenen vlakken spiegel is teruggekaatst, kunnen waarnemen, en bovendien is zulk een spiegel noodig bij de aanwending der holle spiegeltjes voor de terugkaatsing van opvallend licht, tenzij de kromming van den hollen spiegel zoo gering is, dat dezelve eenen bundel convergerende stralen daarop werpt, in welk geval deszelfs brandpuntsafstand echter voor andere, dadelijk te vermelden, doeleinden weder te groot zoude wezen.

Beide spiegels kunnen van glas zijn. Wel is waar geven, zoowel de voorste als de achterste oppervlakte dan elk eene afzonderlijke terugkaatsing, doch dewijl hier geene beelden van voorwerpen maar dat eener geheele verlichte oppervlakte wordt teruggekaatst, zoo brengt het tweede beeld geene noemenswaardige verwarring te weeg, en daar bovendien het licht, hetwelk door metalen spiegels teruggekaatst is, gewoonlijk minder helder en wit is, zoo worden de meerdere kosten voor zulke spiegels besteed volstrekt niet beloond, gelijk mij bij ondervinding is gebleken. Alleen voor één bijzonder doel, waarop ik later nog zal terugkomen, wordt een vlakke metalen spiegel vereischt, namelijk wanneer men het beeld eener verwijderde verdeling als mikrometer in het gezigtveld wenscht op te vangen. Ook kan dan met vrucht van een terugkaatsend prisma gebruik worden gemaakt in plaats van eenen spiegel. Daar echter zulk een prisma niet tevens in verband kan worden gebragt met eenen hollen spiegel, zoo acht ik deze verwisseling minder doelmatig.

De vorm van den vlakken spiegel doet niets ter zake; die

van den hollen moet natuurlijk rond zijn. Wat de grootte aanbelangt, zoo schaadt wel is waar een te groote doormeter van b. v. 10—15 centim. niet, doch zij is overbodig, omdat altijd slechts een klein gedeelte der teruggekaatste stralen in werkelijk gebruik komt. Ik ken geen geval, waarin een spiegel van meer dan 5 centim. middellijn gevorderd wordt.

De wijze, waarop de spiegel met den overigen toestel in verband is gebragt, is verre van onverschillig te zijn. Dat dezelve, om het opgevangen licht op het voorwerp te kunnen terugkaatsen, onder verschillende hoeken moet kunnen gesteld worden, behoeft naauwlijks vermelding; doch bovendien moet ik herinneren aan het zoo even gezegde, dat de spiegel het licht niet alleen regtstandig, maar in alle rigtingen op het voorwerp moet kunnen werpen, en bovendien met zekerheid weder in die stelling teruggebragt worden, welke als de normale kan worden aangemerkt, t. w. die, waarbij het middelpunt van den spiegel in de as van het geheele mikroskoop ligt. Deze laatste stelling namelijk is diegene, waarbij het licht gelijkmatig valt op alle deelen van het vlak, waarin zich het voorwerp bevindt, en waarbij zich het geheele beeld het duidelijkst vertoont, omdat dan gelijke hoeveelheden licht langs alle de randen van het voorwerp voorbijgaan, terwijl het alleen dan noodig is eene schuins invallende verlichting aan te wenden, wanneer men, na het beeld in deszelfs geheel overzien te hebben, tot het onderzoek van de moeilijk zichtbare bijzonderheden overgaat.

Ten einde het licht in verschillende rigtingen op het voorwerp te doen vallen, wordt evenwel geenzins gevorderd, dat de spiegel in *alle* rigtingen beweegbaar zij, iets dat moeilijk bestaanbaar is met eene gelijktijdige inrigting om dezelve

ook met juistheid weder te kunnen centreren, en bovendien overbodig, dewijl het voorwerp zelve in een vlak kan worden rondbewogen, en alzoo deszelfs verschillende kanten aan het licht aanbieden. Eene enkele zijdelingsche beweging van den spiegel is derhalven volkomen toereikend, zoodanig dat de optische as van het mikroskoop steeds in het omwentelingsvlak blijft, waarin de beweging plaats heeft.

De hiertoe gevorderde mechanische toestel veroorlooft onderscheiden wijzigingen, welke het hier de plaats niet is op te sommen. Alleen ter opheldering van het gezegde stip ik derhalven nog aan, dat het eenvoudigste middel, om het aangegeven doel te bereiken, bestaat in den beugel, waarin de spiegel om zijne as beweegbaar is gesteld, te bevestigen aan eenen dwarsarm of kruk, die om deszelfs eene einde kan worden rondgedraaid; zoodanig echter, dat dit slechts naar ééne zijde geschieden kan, en de beweging naar de andere zijde gestuit wordt, op het oogenblik dat het middelpunt des spiegels weder in de optische as ligt.

Voor eene goede verlichting is het geenzins noodig, dat de spiegel op en neder kan worden bewogen, en alzoo de afstand veranderd tusschen de voorwerptafel en den spiegel. Integendeel, wanneer de eerste, zoo als verkieslijk is (§ 165), vast staat, dan is het doelmatiger ook den laatsten steeds op dezelfde hoogte te houden, dewijl het eenige doel, waartoe zulk eene plaatsverandering zoude geschieden, t. w. de vermeerdering of de vermindering van de intensiteit der verlichting, niet door den spiegel maar door andere middelen moet bereikt worden.

195. Als *tweede* vereischte in eenen verlichtingstoestel heb ik boven aangeduid, dat de stralen, welke tot verlich-

ting dienen, naar mate de omstandigheden en de aard der voorwerpen het vorderen, parallel, divergerend of convergerend moeten kunnen gemaakt worden. Uit het vroeger gegeven overzicht van den gang der stralen door lenzen (z. § 59—45) blijkt, dat men de keuze tusschen onderscheiden middelen heeft, om dit oogmerk te bereiken. Het eenvoudigste en doelmatigste derzelve bestaat in het plaatsen van eene verzamelingslens op den weg der stralen tusschen den spiegel en de voorwerptafel. Bij voorkeur zal men daartoe eene plano-convexe lens van niet te langen brandpuntsafstand, b. v. 1,5—2 centim. aanwenden, welke met de platte oppervlakte bovenwaarts gericht is, ten einde de aberratie geringer te maken. De middellijn dezer lens behoort niet te klein te zijn, dewijl men het altijd in zijne magt heeft, om, door dadelijk nader te noemen middelen, hare opening naar willekeur te verkleinen.

Ten einde nu met behulp van deze lens en van den spiegel aan de lichtstralen de verschillende boven genoemde betrekkelijke rigtingen te kunnen geven, wordt verders vereischt, dat de kromming van den hollen spiegel zoodanig zij, dat deszelfs brandpunt zamen kan vallen met het voorste brandpunt van de lens. Door fig. 90—95 wordt de uitwerking der voornaamste stellingen van dezen verlichtingstoestel opgehelderd.

In fig. 90 is de spiegel AB met de vlakke zijde bovenwaarts gekeerd voorgesteld. De parallele stralen ab en cd worden naar de lens CD teruggekaatst, en door deze in het brandpunt p vereenigd. Is het voorwerp dus in het vlak rv , dan kan het juist in het brandpunt van den verlichtingstoestel gebragt worden. Bevindt het zich daarentegen in de vlakken $r'v'$ of $r''v''$, dan wordt het in het eene geval door divergerende en in het andere door convergerende stralen getroffen;

terwijl het duidelijk is, dat men hetzelfde oogmerk bereikt door, in stede van de plaats van het voorwerp, die van de lens te veranderen. Verders blijkt uit de figuur, dat men door de lens hooger of lager te stellen, de sterkte van het divergerend en van het convergerend licht kan vermeerderen en verminderen, doch zonder dat de hoek, waaronder de stralen invallen, daarbij eene verandering ondergaat.

Wordt de holle spiegel bovenwaarts gekeerd, dan kan *vooreerst* (fig. 91) de afstand tusschen den spiegel AB en de lens CD zoodanig zijn, dat hunne brandpunten bij p zamenvallen. Alsdan heeft het geval plaats, dat een lichtend punt zich in het brandpunt eener lens bevindt (§ 59), en bij gevolg zullen de door de lens CD gebroken stralen parallel zijn. Het gezigtveld rv is dan door geconcentreerd parallel licht verlicht, waarvan de graad van sterkte afhangt van de verhouding tusschen den brandpuntsafstand des spiegels en dien der lens. Is de laatste afstand b. v. 4 maal kleiner dan de eerste, dan is de doormeter van den lichtbundel die het veld treft ook 4 maal kleiner, dan van dien, welke op den spiegel invalt, en gevolglijk de intensiteit van het licht in het gezigtveld 16 maal sterker (1).

Is *ten tweede*, zoo als in fig. 92, de afstand van de lens tot aan den spiegel grooter dan de som der beide brandpuntsafstanden, dan heeft het geval plaats, dat een lichtend punt (hier het brandpunt p des spiegels) zich buiten het brandpunt eener lens bevindt, en de door deze gebroken stralen, die het veld rv verlichten, zijn derhalven converge-

(1) Indien de spiegel, zoo als bij de meeste mikroskopen eenen langeren brandpuntsafstand heeft, dan hier verondersteld wordt, dan kan die afstand verkort worden door middel eener tweede lens, tusschen de eerste en den spiegel geplaatst.

rend, en wel des te sterker naar mate de lens meer van het brandpunt p verwijderd wordt. Bij deze stelling beantwoordt dus de vereeniging van den spiegel met de lens aan eenen enkelen hollen spiegel van verder brandpunt, en kan even als deze worden aangewend, om, bij het gebruik van holle spiegeltjes ter verlichting van ondoorschijnende voorwerpen, reeds geconcentreerd convergerend licht op dezelven te doen vallen, wanneer het parallele licht des vlakken spiegels te kort mogt schieten.

Eindelijk *ten derde* worden de lichtstralen divergerend, indien de afstand tusschen den spiegel en de lens, gelijk in fig. 93, kleiner is dan de som der beide brandpuntsafstanden, terwijl de graad van divergentie naar willekeur grooter of kleiner kan gemaakt worden, door de lens hooger of lager te plaatsen.

Men ziet, dat men het met eenen dusdanigen verlichtingstoestel geheel in zijne magt heeft, om aan de stralen naar willekeur die betrekkelijke rigting mede te deelen, welke blijkt het best te beantwoorden aan den aard en den vorm der voorwerpen, welke daardoor zichtbaar moeten gemaakt worden. Overigens is het doelmatig, ten einde gedurende het gebruik niet telkens in de noodzakelijkheid te zijn van naar den afstand te zoeken, waarop de lens gebragt moet worden, om aan de lichtstralen eene bepaalde rigting te geven, dat op den toestel, die tot hare op- en neder beweging dient, teekens worden aangebragt, welke aanduiden: 1° hare stelling, wanneer haar voorste brandpunt juist zamenvalt met dat van den spiegel, en 2° den afstand, waarop zij geplaatst moet worden, om haar tegenoverliggend brandpunt te doen vallen op eenig voorwerp, hetwelk zich op de voorwerptafel bevindt, met in acht neming der dikte van de

gewoonlijk hierbij gebezigde glasplaatjes. Natuurlijk zijn deze bepalingen alleen geldig bij het gebruik van daglicht, terwijl de afstanden eenige wijziging moeten ondergaan, zoodra kunstlicht wordt aangewend, tenzij deszelfs divergerende stralen vooraf in parallele veranderd zijn.

Even als reeds van den spiegel gezegd is, geldt zulks ook van de hier bedoelde lens, dat namelijk deszelf normale stelling diegene behoort te wezen, waarbij haar middelpunt in de optische as van het geheele mikroskoop ligt, doch om ook schuins invallende stralen van verschillende betrekkelijke rigting en concentratietoestand ter verlichting te doen dienen, moet zij tevens even als de spiegel eene zijdelingsche beweging bezitten.

194. Behalven het nut dezer lens als middel, om het voorwerp door stralen van verschillende betrekkelijke rigting te verlichten, kan dezelve vervolgens ook dienen, om aan het *derde* der straks genoemde vereischen te beantwoorden, t. w. de versterking en de vermindering der intensiteit van het licht. Echter moet men dit geenzins als haar hoofddoel beschouwen, dewijl men niet vergeten moet, dat wanneer men door het op- en neder bewegen der lens, den concentratietoestand van het licht verandert, te gelijker tijd in die gevallen, waar zij het licht van den hollen spiegel opvangt, ook de betrekkelijke rigting der stralen eene wijziging ondergaat.

Er moet derhalven voor het eigenlijke doel, om de sterkte van het licht te regelen, nog een op zich zelf staand middel worden gebezigd. Dit middel bestaat in het plaatsen van een diaphragma op den weg der stralen, zoodanig dat slechts een gedeelte van den stralenbundel het voorwerp bereikt, en

het gezichtsveld verlicht. Over het nut dezer diaphragmata is men het algemeen eens, doch velerlei zijn de wijzigingen, waarvoor zij, zoowel wat hunnen vorm, als hunne plaats betreft, vatbaar zijn. Hun vorm is dikwerf die eener draaijende schijf, soms die van een heen en weder schuivende plaat, in welke beide gevallen eenige daarin aangebrachte openingen van onderscheiden grootte dienen, om eene meerdere of mindere hoeveelheid licht door te laten. Andere vervaardigers van mikroskopen geven de voorkeur aan niet beweegbare (d. i. noch draaijende, noch schuivende) diaphragmata, zoodat de middelpunten der openingen altijd in de optische as gelegen zijn, terwijl dan de verandering in de hoeveelheid van het toegelaten licht wordt te weeg gebracht *of* alleen door verwisseling met andere diaphragmata, die van verschillende openingen voorzien zijn, *of* door verwijding en vernaauwing der opening door werktuiglijke middelen, *of* eindelijk door het diaphragma op en neder te bewegen, waardoor, indien een convergerende lichtbundel tot de verlichting wordt aangewend, des te meer licht wordt afgesloten, hoe dieper het diaphragma daalt, terwijl het omgekeerde plaats heeft, wanneer de lichtbundel uit divergerende stralen bestaat; bij paralelle lichtstralen oefent zulk eene op en neder gaande beweging van het diaphragma natuurlijk geenen invloed op de lichtsterkte uit.

Wat de plaats aanbelangt, zoo kan het diaphragma gesteld zijn, hetzij tusschen de lichtbron en den spiegel, of tusschen dezen en de verlichtingslens, of wel digt onder de voorwerptafel, en derhalven tusschen de laatste en de verlichtingslens in.

Alle deze onderscheiden wijzen van de diaphragmata aan te brengen voldoen meer of minder volkomen aan het oogmerk. Wanneer men echter tusschen dezelve eene keuze doen zal,

dan is er ééne omstandigheid, die ten voordeele van de draaijende of schuivende, van openingen voorziene, diaphragmata beslist, daarin bestaande, dat wanneer deze zoodanig tusschen het licht en het voorwerp gesteld zijn, dat de rand, welke de opening begrenst, eene halfschaduw (*penumbra*) in het gezigtveld werpt, men zeer dikwerf de moeilijk waarneembare bijzonderheden van eenig voorwerp beter ziet, dan indien de opening zich juist in het midden bevindt, ofschoon het niet te ontkennen is, dat om een geheel voorwerp van eenige grootte het best te overzien, deze laatste stelling vereischt wordt. In dit opzigt staat de excentrische plaatsing van den spiegel en van de verlichtingslens geheel gelijk met die der opening van het diaphragma. Zulk eene plaatsing behoort steeds eene uitzondering te blijven, en nimmer bij het begin van een onderzoek te worden aangewend, doch de geoefende waarnemer zal dikwerf daarin het middel vinden, om datgene, wat zich bij elke centrische verlichting slechts onduidelijk of in het geheel niet vertoont, gemakkelijk waarneembaar te maken. Tevens volgt ook hieruit, dat, als de meest gepaste plaats voor het diaphragma, die op eenen korten afstand onder de voorwerptafel moet beschouwd worden.

193. Een verlichtingstoestel bestaande uit eenen dubbelen spiegel, eene plano-convexe lens en een diaphragma, welke alle naar de zoo even ontwikkelde grondbeginselen ingerigt, en met elkander in behoorlijk verband gebragt zijn, zal wel voor verreweg de meeste mikroskopische onderzoekingen volkomen toereikend zijn. Echter moet men erkennen, dat de daarmede verkregen verlichting niet aplanatisch is. Sommigen, zoo als Brewster en Dujardin, beschouwen dit laatste

als een volstrekt vereischte, en zijn zelfs van meening, dat ook in dit opzigt de verlichtingsstoestel even volkomen behoort te zijn ingerigt, als het overige optische gedeelte van het mikroskoop. Ook valt het niet te betwijfelen, dat een niet aplanatische verlichtingsstoestel de beelden iets minder scherp vertoont, dan een zoodanige, waarin de beide aberratiën zoo na mogelijk verbeterd zijn. Eene andere vraag is het echter, of deze verbetering zulk eenen belangrijken invloed heeft, dat zij ons in staat stelt daardoor in eenig voorwerp bijzonderheden waar te nemen, die bij eene gewone verlichting door hetzelfde mikroskoop niet waarneembaar zijn? Wanneer wij de ondervinding raadplegen, dan geloof ik, dat het antwoord op deze vraag niet met zekerheid bevestigend kan worden gegeven. Er is mij voor als nog geene enkele waarneming bekend, welke alleen mogelijk is bij het gebruik van eenen aplanatischen verlichtingsstoestel, en wat het smalle lichtzoompje aanbelangt, hetwelk de randen der voorwerpen omgeeft, en waarvan men beweerd heeft, dat het met eenen aplanatischen verlichtingsstoestel verdwijnen zoude, zoo ziet men dit ook daarmede altijd, mits het licht behoorlijk gematigd zij. Ook zal het wel eene vergeefsche poging zijn, dit lichtzoompje te doen verdwijnen, daar het een interferentieverschijnsel is, hetwelk juist het best voor het aplanatisme der beelden getuigt. Later zal ik gelegenheid hebben, bij de behandeling van die verlichtingsstoestellen, welke naar dit beginsel zijn ingerigt, ook op dit onderwerp terug te komen.

Hier stip ik derhalven nog slechts aan, dat bij de boven geschetste inrigting eene verbetering der aberratiën kan aangebragt worden, door de lens te verwisselen, *hetzij* met eene doublet van gewone zamenstelling, d. i. bestaande uit twee plano-convexe lenzen, *of* met eene aplanatische Herschel-

sche doublet, *of* met een aplanatisch lenzenstelsel, welk laatste natuurlijk het best van allen aan het oogmerk beantwoordt, doch het bezwaar oplevert van niet bij schuins invallend licht aanwendbaar te zijn, en daar dit als een volstrekt vereischte in sommige gevallen moet beschouwd worden, zoo is het onvermijdelijk noodig, dat de verlichtingstoestel zoo zij ingerigt, dat men althans des verkiezende het stelsel door eene enkele lens kan doen vervangen.

Over de monochromatische verlichting kan ik hier ter plaatse gevoeglijk geheel het stilzwijgen bewaren, daar dezelve, hoewel men er eene niet onbelangrijke poging tot verbetering in erkennen moet, — welke als zoodanig ook later breeder ter sprake zal gebragt worden, — thans als van alle toepassing ontbloot moet worden beschouwd.

196. Voor de verlichting van ondoorschijnende voorwerpen door opvallend licht, behoeven bij onze nieuwere mikroskopen geene kunstmatige middelen tot versterking van het licht te worden aangewend, zoolang men gebruik maakt van geringe vergrootingen (50—60 maal), dewijl alsdan de openingen der objectiefstelsels nog wijd genoeg zijn, om eenen lichtbundel van toereikende helderheid door te laten; en daar de meeste waarnemingen van dien aard bij zulke geringe vergrootingen worden in het werk gesteld, zoo komt men thans, veel minder dan vroeger het geval was, in de noodzakelijkheid, om geconcentreerd licht tot het onderzoek van ondoorschijnende voorwerpen aan te wenden. Daar waar zulks noodig is, heeft men tweederlei middelen, die beide aan het doel beantwoorden, doch wier uitwerking niet geheel dezelfde is.

In de eerste plaats namelijk kan hiertoe eene ter zijde van

of op de voorwerptafel geplaatste bolle lens dienen, of, — hetgeen aan hetzelfde oogmerk beantwoordt, doch overigens geen de minste voorkeur verdient, — een driehoekig prisma met twee bolle oppervlakten. Beide behooren tamelijk groot te zijn, ten einde eenen breedten lichtbundel door te laten, terwijl eene gepaste werktuiglijke inrigting dient, om dezelve in de behoorlijke rigting en op den noodigen afstand van het voorwerp te stellen, zoodat op dit laatste de vereischte hoeveelheid geconcentreerd licht wordt geworpen. Is het voorwerp zoo klein, dat het slechts een gedeelte der ruimte van het gezichtsveld inneemt, dan wordt bovendien gevorderd, dat het overige gedeelte van het veld eene gepaste kleur heeft, namelijk die, waarbij de kleur van het beeld het meest afsteekt. Voor de meeste gevallen voldoen zwarte of witte plaatjes, waarop de voorwerpen geplaatst worden, aan dit oogmerk; soms kunnen met vrucht andere kleuren worden aangewend. Altijd is het raadzaam, dat deze plaatjes dof zijn, daar eene glinsterende oppervlakte voor de waarneming zeer hinderlijk is.

De tweede handelwijze bestaat in het gebruik van doorboorde holle metalen spiegeltjes, welke met het objectief worden verbonden, in dier voege dat hunne holle naar het voorwerp toe gekeerde oppervlakte door middel van den beneden geplaatsten spiegel eenen bundel licht ontvangt, en dezen op het voorwerp terugkaatst. Behoeft de verlichting niet sterk te wezen, dan is de platte zijde des spiegels daartoe voldoende. Voor sterker licht dient de holle spiegel, welke, indien haar brandpunt beneden de voorwerptafel valt, in verband wordt gebruikt met de lens, in de stelling als in fig. 92. De diaphragmata zijn voor deze verlichtingswijze niet alleen onnuttig, maar schadelijk, en moeten derhalve verwijderd worden.

Ook hier behoort onder het voorwerp een plaatje van eene gepaste kleur te worden gebragt, niet alleen echter om de kleur van het voorwerp door tegenstelling beter te doen uitkomen, maar ook om te verhinderen, dat geene regtstreek-sche stralen van den spiegel het objectief bereiken. De grootte, de vorm en de plaats van dit plaatje, is dus in dit geval geenzins onverschillig. Ten einde niet meer licht dan noodig is af te sluiten, moet hetzelfde in de beide eerste opzigten geheel met de opening van het objectief overeenstemmen, terwijl, wat de voordeeligste plaatsing aanbelangt, het blijkbaar is, dat, wanneer een schijfje van gelijken doormeter als de voorste lens van het objectief gebezigd wordt, dit zich altijd juist in de as van het mikroskoop moet bevinden, om alle overtollige lichtstralen buiten te sluiten. Ter bereiking van dit doel is het derhalve het verkieslijkst, dat men zulk een schijfje door middel eener eenvoudige inrigting juist in het midden der opening van de voorwerptafel plaatst. Is het mikroskoop niet van zulk eene inrigting voorzien, dan kunnen ronde glasplaatjes, die in de opening van de voorwerptafel passen, en in welker midden van onderen een schijfje zwart of wit gekleurd kaartenblad is vastgekleefd, daartoe gebezigd worden. Bij zulk eene inrigting kan het voorwerp dan vrijelijk bewogen worden, zonder dat men gevaar loopt, dat een gedeelte van het objectief voor den toegang der lichtstralen bloot komt.

Elke dezer beide verlichtingwijzen van ondoorschijnende voorwerpen, heeft hare eigendommijke voor- en nadeelen, zoodat de eene geenzins onvoorwaardelijk in plaats van de andere kan worden aangewend. Dit blijkt reeds dadelijk hieruit, dat bij de eerste het licht altijd zijdelings invalt, en daardoor sterke slagschaduwen ontstaan, terwijl bij de

laatste het licht meer gelijkmatig over de geheele oppervlakte verdeeld wordt, en de schaduwen zeer gering zijn. In sommige gevallen zal dus deze, in andere gene verlichtingswijze de voorkeur verdienen. Zoo b. v. zal zich een klein insekt in deszelfs geheel het fraaist vertoonen bij de verlichting met een terugkaatsend spiegeltje, doch wil men de kleine haartjes en knobbeltjes aan deszelfs oppervlakte waarnemen, dan zullen deze door het zijdelings opvallende licht eener lens veel beter gezien worden.

Een voordeel van deze laatste is verders, dat hare aanwending geene grens vindt in de grootte der voorwerpen, welke daartegen bij het gebruik der spiegeltjes altijd beperkt moet wezen, dewijl er steeds eene opene ruimte moet overblijven om het licht van den grooten spiegel toegang te geven. Daarentegen bezitten de terugkaatsende spiegeltjes op hunne beurt het voordeel, van nog bij sterkere vergrootingen aanwendbaar te zijn, omdat, wanneer het objectief zich op te korten afstand van het voorwerp bevindt, het eerste de stralen, die door de verlichtingslens gaan, onderschept. Het blijkt dus uit deze vergelijking der beide aangewende hulpmiddelen tot verlichting van ondoorschijnende voorwerpen, dat noch de eene, noch de andere bij een goed en voor alle soorten van onderzoek geschikt mikroskoop mogen gemist worden.

197. Er is nog eene verlichtingswijze, het eerst door Reade (1), later ook door Carpenter (2) aanbevolen, welke ik hier vermeld, omdat zij eenigermate het midden houdt tus-

(1) Goring and Pritchard, *Micrography*. p. 227.

(2) Todd, *Cyclopaedia of Anatomy and physiology*. XXII. art. *Microscope*. p. 352.

schen de verlichting met doervallend en die met opvallend licht, want, terwijl er de tot de eerste vereischte toestel voor wordt aangewend, en zij ook alleen op doorschijnende voorwerpen kan worden toegepast, komt zij daarentegen met de andere daarin overeen, dat het gezigtveld niet verlicht wordt, en men de voorwerpen door teruggekaatst licht op eenen donkeren achtergrond ziet.

Deze verlichtingswijze bestaat daarin, dat men, hetzij door eene ter zijde der as van het mikroskoop onder de voorwerptafel geplaatste kaars, hetzij door eene sterk excentrische stelling des spiegels, het licht in eene zoo schuinsche rigting in het gezigtveld doe komen, dat dit zich nog geheel duister vertoont, terwijl alleen de daarin aanwezige voorwerpen zichtbaar worden, omdat de stralen in deze eene totale reflectie ondergaan, en alzoo het oog bereiken. Wanneer in fig. 94 A de onderste lens is van een aan het mikroskoop bevestigd objectiefstelsel, *de* de doorboorde voorwerptafel, *v* een zich daarop bevindend voorwerp, en *acb* de van den spiegel of van de kaars komende stralen, dan zullen *a* en *b* ter zijde van de lens voorbijgaan, en alleen *c*, in de rigting der optische as *vg* teruggekaatst wordende, het mikroskoop binnentreden. Men ziet dus de voorwerpen met hunne eigendommelijke kleuren, terwijl het veld geheel zwart is. Inderdaad levert dit eene fraaije vertooning op, en zeer doorschijnende voorwerpen, zelfs infusorien, laten zich op deze wijze nog zeer goed waarnemen. Ik betwijfel evenwel, of zij voor wetenschappelijke nasporingen eenige waarde heeft, daar men door haar bezwaarlijk iets zal ontdekken, hetwelk bij door- of opvallend licht niet even goed of beter te zien is. Bovendien is zij, zoo als v. Mohl (1) teregt aanmerkt, alleen bij

(1) L. c. p. 144.

geringe vergrootingen aanwendbaar, dewijl, zoodra het objectief te dicht bij het voorwerp is, het licht, gelijk uit de beschouwing der figuur blijkt, geheel of gedeeltelijk het mikroskoop binnentreedt, en het gezigtsveld derhalve niet meer duister gehouden worden kan.

198. Behalve de gepaste inrigting van den verlichtings-toestel zelve, is ook de soort van licht, waarvan men zich ter verlichting bedient, van eenen belangrijken invloed. Zowel het licht der zon, als kunstlicht van verschillenden aard kunnen ter verlichting dienen. Beiden hebben hunne eigene voor- en nadeelen, en vorderen eenige voorzorgsmaatregelen, om met de meeste vrucht te worden aangewend. Wij willen hierbij achtereenvolgens stilstaan.

Het regtstreeks van de zon afkomstige licht laat zich slechts in één geval met vrucht gebruiken, namelijk ter verlichting van ondoorschijnende voorwerpen door opvallend licht. Hier moet men aan hetzelfde in de meeste gevallen boven alle ander licht den voorrang toekennen. Doch voor de verlichting van doorschijnende voorwerpen moet men hetzelfde daarentegen onbepaald afkeuren, zelfs wanneer het, volgens de door Chevalier (1) aanbevolen handelwijze, door gekleurde glazen zoodanig verzwakt is, dat het oog bij de waarneming niet lijdt. Even als v. Mohl (2) heb ook ik bevonden, dat proefvoorwerpen zich daarbij veel minder duidelijk vertoonen, dan bij gewoon daglicht. Voor zeer weinig doorschijnende voorwerpen, b. v. geheele bladeren, om er den omloop van het melksap in waar te nemen, zoude men in de verzoeking kunnen geraaken, om dezelve bij onmiddellijk doorvallend zonlicht te be-

(1) *Die Mikroskope und ihr Gebrauch*, p. 67.

(2) *L. c.* p. 147.

schouwen, gelijk zulks werkelijk door Schultz is aanbevolen. Men wantrouwe echter steeds de uitkomsten van zulk eene waarneming, want het door eene halfdoorschijnende massa heenvallend zonlicht brengt, ten gevolge der menigvuldige interferentiën, altijd een geflikker te weeg, dat zeer ligt voor beweging wordt aangezien. Ook bezitten onze tegenwoordige mikroskopen lichtsterkte genoeg, om, althans bij geringere vergrootingen, zulke waarnemingen bij gewoon daglicht te kunnen bewerkstelligen, en later zullen wij bovendien verschillende middelen leeren kennen, om de doorschijnendheid der lichamen, welke men aan een onderzoek onderwerpt, aanzienlijk te vermeerderen.

Doch terwijl het regstreeksche zonlicht als onbruikbaar moet worden beschouwd, is daarentegen het op de eene of andere wijze onregelmatig verstrooide of diffuus gemaakte zonlicht, als uitstekend geschikt voor mikroskopische onderzoekingen te beschouwen. Er zijn tweederlei hoofdwijzen, om het zonlicht in dien toestand te brengen; 1° namelijk kan men hetzelfde op halfdoorschijnende lichamen doen vallen, welke een gedeelte van het licht opslorpen of terugkaatsen, en een ander gedeelte doorlaten, hetwelk dan tot verlichting van het gezigtveld dient, en 2° kan men het licht opvangen, dat door eene verlichte witte oppervlakte wordt teruggekaatst.

Voor de verlichting van mikroskopische voorwerpen is het geenzins onverschillig, aan welk dezer beide middelen men de voorkeur geeft. De ondervinding leert, dat het eerste over het algemeen moet worden afgekeurd, en elk kan zich gemakkelijk hiervan overtuigen, door een stuk dun wit papier onder de voorwerptafel van het mikroskoop te plaatsen, en dit van onderen, met behulp van den spiegel, sterk door de zon te verlichten. Men zal alsdan bevinden, dat wel is waar

het gezichtsveld zich voldoende verlicht vertoont, doch dat desniettegenstaande alle doorschijnende voorwerpen niet dan zeer flauw zichtbaar zijn. De oorzaak hiervan is de al te groote onregelmatige verstrooiing der lichtstralen bij den doorgang der vezelen, waaruit het papier bestaat, zoodat nagenoeg geen enkele straal onveranderd deszelfs oorspronkelijken weg vervolgt, en tot zichtbaarmaking van het voorwerp dient. Hetzelfde zal gebeuren, indien men andere halfdoorschijnende lichamen, b. v. eene dunne laag witte was of melk, op den weg der stralen plaatst. Hoe helder verlicht het gezichtsveld ook zij, altijd zal de waarneming hoogst gebrekkig blijven. Bezigt men een glas, hetwelk aan de eene oppervlakte mat geslepen is, dan zal dit beter voldoen dan de genoemde stoffen, omdat zulk eene oppervlakte beschouwd moet worden als afwisselend bestaande uit ruw geslepen, dus diffuus makende, plekjes, en uit daartusschen liggende heldere tusschenruimten, welke de stralen in de oorspronkelijke rigting doorlaten. Doch zulk eene matte oppervlakte is bij zonlicht onbruikbaar, omdat dit te sterk is, en indien de glasplaat, om dezelve minder doorschijnend te maken, aan beide oppervlakten wordt mat geslepen, dan staat hare uitwerking geheel gelijk met die der zoo even genoemde stoffen.

Dit leert ons dus eene niet onbelangrijke bijzonderheid voor de mikroskopische verlichting kennen, namelijk dat het diffuus gemaakte gedeelte van het licht alleen dienen moet tot verlichting van het gezichtsveld, — in dier voege dat deszelfs kleur het sterkst contrasteert met die van het voorwerp, en derhalve eene helder witte kleur moet hebben, indien het doorschijnende voorwerp kleurloos is, omdat dan de schaduw zwart zijn, — maar dat het reeds diffuse licht niets bij-

draagt tot het eigenlijk zichtbaar maken van het voorwerp zelve. Daartoe kunnen alleen zulke doorvallende stralen dienen, welke niet onregelmatig verstrooid zijn, en het is om die reden, dat het van witte oppervlakten teruggekaatste licht beter aan het oogmerk beantwoordt, dan het door half-doorschijnende witte lichamen doorvallende licht, daar in het eerste gewoonlijk een grooter aantal regelmatig teruggekaatste stralen voorhanden is, dan in het eerste.

Onder alle het zonlicht terugkaatsende witte oppervlakten, verdient voorzeker die van witte wolken de voorkeur. Minder voldoet het den spiegel te rigten op den blaauwen onbewolkten hemel, want hoewel deze kleur zeer aangenaam voor het oog is, zoo komen dan, uithoofde van de minder sterke tegenstelling, de fijne bijzonderheden der beelden niet zoo scherp uit.

Wanneer er zich geen wolken aan den hemel bevinden, dan kan het zonlicht met voordeel door kunstmiddelen diffuus worden teruggekaatst. Hiertoe kunnen verschillende wegen worden ingeslagen. Zoo kan de spiegel gerigt worden op eene door de zon beschenen witte muur, op een helder wit papier, of op eenige andere gladde witte oppervlakte. Onder sommige omstandigheden, wanneer namelijk het voorwerp zelf gekleurd is, kan het ook eenig voordeel opleveren het zonlicht op te vangen, dat van eene gekleurde oppervlakte wordt teruggekaatst. Verders kan, volgens den raad van Goring, de spiegel met eene gipsplaat bedekt worden, of, hetgeen schier even goed voldoet, met een stuk zeer wit papier, waarop men dan het zonlicht laat vallen. Varley (1) heeft tot hetzelfde doel aanbevolen den

(1) Todd, *Cyclopaedia of Anatomy and Physiology*, art. *Microscope* p. 251.

spiegel met poeder van koolstofzure soda of van wit glas te bestrooijen.

Men houde echter in het oog, dat alle deze hulpmiddelen slechts dan te pas komen, wanneer het door de wolken diffuus teruggekaatste zonlicht ontbreekt. Waar men den spiegel hierop rigten kan, behoort men er steeds de voorkeur aan te geven, en wel te meer, omdat dan het mikroskoop zelf geheel in de schaduw kan geplaatst worden. Wel is waar ondergaat de zuiverheid der beelden door de plaatsing in het zonlicht geene eigenlijke vermindering, mits het zonlicht zelve niet onmiddellijk opgevangen en onveranderd teruggekaatst wordt, doch het oog van den waarnemer wordt dan voor naauwkeurig zien minder geschikt, omdat ook alle omringende voorwerpen sterk verlicht zijn, en zijne pupil dien ten gevolge vernauwd wordt, en minder licht doorlaat. Wanneer er witte wolken aan den hemel zijn, is dus de beste stelling voor een mikroskoop die op eenigen afstand van een venster, hetwelk naar het Noorden (N. O. of N. W.) gekeerd is, doch bovendien is het wenschelijk, dat zich in een vertrek, voor mikroskopische waarnemingen bestemd, nog een ander venster bevinde, hetwelk naar het Zuiden gekeerd is, omdat men dan, ook wanneer de hemel onbewolkt is, bij diffuus wit licht kan waarnemen. Indien er slechts aan de eene zijde van een vertrek vensters kunnen zijn, dan geef ik zelfs de voorkeur aan hunne naar het Zuiden gekeerde stelling, omdat men, door het gepast aanbrengen van schermen, de gelegenheid heeft, om, des verkiezende, het regtstreeksche zonlicht op alle punten, waar hetzelfde hinderlijk is, buiten te sluiten, terwijl zich daarentegen te dikwerf de gelegenheid aanbiedt, (vooral tot verlichting van ondoorschijnende voorwerpen), waar deszelfs aanwending hoogst nuttig

is, dan dat men het volstrekt gemis daarvan, in een alleen op het Noorden uitziend vertrek, niet als nadeelig zoude aanmerken.

Sommigen hebben aangeraden bij mikroskopische onderzoekingen het geheele vertrek duister te maken, met uitzondering eener kleine opening, waardoor het licht op den spiegel valt. Deze handelwijze kan alleen steunen op de daadzaak, dat in zulk eene bijna duistere ruimte de pupil zeer wijd open staat, en bij gevolg meer licht doorlaat. Vroeger, toen men genoodzaakt was de opening der lenzen zeer te verkleinen, kon dezelve dan ook eenig voordeel opleveren. Bij onze tegenwoordige mikroskopen is zij echter niet alleen geheel overbodig, maar zelfs schadelijk, omdat, wanneer de doormeter der pupil al te groot wordt, een gedeelte der stralen te schuins invalt, en het netvliesbeeldje dien ten gevolge minder scherp is, dan wanneer hetzelfde alleen door stralen gevormd is, die iets meer nabij de as doorgaan. Mogt het echter, uithoofde der geringe lichtsterkte van het beeld, noodig zijn, den toegang aan het overige licht tot de pupil te beletten, dan is de boven aan het oculair gehouden hand daartoe meestal geheel voldoende.

Van meer gewigt is de afsluiting van het opvallend licht, indien men bij doervallend licht waarneemt. Dit is volstrekt noodig, en wel te meer naar mate men geringere vergrooingen aanwendt. Tot deze afsluiting is het gewoonlijk toereikend een scherm zoodanig te plaatsen, dat de schaduw op het voorwerp valt. Nog beter bereikt men dit oogmerk door eenen korten koker of ring, welke wijd genoeg is om het objectief, in deszelfs toenadering tot het voorwerp, niet te belemmeren.

199. Een noodwendig met de verlichting door daglicht gepaard gaand gebrek, is hare onbestendigheid, voortvloeiende uit den veranderlijken toestand des hemels. Door voorttrekkende wolken, die eene verschillende hoeveelheid licht terugkaatsen, verandert de graad van verlichting somtijds elk oogenblik, tot groot nadeel voor de waarneming, omdat het oog dan eens meer, dan eens minder licht ontvangende, niet in die rust verkeert, welke voor eenen scherpen gezichtsindruk vereischt wordt. Bovendien gebeurt het niet zelden, inzonderheid in onze luchtstreek, dat dagen lang een zoodigte en donkere wolkensluijer de zon bedekt, dat het daardoor heen schemerend licht ter naauwernood toereikend is, om bij geringe vergrotingen eenige waarnemingen te doen, terwijl men alle moeilijker onderzoekingen, die eene sterkere vergroting en meer licht vorderen, zoude moeten uitstellen, indien men het zon- of daglicht niet kon vervangen door kunstlicht. Inderdaad is bestendigheid de hoofddeugd van dit laatste, zoodat het hierdoor een niet te miskennen voordeel boven het daglicht heeft. Echter zijn tegen deszelfs aanwending ook meer of min gegronde bezwaren in te brengen, waarvan wel de voornaamste is, dat, gelijk v. Mohl (1) doet opmerken, het vervaardigen van mikroskopische praeparaten bij daglicht behoort te geschieden, en het wel niemand in de gedachten zal komen, om zich dan met het vervaardigde praeparaat in een donker gemaakt vertrek te begeven, ten einde het bij kunstlicht onder het mikroskoop te brengen. Ik erken gaarne de gegrondheid dezer opmerking daar, waar het op moeilijk te vervaardigen praeparaten aankomt, zooals zeer fijne doorsneden, het blootleggen

(1) L. c. s. 150.

der deelen onder de loupe, enzv., doch meen hier echter te moeten bijvoegen, dat een aanmerkelijk aantal mikroskopische praeparaten ook zeer goed bij kunstlicht kan vervaardigd worden, en dat bepaaldelijk het toebereiden van dierlijke stoffen en weefsels voor mikroskopisch onderzoek bij eene goede kunstmatige verlichting in de meeste gevallen met hetzelfde gemak kan geschieden als bij daglicht, gelijk eene ondervinding van vele jaren mij geleerd heeft. Ik voeg dit hier te eer bij, omdat zeer velen van hen, in wier handen ik het mikroskoop zoo gaarne als een algemeen gebruikt werktuig wensch te zien, de praktische geneesheeren namelijk, door hunnen werkkring meestal buiten staat gesteld zijn het mikroskoop anders dan des avonds ter hand te nemen. Zij mogen zich verzekerd houden, dat alle voor hen belangrijke onderzoekingen even goed, zoo niet beter, bij kunst- als bij daglicht kunnen bewerkstelligd worden.

Andere tegen het kunstlicht ingebragte beschuldigingen betreffen meer deszelfs ongepaste aanwending, dan deszelfs geaardheid. Zoo heeft men aan hetzelfde te laste gelegd, dat het de oogen veel meer vermoeit. Dit is ook ontegensprekelijk het geval, indien men eene te sterke verlichting aanwendt, doch wanneer men zorg draagt dezelve zoodanig te regelen, dat het gezichtsveld niet meer verlicht is, dan volstrekt vereischt wordt, om de beelden behoorlijk waar te nemen, dan loopt men hiervoor geen het minste gevaar. Meermalen heb ik 6—8 uren achtereen bij kunstlicht mikroskopische waarnemingen verrigt, zonder eenige vermoeidheid in het oog te bespeuren. Anderen mogen het welligt niet zoo lang uithouden, doch ook bij daglicht zal dan de inspanning van het oog hen ook weldra zwaar vallen.

Verders is de gele kleur van het kunstlicht als grond voor

deszelfs mindere geschiktheid aangevoerd. Op de naauwkeurigheid der waarneming kan echter die kleur van geen invloed zijn, dan alleen daar, waar het op herkenning van kleuren aankomt. Maar bovendien kan men, door eene gepaste keus van het kunstlicht, hierin reeds eenigermate voorzien. De vlam eener vetkaars is roodachtig geel, die eener waskaars meer zuiver geel. Beiden zijn echter, niet alleen om de kleur, maar om de beweeglijkheid der vlam door elken luchtstroom, voor het gebruik ongeschikt. Veel beter voldoet reeds de vlam eener Argandsche lamp, vooral wanneer dezelve voorzien is van eenen gasdop, waardoor het licht witter wordt; desgelijks die van lampen met terpenhijnolie en alkohol (zoogenaamde camphinelampen, en lampen met het — hoogst onjuist zoo geheeten — vloeibaar gas). Eene heldere gasvlam, door eene glazen buis omgeven, voldoet het best van allen. Het elektrisch licht tusschen koolspitsen en dat der vlam van hydro oxygeengas op kalk zijn wel zeer wit, doch te moeilijk in de daarstelling, om bij gewoon onderzoek aanwendbaar te zijn.

Bovendien kan men de gele of roodachtige kleur van het kunstlicht in eene witte veranderen, door op den weg der stralen zulke middenstoffen te plaatsen, welke de overmaat van roode en gele stralen, die daarin aanwezig is, opslorpen, en alleen dezulke doorlaten, wier betrekkelijke hoeveelheid zoo na mogelijk beantwoordt aan die der verschillend gekleurde stralen, welke het witte licht der zon zamenstellen. Zulks geschiedt door de stralen te laten gaan door eene glasplaat of door een vocht, hetwelk de complementaire kleur van die der vlam bezit, d. i. blaauw is (1). Dit blaauw

(1) Deze handelwijze is door Griffith (*Annals of Natural History*. XII. p. 431) aanbevolen, ofschoon de grondbeginselen, van welke hij uitging, en de door hem gegeven verklaring van de werking der blaauwe

echter moet wederom eene verschillende tint bezitten, naar gelang van die der vlam, en het is dus geenzins onverschillig welk blaauw gekleurd glas of vocht men tot dit doel bezigt, maar het is noodig zich vooraf door onderzoek te overtuigen, dat hetzelfde tot dit oogmerk geschikt is.

Verscheidene middelen kunnen daartoe dienen. Een ongenoemde (1) heeft den polarisatietoestel aanbevolen. Eenige kristallen, behoorende tot het tweeassige stelsel (2), worden op de voorwerpplaat van het polariserend mikroskoop (z. hieromtrent het vervolg) geplaatst. Vervolgens draait men den analysateur zoodanig, dat een der kristallen, of een gedeelte daarvan, zich met de gele kleur vertoont, die aan de vlam eigen is. Wanneer men denzelven hierop om eenen hoek van 90° draait, dan zal hetzelfde kristal de complementaire blaauwe kleur hebben aangenomen. Bij de toepassing dezer methode zal men echter bevinden, dat het hoogst moeilijk is de juiste gele tint te vinden, welke aan die der vlam beantwoordt. Bovendien bezitten weinigen eenen polarisatietoestel bij hun mikroskoop, en de volgende handelwijze is daarom zoowel eenvoudiger als beter. Ik ben het denkbeeld daarvan aan mijnen amptgenoot van Rees verschuldigd. Het is bekend, dat indien men van hetzelfde voorwerp twee schaduwen laat ontstaan, gevormd door dag- en door kunstlicht, deze schaduwen zich gekleurd vertoonen, en wel in dier voege, dat de kleur der eene schaduw de complementaire kleur der andere is. Laat men, door eene ope-

middenstoffen geheel valsch zijn. Men zie hierover v. Mohl's *Mikrographie* p. 152.

(1) Dingler's *Polyt. Journ.* 1844. Bd. XCII. p. 398.

(2) Zeer geschikt zijn voor zulke waarnemingen de kristallen verkregen door eene oplossing van chloras potassae op een glasplaatje te doen verdampen.

ning in een donker gemaakt vertrek, het daglicht op een wit papier vallen, waarvoor eenig voorwerp, b. v. eene lat of iets dergelijks, gehouden wordt, en plaatst men nu op eenen gepasten afstand eene kaars of lamp, dan ziet men op het papier eene gele door het daglicht, en eene blaauwe door het kunstlicht gevormde schaduw. De eerste nu is de kleur der vlam, de tweede hare complementaire kleur. Plaatst men vervolgens op den weg der stralen eene middenstof (hetzij eene glasplaat of een vocht), wier kleur met de laatstgenoemde gelijk staat, dan zal de blaauwe schaduw verdwijnen, en de gele zwart worden.

Ook kan, op eene meer regstreeksche wijze, de gepaste middenstof, om eenig kunstlicht wit te maken, gevonden worden. Men plaatse hetzelfde hiertoe in een kastje, voorzien van eene kleine opening, en stelle dit kastje voor een venster, dat gesloten kan worden, doch zoodanig dat er mede eene kleine opening overblijft, waardoor het daglicht kan binnentreden. Nu vangt men het door de beide openingen vallende licht op een stuk wit papier op, en houdt daarna achtereenvolgens tusschen de opening in het kastje en het papier verschillende blaauw gekleurde middenstoffen, tot men diegene gevonden heeft, waarbij de kleur van het licht op het papier zich in beide gevallen nagenoeg gelijk, dat is wit, vertoont.

In den regel zal men wel doen zich bij deze keuze alleen tot zulke soorten van glas te bepalen, die zeer licht blaauw gekleurd zijn. Bezigt men een blaauw vocht, dan moet dit in een glazen bakje met platte evenwijdige wanden besloten worden. Het best hiervoor geschikt is mij gebleken eene zeer verdunde oplossing van *sulphas cupri ammoniacale* te zijn.

Er is echter nog één punt hierbij, waarop men bedacht moet wezen. Wanneer men namelijk eene middenstof, b. v.

eene glasplaat, gevonden heeft, die, blijkens het in het werk gesteld onderzoek, de complementaire kleur der vlam bezit, en men nu des avonds deze glasplaat op de voorwerptafel van het mikroskoop legt, dan zal men het veld niet wit maar altijd blaauwachtig zien. Dit is echter alleen aan de werking van het contrast toe te schrijven; zoowel de vlam als alle daardoor verlichte witte lichamen zijn geel gekleurd, en ziet men nu naar werkelijk wit licht, dan zal zich dit met de blaauwe complementaire kleur vertoonen. Het is dus niet voldoende witte stralen tot verlichting van het gezigtveld in het mikroskoop aan te wenden, maar al het licht, ook buiten het mikroskoop, moet op gelijke wijze ontkleurd worden. Het meest doeltreffende middel daartoe zoude bestaan in de vlam geheel te omgeven door een glas van de gepaste kleur, doch daar men zich een dergelijk moeilijk kan aanschaffen, zoo kan men zich vergenoegen met eene tamelijk groote glasplaat, of een bakje met het vocht gevuld, vlak voor de vlam te plaatsen. Met eenige zorg te werk gaande, is het mogelijk op die wijze aan het gezigtveld eene tint mede te deelen, die niet alleen zeer aangenaam voor het oog is, maar ook werkelijk ter naauwernood van die van het daglicht kan worden onderscheiden.

Eindelijk heeft men aan het kunstlicht deszelf tinteling en schittering verweten. Dit verwijt is echter alleen dan geldig, wanneer men bij deszelfs aanwending dezelfde voorzorg verzuimt, die ook ten opzichte van het licht der zon moet worden in acht genomen, dat men namelijk niet het regtstreeks uit de lichtbron stralende, maar het vooraf diffuus gemaakte licht opvangt. Men moet het zich ten regel stellen dit nimmer na te laten, tenzij bij de verlichting van ondoorschijnende voorwerpen door opvallend licht, waar, zoo als reeds

gezegd is, ook het zonlicht deze voorzorg niet vereischt.

Het diffuus maken van het zonlicht geschiedt, zoo als wij zagen, het best door de terugkaatsing van witte oppervlakten. Hetzelfde kan ook bij kunstlicht geschieden, en bepaaldelijk geeft het door eene witte oppervlakte teruggekaatste elektrisch licht tusschen koolspitsen, of dat der hydro-oxygeenvlam op kalk, eene uitstekend fraaije verlichting. Gewoon lamp- of gaslicht mist echter de noodige intensiteit, om hetzelfde beginsel, anders dan voor geringe vergrootingen, ook op hen toepasselijk te maken. Hier is het daarom beter, vóór de lichtbron een mat geslepen glas te plaatsen, hetwelk, om vroeger (§ 198) aangegeven redenen, slechts aan de eene oppervlakte dof gemaakt moet zijn. Doorgaans is het reeds voldoende de vlam door eenen gewonen ronden ballon te omgeven. Nog beter is het tusschen den spiegel en de voorwerptafel eene mat geslepen glasplaat te stellen, dewijl het niet geheel onverschillig voor de goede uitkomst is, welken graad van matheid de glasoppervlakte heeft, daar hiervan de betrekkelijke hoeveelheid van het onregelmatig verstrooid en van het regelmatig doorvallend licht afhangt. Men zal derhalve wel doen, met uit eenige glasplaten, die meerder en minder dof geslepen zijn, diegene uit te zoeken, welke bij beproeving blijken het best aan het oogmerk te beantwoorden.

Door inachtneming der reeds gegeven voorschriften is men dus in staat gesteld aan het kunstlicht al deszelfs schadelijke eigenschappen te ontnemen, met behoud van diegene, welke aan hetzelfde eenen onbetwistbaren voorrang boven het daglicht moeten doen toekennen, de meerdere bestendigheid namelijk en gemakkelijker regelbaarheid. Er blijft nu slechts over aan te toonen, dat aan deszelfs stralen ook de verschillende betrekkelijke rigtingen kunnen gegeven worden,

die de geaardheid en de onderscheiden vorm der voorwerpen vorderen. Uit de nabijheid der lichtbron volgt van zelf, dat de onmiddellijk opgevangen of door den vlakken spiegel teruggekaatste stralen divergerend zijn. Met den boven (§ 195—194) geschetsten toestel kunnen zij convergerend gemaakt worden, en het is duidelijk, dat de graad der divergentie of convergentie gewijzigd kan worden, door de lens op verderen of korteren afstand van de bolle zijde des spiegels te plaatsen. Dezelfde toestel kan dienen, om het gezichtsveld met parallele stralen te verlichten, doch dan moet de afstand van de lens tot aan den spiegel grooter zijn, dan de som hunner beide brandpuntsafstanden. Men vindt de plaats der lens, door op een mat geslepen glasplaat of geolied papier het beeld der vlam op te vangen, op dien afstand, waarop dit zich het scherpst vertoont. Wanneer dan de lens zoodanig gesteld is, dat het beeld der vlam in haar brandpunt ligt, dan zijn de door de lens gaande stralen paralel.

Nog op eene andere wijze kan de divergerende rigting der stralen in eene parallele veranderd worden, indien, zoo als bij de meeste mikroskopen het geval is, de brandpuntsafstand des spiegels meer bedraagt dan de afstand van dezen tot aan de voorwerptafel. Daartoe is niet anders noodig dan eene lens zoodanig voor de vlam van het kunstlicht te plaatsen, dat het beeld der vlam juist gelegen komt in het hoofdbrandpunt des spiegels, welks brandpuntsafstand men derhalven vooraf moet bepaald hebben. De door den hollen spiegel teruggekaatste stralen zullen dan (volgens § 15) paralel zijn, even als die van het daglicht bij het gebruik van den vlakken. Hierbij is het, om ligt begrijpbare redenen, wenschelijk, dat zich in het brandpunt des spiegels een verkleind beeld van het kunstlicht bevindt, en, ten einde niet genoodzaakt

te zijn dit laatste op eenen te grooten afstand te plaatsen, waardoor de intensiteit van het licht zeer zoude afnemen, moet daarom eene lens van korten brandpuntsafstand worden aangewend, doch die tevens eenen grooten doormeter heeft, zoodat hare oppervlakte veel licht opvangt. Daar het hier echter minder op den juisten vorm aankomt, zoo kan tot dit doel zeer goed eene biconvexe gegoten lens of zoogenaamd ossenoog dienen. Ook een glazen met water gevulde bol, zoo als de schoenmakers gewoon zijn te gebruiken, kan hier reeds goede diensten bewijzen. Wanneer het noodig mogt zijn, kan men dan vóór de grootere lens of bol bovendien eene kleinere lens plaatsen, die de stralen nog meer convergerend maakt, en tot een nog kleiner beeld vereenigt.

Een derde middel eindelijk, om de divergerende stralen van het kunstlicht parallel te maken, bestaat in het plaatsen eener verstrooiingslens van gepasten brandpuntsafstand op den weg der stralen. Het best geschiedt zulks, door in den verlichtingstoestel, fig. 95, de verzamelingslens CD door zulk eene verstrooiingslens te vervangen, en deze zoodanig te stellen, dat het verstrooiingspunt juist gelegen zij in het vereenigingspunt der verlengden van de door den hollen spiegel convergerend gemaakte stralen. Het gezichtsveld zal alsdan door evenwijdige stralen verlicht worden (z. § 46).

200. Ten slotte vermeld ik hier nog kortelijk het gebruik van gepolariseerd licht bij mikroskopische onderzoeken, den lezer echter voor eene meer uitvoerige beschrijving der daartoe aangewende toestellen naar de laatste afdeeling verwijzende, en, voor de theorie der polarisatie-verschijnselen zelve, naar de hand- en leerboeken der natuurkunde.

Elk mikroskoop, zoowel het enkelvoudige als het zamen-gestelde en beeldmikroskoop, kan met geringe moeite in een polariserend mikroskoop veranderd worden, door gebruik te maken van dezelfde middelen, die in alle polarisatietoestellen, ook zonder vergrooting, worden aangewend. Het is bekend, dat de keus hier tamelijk ruim is. Men kan het licht opvangen, dat door een aan de eene zijde zwart gemaakt glas onder eenen hoek van $52^{\circ}, 25'$ wordt teruggekaatst, of een dubbel brekend kristal van kalkspaat gebruiken, met afsluiting van den weg voor eenen der beide stralenbundels; anders een zoogenaamd Nicolsch prisma, hetwelk uit zulk een kalkspaatkristal vervaardigd is, in dier voege dat slechts een der stralenbundels, die het gevolg der dubbele breking zijn, doorgelaten, de andere teruggekaatst wordt; ook een bundel glasplaten, welke onder eenen hoek van 55° is gesteld, of een plaatje van tourmalijn, hetwelk evenwijdig met de as van het kristal is geslepen, kunnen tot polarisatie van het licht worden aangewend.

Het is voor de meeste doeleinden tamelijk onverschillig aan welk dezer middelen men de voorkeur geeft, dewijl alle, bij behoorlijke inrigting, in polariserend vermogen nagenoeg gelijk staan. Bij het mikroskoop komt echter vooral de hoeveelheid licht in aanmerking, die bij derzelver aanwending verloren gaat, en het is om die reden, dat noch de zwarte spiegel, noch het altijd bruin of groen gekleurd tourmalijnplaatje hier met vrucht gebruik worden. Alleen bij het enkelvoudig mikroskoop is men genoodzaakt tot dit laatste zijne toevlugt te nemen, omdat door de andere polarisatiemiddelen het veld te zeer verkleind wordt.

Om de verschijnselen, die het gevolg zijn der polarisatie zichtbaar te maken, moet dan vooreerst het gezichtsveld door

gepolariseerd licht verlicht worden, en ten tweede dit gepolariseerde licht, door een ander polarisatiemiddel, tot het oog worden doorgelaten. Men heeft dus ook hier, even als in elken anderen polarisatietoestel, eenen *polarisateur* en eenen *analyseur*. Stellen wij, dat men voor beiden aan een Nicolsch prisma de voorkeur geeft, dan moet derhalve, in een zamengesteld mikroskoop, één zoodanig prisma digt onder de opening der voorwerptafel worden geplaatst, in dier voege dat deszelfs as zamenvalt met de optische as van het geheele werktuig. Het tweede prisma kan dan *of* in de buis, tusschen het objectief en het oculair, *of* tusschen dit laatste en het oog worden geplaatst. Deze laatste stelling is echter niet de verkieslijkste, omdat het gezichtsveld er zeer door verkleind wordt. Dit vertoont zich het grootst, indien het tweede prisma zich digt boven het objectief bevindt. Heeft men echter een Nicolsch prisma van tamelijk grooten doormeter, dan kan hetzelfde ook, zonder het veld veel te verkleinen, onmiddellijk onder het oculair worden gesteld, zoodat het met dit laatste vereenigd is. Zulks levert het voordeel op, dat men dan, alleen door ronddraaijing van het oculair, alle verschijnselen der polarisatie opvolgend kan waarnemen. Is de analyseur digt boven het objectief aangebragt, dan moet óf de geheele buis van het mikroskoop, óf de polarisateur onder de voorwerptafel kunnen worden rondbewogen.

Het is duidelijk, dat elk beeldmikroskoop op eene dergelijke wijze in een polariserend mikroskoop kan veranderd worden, daar hiertoe slechts gevorderd wordt, eenen polarisateur tusschen den verlichtingstoestel en het voorwerp, en onmiddellijk achter het objectief eenen analyseur te plaatsen, die om de as van het geheel kan rondgedraaid worden.

Wanneer de beide polarisatievlakken regthoekig op elkan-

der gesteld zijn, dan vertoont zich het gezigtveld donker; loopen zij evenwijdig, dan is hetzelfde helder. Door hetzij den polarisator of den analysator eenen hoek van 90° rond te draaijen, zal men derhalve beurtelings een verlicht en een duister veld zien, terwijl het in de tusschenliggende stellingen een gedeelte van het licht ontvangt. Hoe duisterder zich het veld in de eene stelling, en hoe helderder het zich in de andere vertoont, des te volkomener is de polarisatie.

Wenscht men dan den invloed te onderzoeken, dien het gepolariseerde licht ondervindt, wanneer het door eenig doorschijnend voorwerp wordt doorgelaten, dan wordt dit laatste op de gewone wijze op de voorwerptafel geplaatst. Is het veld dan vooraf donker gemaakt, zoodat geene lichtstralen tot het oog geraken, en brengt men nu op den weg der stralen een voorwerp, b. v. een tweeassig kristal, hetwelk het vermogen bezit, om het licht te depolariseren, dan zal het verlicht gezien worden op eenen zwarten achtergrond. Daar het echter dit vermogen niet in gelijke mate op alle gekleurde stralen uitoefent, en zulks tevens afhankelijk is van de dikte van het voorwerp, zoo ziet men het niet wit, maar gekleurd. Deze kleur verandert, zoodra, hetzij de polarisator, hetzij de analysator gedraaid wordt; de verschillende kleuren, die het witte licht zamenstellen, volgen elkander geregeld op, en wanneer de beide polarisatievlakken evenwijdig zijn, en het gezigtveld dus helder is, heeft het voorwerp de complementaire kleur van die, welke het bezat, toen het veld zich zwart vertoonde.

Wanneer het voorwerp eene andere dikte heeft, dan is ook, bij dezelfde betrekkelijke stelling van den polarisator en den analysator, deszelfs kleur verschillend. Van daar dat, indien kristallen, welke het licht depolariseren, gedurende de

waarneming aangroeijen, b. v. door uitdamping van het vocht, hetwelk dezelve opgelost hield, ook hunne kleur tevens verandert, en dat, zoo men een aantal kristallen van dezelfde stof gelijktijdig door het polariserend mikroskoop beschouwt, men aan dezelve allerhande kleurschakeringen waarneemt. Het kan zelfs gebeuren, dat een kristal of ander voorwerp het depolariserend vermogen mist, alleen omdat het te dun is. Voor dit geval geeft Chevalier (1) den raad hetzelfde op een micaplaatje te leggen. Dit vertoont zich dan, al naar gelang van deszelfs dikte, verschillend doch gelijkmatig gekleurd, terwijl het daarop geplaatste voorwerp eene andere kleur heeft, en daardoor zichtbaar wordt.

Somwijlen zal ook de ligging van het voorwerp niet diegene zijn, welke voor de depolarisatie gevorderd wordt, en daarom moet men, waar zulks de aard van het voorwerp gedooft, hetzelfde in verschillende stellingen zoeken te brengen. Zoo b. v. kunnen in eenen droppel een aantal kleine kristallen derzelfde stof voorhanden zijn, waarvan sommigen het licht depolariseren, en zich gekleurd vertoonen, anderen niet. Brengt men dan eene strooming in het vocht te weeg, zoodat de kristallen zich omwentelen, en beurtelings verschillende oppervlakten aan den gepolariseerden lichtstraal aanbieden, zoo zal men dezelve dan eens niet, en dan weder wel gekleurd zien, zoodat zij, indien het gezichtsveld zwart is, beurtelings verdwijnen en te voorschijn komen.

De invloed, welke door de lichamen op den gepolariseerden lichtstraal wordt uitgeoefend, behoort voorzeker tot de belangrijkste herkenningsmiddelen van hunne elementaire zamenstelling. Niet alleen toch kristallen, maar ook

(1) L. c. p. 151.

verscheidene georganiseerde voorwerpen, zoowel plantaardige als dierlijke, oefenen dien invloed uit. Reeds heb ik doen opmerken (§ 97) hoe de geheel doorschijnende lichamen bij doorvallend licht alleen daarom voor ons oog zichtbaar worden, omdat de lichtstralen óf gebroken óf teruggekaatst óf gedeeltelijk geabsorbeerd worden. Het geval kan echter zeer goed plaats grijpen, dat de naast elkander gelegen deelen van eenig voorwerp op deze wijze niet meer, als van elkander onderscheiden zijnde, kunnen herkend worden, omdat zij in brekend, terugkaatsend en absorberend vermogen, volkomen gelijk staan, terwijl daarentegen hunne inwerking op het gepolariseerde licht verschillend is, zoodat zij derhalve, als afzonderlijke bestanddeelen, eerst daardoor te voorschijn treden.

201. Bij mikroskopische onderzoekingen missen wij vele der hulpmiddelen, die ons bij andere nasporingen ten dienste staan. Van de verschillende zintuigen, welker onderlinge samenwerking zoo gewichtig is, om van de dingen buiten ons eene klare en ware voorstelling te erlangen, blijft ons hier alleen het gezichtszintuig over, en zoo ergens, dan is het hier dus noodig die gezichtsvoorstelling zoo volledig mogelijk te maken, door de vereeniging van een groot aantal gezichtsindrukken, op verschillende wijzen ontvangen. Een waarneemer, die een voorwerp slechts in éenen bijzonderen toestand van verlichting door een mikroskoop heeft beschouwd, heeft daarvan eene even onvolledige voorstelling, als een doortrekend reiziger van een fraai landschap, waarop hij slechts ter loops eenen blik heeft geworpen, en in hetwelk, naar mate het door de morgen- of door de avondzon beschenen, of door de middagzon in deszelfs volle hoogte bestraald

wordt, of bij eenen hemel die met zwarte dreigende wolken bedekt is, zich telkens afwisselende nieuwe schoonheden voor het oog ontwikkelen.

Inderdaad is het goede gebruik maken van den verlichtingstoestel een der beste kenmerken, om den geoefenden mikroskopischen waarnemer van den minder geoefenden te onderskennen. Terwijl deze, meenende dat de sterkste verlichting ook de beste moet zijn, tot tranens toe tuurt in eene zee van licht, waarin al de fijnere bijzonderheden van het beeld als verdronken zijn, zal gene integendeel het licht zooveel zoeken te matigen als de aard van het voorwerp vordert; hij zal het beurtelings door parallele, convergerende of divergerende stralen doen treffen; na het eerst bij eene centrische verlichting beschouwd te hebben, zal hij beproeven, welken invloed een schuins invallend licht daarop heeft. Verders zal hij zich niet alleen bepalen bij een onderzoek bij doorvallend licht, maar ook opvallend licht aanwenden, zelfs bij doorschijnende voorwerpen, omdat hij hierdoor gelegenheid heeft sommige bijzonderheden beter te zien, en hunnen aard te erkennen. Zoo b. v. zal hij dan, inzonderheid bij schuins opvallend licht, met meer zekerheid hoogten en diepten van elkander kunnen onderscheiden aan de rigting van de schaduw; hij zal dan ook geen gevaar loopen om kleine lucht-bellen of vetbolletjes voor eene zwarte ondoorschijnende stof, of vertakte pigmenteellen voor beenligchaampjes aan te zien.

Eindelijk zal hij, wanneer de gewone verlichtingswijzen alle door hem beproefd zijn, nog somwijlen in den gepolariseerden lichtstraal een magtig hulpmiddel vinden, om in het binnenste maaksel der lichamen door te dringen, en verschillen te doen te voorschijn treden, die op geene andere wijze waarneembaar zijn.

Zoo, zich grondende op de kennis aangaande de eeuwige wetten, die het licht volgt, en van deszelfs stralen als het ware gebruik makende tot ontleding der voorwerpen, daar waar hem zijn scalpel verlaat, heeft dan de waarnemer van een en hetzelfde voorwerp eene reeks van gezichtsindrukken ontvangen. Elk dier indrukken kan op zich zelf volkomen juist zijn, en toch tot eene geheel onjuiste voorstelling van den aard des voorwerps aanleiding geven; maar wanneer alle de indrukken, die tot het bewustzijn gekomen zijn, door het verstand geordend, onderling vergeleken, en tot een zamenhangend geheel verbonden zijn, dan mag hij met grond hoopen, dat de einduitkomst van het onderzoek inderdaad waarheid is; en bevat zij nog niet de geheele waarheid, dan kan hij zich toch de getuigenis geven, van er ijverig naar gestreefd en de hulpmiddelen te hebben uitgeput, die de tegenwoordige wetenschap aan de hand geeft.

OVER HET VERGROOTEND VERMOGEN DER MIKROSKOPEN IN HET ALGEMEEN, EN OVER DE MIDDELEN OM HETZELVE TE BEPALEN.



202. **R**eeds op meer dan eene plaats (§ 111, § 148, § 152), is over het vergrootend vermogen der mikroskopen gehandeld, en de middelen aangegeven, om hetzelfde door berekening, uit de brandpuntsafstanden der lenzen, en den duidelijkheidsafstand van het oog, te vinden. Dit geschiedde echter meer met het doel, om de werking der verschillende soorten van mikroskopen op te helderen, dan wel, omdat die handelwijzen als de meest aanbevelenswaardige moeten beschouwd worden, want, ofschoon zij, bij genoegzame naauwkeurigheid, tot juiste uitkomsten leiden, zoo zijn echter andere handelwijzen, waarbij de vergrooting op eene meer regstreeksche wijze bepaald wordt, gemakkelijker in de uitvoering, en voor het minst even naauwkeurig. Wij willen derhalve dezelve hier opzettelijk beschouwen, namelijk voor zoover zij de bepaling van het vergrootend vermogen der enkelvoudige en der zamengestelde mikroskopen betreffen, want voor de beeldmikroskopen is de eenige regstreeksche weg diegene, welke reeds in § 151 vermeld is.

Alvorens daartoe echter over te gaan, moet ik den lezer aan het reeds (§ 111 en § 148) gezegde herinneren, dat namelijk het vergrootend vermogen van een mikroskoop nimmer vol-

strekt, maar altijd betrekkelijk is, d. i., dat hetzelfde mikroskoop voor het oog des eenen meer vergrooten zal, dan voor dat des anderen, omdat de afstand, waarop men gewoon is voorwerpen te plaatsen, die men duidelijk zien wil, geenzins voor allen dezelfde is. Zelfs indien men de grootte der netvliesbeeldjes, in verhouding tot die der voorwerpen, tot grondslag van het vergrootingscijfer wilde leggen, zoude dit (z. § 115 en § 148) nog voor elk oog verschillend uitvallen.

Het zal evenwel niet ongepast zijn, nog hier ter plaatse omtrent dit punt in eenige bijzonderheden te treden, en het vergrootend vermogen der mikroskopen in verband te beschouwen met de physiologische gesteldheid van het oog.

205. Wanneer men naar eenig voorwerp door eene lens of door een zamengesteld mikroskoop ziet, dan projicieert men het waargenomen schijnbeeld op een vlak, hetwelk zich op zekeren afstand van het oog bevindt. Hiertoe wordt dus gevorderd, dat de accomodatietoestand van het oog zoodanig zij, als dezelve wezen zoude, indien het oog een scherp beeld op het netvlies wilde vormen van voorwerpen, die werkelijk op dien afstand geplaatst waren.

Gedurende het zien door een mikroskoop is echter het oog geenzins een geheel lijdelijk werktuig, als ware het een scherm, dat de beelden slechts opvangt; deszelfs accommodatievermogen kan integendeel even werkzaam zijn, als bij het gewone zien, en gevolglijk is ook de afstand van het vlak, waarop het schijnbeeld geprojicieerd wordt, te gelijk met den accomodatietoestand zelven, veranderlijk. Hieruit vloeit voort, dat dezelfde waarnemer, door hetzelfde mikroskoop, de voorwerpen, dan eens meer, dan eens minder vergroot kan waarnemen, al naar gelang van den accomodatietoestand,

waarin zich het oog op het oogenblik der waarneming bevindt.

Dat zulks inderdaad zoo is, hiervan kan men zich gemakkelijk overtuigen, door iemand, die een goed gezigt heeft, doch zelden door een mikroskoop ziet, hetzelfde voorwerp op verschillende tijden daardoor te doen beschouwen. Wanneer hij dan deszelfs grootte bij eene hem bekende maat vergelijkt, dan zullen zijne opgaven niet zelden onderling zeer afwijkend zijn. Zoo verzocht ik iemand, die een goed teekenaar is, op een papier de grootte der ruitjes te teekenen van eenen glasmikrometer, zooals dezelve zich in het veld van het mikroskoop op verschillende tijden aan hem vertoonden. Bij twee vergrootingen, de eene van 56, de andere van 502 maal, voor eenen gezigtsafstand van 25 centim., waren de uitkomsten de volgende:

I. Ware doormeter der ruitjes = $\frac{1}{50}$ Eng. duim (0,508 millim.). Doormeter der geteekende ruitjes: 4,5; 6,7; 8,5; en 11,5 millim.

II. Ware doormeter = $\frac{1}{500}$ Eng. duim (0,0508 millim.). Doormeter der geteekende ruitjes: 5,2; 7; 9,6; en 11 millim.

Niet alleen verschilt dus de zoogenaamde duidelijkheidsafstand voor onderscheiden oogen, maar zij is ook voor hetzelfde oog niet geheel onveranderlijk (z. ook § 72), en even als het accomodatievermogen van het oog zich tussehen zekere grenzen beweegt, zoo geldt zulks ook ten opzichte van het vergrootend vermogen eens mikroskoops voor een en hetzelfde oog. Indien men eenig voorwerp op den juisten afstand onder het mikroskoop heeft gebragt, zoodat men hetzelfde volkomen duidelijk ziet, en nu naar eenig zeer verwijderd voorwerp staart, om hetwelk te zien het oog voor stralen geaccomodeerd moet worden, die bijna parallel zijn, dan

zal men, oogenblikkelijk daarop weder door het mikroskoop ziende, aanvankelijk het voorwerp veel onduidelijker waarnemen, dan vroeger, omdat de stralen die uit het mikroskoop treden, te divergerend zijn, dan dat zij op het netvlies tot een scherp beeld zouden kunnen worden vereenigd. Na eenigen tijd echter zal het oog weder in den vroegeren toestand gekomen zijn, en het beeld zich wederom scherp vertoonen. Het omgekeerde kan echter ook plaats grijpen, dat men namelijk, door den afstand van het voorwerp een weinig te veranderen, ook den graad van divergentie, waarmede de stralen het mikroskoop verlaten, eenigzins verandert, en in overeenstemming brengt met den tijdelijken accomodatietoestand van het oog.

Beide, het oog en het mikroskoop, maken dus te zamen een geheel uit, maar waarvan het verband niet verbroken wordt, door kleine wijzigingen in deszelfs eene samenstellend gedeelte, mits daaraan eene overeenkomstige wijziging in het andere beantwoordt.

De vraag, of er voor elk oog een bepaalde duidelijkheidsafstand en dus ook een bepaald vergrootend vermogen van een mikroskoop bestaat, kan daarom, in hare algemeenheid opgevat, niet anders dan ontkennend beantwoord worden. Eenigzins anders echter moet deze beantwoording luiden, indien men daarbij let op de personen zelve, die het mikroskoop gebruiken. Van hunne eerste jeugd af zijn deze gewoon geworden, bij lezen of bij schrijven, of bij fijnen handenarbeid, de voorwerpen, die zij nauwkeurig zien willen, op eenen zekeren afstand van hun oog te houden; die afstand is wel is waar niet volkomen bepaald, maar toch binnen zekere weinig verwijderde grenzen beperkt. Het is deze afstand der voorwerpen, waarvoor hun

oog zich het gemakkelijkst accomodeert, en welke door gewoonte aan hetzelfde het meest eigen is geworden. Is het oog in rust, is het b. v. gesloten, of ziet het in eene ledige ruimte, dan verkeert hetzelfde in dezen toestand. Ziet nu zulk een oog door een mikroskoop, zonder dat zich een voorwerp op den gepasten afstand van de lens bevindt, dan is het gezichtsveld aanvankelijk voor hetzelfde ook eene ledige ruimte; het oog zal dus in den toestand van rust blijven volharden, het accomodatievermogen zal zich noch voor eenen verren noch voor eenen korten afstand inspannen. Brengt men nu het voorwerp allengs nader tot de lens, dan zal degene, die weinig gewoon is door een mikroskoop te zien, zijn accomodatievermogen, zonder zich daarvan bewust te zijn, in werking brengen, en het gevolg zal wezen, dat hij het schijnbeeld dan eens op dezen, dan eens op genen afstand, en te gelijker tijd verschillend vergroot meent te zien. Bij hem echter, die aan het mikroskopische zien gewoon is, blijft het accomodatievermogen ook gedurende de toenadering van het voorwerp doorgaans geheel werkeloos; het oog wacht, als het ware, tot dat de stralen dien trap van divergentie verkregen hebben, welke gelijk is aan die, welke van voorwerpen uitgaan, die zich op deszelfs meest gewonen duidelijkheidsafstand bevinden, en van daar dat voor den geoefenden mikroskopischen waarnemer het vergrootend vermogen vrij standvastig hetzelfde blijft.

Uit deze beschouwing vloeit tevens voort, dat de berekening der vergrooting niet gegrond moet zijn, zoo als sommigen (Goring, Brewster) gewild hebben, op den afstand van het eerste grenspunt van het oog (z § 75), omdat dit laatste, indien het voor voorwerpen, die zich op dien afstand bevinden, geaccomodeerd is, zich geenzins in rust, maar in

eenen staat van werkdadige spanning bevindt, die onmogelijk lang zoude kunnen worden volgehouden. Het is echter mogelijk, en zelfs waarschijnlijk, dat, bij zeer moeilijke mikroskopische waarnemingen, het oog tijdelijk zich ook voor eenen korteren afstand dan den gewonen accomodeert, dewijl de netvliesbeeldjes daardoor iets grooter worden, en gevolglijk nog bijzonderheden zullen kunnen worden waargenomen, die, bij den gewonen accommodatietoestand, aan het gezigt ontvlugten. Waarschijnlijk is dit de reden, waarom zelfs hij, die dagelijks eenige uren aan mikroskopische nasporingen wijdt, zonder in den regel daardoor eenige vermoeidheid in zijn oog te bespeuren, toch, wanneer het op het onderzoek van voorwerpen aankomt, welke zoo klein zijn, dat zij dicht bij de uiterste grenzen der zichtbaarheid liggen, na eenigen tijd eene onaangename, soms zelfs pijnlijke, spanning in zijn oog ontwaart, welke hem noodzaakt het onderzoek te staken.

Indien wij derhalve vaststellen, dat men, bij de berekening van het vergrootend vermogen van mikroskopen, moet uitgaan van den gewonen duidelijkheidsafstand, dan blijkt echter tevens, dat men, bij de vergelijking tusschen het gezichtsvermogen met het bloote oog en dat met het mikroskoop, niet moet vergeten, dat het gebied van beiden voor een gedeelte zamenvalt. Stellen wij namelijk, dat een oog, welks duidelijkheidsafstand op 200 millim., en welks naaste grenspunt op 100 millim. ligt, door eene lens ziet, welke voor den genoemden duidelijkheidsafstand 2 malen vergroot, dan zal dezelfde waarnemer, ook zonder de lens, hetzelfde voorwerp met gelijke duidelijkheid 2 malen grooter zien, indien hij hetzelfde op 100 millim. afstands van zijn oog houdt. Het eenige onderscheid zal zijn, dat hij in het eerste geval met gemakkelijkerheid, zonder de minste inspanning, ziet, terwijl

hij in het tweede geval genoodzaakt is zijn oog in eenen ongewonen toestand te brengen; maar in beide gevallen is de graad van divergentie, waarmede de stralen in het oog treden, dezelfde.

204. Doch hoewel er van een bepaald vergrootend vermogen van een mikroskoop geen sprake kan zijn, en dit zelfs voor een enkelvoudig mikroskoop (z. § 108) eigenlijk in het geheel niet bestaat, zoo is het echter wenschelijk het vermogen, dat eene lens, of eene vereeniging van lenzen, aan het oog schenkt, om kleinere voorwerpen waar te nemen, dan waartoe het oog alleen in staat is, in cijfers volgens eenigen maatstaf uit te drukken. Voor enkelvoudige lenzen levert hun brandpuntsafstand zulk eenen maatstaf op, terwijl voor doubletten en tripletten de brandpuntsafstand der aequivalente lens daartoe zoude kunnen dienen (z. § 125). Wat het zamengestelde mikroskoop betreft, zoo kan men deszelfs vermogen desgelijks uitdrukken door den brandpuntsafstand eener aequivalente lens, welke, hetzij door berekening, hetzij door regtstreeksche bepaling kan gevonden worden, wanneer men, volgens de handelwijze van Goring (1), het zamengestelde mikroskoop als oculair in eenen verrekijker gebruikt, en met behulp van eenen dynameter de vergrooting bepaalt, op gelijke wijze, als zulks vroeger (§ 115) voor eene enkele lens is opgegeven.

De maatstaf, welke de brandpuntsafstand oplevert, is echter verre van zoo zeker te zijn, als zij oppervlakkig beschouwd, welligt schijnen mag. Zij zoude zulks alleen dan wezen, indien, bij het zien door eene en dezelfde lens, in elk

(1) *Micrographia*, p. 68.

oog scherpe netvliesbeeldjes van gelijke grootte ontstonden. Al verschilden dan ook de betrekkelijke vergrooting, omdat de een gewoon is kleinere netvliesbeeldjes van dezelfde voorwerpen waar te nemen, dan de ander, dan zoude de volstreckte vergrooting, die der netvliesbeeldjes namelijk, toch door een vast cijfer kunnen worden uitgedrukt. Deze gelijkheid in de grootte der netvliesbeeldjes heeft echter, gelijk wij reeds gezien hebben, geen zins plaats. Integendeel, naarmate de betrekkelijke vergrooting toeneemt, vermindert de volstreckte, en omgekeerd, zoodat men derhalve het vermogen van een mikroskoop door den brandpuntsafstand uitdrukken, nog steeds genoodzaakt is, voor elk oog in het bijzonder te berekenen, hoeveel de vergrooting voor dit onder bepaalde omstandigheden bedraagt.

203. Zien wij thans, in hoe verre de gewoonlijk gevolgde handelwijze, om het vergrootend vermogen te berekenen voor eenen algemeenen duidelijkheidsafstand, beter aan het oogmerk voldoet.

Reeds dadelijk stuiten wij hier op eene zwarigheid, welker opheffing zeer wenschelijk is, omdat zij tot veel verwarring aanleiding geeft, de beantwoording der vraag namelijk, welke gezichtsafstand als de algemeene duidelijkheidsafstand moet worden aangenomen? In dit opzigt heerscht nog steeds veel willekeur. Terwijl namelijk eenigen de vergrooting willen berekend hebben volgens eenen gezichtsafstand van 5 Eng. duimen, vindt men anderen, die 8 Rh. duimen, wederom anderen, die 10 Par. duimen daarvoor aannemen, terwijl nog anderen aan 25 centim. de voorkeur geven. Ja zelfs is het mij eenmaal voorgekomen, dat de vergrootingen van een horizontaal geplaatst mikroskoop voor eenen afstand van 57

centim. berekend waren, omdat dit de toevallige hoogte der buis boven de tafel was!

Dat dit verschil eenen hoogst belangrijken invloed heeft op het cijfer der vergrooting, spreekt van zelf, daar dit in gelijke verhouding grooter wordt, met den afstand van het vlak, waarop het beeld wordt geprojecteerd. Eene vergrooting b. v., die, voor eenen gezichtsafstand van 5 Eng. duimen berekend, 500 maal bedraagt, is ongeveer gelijk aan eene 900 malige vergrooting, indien de duidelijkheidsafstand op 37 centim. gesteld wordt.

Ofschoon nu een afstand als deze laatste ongetwijfeld als veel te groot, en de eerste als te kort moet worden aangemerkt, om voor algemeenen maatstaf te dienen, zoo bestaat er echter geen voldoende grond, om tusschen de overige in gebruik zijnde eene beslissende keuze te doen, daar het cijfer van den gemiddelden duidelijkheidsafstand onmogelijk met zekerheid kan worden aangegeven. Ook is het tamelijk onverschillig welken afstand men als zoodanig kiest, mits men, bij het opgeven der vergrooting, nimmer verzuime, denzelven te noemen. Welligt verdient de afstand van 25 centim. de voorkeur, omdat dezelve in metrieke maat is uitgedrukt, en deze vroeg of laat waarschijnlijk alle andere maten verdringen zal. Het is om die reden, dat ik mij tot hiertoe aan dezelve gehouden heb, en ook in het vervolg de vergrootingen, voor dien afstand berekend, zal aangeven. Overigens kan men gemakkelijk de vergrooting voor den eenen duidelijkheidsafstand in die voor eenen anderen herleiden, daar de vergrootingcijfers tot elkander staan in reden als de duidelijkheidsafstanden. Voor eenen dubbelen duidelijkheidsafstand b. v. bedraagt de vergrooting ook het dubbele. Eene 550 malige vergrooting, voor eenen gezichtsafstand van

25 centim., is voor eenen van 20 centim. $= \frac{550 \times 20}{25} =$

280 maal. Ten gemakke der lezers, voeg ik hier het volgende tafeltje bij:

VERGROOTINGSCIJFERS VOOR EENEN DUIDELIJKHEIDSAFSTAND VAN:			
25 centim.	5 Eng. duim. 12,7 centim.	8 Rh. duim. 20,9 centim.	10 Par. duim. 27,1 centim.
1000.	508.	856.	1084.
950.	485.	794.	1050.
900.	457.	752.	976.
850.	432.	711.	919.
800.	406.	669.	863.
750.	381.	627.	815.
700.	356.	585.	759.
650.	330.	555.	704.
600.	305.	502.	650.
550.	279.	460.	596.
500.	254.	418.	542.
450.	225.	376.	488.
400.	205.	354.	434.
350.	179.	295.	379.
300.	152.	251.	325.
250.	127.	209.	271.
200.	102.	167.	217.
150.	76.	125.	165.
100.	51.	84.	108.
75.	38.	63.	81.
50.	25.	42.	54.
25.	15.	21.	27.
10.	5.	8.	11.

Doch er is nog een punt, hetwelk hier niet uit het oog mag verloren worden, dat namelijk ook dan, wanneer al de vergrootingscijfers naar eenen en denzelfden duidelijkheidsafstand berekend waren, zij, streng genomen, toch alleen volkomen geldig zijn voor het oog van dengenen, die de bepaling heeft verrigt.

Ter opheldering hiervan diene fig. 95. AB stelle eene lens voor, welker brandpunt in p is; fg de oppervlakte van het hoornvlies van drie achtereenvolgens daarachter gehouden oogen, die wij I, II en III willen noemen, en welker duidelijkheidsafstanden zijn de , de' en de'' . Voor den duidelijkheidsafstand de van I, moet zich een voorwerp, dat een scherp beeld op het netvlies zal vormen, bevinden in 1, en het kruissingspunt der rigtingstralén binnen het oog ligt dan in a . Voor II is de plaats van het voorwerp bij 2, en het kruissingspunt in a' ; voor III moet het voorwerp nog verder van de lens verwijderd worden, tot in 5, zoodat het kruissingspunt in a'' valt. Nu is het duidelijk, dat noch de gezigtshoeken, noch de doormeters der schijnbeelden in deze drie gevallen gelijk zijn. I projiciert het beeld op den afstand de , de doormeter van het schijnbeeld is derhalve bc , en de gezigtshoek, waaronder hetzelfde gezien wordt, is bac . Voor II is $b'c'$ de doormeter van het schijnbeeld, en $b'a'c'$ de gezigtshoek; voor III zijn het $b''c''$ en $b''a''c''$. Naarmate dus de schijnbeelden, die zich van een en hetzelfde voorwerp, op de onderscheiden duidelijkheidsafstanden der verschillende waarnemers, vormen, kleiner worden, nemen de gezigtshoeken in grootte toe. Nemen wij nu hier eenen algemeenen duidelijkheidsafstand aan, b. v. de' , zoodat hl de doorsnede van het vlak voorstelt, waarop de projectie van het beeld in alle drie de gevallen plaats heeft, dan zal deszelfs doormeter voor I $= iv$ zijn, voor II $= bc$, en voor III $= nr$. Indien derhalve een waarnemer, wiens duidelijkheidsafstand grooter of kleiner is, dan die, welken men voor den algemeenen heeft aangenomen, de grootte der door hem waargenomen schijnbeelden herleidt tot die, welke zij op den algemeenen duidelijkheidsafstand zouden hebben, of, hetgeen

hetzelfde is, indien hij het op dien afstand geprojecteerde beeld meet, dan zal de uitkomst telkens min of meer verschillend zijn.

Stellen wij in het onderhavige geval voor den gemiddelden duidelijkheidsafstand *de'* van II 25 centim.; dat verders I een bijziend oog voorstelle, welks duidelijkheidsafstand *de* zij = 15 centim., terwijl die van het verziende oog III of *de''* 55 centim. bedraagt, dan zullen, in gevolge § 141, de vergrootingscijfers voor lenzen van de bijgevoegde brandpuntsafstanden, of voor de combinatiën, welke hiermede gelijk staan, de volgende zijn:

Brandpunts-afstand.	I.	II.	III.
20 millim.	8,5.	15,5.	18,5.
10 "	16.	26.	36.
5 "	51.	51.	71.
1 "	151.	251.	551.

Wanneer deze vergrootingscijfers herleid worden tot die voor den duidelijkheidsafstand van II, dan verkrijgt men:

I.	II.	III.	Verhouding van I tot III.
14,2.	15,5.	15,2.	1 : 0,950.
26,7.	26.	25,7.	1 : 0,965.
51,6.	51.	50,7.	1 : 0,982.
251,7.	251.	250,7.	1 : 0,996.

Deze uitkomsten leeren dus, dat overal, waar het op een zeer naauwkeurig kennen van het vergrootend vermogen aankomt, zooals bij verschillende mikrometrische methoden het geval is, elk waarnemer verplicht is, hetzelfde voor zijn eigen oog te bepalen. Het blijkt echter tevens, dat het verschil voor onderscheiden oogen des te meer bedraagt, hoe geringer het vergrootingscijfer is; zoodat hetzelfde bij eenigzins

aanzienlijke vergrotingen, zulke b. v., die 250 te boven gaan, zoo onbeduidend wordt, dat men het in de meeste gevallen zal kunnen verwaarloozen.

206. Gaan wij thans over tot beschouwing der handelwijzen zelve, welke tot bepaling van het vergrootend vermogen der mikroskopen kunnen worden aangewend. Alle komen daarin overeen, dat zij berusten op de vergelijking tusschen de grootte van het op den algemeenen duidelijkheidsafstand geprojecteerde schijnbeeld met de grootte van het voorwerp, (b. v. eene mikrometer-verdeeling), dat het beeld geeft.

De middelen tot projectie van het schijnbeeld zijn in een vorig hoofdstuk behandeld (§ 177 en volg.), en het is tamelijk onverschillig, aan welk derzelven men de voorkeur geeft. Zij, die zich eene genoegzame vaardigheid in het dubbelzien (§ 185) hebben eigen gemaakt, kunnen echter de verschillende hiertoe bestemde werktuigen ontbeeren, daar deze methode verreweg de eenvoudigste is, en boven de andere projectiemiddelen het voordeel geeft, van het beeld onmiddellijk, zonder terugkaatsing en lichtverlies, te meten, zoodat dezelve nog bij de sterkste vergrotingen toepasselijk is, waarbij de *camera lucida*, het Sömmeringsche spiegeltje, enzv. te kort schieten. Wat naauwkeurigheid aangaat, zoo doet het dubbelzien voor geen van dezen onder, mits eene genoegzame oefening zij voorafgegaan.

Om de vergroting nu met juistheid te bepalen, moeten eenige voorzorgen worden in acht genomen, waarbij wij achtereenvolgens willen stilstaan.

Vooreerst ontstaat de vraag: welk voorwerp van eene bekende grootte hiertoe moet worden aangewend. De beantwoording dezer vraag schijnt zeer gemakkelijk, en echter le-

vert zij een eigendomlijk bezwaar op, daarin bestaande, dat de glas- en schroefmikrometers, uit onderscheiden werkplaatzen afkomstig, verre zijn van volstrekt overeenkomstige maten aan te geven. Later, wanneer ik over het meten van mikroskopische voorwerpen zal handelen, zal ik op dit punt nader terugkomen (1), en dan zal blijken, dat men in dit opzicht zooveel verschil aantreft, dat dit eenen niet onbelangrijken invloed op de vergrootingscijfers moet uitoefenen. Deze toch worden des te aanzienlijker, naar gelang de volstreckte waarde van de aangewende mikrometer-verdeeling geringer is. Met twee mikrometers b. v., welker gelijknamige maten tot elkander staan gelijk 10 tot 11, (en zulke verschillen komen in werkelijkheid voor), zal eene vergrooting, die volgens de eerste gevonden is 440 te bedragen, volgens de laatste slechts 400 voor denzelfden duidelijkheidsafstand zijn. Elke reeks van vergrootingsbepalingen, waarbij eene zekere mikrometrische verdeeling ten grondslag is gelegd, kan derhalve alleen als geldig beschouwd worden ten opzichte van den mikrometer, die voor de bepaling gediend heeft. Bij glasmikrometers, welke uit dezelfde werkplaats afkomstig, en dus ondersteld kunnen worden op hetzelfde verdeelwerktuig vervaardigd te zijn, kan men eenen stap verder gaan, en aannemen, dat de volstreckte waarde der maat telkens dezelfde is, en aldus, zich eenigzins algemeener uitdrukkende, de vergrooting bepaald noemen, b. v. volgens den millimeter van Oberhäuser, volgens den Ween. duim van Plöszl, of den Eng. duim van Dollond enzv.

Bovendien zijn de afdeclingen van eenen en denzelfden

(1) Uitvoerig is hetzelfde uiteengezet in mijne *Recherches micrométriques*. p. 7.

mikrometer nimmer onderling volkomen gelijk. Inzonderheid is zulks bij glasmikrometers het geval, en het is daarom een volstrekt vereischte, opvolgend de schijnbeelden van een zeker aantal dier verdeelingen te meten, ten einde eene gemiddelde uitkomst te verkrijgen, die nader bij de waarheid komt. Dit is des te meer noodig, hoe sterker de vergrooting wordt, omdat men dan genoodzaakt is ook kleinere afdeelingen te meten.

Bij eenen goeden schroefmikrometer is het verschil in de, met onderscheiden gedeelten der schroef genomen, maten, over het algemeen geringer, en een voorwerp, welks doormeter vooraf met groote naauwkeurigheid daarmede bepaald is, b. v. de afstand tusschen twee streepjes van eenen glasmikrometer, kan vervolgens zeer goed tot het vinden der vergrooting worden aangewend.

Indien men eenen glasmikrometer gebruikt, dan moet men ook bedacht zijn op de dikte der met den diamant getrokken streepjes. Bij goede glasmikrometers is deze dikte wel is waar gering, doch nog altijd aanzienlijk genoeg, om, bij eenigzins sterke vergrootingen, niet verwaarloosd te kunnen worden. Het midden-gedeelte van elke streep duidt eigenlijk de ware plaats aan, waar elke nieuwe afdeeling aanvangt, doch bij de meting zal men beter doen met de randen der streepjes als de aanvangspunten te beschouwen, mits men, zooals trouwens van zelf spreekt, daarvoor telkens denzelfden kant neemt, hetzij de regtsche of de linksche.

Uit een en ander volgt, dat het bepalen der vergrooting, door de afdeelingen van glas- of schroefmikrometers tot maatstaf te nemen, eigenaardige bezwaren oplevert, die daar, waar het op groote naauwkeurigheid aankomt, het wenschelijk maken, een ander middel op te sporen, hetwelk beter

aan het doel beantwoordt. Dit middel wordt gevonden, door eenen dunnen metaaldraad een groot aantal (eenige honderd) malen om eenen dikkeren draad te winden, zoodanig dat elke winding juist tegen de volgende aanligt, waarvan men zich door het mikroskoop behoort te overtuigen. Vervolgens wordt de lengte der door de gezamenlijke windingen ingenomen ruimte zeer naauwkeurig gemeten, en het getal der windingen geteld, hetgeen het best door afwinding op de draaibank geschiedt. De dikte van de draad is dan gelijk aan de geheele lengte der vroegere windingen, gedeeld door derzelver aantal. Indien deze bewerking met zorg verrigt wordt, dan kan men zich daardoor eenen vasten maatstaf verschaffen, die met veel meer zekerheid, dan eenige mikrometer-verdeeling, tot bepaling van het vergrootend vermogen kan dienen. (1)

In de *tweede* plaats is het voor eene juiste bepaling der vergrooting noodig, dat men acht geeft op de verschillende vergrooting in het midden en aan de randen van het gezigtsveld, welk verschil het gevolg is van de kromming van het beeld. In het enkelvoudig mikroskoop (§ 109) bestaat deze kromming altijd, en kan nimmer geheel worden weggenomen. In het zamengesteld mikroskoop is zulks wel is waar mogelijk, door eene juiste verhouding tusschen het collectief-glas en het oogglas (§ 151), doch die verhouding is geen-zins ook altijd te gelijker tijd de beste voor de meest volledige verbetering der aberratiën, en, daar deze verbetering belangrijker te achten is, dan het verkrijgen van een geheel plat gezigtsveld, zoo wordt dit laatste veelal opgeofferd aan

(1) Later zal ik, bij de behandeling der mikrometrische handelwijzen, op dit punt terugkomen, en voorbeelden bijbrengen van de naauwkeurigheid, waarvoor deze methode vatbaar is.

de meerdere scherpte van het beeld in het midden van het veld. Nagenoeg altijd is dan ook daar ter plaatse de vergrooting het geringst, terwijl zij naar de randen toe allengs toeneemt.

Het is om die reden noodig, bij de bepaling van het vergrootend vermogen, hierop bedacht te zijn, en de metingen alleen te verrigten aan die gedeelten van het beeld, welke zich niet te ver buiten het middelpunt van het gezichtsveld bevinden. Bij het gebruik van een Huygenssch oculair kan men daartoe zekerheidshalve op het diaphragma, dat zich tusschen de beide glazen bevindt, eenen ring leggen, die het veld tot op de gewenschte grootte verkleint.

Ten *derde* moet men zeer zorgvuldig acht geven, dat de afstand van het oog tot aan het vlak, waarop het schijnbeeld geprojecteerd wordt, steeds juist gelijk zij, en blijve, aan den duidelijkheidsafstand, dien men als den algemeenen heeft aangenomen. Het kan echter gebeuren, dat de inrigting van het werktuig niet veroorlooft het schijnbeeld juist op dien afstand te meten. Zoo b. v., zal in vele gevallen de afstand van de voorwerptafel tot aan de bovenste oppervlakte van het oculair geringer dan die duidelijkheidsafstand zijn, zoodat men, door het dubbelzien, het geprojecteerde beeld op de voorwerptafel metende, eenen te geringen doormeter zoude vinden. In dit geval kan men dien echter gemakkelijk tot den doormeter herleiden (z. § 205), welke het beeld zoude gehad hebben, indien de oppervlakte der voorwerptafel zich juist op den duidelijkheidsafstand bevonden had. Ook is het voor mikrometrische doeleinden wenschelijk, dat men de vergrotingscijfers kent, welke, zonder acht te geven op den duidelijkheidsafstand, aan den afstand der voorwerptafel beantwoorden.

Ten *vierde* moet, gedurende de meting, het oog zooveel mogelijk onbeweeglijk worden gehouden, omdat zich bij de beweging van het oog om deszelfs dwarse as, ook de plaats van het schijnbeeld verandert.

Eindelijk *ten vijfde* is het geenzins onverschillig, op welke wijze de meting bewerkstelligd wordt. Doorgaans raadt men aan, het schijnbeeld op eenen verdeelden maatstok op te vangen, en wanneer men slechts verlangt ten naastenbij het vergrootend vermogen te kennen, dan kan men hiermede volstaan. Doch voor eene eenigermate naauwkeurige bepaling moet men zich van eenen passer bedienen, welker punten fijn genoeg zijn, om ook onderdeelen van den millimeter te meten. Gewoonlijk wend ik hiertoe eenen dubbelen passer aan, welks lange beenen de maat, die met de korte genomen is, verviervoudigen. Een goede gewone passer is echter ook bruikbaar, mits men vervolgens de maat zoekt met behulp eener genoegzaam fijn verdeelde schaal, waarop b. v. nog tiende gedeelten van den millimeter zijn aangegeven. Mist men zulk eenen, dan kan men zijn doel bereiken door op een papier eene regte lijn te trekken, en hierop de maat tienmaal over te brengen; het tiende gedeelte der gezamenlijke lengte is dan natuurlijk die der gezochte maat.

Indien men voor de projectie van een der katoptrische hulpmiddelen gebruik maakt, dan is het niet noodig het beeld regtstreeks met den passer te meten, maar dan is het gemaklijker hetzelfde op eene lei op te vangen, en hierop, met de fijne punt van eene griffel, deszelfs grenzen af te teekenen. Een aantal dezer afgeteekende maten kan dan later achtereenvolgens met den passer worden gemeten, om de gemiddelde lengte daaruit te vinden.

Wanneer men, op de zoo even gezegde wijze, het veld

van een zamengesteld mikroskoop, door middel van eenen in het oculair gebragten ring, verkleind heeft, dan kan men ook den doormeter van het schijnbeeld van dit veld meten, en nu tellen, hoeveel afdeelingen van eenen mikrometer daarin begrepen zijn. Deze handelwijze is echter minder naauwkeurig dan de regstreeksche meting van het schijnbeeld van het als maatstaf gebezigd voorwerp zelve, omdat de rand van het veld natuurlijk niet altijd juist op de grens eener mikrometer-afdeeling valt.

207. Het getal der vergrootingen van een zamengesteld mikroskoop is gelijk aan het produkt van het getal der objectiefstelsels vermenigvuldigd met dat der oculairen. Het is echter geenzins noodig al deze vergrootingen elk afzonderlijk te bepalen, omdat men de vergrootingscijfers van één der objectiefstelsels met de verschillende oculairen, en die van van één der oculairen met de verschillende objectiefstelsels kennende, die der overige combinatiën gemakkelijker door berekening vindt.

Stellen wij, dat de vergrootingen gevraagd worden van een mikroskoop hetwelk 6 objectiefstelsels en 4 oculairen heeft. Hun geheele getal bedraagt dan 24, doch 9 bepalingen zijn toereikend, om ook de overige 15 daaruit te berekenen. Men heeft b. v. gevonden, dat de objectiefstelsels, met het zwakste der oculairen, de volgende vergrootingen geven: 53, 82, 140, 285, 575 en 490 maal, en dat de vergrootingen van N°. 5 der objectiefstelsels met de verschillende oculairen bedragen: 140, 217, 522 en 451 maal. Dan staat het vergrootend vermogen van het zwakste oculair, waarvan ook het vergrootend vermogen met de overige objectiefstelsels bekend is, tot dat der overige oculairen als

1:1,55, 2,5 en 5,08. Door vermenigvuldiging der cijfers van de eerst gevonden reeks met deze vaste coëfficiënten worden dan de vergrootingen gevonden, die de objectiefstelsels met elk der oculairen geven. De coëfficiënt voor N°. 5 der oculairen bedraagt b. v. 2,5, en deszelfs vergrootingscijfers zijn dus, met verwaarloozing der breukdeelen: 81, 189, 522, 651, 865 en 1127.

208. Voor sommige onderzoeken, zoo als tot telling van de voorwerpen, of van de deelen van eenig voorwerp, die zich in eene bepaalde ruimte bevinden, is het wensche-lijk, dat men ook de ware middellijn van het gezigtsveld kent, als ook deszelfs vierkanten inhoud, dewijl deze gelijk is aan het gedeelte van de oppervlakte eens voorwerps, dat zich onder het mikroskoop bevindt. Deze bepaling kan ge-lijktijdig met die der vergrooiting geschieden, en het is nut-tig de uitkomsten op de tafel der vergrootingscijfers aan te teekenen. Hiertoe wordt alleen vereischt, dat men de mid-dellijn van het schijnbeeld van het veld op den duidelijkheids-afstand meet. Daar echter, bij de aanwending van katop-trische hulpmiddelen ter projectie, altijd slechts een gedeelte van het veld overzien wordt, zoo kan voor deze bepalingen alleen van het dubbelzien gebruik worden gemaakt. Ook hier zijn een klein getal metingen voldoende, dewijl de schijn-bare grootte van het veld enkel van het oculair afhangt. Men behoeft hetzelfde derhalve slechts voor de verschillende oculairen te meten, en de uitkomsten te deelen door de vergrootingscijfers. Voor het zwakste oculair van het straks als voorbeeld gekozen mikroskoop, heeft men b. v. de schijn-bare middellijn van het gezigtsveld gevonden = 172 mil-lim. Met het zwakste objectiefstelsel is dus deszelfs ware

middellijn $= \frac{172}{55} = 4,91$ millim., en voor de overige objectiefstelsels met hetzelfde oculair 2,10, 1,25, 0,61, 0,46 en 0,55 millim. Den vierkanten inhoud van het gezigtveld vindt men dan, door het vierkant van de halve middellijn te vermenigvuldigen met 5,142. Is de middellijn van het veld 4,91 millim., dan is dus deszelfs inhoud $= 2,455 \times 2,455 \times 5,142 = 18,925 \square$ millim.

OVER HET DOORDRINGEND EN HET BEGRENZEND VERMOGEN DER
MIKROSKOPEN.



209. **H**et is eene vrij algemeene dwaling, dat de hoofddienste van een mikroskoop in deszelfs vergrootend vermogen bestaat. Ook is de eerste vraag, welke elk onkundige op de lippen heeft, zoodra er sprake is van een mikroskoop: hoe sterk vergroot het wel? Deze dwaling spruit voort uit een geheel onvolledig en zelfs onjuist begrip aangaande de eigenlijke bestemming van dit werktuig, gelijk zulks reeds vroeger (bl. 122) is aangewezen. Inderdaad bekleedt dan ook het cijfer der vergrooting, bij de waardeering van de betrekkelijke deugdzaamheid eens mikroskoops, eene zeer ondergeschikte plaats, en, in stede van, bij de keuze tusschen twee mikroskopen, te vragen: welk van hen beiden vergroot het sterkst?, moeten wij de vraag aldus stellen: welk van hen beiden vertoont bij de geringste vergrooting dezelfde voorwerpen even goed? of, hetgeen op hetzelfde uitkomt, welk van hen beiden doet, bij gelijke vergrooting, in het een of ander voorwerp de meeste en moeilijkst zichtbare bijzonderheden waarnemen?

Daar waar het optisch vermogen van een mikroskoop zal getoetst worden, moet derhalve een andere maatstaf worden gekozen, om deszelfs werking te beoordeelen, en deze

maatstaf wordt geleverd door de beelden zelve van de voorwerpen, welke men door het mikroskoop waarneemt. Dat hierbij de graad van vergrooting dier beelden slechts in geringe aanmerking komt, blijkt dadelijk, bij vergelijking der oudere mikroskopen met die, welke in de laatste jaren vervaardigd zijn. Onder de eersten worden er sommige aangetroffen, welker vergrootend vermogen 600—700 maal en meer bedraagt. Bij het onderzoek derzelfde voorwerpen, door deze en door onze nieuwere mikroskopen, blijkt echter, dat het eigenlijk optisch vermogen der eersten, door de laatsten reeds bij eene 80—100 malige vergrooting bereikt, zoo niet overtroffen wordt. Vragen wij naar de reden dezer grootere voortreffelijkheid, dan moet dezelve in tweederlei oorzaken gezocht worden, welke, schoon zij niet geheel onafhankelijk van elkander zijn, toch elk op zich zelve eenen bepaalden invloed uitoefenen. Deze oorzaken zijn: 1° de verbetering der aberratiën, en 2° de grootere opening, welke daardoor aan de objectieven heeft kunnen gegeven worden.

Gaan wij thans in eenige bijzonderheden na, welke de invloed dezer beide omstandigheden op het optisch vermogen der mikroskopen is.

210. Uit al het vroeger (§ 49, 56—58) gezegde, betreffende de uitwerking der sphaerische en der chromatische aberratiën, is het gebleken, dat het noodwendig gevolg derzelve is een gebrek aan scherpe omtrekken, of, om een enkel woord te bezigen, aan begrensdheid der beelden. De chromatische afwijking brengt gekleurde randen te weeg, en ook waar zij niet bestaat, zoo als bij de beelden door holle sphaerische spiegels gevormd, daar vertoonen zich de randen toch nevelachtig, omdat men niet een enkel beeld, maar

eene laag van beelden van onderscheiden grootte ziet. Indien beide aberratiën volkomen opgeheven waren, dan zouden ook de beelden volkomen begrensd zijn. Het is nu, wel is waar, in geen enkel dioptrisch of katoptrisch werktuig, hetwelk tot het vormen van beelden bestemd is, mogelijk dit toppunt van volkomenheid te bereiken, doch hetzelfde kan er toe naderen, en hoe grooter de verbetering der aberratiën is, des te beter begrensd zullen de daardoor waargenomen beelden zich vertoonen. Dat gedeelte van deszelfs optisch vermogen, hetwelk op deze verbetering der beide aberratiën berust, kan men derhalve door den naam van het *begrenzend vermogen* onderscheiden.

Doch in de tweede plaats komt ook het aantal der lichtstralen in aanmerking, hetwelk tot zamenstelling van het beeld heeft medegewerkt, omdat van de lichtsterkte van dit laatste de sterkte van den indruk afhankelijk is, dien het beeld op het netvlies maakt. Daar nu de lichtsterkte der beelden toeneemt in reden van de vierkanten der doormeters van de lenzen of spiegels, waardoor de beelden ontstaan zijn, zoo volgt, dat in een beeld, hetwelk gevormd is door eene lens, die b. v. eene 3 maal grootere opening dan eene andere van gelijken brandpuntsafstand heeft, 9 maal meer stralen in dezelfde ruimte zijn zamengedrongen, zoodat dus sommige gedeelten van het beeld, die in dat der kleinere lens te weinig lichtsterkte bezaten, om door het oog ontwaard te worden, met de grootere zichtbaar zullen zijn. Het is deze invloed van de hoegrootheid der opening van de lenzen of spiegels, waarop een ander gedeelte van het optisch vermogen berust, hetwelk men met den naam van het *doordringend vermogen* heeft bestempeld.

Deze benamingen zijn eigenlijk ontleend aan de sterre-

kundigen (1), aan wie de verschillende invloed, welke de verbetering der aberratiën, en de vergrooting der opening van het objectief, op het optisch vermogen der verrekijkers heeft, reeds wel bekend was, toen Goring aantoonde, dat dezelfde oorzaken ook bij de mikroskopen een geheel overeenkomstig gevolg hebben.

Het spreekt van zelf, dat een werktuig, hetzij verrekijker of mikroskoop, des te volkomener zijn zal, hoe meer het beide vermogens in zich vereenigt. Tevens is het duidelijk, dat het doordringend vermogen, door de verbetering van het begrenzend vermogen, toenemen zal, omdat het gezamenlijke beeld, hetwelk ontstaat door het zamenvallen van alle de verschillende boven elkander liggende beelden, meer lichtsterkte moet hebben, en eenen sterkeren indruk op het netvlies te weeg brengen, dan de vereeniging van diffusiebeelden, welke hetzelfde opvangt, indien de aberratiën niet verbeterd zijn. De ondervinding leert echter, dat beide vermogens onafhankelijk van elkander kunnen bestaan, zoodat het eene werktuig een grooter begrenzend, het ander een grooter doordringend vermogen kan bezitten. Met het eerste zullen zich dan de randen der voorwerpen net en scherp geteckend vertoonen, zoodat het mogelijk is twee zulke voorwerpen, die zich zeer dicht bij elkander bevinden, en waarvan eene genoegzame hoeveelheid licht uitgaat, afgescheiden van elkander te zien. Met het tweede, waarin het doordringend vermogen overwegend is, zullen daarentegen de lichtzwakke gedeelten van een voorwerp nog gezien kunnen

(1) William Herschel heeft het eerst op den belangrijken invloed van de grootte der opening bij spiegelteleskopen opmerkzaam gemaakt, in zijne uitstekende verhandeling: *On the Power of penetrating into Space by Telescopes*. *Phil. Transact.* 1800. p. 49.

worden, die met het eerste werktuig onzichtbaar zijn, in weerwil dat zeer nabij elkander zijnde voorwerpen door het tweede niet onderscheidenlijk kunnen worden waargenomen.

Het gezegde zal het best door een voorbeeld worden opgehelderd, en, daar het onafhankelijk bestaan dier beide vermogens, uithoofde van den aard der waargenomen voorwerpen, in verrekijkers scherper in het oog valt, dan in mikroskopen, zoo acht ik het duidelijkheidshalve gepast, alvorens tot deze laatste over te gaan, een voorbeeld aan de werking van gene te ontleenen, en ik weet daartoe geen beter te keizen, dan door hier de uitkomsten aan te voeren van een vergelijkend onderzoek van twee verrekijkers, door den hoogleeraar Kaiser (1) in het werk gesteld, en waarvan, blijkens deze uitkomsten, in den eenen het begrensend vermogen, in den anderen het doordringend vermogen de overhand heeft.

Het eerste der hier bedoelde werktuigen is een kijker, vervaardigd door Christiaan Huygens, welks voorwerpglas eenen brandpuntsafstand van 5,966 met., en eene opening van 0,0616 met. heeft, terwijl het vergrootend vermogen des kijkers 49 maal bedraagt.

Het andere is een achromatische zakijker uit het Optisch Instituut te München, welks voorwerpglas eenen brandpuntsafstand van 0,455 met., en eene opening van 0,055 met. bezit, met een vergrootend vermogen van ruim 50 malen.

» De slotsom van het onderzoek is,» zegt Kaizer, » dat » de kleine kijker, om zijne zoo geringe opening, in licht- » kracht eenigermate voor den grooten moet wijken, maar

(1) *Iets over de kijkers van de Gebroeders Christiaan en Constantijn Huygens*, in het *Instituut* bl. 396, 427.

» het daarentegen in scherpte der beelden aanmerkelijk van
 » hem afwint. De planeten vertoonen zich door den kleinen
 » kijker flauwer, maar veel scherper begrensd dan door den
 » grooten, doch de groote laat op hunne oppervlakte meer
 » bijzonderheden onderscheiden. De afgeplatte gedaante der
 » planeet Jupiter vertoont zich door den kleinen kijker dui-
 » delijker dan door den grooten, maar de schaduw van den
 » ring van Saturnus op de schijf der planeet, kon ik door den
 » kleinen kijker niet bemerken, terwijl hij zich door den
 » grooten eenigermate onderscheiden liet. Door den grooten
 » kijker vertoonen de sterren zich als onbegrensde kleine vlak-
 » jes, maar door den kleinen als zuivere scherp begrensde
 » schijfjes, omgeven van lichte ringen, juist zoodanig, als
 » zij zich, in een volmaakten kijker, door de interferentie
 » van het licht moeten vertoonen. Door die zuiverheid der
 » beelden ziet men heldere dubbele sterren, met kleine af-
 » standen, zoo als μ *Draconis* en ζ *Aquarii*, door den
 » kleinen kijker beter dan door den grooten; maar flauwe
 » voorwerpen van den hemel laten zich door den grooten
 » kijker het duidelijkste onderscheiden. De kleine kijker ver-
 » toont den Hugeniaanschen wachter van Saturnus, onder
 » gunstige omstandigheden, als een fijn zeer zuiver lichtpunt.
 » Door den kijker van Huygens is hij wel minder zuiver,
 » maar helderder en duidelijker. De zakkijker doet de twee
 » begeleiders van σ *Orionis*, en dien van m *Orionis* ontdek-
 » ken; maar door den kijker van Huygens wordt men zo
 » ligter gewaar, en de zwakste voorwerpen, die zich door
 » den kijker van Huygens met inspanning nog even onder-
 » scheiden laten, ziet men dikwijls door den zakkijker in het
 » geheel niet."

Het verschil in werking tusschen deze twee werktuigen,

welke in vergrootend vermogen nagenoeg volkomen gelijk staan, maar waarvan de opening des eenen bijna het dubbele van die des anderen bedraagt, is zoo treffend, dat het overbodig is hier iets tot nadere verklaring bij te voegen.

Zien wij thans welken invloed een dergelijk verschil op de waarneming van mikroskopische voorwerpen moet hebben.

Reeds dadelijk stuiten wij hier echter op eene tegenwerping, die welligt reeds menig lezer bij zich zelve gemaakt heeft, dat men namelijk, bij het gebruik van het mikroskoop, het groote voordeel boven dat van den verreijker heeft, van de voorwerpen, die men wenscht waar te nemen, kunstmatig te kunnen verlichten, zoodat men het dus in zijne magt heeft de helderheid van het beeld naar willekeur te versterken.

Inderdaad is deze tegenwerping ook tot op eene zekere hoogte gegrond, en er zijn gevallen, waarin eene geringere opening vergoed kan worden, door meer licht op het voorwerp te doen vallen. Dit is inzonderheid het geval bij ondoorschijnende voorwerpen, zoodat dan ook voor dezulke de betrekkelijke deugd van een mikroskoop meer bepaald wordt door den graad van het begrenzend, dan door dien van het doordringend vermogen, hetwelk hier eene meer ondergeschikte rol speelt.

Het meerendeel der mikroskopische onderzoeken betreft echter voorwerpen, die uit hunnen aard zeer doorschijnend zijn, zoodat zij slechts ten gevolge der afwijkingen van de oorspronkelijke rigting, welke de lichtstralen op sommige punten ondergaan, zichtbaar worden. Een gering verschil in brekend vermogen, een schuinsche inval der stralen, welke, daardoor gebroken en teruggekaatst wordende, het oog niet bereiken, doen van zulke punten schaduwbeeldjes op het netvlies ontstaan, maar eene eigenlijke verlichting van het

voorwerp, in dien zin, dat deszelfs zichtbaarheid zoude afhangen van de hoeveelheid licht, hetwelk men er van onderen op laat vallen, en van daar uit het oog bereikt, heeft hier geen plaats. Alleen het geheele gezichtsveld wordt verlicht, doch zoodra deze kunstmatige versterking der verlichting zekere grenzen te boven gaat, dan worden de schaduwbeeldjes minder donker, en de tegenstelling tusschen hen en het overige gezichtsveld, waarop de geheele zichtbaarheid berust, geringer. Van daar, dat voor de waarneming van zulke doorschijnende voorwerpen een mikroskoop des te beter zal zijn, hoe grooter, het overige gelijk staande, de openingshoek van het objectief is, omdat dan nog zwakke schaduwtinten waarneembaar zijn, die door een ander, al is ook deszelfs begrenzend vermogen gelijk, en de helderheid van het gezichtsveld tot op gelijke hoogte versterkt, niet meer waarneembaar zijn.

Overigens kan men zich gemakkelijk van de ongegrondheid dezer tegenwerping overtuigen. Men beschouwe door een aplanatisch mikroskoop eenig doorschijnend voorwerp, en vestige de aandacht op die gedeelten van hetzelfde, welke blijkbaar het moeilijkst zichtbaar zijn, zoo als b. v. de dwarse en overlangsche streepjes op de schubben van eenen vlin-der, of van eenig ander insekt. Vervolgens legge men op het bovenste glas van het objectiefstelsel achterevolgens ringen van verschillende wijdde, waardoor de opening van het objectief tragsgewijze meer en meer vernaauwd wordt. Deze ringen kunnen uit een kaartenblad geknipt worden. Zij brengen natuurlijk niet de geringste vermindering te weeg in den graad van verbetering der aberratiën, ja zelfs mag men aannemen, dat in de meeste gevallen, door afsluiting der randstralen, deze verbetering nog iets zal toenemen. Verders

heeft men het in zijne magt, met behulp van den verlichtingstoestel, de helderheid van het gezigtsveld telkens weder op gelijke hoogte te brengen. Desnietteenstaande zal men het volgende waarnemen.

Reeds bij eene geringe vernaauwing der opening verdwijnen de het moeilijkst zichtbare dwarsstreepen; bij meerdere vernaauwing worden ook de lengtestreepen onduidelijk; men kan dezelve moeilijker onderscheiden van de zelfstandigheid, die de tusschenruimten inneemt; in stede van gelijk vroeger, door scherpe lijnen begrensd te zijn, worden zij korrelig; eindelijk verdwijnen ook zij geheel en al, en geene versterking der verlichting van het gezigtsveld, zelfs ver boven de oorspronkelijk aangewende, is meer in staat hen te voorschijn te roepen. Intusschen vertoont zich het geheele schubbetje met volkomen scherpe en zeer donkere omtrekken, zoodat een ongecoefende ligtelijk meenen zoude, dat deszelfs beeld in zuiverheid en netheid niets te wenschen overlaat, en hij welligt zelfs, schoon zeer ten onregte, geneigd zal zijn aan zulk een mikroskoop de voorkeur toe te kennen boven een ander, hetwelk een minder begrenzend maar een meerder doordringend vermogen bezit.

Deze invloed van de vernaauwing der opening op de zichtbaarheid der doorschijnende mikroskopische voorwerpen zal men in tallooze andere gevallen bewaarheid vinden, en ik raad ieder aan, die zich een juist begrip wil vormen van hetgeen men door de beide genoemde vermogens te verstaan hebbe, om zulks op de gezegde wijze te bewerkstelligen, dewijl hij zich hierdoor in korten tijd eene klaardere voorstelling van hunnen aard en uitwerking kan verschaffen, dan de meest uitvoerige schildering der verschijnselen hem geven kan. Telkens zal hij dan den regel bewaarheid vinden, dat

alle werkelijk ondoorschijnende, of ook de gedeeltelijk ondoorschijnende, b. v. gekleurde, gedeelten van een voorwerp het minst in zichtbaarheid verliezen door de opening te vernauwen. Is, bij de vervaardiging van het objectief, het begrenzend vermogen gedeeltelijk opgeofferd aan een meerder doordringend vermogen, dan kan zelfs het geval plaats grijpen, dat, door de opening iets naauwer te maken, zulke gedeelten van het voorwerp in duidelijkheid winnen. Doch daarentegen zullen die gedeelten, welke slechts ten gevolge der afwijking van de lichtstralen zichtbaar worden, b. v. de kanten van zeer dunne kristalplaatjes, de randen van organische vliezen, van cellen, van buisjes, van vezelen, enzv. altijd het best zichtbaar zijn, wanneer de opening geheel onbedekt is.

211. Ofschoon nu het doordringend vermogen als voornamelijk afhankelijk moet beschouwd worden van de grootte van den openingshoek, zoo zijn er echter ook nog andere omstandigheden, die op de lichtsterkte van het beeld invloed hebben, en welke derhalve in aanmerking komen. Reeds heb ik doen opmerken (bl. 545), dat de verbetering der aberratiën ook in dit opzicht gunstig werkt, zoodat van twee mikroskopen met gelijke opening niet alleen het begrenzend maar ook het doordringend vermogen het grootst zal zijn in datgene, waarin de aberratiën het volledigst zijn opgeheven. Daar verders de helderheid van het beeld geheel afhangt van het aantal der stralen, die tot deszelfs samenstelling hebben medegewerkt, zoo blijkt, dat ook de graad van polituur der glazen of der spiegels hier eenen niet onbelangrijken invloed moet hebben. Ook het aantal der terugkaatsende oppervlakten is geenzins onverschillig, zoodat, het overige

gelijk staande, het doordringend vermogen van een mikroskoop des te grooter zal zijn, hoe geringer het getal der hetzelfde zamenstellende glazen is. Eene doublet en eene triplet kunnen echter, bij gelijk vergrootend en begrenzend vermogen, een grooter doordringend vermogen bezitten, dan eene enkele lens, omdat het meerdere getal glasoppervlakten meer dan opgewogen wordt door de grootere opening, die aan zulke stelsels kan gegeven worden (z. § 127). Eindelijk herinner ik hier aan de vroegere (§ 173) vergelijking tusschen de katoptrische en dioptrische mikroskopen, uit welke gebleken is, dat, indien ook al de opening van een katoptrisch objectief overeenkomt met die van een, in vergrootend vermogen daarmede gelijk staand, dioptrisch objectief, het eerste toch altijd in lichtsterkte, en dus in doordringend vermogen, door het laatste zal overtroffen worden.

ONDERZOEK EN BEOORDEELING VAN HET OPTISCH VERMOGEN
EENS MIKROSKOOPS.

212. Na deze algemeene beschouwing van de inrigting en de werking der verschillende mikroskopen, kunnen wij thans overgaan tot eene meer bijzondere uiteenzetting der regelen, welke bij de beoordeeling van het optisch vermogen eens mikroskops moeten worden in acht genomen, en der middelen, welke daartoe kunnen dienen.

Hierbij komen dan de volgende punten in aanmerking:

1° De graad van aplanatisme of de verbetering der beide soorten van afwijking.

2° De brandpuntsafstand en de grootte van den openingshoek; bij het enkelvoudig mikroskoop die van de lens of van het lenzenstelsel; bij het zamengesteld dioptrisch mikroskoop die van het objectief; bij het katadioptrisch mikroskoop van den spiegel.

3° De meerdere of mindere volkomenheid der polituur van de oppervlakten der lenzen en der spiegels, alsmede de homogeneiteit van de zelfstandigheid, waaruit de eersten bestaan.

4° De lichtsterkte van het mikroskoop, zonder en met den verlichtingstoestel, en de kleur van het gezichtsveld.

5° De juistheid der centrering van de verschillende deelen, waaruit de optische toestel bestaat.

6° De uitgebreidheid van het gezigtsveld, en deszelfs meerdere of mindere platheid.

7° Het begrenzend vermogen.

8° Het doordringend vermogen.

9° Het vergrootend vermogen.

Wij zullen achtereenvolgens bij deze verschillende punten stilstaan.

215. Ten einde den graad van verbetering der beide *aberratiën* te onderzoeken, is mij geene meer geschikte handelwijze bekend, dan die, welke het eerst door Lister, later door Goring, als ook door v. Mohl is aanbevolen.

Zij bestaat daarin, dat men het beeldje van een venster-raam, hetwelk zich in eenen druppel kwikzilver afspiegelt, als voorwerp bezigt. Men brengt daartoe eenige zeer kleine kwikzilverdroppels (die men verkrijgen kan door eenig kwikzilver met water in eene flesch te schudden) op een dof zwartgekleurd plaatje, en plaatst het mikroskoop op 3—4 meters afstand van het venster. Elke druppel zal alsdan, door een mikroskoop beschouwd, een beeldje van dit laatste vertoonen, hetwelk grooter of kleiner is, naar gelang van de grootte des droppels, en van deszelfs afstand van het venster.

Wanneer zulk een beeldje door een mikroskoop beschouwd wordt, hetwelk geene chromatische aberratie heeft; — b. v. door een katadioptrisch mikroskoop, hetwelk bovendien van eenen elliptischen spiegel voorzien is, zoodat de sphaerische aberratie is opgeheven, — dan zal men, zoodra het beeldje zich op den juisten afstand bevindt, hetzelfde scherp begrensd waarnemen, zonder eenig spoor van eenen hetzelfde omgevenden lichtnevel. Het geheele gezigtsveld vertoont zich volkomen zwart, met uitzondering van de door het beeldje

ingenomen plaats. Door den afstand tusschen het mikroskoop en het beeldje te veranderen, zal dit laatste nagenoeg eensklaps verdwijnen, terwijl zich een ronde lichtkring vormt, die wel niet scherp begrenst is, doch echter zonder dat ook nu zich een lichtnevel over het veld uitbreidt.

In de werkelijkheid bestaat zulk eene volkomen opheffing der sphaerische aberratie nimmer, noch bij katoptrische, noch bij dioptrische mikroskopen, doch zij kunnen, gelijk wij (§ 64, 159) zagen, in dit opzigt onder- of oververbeterd zijn. In beide gevallen vertoont zich om het beeldje een lichtnevel, en, door den afstand te veranderen, kan men ontdekken of de aberratie onderverbeterd of oververbeterd is.

Heeft namelijk het eerste plaats, dan zal men bij benedenwaartsche verwijdering van het beeldje, van uit deszelfs juiste stelling, nog een tijdlang deszelfs omtrekken waarnemen, bij gelijktijdige vorming van den bovengenoemden lichtkring. Bij toenadering daarentegen van het beeldje tot het mikroskoop houdt hetzelve op eens op zichtbaar te zijn. Is de sphaerische aberratie oververbeterd, dan heeft het tegenovergestelde plaats. Bij toenadering zal dan het beeldje niet dadelijk verdwijnen, maar wel bij deszelfs verwijdering.

Bij dioptrische mikroskopen worden deze verschijnselen iets zamengestelder, omdat men hier tevens met de uitwerkselen der chromatische aberratie te doen heeft. De graad van onder- of oververbetering dezer laatste kan echter door hetzelfde hulpmiddel bepaald worden. Wanneer het beeldje op den juisten afstand gebragt wordt, waarbij het zich het scherpst vertoont, dan zullen aan deszelfs randen, bij het gebruik van een niet achromatisch mikroskoop, duidelijke prismatische kleuren worden waargenomen. Brengt men nu vervolgens het beeldje nader tot het mikroskoop, zoodat hetzelve

zich tot den reeds genoemden lichtkring uitbreidt, dan zal men aan dezen eenen tamelijk breedten rooden zoom waarnemen, die naar den omtrek toe in geelachtig rood overgaat. Door het beeldje te verwijderen verkrijgt daarentegen de lichtkring eenen violetblauw gekleurden zoom.

Onderzoekt men nu op dezelfde wijze het beeldje met een goed achromatisch mikroskoop, dan zal men weinige of geene sporen van prismatische kleuren daaraan bespeuren. Indien men echter in den juisten afstand van hetzelfde eenige verandering brengt, dan zal men ook nu gekleurde zoomen aan den lichtkring waarnemen, die evenwel veel smaller zijn, dan bij een niet achromatisch mikroskoop. Nimmer ontbreken zij echter geheel, en kunnen zulks ook niet, eensdeels omdat eene achromatische dubbellens, en zoo ook een stelsel van zulke lenzen, slechts voor eenen bepaalden afstand van het voorwerp tot het mikroskoop vrij van de chromatische aberratie zijn kan (z. § 64), en anderendeels dewijl, ook bij het volkomenst bereikbaar achromatisme, nog de kleuren van het secundaire spectrum overblijven (z. § 62). Ook zelfs wanneer de verbetering den hoogsten trap had bereikt, zouden dus nog altijd, bij de verwijdering en bij de toenadering van het beeldje, gekleurde zoomen ontstaan. Men kan daarom alleenlijk uit de meerdere of mindere geringheid der zich hierbij vertoonende kleuren tot de meer of minder volledige opheffing der chromatische aberratie besluiten. Is deze onderverbeterd, dan zullen zich de roode en de blauwe zoomen, schoon in minderen graad, onder dezelfde omstandigheden vertoonen, als bij een niet verbeterd mikroskoop, terwijl, wanneer oververbetering plaats heeft, hunne orde omgekeerd wordt, d. i. de roode zoom ontstaat alsdan bij verwijdering, en de blauwe bij toenadering van het beeldje.

Wanneer de brandpuntsafstand van het mikroskoop zeer kort is, dan wordt het moeilijk het beeldje van het venster in den kwikzilverdruppel nog te zien, omdat de stralen alsdan door den rand van het busje, dat de lenzen insluit, in hunnen weg belemmerd worden. In dit geval kan men, ingevolge den raad van Goring, in stede van kwikzilverdruppels, kleine luchtbelletjes aanwenden, welke men gemakkelijk verkrijgt door het schudden van eenig dikvloeiend vocht, zoo als eiwit, canadabalsem met terpenhijnolie aangemengd, of door het oplossen van gompoeder in water, enzv. Zulke luchtbelletjes werken even als kleine verstrooijingslenzen, en vormen dus schijnbeeldjes van alle voorwerpen, welker stralen door den verlichtingsspiegel worden teruggekaatst. Natuurlijk moet men hiertoe eenen vlakken spiegel gebruiken. Daar men echter deze beelden niet, zoo als bij die der kwikzilverdruppels, op eenen donkeren, maar op eenen verlichten achtergrond ziet, zoo zijn zij tot het bepaalde doel om den graad van verbetering der aberratiën te onderzoeken, minder geschikt dan deze, dewijl inzonderheid de kenmerken der sphaerische aberratie hierbij veel minder in het oog loopend zijn. De kwikzilverdruppels verdienen uit dien hoofde steeds verre de voorkeur, en alleen dan, wanneer zeer sterke lenzen en objectieven moeten beproefd worden, is men genoodzaakt tot de luchtbelletjes zijne toevlugt te nemen (1).

Nog andere handelwijzen zijn, bepaaldelijk tot beproeving der sphaerische aberratie, aanbevolen. Zoo bezigde Goring hiertoe eene geëmailleerde plaat met witte cijfers op eenen

(1) Op eene andere wijze, om zich van de door luchtballen gevormde beelden te bedienen, tot bepaling der grenzen van het optisch vermogen eens mikroskoops, zal ik later terugkomen.

zwarten ondergrond. v. Mohl wendde eene glasplaat aan, waarop hij eene dikke laag oostindische inkt bragt, en daarin met eene naald kleine kringen en andere figuren trok, die nu bij doervallend licht beschouwd werden. Zoowel in het eene als in het andere geval zullen zich, bij volledige opheffing der sphaerische aberratie, de randen der witte cijfers of der gemaakte streepen en kringen zeer scherp vertoonen, zonder dat men eenen lichtnevel, ter zijde van dezelve, op het zwarte gedeelte van het gezigtveld bespeurt. Bij toenadering tot of bij verwijdering van het mikroskoop breidt zich het beeld uit, doch, hoewel deszelfs randen hierbij meer en meer in scherpte verliezen, zoo vertoont zich ook nu geen omringende lichtnevel. Indien er onderverbetering plaats heeft, zal men, bij benedenwaartsche verwijdering, eenen sterken lichtnevel waarnemen, die zich binnen- en buitenwaarts uitbreidt, door welken nevel heen men nog een eind weegs de oorspronkelijke gedaante der figuur door ziet schemeren. Bij toenadering tot het mikroskoop vertoont zich daarentegen deze lichtnevel niet, maar blijft het gezigtveld zwart. Is de sphaerische aberratie oververbeterd, dan zal men bij de toenadering en bij de verwijdering juist de tegenovergestelde verschijnselen waarnemen.

Het spreekt van zelf, dat men nog velerlei andere middelen tot hetzelfde oogmerk kan doen dienen, daar bij alle witte voorwerpen op eenen zwarten achtergrond geplaatst, of bij alle openingen in een overigens zwart gezigtveld, waardoor wit licht valt, gelijke verschijnselen ontstaan, als de boven geschetste. Ik vermeld hier daarom nog slechts één hulpmiddel, hetwelk mij gebleken is bijzonder geschikt te zijn, omdat het ook bij de sterkste vergrootingen nog aanwendbaar is, waar door kunst vervaardigde figuren, of

met eene naald getrokken streepen op een zwart gemaakt glasplaatje, eene te grootte breedte bezitten, om de uitwerkselen der sphaerische aberratie nog duidelijk te kunnen herkennen. Hiertoe moeten de witte figuren of streepen zeer dun zijn, en deze verschaft men zich zeer gemakkelijk, door een glasplaatje gedurende eenige oogenblikken in de vlam eener kaars of lamp te houden, totdat er zich eene niet te dikke laag kool op heeft afgezet. Brengt men dan het plaatje nog warm onder het mikroskoop, dan ziet men aanvankelijk eene gelijkmatige zwarte oppervlakte, doch bij de bekoeling verdeelt zich dezelve allengs in een groot aantal, meestal door regte lijnen begrensde kleine onregelmatige veelhoekjes. Hierdoor ontstaan heldere tusschenruimten van allerhande breedte, waaraan men nu, op de boven gezegde wijze, den graad en den aard der verbetering van de sphaerische aberratie kan beproeven.

Indien men verschillende mikroskopen volgens deze handelwijzen onderzoekt, dan zal men natuurlijk ook tot verschillende uitkomsten geraken. Hierop oefent echter de aard van het werktuig eenigen invloed uit. Zoo zullen de uit eene en dezelfde glassoort, en desgelijks de uit edelgesteenten bestaande doubletten en tripletten van een enkelvoudig mikroskoop steeds blijken onderverbeterd te zijn, zoowel ten opzichte der sphaerische als der chromatische aberratie. Bij aplanatische lenzenstelsels is dit anders. Reeds vroeger (§ 158, 159) heb ik doen opmerken, en er de gronden voor aangegeven, dat deze, wanneer zij bestemd zijn voor het gebruik in een zamengesteld mikroskoop, oververbeterd behooren te wezen. Ook zal men bij alle zulke lenzenstelsels, welke uit goede werkplaatsen afkomstig zijn, deze oververbetering aan de boven medegedeelde kenteekenen kunnen herkennen.

Bezig men dezelve daarentegen in het zamengestelde mikroskoop, in verband met de oculairen, dan zal men dan eens de kenteekenen van oververbetering, dan weder die van onderverbetering ontdekken, en zelfs kan het geval voorkomen, dat, terwijl de eene der beide aberratiën iets oververbeterd is, de andere nog onderverbeterd blijkt te zijn. Werkelijk kunnen beide verbeteringen ook niet volkomen gelijken tred houden, en is slechts eene toenadering tot eene juiste gemiddelde verhouding binnen zekere grenzen mogelijk. Raadplegen wij de ondervinding, dan is eene ligte onder- of oververbetering der chromatische aberratie minder schadelijk, dan eene gebrekkige verbetering der sphaerische aberratie. Bij de beoordeeling van een mikroskoop komen derhalve de kenteekenen van deze in bijzondere aanmerking. Zoowel hare onder- als hare oververbetering zijn in gelijke mate nadeelig voor het begrenzend vermogen, dewijl daardoor het beeld steeds troebel en nevelachtig wordt. Een zeer dunne gekleurde zoom schaadt minder, en daar een blaauwachtige rand aangenamer voor het oog is, dan eene rood- of geelachtige, zoo zal men aan eenen geringen graad van oververbetering dezer soort van afwijking doorgaans de voorkeur geven.

Overigens herinner ik hier aan de verschillende (z. § 159) handelwijzen, om in een zamengesteld dioptrisch mikroskoop de verbetering der beide aberratiën tot den hoogsten trap van volkomenheid te brengen. Het is natuurlijk niet te verwachten, dat een mikroskoop, zelfs een zoodanig, hetwelk uit de beste werkplaats afkomstig is, bij alle combinatiën in gelijke mate vrij van aberratie zal blijken te zijn, tenzij er middelen tot verdere correctie door den vervaardiger zelven zijn aangebragt. Is zulks, zooals gewoonlijk, niet geschied, dan kan men, eensdeels vooraf door naauwkeurige beproeving

onderzoeken, welke de meest van aberratie vrije combinatiën zijn, anderendeels door kleine wijzigingen, b. v. door verkorting of door verlenging van de buis, het mikroskoop ook voor de overige combinatiën merkelyk verbeteren.

Ook vergete men niet, bij de beoordeeling van dit gedeelte der optische inrigting van een mikroskoop, acht te geven op den vroeger (§ 160) geschetsten invloed der dekplaatjes, daar deze bij het onderzoek niet kunnen gemist worden, en de waarnemer derhalve in staat moet gesteld zijn, om overeenkomstig hunne verschillende dikte, de gevorderde verbeteringen aan te brengen.

214. Bij het beschouwen van voorwerpen met een aplatisch mikroskoop neemt men aan den rand der beelden een verschijnsel waar, hetwelk men zich wel wachten moet voor een kenteeken van gebrekkige verbetering der aberratie te houden, daar het zich juist des te duidelijker vertoont, hoe volkomener deze verbetering is, en als zoodanig werkelijk tot hare kenmerken behoort. Men ontwaart namelijk, wanneer het voorwerp op den juisten afstand van het mikroskoop is geplaatst, zoodat de randen scherp begrensd zijn, eenen hen omgevend den dunnen lichtzoom, die door een schaduwwachtig en soms gekleurd lijntje begrensd wordt. De oorzaak hiervan ligt in de buiging der lichtstralen bij het voorbijgaan der randen van het voorwerp, en in de daarbij plaats grijpende interferentie, welke, hoewel zij altijd plaats heeft, slechts dan alleen waarneembaar wordt, wanneer de beelden, ten gevolge der verbetering, niet meer als eene laag van zekere dikte, maar tot een gezamenlijk beeld vereenigd door het netvlies worden opgevangen. Dit dunne lichtzoompje is, wel is waar, in sommige gevallen, vooral bij naauwkeurige

mikrometrische bepalingen, eenigzins hinderlijk, doch nimmer in zeer belangrijke mate. Echter is het goed er de aandacht op te vestigen, omdat zij, die met het verschijnsel onbekend zijn, eenig gevaar kunnen loopen, van dit lijntje voor de begrenzing van een dun vliesje te houden. Hetzelve geheel op te heffen schijnt ondoenlijk, het allerminst door achromatische verlichtingstoestellen, ofschoon deze bepaaldelijk daarvoor zijn aanbevolen.

215. In de *tweede* plaats komen, bij de beoordeeling van een mikroskoop, in aanmerking: de brandpuntsafstand alsmede de grootte van den openingshoek, waaronder de stralen, die van het voorwerp uitgaan, het mikroskoop binnentreden.

Over het vinden van den brandpuntsafstand der lenzen en der lenzenstelsels, zal het niet noodig zijn hier in eenige bijzonderheden te treden, daar reeds, in § 115, 115, 116 en 125, hiertoe de noodige aanwijzingen bevat zijn.

Het middel, om den openingshoek bij enkelvoudige lenzen te meten, is mede reeds in § 122 aangegeven. Voor het vinden van den openingshoek van een zamengesteld mikroskoop, hetzij deszelfs objectief eene enkele lens is, of een lenzenstelsel, of wel een katoptrisch objectief, kan de volgende handelwijze van Lister dienen (1). Het mikroskoop voorzien van een der oculairen en van het objectief, welks openingshoek men wil bepalen, wordt tot dit oogmerk in eene horizontale rigting gesteld op een blad papier. vervolgens plaatst men, op eenige voeten afstands, eene brandende kaars, en rigt nu het mikroskoop naar de vlam in diervoege, dat haar licht het veld in twee helften snijdt,

(1) *Philos. Transact.* 1830. p. 191.

waarvan dus de eene donker, de andere helder is. Men trekt dan op het papier eene lijn, beantwoordende aan den kant van een der beenen van het voetstuk des mikroskoops. Nu laat men het mikroskoop in eene horizontale rigting draaijen, daarvoor het brandpunt als spil nemende, totdat zich de tegenovergestelde helft van het gezichtsveld verlicht vertoont, en trekt wederom eene lijn langs hetzelfde been. De draaijingshoek is gelijk aan den openingshoek van het objectief, en wordt dus gevonden door den hoek te meten, welken de beide getrokken lijnen met elkander maken.

Goring (1) heeft een op hetzelfde beginsel steunend werktuig doen vervaardigen, hetwelk zoodanig is ingerigt, dat de draaijingshoek door eenen verdeelden cirkelboog wordt gemeten, terwijl in het brandpunt van het objectief de punt eener naald is geplaatst, welke de verlengde eener spil is, waarom de geheele toestel draait. De hiermede verkregen uitkomsten zijn natuurlijk veel juister, dan die naar de ruwere methode van Lister, en zulk een werktuig kan van veel nut zijn, inzonderheid in de werkplaats van eenen vervaardiger van mikroskopen.

Het is uit den aard der zaak duidelijk, dat zich geen volstrekte maat laat aangeven, welke de openingshoek moet bezitten. Zoowel de opening als de openingshoek eener lens zouden hun maximum bereiken, indien dezelve een halve bol was. Bestaat zij uit glas van 1,5 brekingsindex, dan zoude deze grootst mogelijke openingshoek ongeveer 90° bedragen. Voor lenzen, uit stoffen vervaardigd, die het licht sterker breken, zoude zij nog grooter kunnen zijn. Het is er echter verre af, dat deze grens in onze mikroskopen

(1) *Microscopical illustrations*, p. 292.

bereikt wordt. In werkelijkheid is het de graad van aplanatisme des mikroskoops, die de grens voor den openingshoek bepaalt, en hieruit volgt, dat een groote openingshoek slechts in zooverre als eene deugd van een mikroskoop kan beschouwd worden, als dezelve gepaard gaat met eene daarmede gelijken tred houdende verbetering der sphaerische aberratie.

216. In de *derde* plaats moet gelet worden op den graad van volkomenheid der polituur van de oppervlakten der lenzen en der spiegels, alsmede op de homogeneïteit van de zelfstandigheid, waaruit de eerste bestaan.

Wat de polituur betreft, zoo zijn eenigzins belangrijke gebreken daarin, reeds met het bloote oog, of onder eene loupe te herkennen. In de objectieven van een zamengesteld mikroskoop vertoonen zich die gebreken het best, door de afzonderlijke dubbellenzen als oculair te gebruiken, vooral indien het gezigtsveld door een zeer zwak lamplicht verlicht wordt. Slechts zelden zal het gebeuren, dat zulk eene lens deze proef volkomen doorstaat, zoodat zich nergens eenig spoor van een putje of krasje vertoont. Bij de beoordeeling hiervan moet men echter onderscheid maken tusschen een algemeen gebrek in de polituur, hetwelk zich onder de genoemde omstandigheden verraadt door zeer dicht bij elkan- der zijnde schaduwachtige golvende lijntjes en vlekjes, die het geheele gezigtsveld innemen, en nevelachtig maken, en de grootere oneffenheden, welke donkerder vlekken en streepen daarin te weeg brengen. Indien de polituur overigens goed is, schaden deze laatste in een objectief veel minder, dan wanneer dezelve algemeen gebrekkig is, schoon dan ook al de diepere putten en krassen ontbreken. Een zeer gering aantal van deze brengt inderdaad weinig nadeel te

weeg, daar hierdoor het beeld slechts een klein gedeelte verliest van de hetzelfde zamenstellende stralen; eene objectieflens kan zelfs gebarsten zijn, zonder dat het bij de waarneming zeer hinderlijk is. Daarentegen vallen zulke diepere putjes en krasjes bij de oculairen, als ook bij de lenzen, die als enkelvoudig mikroskoop gebruikt worden, dadelijk in het oog, omdat zij zich dan, door de nabijheid van dit laatste, vergroot vertoonen. Overigens spreekt het van zelf, dat men zich, bij zulk een onderzoek, wachten moet, toevallige onzuiverheden op de glazen, zooals kleine stofjes en vezeltjes, die zich mede als schaduwbeeldjes en streepjes in het gezigtsveld vertoonen, met de gebreken der polituur te verwarren.

217. Het is genoeg bekend, dat het glas, hetwelk tot optische oogmerken bestemd is, bepaaldelijk het flintglas, ligtelijk onderhevig is aan de gevolgen eener gebrekkige menging, waardoor zoogenaamde *aderen* of *streepen* (*striae*) ontstaan. Wanneer eene lens met dit gebrek behebt is, dan is zij geheel ongeschikt voor optische werktuigen, omdat de verschillende gedeelten van het glas alsdan een ongelijk brekend vermogen bezitten, en er dus met geen mogelijkheid door dezelve een zuiver beeld kan gevormd worden. Bij de kleinheid der stukjes flintglas, die voor de objectieven van mikroskopen vereischt worden, is het echter veel gemakkelijker goede homogene flintglaslenzen te vervaardigen, dan bij de groote objectiefglazen van verrekijkers het geval is. Men heeft derhalve bij een mikroskoop dit gebrek weinig te vrezen, daar men veilig vertrouwen mag, dat de vervaardiger alleen de zuivere van streepen geheel vrije gedeelten van het glas, tot het slijpen der lenzen zal hebben aangewend. Mij althans is dit gebrek in mikroskopische objectieflenzen

nog nimmer voorgekomen. Eenmaal nam ik het in eene tamelijk belangrijke mate waar in eene flintglaslens, met eene crownglaslens het oculair van een ouder mikroskoop zamenstellende. Het gebrek verraadde zich in dit geval oogenblikkelijk, daar het reeds met het bloote oog even zichtbaar was. Nog duidelijker kwamen de streepen te voorschijn, bij de verlichting met een zeer zwak lamplicht, zoodat ik niet twijfel, of, indien in eene kleine objectieflens een dergelijk gebrek bestond, hetzelfde zich op die wijze, gepaard met de geheele onzuiverheid van het beeld, zoude te kennen geven.

248. Menigvuldiger voorkomend, dan de genoemde streepen, zijn kleine *luchtbellen*. Voor grootere, die nog gemakkelijk met het bloote oog herkenbaar zijn, behoeft men, wel is waar, geene vrees te voeden, daar men genoegzaam zeker kan zijn, dat tot het slijpen van lenzen slechts zulke stukken glas zullen worden aangewend, waarin dezulke niet voorkomen. Doch daarentegen is het volstrekt geene zeldzaamheid zelfs in lenzen, die afkomstig zijn uit werkplaatsen van den eersten rang, zeer kleine luchtbelletjes aan te treffen, die zich slechts bij een zeer naauwkeurig onderzoek te kennen geven. Bezigt men zulke lenzen bij eene zwakke verlichting als oculair, dan vertoont zich elk luchtbelletje als een donker rond vlekje. Het duidelijkst echter komen zij te voorschijn, door de lens bij eene matige vergrooting en doervallend licht te beschouwen, daar elk luchtbelletje alsdan gemakkelijk aan den breeden scherp begrensden zwarten rand en helder middengedeelte herkend wordt. Het spreekt van zelf, dat hunne tegenwoordigheid altijd als een gebrek moet beschouwd worden. Echter schaadt een gering aantal van b. v. twee tot drie, slechts door het mikroskoop waar-

neembare, en dus uiterst kleine luchtbelletjes, niet in belangrijke mate, wanneer deze zich in de lenzen van het objectief bevinden. De zuiverheid en scherpte van het beeld wordt er niet in het minst door gestoord, maar, uit hoofde der sterke zijdelingsche afwijking, die de lichtstralen bij den doortogt door dezelve ondergaan, oefenen zij eenen geheel overeenkomstigen invloed uit, als duistere gedeelten der lens zouden doen, en gevolglijk wordt het nuttige gedeelte van de opening der lens er door verkleind. In de lenzen van het oculair, vooral in het oogglas, en bij een Ramsdensch oculair in beide de glazen, is de aanwezigheid van luchtbellen veel hinderlijker, dan in die van het objectief, daar zij hier, ten gevolge der nabijheid van het oog, dadelijk worden waargenomen, als donkere plekjes in het gezichtsveld.

219. Behalven de reeds genoemde gebreken der lenzen, welke reeds bij dezulke kunnen worden aangetroffen, die pas de werkplaats verlaten hebben, zijn er nog andere, welke eerst na verloop van tijd ontstaan, en dus met de reeds genoemde niet verward moeten worden. De zuiverheid der oppervlakte van de lenzen kan namelijk op meer dan eene wijze verstoord worden, zoowel door werktuiglijk als door scheikundig werkende oorzaken. De beste polituur kan later bedorven worden door krassen, ten gevolge van onvoorzigtige behandeling, inzonderheid indien men voor het reinigen gebruik maakt van scherpe zelfstandigheden; of de oppervlakte kan den nadeeligen invloed ondervinden van vochten of dampen, die daarmede in aanraking komen, en, zoo als b. v. het zwavelwaterstofzuur, scheikundig inwerken op sommige der bestanddelen van het glas, bepaaldelijk op die van het flintglas.

Doch ook wanneer lenzen aan geenerlei der gewone schadelijke invloeden zijn blootgesteld, en integendeel steeds met alle zorg behandeld worden, kunnen er nog gebreken aan dezelve ontstaan, bij welker beschouwing het noodzakelijk is eenige oogenblikken te verwijlen.

Bij mikroskopen, die gedurende eenen geruimen tijd ongebruikt gestaan hebben, zal men altijd bevinden, dat de oppervlakte der glazen in meerdere of mindere mate dof is geworden. Dikwijls wordt zulks alleen veroorzaakt door los aanhangende stofdeeltjes, welke gemakkelijk met eene penseel of met eenen zachten linnen doek kunnen worden verwijderd. Ook is er eene eigene soort van schimmelplantje, *Hygrococis fenestralis* Kütz., dat niet zelden aan de oppervlakte van lenzen, en van glas in het algemeen, wordt aangetroffen, en gemeenlijk zonder moeite bij het afvegen verdwijnt. Somwijlen evenwel is de zamenhang van de kleine stofdeeltjes of van deze schimmeldraden met het glas zoo innig, dat een eenvoudig afvegen niet voldoende is. Eene bevochtiging met water, en, indien dit niet baat, met alkohol, — waarbij men zorg moet dragen, dat deze niet tusschen de met canadabalsem vereenigde lenzen der objectieven indringt, — kunnen beproefd worden, doch, in weerwil dat het na herhaalde pogingen gelukt de bedekkende laag weg te nemen, bevindt men dan dikwerf, dat de lensoppervlakte eenigermate dof blijft. Zij heeft alsdan die verandering ondergaan, welke men het *weer* noemt. Men herkent dezelve niet alleen aan de gebrekkige doorschijnendheid, maar ook aan de kleuren van dunne lagen, welke men daaraan bij opvallend licht bespeurt, en die zich vooral duidelijk vertoonen, wanneer men de lens door het mikroskoop beschouwt, waarbij tevens blijkt, dat de oppervlakte eenigzins ruw en schilferachtig is.

Het is hier de plaats niet, om over den aard van dit gebrek, (hetwelk, indien het in eenigzins belangrijke mate bestaat, de lens geheel onbruikbaar maakt, en alleen door vernieuwde slijping en polijsting herstelbaar is), in eenige breedvoerige beschouwing te treden. Ik verwijs liever den lezer naar de beide prijsverhandelingen over dit onderwerp, door Muncke en door Frauenhofer in de *Natuurk. Verh. van de Holl. Maatsch. der Wetensch. te Haarlem* 1820, X bl. 93 en 157, waar zij vele belangrijke daadzaken hiertoe betrekkelijk zullen medegedeeld vinden. Ik vergenoeg mij derhalve met hier op te teekenen, dat, als hoofdoorzaak van het weer moet beschouwd worden de neiging, welke sommige soorten van glas bezitten, om het water uit den dampkring op hunne oppervlakte te verdigten, waardoor eene veel sterkere vasthechting ontstaat van de toevallig hierop aanwezige stofdeeltjes, welke, na verloop van tijd, zoo innig wordt, dat het niet mogelijk is dezelve weder te verwijderen, zonder te gelijker tijd een gedeelte van de buitenste laag der glasoppervlakte mede te nemen.

Deze aantrekkingskracht van het glas op den in de lucht bevatten waterdamp (1) hangt voornamelijk, zoo niet geheel af, van de scheikundige samenstelling der glasmassa. Vooral wordt dezelve bevorderd door een te groot potaschgehalte, maar daarentegen verminderd door eene bijvoeging van kalk of van eenig metaaloxjde. Van daar dan ook, dat flintglas weinig aan dit gebrek onderhevig is, maar dat het-

(1) Somwijlen is deze aantrekkingskracht zeer sterk. Zoo b. v. behoort, bij den verlichtingstoestel van het mikroskoop van eenen mijner vrienden, eene lens, die dit vermogen in zoo hooge mate bezit, dat hare oppervlakte schier aanhoudend vochtig is.

daarentegen veelvuldiger bij andere soorten van glas wordt aangetroffen. (1)

Zoo als reeds gezegd is, kan dit gebrek, eenmaal bestaande, bezwaarlijk weder worden hersteld, doch er zijn middelen, om het te voorkomen, waartoe in de eerste plaats behoort: het zorgvuldig rein houden van de oppervlakten der lenzen. Velen verkeeren in de meening, als of het schadelijk zoude wezen voor de lenzen, om dezelve telkens van stof te reinigen. Zij vreezen door het afvegen de polituur te benadeelen, en bezigen ten hoogste een penseel om de oppervlakte even aan te raken. Deze vrees berust inderdaad op eene dwaling. Een herhaald, ja dagelijksch afvegen der lenzen met eenen zachten half versleten linnen doek schaadt dezelve niet in het minste, terwijl daarentegen de daarop blijvende kleine stofdeeltjes op den duur hoogst nadeelig werken.

De eerste regel derhalve, om het ontstaan van het weer te voorkomen is: dat men de lenzen behoorlijk rein houde. Dit geldt niet alleen van een mikroskoop, hetwelk dikwijls gebruikt wordt, maar ook vooral van zulk een, dat zelden tot waarnemen wordt aangewend. Men geloove toch niet, dat het best gesloten kistje de lenzen, noch voor het vocht des dampkrings, noch voor het daarin zwevend stof beschermt. Indien men mikroskopen onderzoekt, die eenige

(1) Eenigermate hiermede in strijd schijnt het, dat bij de objectieven van verrekijkers, het weer doorgaans het eerst aan de oppervlakte der flintglaslens wordt aangetroffen. Mogelijk hangt dit daarvan af, dat bij verrekijkers de flintglaslens binnenwaarts gekeerd is, en daarom zelden wordt afgeveegd. Bij mikroskopen, waar de flintglaslens van het objectief buitenwaarts is gekeerd, heb ik deze nog nimmer verweerd gevonden, maar wel de oppervlakte van de crownglaslens, die om hare stelling moeilijker gereinigd kan worden.

jaren ongebruikt gestaan hebben, kan men zich van het tegendeel overtuigen. Men zal de lenzen, in weerwil der beste sluiting, met eene stoflaag bedekt vinden, welke dikwijls, wel is waar, gemakkelijk kan verwijderd worden, doch waarbij niet zelden ook eene geheel verweerde oppervlakte te voorschijn komt.

Muncke en Frauenhofer hebben ieder voor zich een middel aangegeven, om de neiging van het glas tot verkrijging van dit gebrek weg te nemen. De eerste raadt aan de oppervlakte van het glas met eene zeer dunne olielaag te bedekken. Het best zal men zich hiertoe bedienen van eenen met een weinig terpentijnolie bevochtigden doek, terwijl men vervolgens de lens met een droog gedeelte van den doek zoo schoon afveegt, dat er oogenschijnlijk geen spoor van de olie meer op overblijft. Inderdaad zal er dan nog altijd een zeer dun laagje op aanwezig zijn, hetwelk niet geheel vervliegt, maar ten gevolge van de inwerking der lucht spoedig harsachtig wordt, en het laat zich uit de nieuwere waarnemingen, vooral van Waideler (1), over het vermogen der oppervlakten om dampen te condenseren, geredelijk verklaren, hoe het komt, dat zulk eene met een uiterst dun olie- of harslaagje bekleede oppervlakte het aantrekkingsvermogen op den waterdamp verloren heeft.

Het tweede, door Frauenhofer voorgeslagen, middel heeft ten doel de scheikundige samenstelling der buitenste laag van het glas, door onttrekking van een gedeelte der in overtollige mate aanwezige potasch, te veranderen. Dit doel wordt bereikt door hetzelfde gedurende eenige uren in zwavelzuur te leggen. Uit zijne mededeelingen volgt echter, dat men wel zal doen,

(1) Poggend. Ann. der Phys. und Chemie. 1843. Bd. LIX s. 255.

met hiertoe geen te sterk zuur te bezigen, maar een zoodanig, hetwelk met deszelfs gelijk gewigt water verdund is, daar zeer geconcentreerd zwavelzuur, zoo als het Nordhausische, de oppervlakte oogenblikkelijk aangrijpt, den glans vermindert, en eene soortgelijke uitwerking als het weer doet ontstaan, zoodat er zich, even als hierbij, de kleuren van dunne lagen op vertoonen. Tevens echter is hierin een middel voorhanden, om de geneigdheid eener glassoort tot het weer te ontdekken, daar volgens Fraunhofer het glas in gelijke verhouding door sterk zwavelzuur wordt aangetast, als hetzelfde vatbaar is door dit gebrek te worden aangedaan.

220. Van eenen geheel anderen aard dan het zoo even beschouwde, ofschoon door de gelijkheid in uitwerking er gemakkelijk mede te verwarren, is een ander gebrek, hetwelk zich somwijlen bij achromatische dubbellenzen openbaart, t. w. het afzetten van kristalletjes in de laag van canadabalsem, die zich tusschen de beide lenzen bevindt.

Wanneer men zulk eene lens onder het mikroskoop brengt, dan herkent men gemakkelijk dit gebrek, zoowel aan deszelfs zitplaats, als aan de reeds genoemde kristalletjes. Het voorkomen dezer laatste is echter niet altijd hetzelfde, maar verschilt naar gelang van de dikte der laag, waarin zij zich gevormd hebben. Volgens mijne ondervinding zijn hier drie hoofdwijzigingen in den vorm te onderscheiden, die men niet zelden vereenigd aantreft, omdat de bolle oppervlakte der crownglaslens niet altijd volkomen sluit in de holle oppervlakte der flintglaslens, zoodat de dikte der balsemlaag aan den rand verschilt van die in het middengedeelte. De eerste dezer wijzigingen bestaat uit tamelijk regelmatige zeshoekige plaatjes, of korte met de eind-

vlakken naar de glasoppervlakte toe gekeerd liggende prismata, die, of afzonderlijk gelegen, of groepsgewijs vereenigd zijn. Deze meest ontwikkelde vorm komt daar voor, waar de balsemlaag het dikst is. De tweede en meer algemeene vorm vertoont zich als dendritische figuren, welke dan eens gevederd (bijna als de bekende kristallisatie van salammoniak), dan weder meer stervormig zijn, met een grooter zeshoekig kernkristal in het midden, van waar uit de takschieting zich verder verbreid schijnt te hebben. Eindelijk ten derde neemt men, ter plaatse waar de balsemlaag zeer dun is, ronde of elliptische kringen waar, uit uiterst kleine kristalkorreltjes zamengesteld, terwijl doorgaans in het midden een of meerdere iets grootere kristalletjes liggen. Deze drie hoofdwijzigingen komen vervolgens nog in verschillende overgangstrappen voor, zoodat het duidelijk is, dat hun ontstaan alleen van de uitwendige omstandigheden afhangt, en de zelfstandigheid, die zich uit den canadabalsem afzet, telkens dezelfde is.

Het is zeer moeilijk met eenige zekerheid te zeggen, wat deze zelfstandigheid eigenlijk is. Dat zij niet ontstaat door eene scheikundige inwerking van den canadabalsem op en verbinding met een der bestanddeelen van het glas, blijkt daaruit, dat indien de beide lenzen van elkander genomen, en de met den balsem bedekte oppervlakten met alkohol of ether behandeld worden, al de kristalletjes zich te gelijk met de overig gebleven balsemlaag hierin oplossen, en de glasoppervlakte glad en onaangetast achterlaten. Men moet derhalve aannemen, dat deze kristalletjes door een of meer der bestanddeelen van den canadabalsem zelven, mogelijk door een der daarin bevatte harszuren worden gevormd (1).

(1) Voor deze laatste vooronderstelling pleit de mij door mijnen amptgenoot van Rees medegedeelde daadzaak, dat namelijk de zeeofficieren

De hoofdoorzaak van dit gebrek ligt dus in den canadabalsem, welks tusschenvoeging echter te nuttig is, dan dat men haar daarom zoude achterwege laten, te meer dewijl het ontstaan dier kristalletjes geenzins een noodzakelijk gevolg hiervan is. Bij vele achromatische dubbellenzen, die reeds voor twaalf en meer jaren vervaardigd zijn, heb ik nog geen spoor dier kristalafzetting kunnen ontdekken, terwijl zij zich daarentegen bij sommige andere, die van jongere dagteekening zijn, in groot aantal vertoonen. Zeer waarschijnlijk hangt zulks af van de geaardheid des gebruikten canadabalsems, van welken, zooals bekend is, verscheidene soorten in den handel voorkomen, die zelfs van eenen verschillenden oorsprong zijn. Wenschelijk ware het, dat een scheikundig onderzoek over dit, voor de praktische optiek belangrijk, punt eenig meerder licht verspreidde.

Wat de verbetering van dit gebrek aangaat, zoo levert de reeds vermelde oplosbaarheid in alkohol en ether een gemakkelijk middel op, om, nadat de lenzen van elkander genomen zijn, deze kristalletjes en daarmede de ontstane troebeling weg te nemen. Brengt men dan vervolgens eene nieuwe laag canadabalsem tusschen de lenzen, dan is de dubbellenzen weder even bruikbaar als vroeger. Het is echter raadzaam deze eenige zorg vereischende bewerking aan eenen bekwa-

gewoon zijn, wanneer zich dit gebrek in de objectieven hunner kijkers openbaart, er eenig buskruid op te strooijen, en dit vervolgens aan te steeken, waardoor de troebeling in den regel zoude verdwijnen. Ofschoon ik nu dit hêroïsch middel niet gaarne voor mikroskopische objectieven zoude aanbevelen, zoo laat zich echter de uitwerking welligt verklaren door de warmteontwikkeling, welke de buskruidverbranding vergezelt, en voldoende kan zijn, om de kleine kristalletjes te doen smelten, zoodat zij zich weder met de overige zelfstandigheid vermengen, of althans in eene doorschijnende laag veranderd worden.

men werkman, en wel bij voorkeur aan zulk eenen, die gewoon is mikroskopen te vervaardigen, toe te vertrouwen.

221. *Ten vierde* is het de lichtsterkte van een mikroskoop, welke bij deszelfs beoordeeling in aanmerking moet genomen worden. Inzonderheid wordt hier bedoeld die lichtsterkte of helderheid, welke onafhankelijk is van den verlichtingstoestel, want ofschoon het niet moeilijk is, door middel van het licht concentrerende lenzen of holle spiegels, het gezigtveld zoo sterk te verlichten, dat dit zich oogeschijsnlijk even helder vertoont in twee mikroskopen, van welke intusschen het eene eene veel grootere lichtsterkte bezit dan het andere, zoo heb ik reeds vroeger (bl. 346) doen opmerken, dat zulk eene sterkere verlichting der voorwerpen geenzins opweegt tegen het gemis van ware helderheid. Deze hangt af:

1° Van de opening der lenzen of der spiegels. Bij het enkelvoudig mikroskoop komt hierbij de verhouding tusschen deze opening en die der pupil in aanmerking (z. § 125). Bij het zamengesteld mikroskoop en het beeldmikroskoop klimt de helderheid in verhouding der vierkanten van den doormeter der objectieven of van hunne aequivalente lenzen of spiegels.

2° Van den brandpuntsafstand, omdat bij gelijke opening, maar korteren afstand van het brandpunt, ook de openingshoek grooter is, en er dus een grooter gedeelte der lichtstralen, die van het voorwerp uitgaan, het mikroskoop binnentreden, en tot zamenstelling van het beeld medewerken. Daar echter over het algemeen de opening van lenzen en holle spiegels afneemt met derzelver brandpuntsafstand, zonder dat daaraan eene evenredige toename van den openingshoek beantwoordt, zoo volgt, dat met de verkorting van den

brandpuntsafstand, of, hetgeen hiervan het gevolg is, met de versterking³ der vergrooting, in den regel ook eene vermindering der lichtsterkte gepaard gaat. Bij eene onderlinge vergelijking van verschillende mikroskopen ten opzichte dezer eigenschap, moet men dit derhalve wel in het oog houden.

3° Van de tot vorming der beelden aangewende middelen, namelijk katoptrische of dioptrische. In het hoofdstuk over de katoptrische en katadioptrische mikroskopen (bl. 246) is hierover uitvoerig gehandeld, en aangetoond, dat deze, in dien alle omstandigheden overigens dezelfde zijn, in lichtsterkte voor de dioptrische mikroskopen moeten wijken.

4° Van het getal der terugkaatsende oppervlakten, hetzij van lenzen, hetzij van spiegels. Hoe geringer dit getal is, des te grooter, het overige gelijk staande, is dat der stralen, welke het oog binnentreden.

5° Eindelijk van den graad van polituur der lenzen en spiegels en de homogeneousiteit der massa, waaruit de eerste bestaan. Hieromtrent is reeds het noodige in § 216 opgemerkt.

Wanneer men op deze verschillende punten heeft acht gegeven, en dezelve elk afzonderlijk bij een mikroskoop, volgens de gegeven voorschriften, onderzocht, dan bezit men inderdaad reeds al de gegevens om deszelfs lichtsterkte te beoordeelen. Eene regtstreeksche bepaling door photometrische middelen is moeilijk, omdat deze middelen nog zeer gebrekkig en althans hier weinig toepasselijk zijn. Echter kan men, verschillende werktuigen met elkander willende vergelijken, gebruik maken van de handelwijze, die door Tulley voor verrekijkers, en in navolging daarvan door Goring (1) voor mikroskopen is aanbevolen. Zij bestaat daarin, dat

(1) *Micrographia*, p. 114.

men de mikroskopen, die men wenschte te vergelijken, des avonds naar dezelfde plaats des hemels rigt. Daartoe moet dus de verlichtingstoestel verwijderd, en de buis zelve in de gevorderde rigting gebragt worden, of, bij behoud van den vertikalen stand, vlakke spiegels, tot opvang en terugkaatsing van het licht, worden aangewend. Dat mikroskoop dan, waarin bij toenemende duisternis, het beeld van eenig voorwerp in het gezichtsveld, het eerst verdwijnt, is natuurlijk datgene, welks lichtsterkte het geringst is.

Wat de inrigting van den verlichtingstoestel in het algemeen aangaat, zoo is het overbodig daaromtrent hier in eenige bijzonderheden te treden, dewijl de noodige aanwijzingen, tot beoordeeling van deszelfs doelmatigheid, reeds in het opzettelijk daaraan gewijde hoofdstuk te vinden zijn. Ik merk hier dus slechts aan, dat zij veroorlooven moet de verlichting van het gezichtsveld bij doervallend licht genoegzaam te versterken, om zelfs bij eenen donker bewolkten hemel nog bij eene 400—500 malige vergrooting met gemak te kunnen waarnemen. Men kan hierbij, volgens den raad van v. Mohl den graad van helderheid, die gewoon wit papier bij daglicht vertoont, als maatstaf aannemen. Voor opvallend licht moet men de grenzen iets lager stellen; ook komt men zelden in de gelegenheid dit voor eene meer dan 200—300 malige vergrooting te behoeven aan te wenden.

Er is echter nog een punt, dat ik hier niet met stilzwijgen mag voorbijgaan, t. w. de kleur van het gezichtsveld bij doervallend licht. Indien wit licht, zooals dat, hetwelk teruggekaatsd wordt door eene witte wolk, ter verlichting wordt aangewend, dan kan natuurlijk het gezichtsveld zich niet anders dan wit gekleurd vertoonen, indien alle stralen in ge-

lijke mate worden doorgelaten of teruggekaatst. Dit is echter geen zins altijd volkomen het geval. Bij sommige mikroskopen neemt men zelfs eene zeer merkbare tint waar, die zich dan ook mededeelt aan de beelden der voorwerpen, welke daardoor worden waargenomen. Zoo vertoont zich, gelijk reeds gezegd is (bl. 248), het gezigtveld der katadioptrische mikroskopen met eene bruinachtige kleur, terwijl hetzelfde bij dioptrische mikroskopen niet zelden geelachtig, groenachtig of blaauwachtig is. Deze kleuring is dikwerf zoo gering, dat zij aan de oplettendheid ontsnapt, tenzij men achtereenvolgens door twee mikroskopen ziet, waar de kleuring eene tegengestelde is. Wat hare oorzaak in de dioptrische zamengestelde mikroskopen aanbelangt, zoo is deze niet moeilijk op te sporen. Het crown glas is in den regel iets blaauw- of groenachtig, het flintglas dikwerf iets geelachtig; al naar gelang eene dezer kleuren de overhand heeft, zal het gezigtveld eene daaraan beantwoordende tint aannemen.

Ofschoon de scherpte der beelden daaronder niet lijdt, zoo is deze kleuring toch als een gebrek te beschouwen, omdat men daardoor ligtelijk gevaar loopt omtrent de ware natuurlijke kleur der voorwerpen misleid te worden. Vooral is de gele kleuring zeer hinderlijk, gelijk mij bij ondervinding is gebleken, daar een der gewoonlijk door mij gebezigde mikroskopen daarmede behebt is. De groenachtige of blaauwachtige is minder onaangenaam voor het oog. Echter zal elk waarnemer wel doen zijn mikroskoop in dit opzicht naauwkeurig te toetsen, ten einde zich voor dwaling te hoeden, die inzonderheid bij de aanwending van scheikundige herkenningmiddelen onder het mikroskoop (zoo als van salpeterzuur, om, door de gele kleur van het xanthoproteïnezuur, de proteïne, van iodium en zwavelzuur, om, door eene blaauwe kleuring,

het aanwezen van cellulose te ontdekken) zoude kunnen plaats grijpen.

222. Een punt van het grootste belang, bij de vervaardiging van alle optische werktuigen, is eene juiste *centrering*, daarin bestaande, dat, bij eene enkelvoudige lens, de optische as juist door het midden der beide oppervlakten gaat, terwijl bij zamengestelde werktuigen de assen van alle de lenzen en spiegels, waaruit dezelve bestaan, in dezelfde rechte lijn moeten liggen. Deze juiste centrering is echter tevens eene der moeilijkste opgaven, inzonderheid uithoofde van de kleinheid der lenzen, welke bij het mikroskoop gebruikt worden. Nog moeilijker wordt dezelve, indien de lenzen tot dubbellenzen, en deze weder tot stelsels vereenigd worden, schoon het duidelijk is, dat, indien ook al de verschillende dubbellenzen met de meest mogelijke juistheid vervaardigd, en hunne onderlinge afstanden volkomen diegene zijn, waarop de onderlinge opheffing der aberratiën het volledigst is, het beeld door zulk een lenzenstelsel gevormd toch nimmer scherp begrensd zal kunnen wezen, wanneer de centrering gebrekkig is. Het kan niet anders, of eene geringe afwijking moet hier reeds zeer nadeelige gevolgen hebben. Van minderen invloed is het, indien in een zamengesteld mikroskoop de as van het oculair niet volkomen zamenvalt met die van het objectief, omdat het door dit laatste gevormde beeld gewoonlijk eene grootere ruimte inneemt, dan gevorderd wordt voor het gezigtsveld van het oculair, hetwelk men achtereenvolgens boven verschillende punten van het beeld kan brengen, om deze, bij gelijktijdige verandering in den afstand van het objectief tot het voorwerp, met tamelijk gelijke scherpheid te kunnen waarnemen, waarvan ieder zich overtuigen kan,

door een oculair iets ter zijde der as boven de buis van het mikroskoop te houden. Zijn daarentegen de glazen van het oculair onderling niet behoorlijk gecentreerd, dan moet ook in het schijnbeeld, hetwelk men op den duidelijkheidsafstand projicieert, dezelfde verwarring ontstaan, als in het oorspronkelijke beeld door een niet behoorlijk gecentreerd objectiefstelsel.

De hoofdzaak is derhalve, dat vooreerst elke afzonderlijke lens en dubbellens, en ten tweede de samenstellende lenzen der verschillende stelsels, namelijk, bij het zamengesteld mikroskoop, zoowel die der objectieven als die der oculairen, onderling behoorlijk gecentreerd zijn.

Schier even moeilijk als het centreren zelve, is het door beproeving zich van den graad van deszelfs juistheid te overtuigen. Bij grootere lenzen, die niet gevat zijn, kan men zich hiervan verzekerd houden, indien de rand der lens overal even dik is. Doch bij lenzen van geringen doormeter, en dezulke, die reeds in ringen of busjes besloten zijn, moet men andere middelen aanwenden. Dat, waarvan men zich in de werkplaatsen van optische instrumenten bedient, is het volgende (1).

De lens wordt op eene draaibank zoodanig bevestigd, dat zij zoo na mogelijk centrisch staat. Nu plaatst men op eenigen afstand eene kaars. De vlam van deze wordt door beide de oppervlakten der lens teruggekaatst, zoodat men twee beelden ontwaart, welke het niet moeilijk is juist op elkander te doen vallen, (of het kleinere der beelden in het mid-

(1) Z. Prechtl, *Praktische Dioptrik*. § 69 et seq., waar men tevens vele praktische aanwijzingen betreffende dit punt vindt, wel bepaaldelijk het centreren der glazen in verrekijkers ten doel hebbende, doch ook grootendeels toepasselijk op de vervaardiging van mikroskopen.

den van het grootere), door de vlam heen en weder te bewegen, totdat het juiste punt, waar zulks geschiedt, gevonden is. Is nu de afstand van de vlam tamelijk groot, dan worden de beelden lichtende punten, en meet men dan van uit de plaats, waar zich het lichtende punt aan de vooroppervlakte vertoont, den afstand tot aan den omtrek, (hetgeen derhalve ook zonder bevestiging op de draaibank geschieden kan), dan moet die afstand telkens volkomen gelijk zijn. Naauwkeuriger is het echter de lens op de bank te doen ronddraaijen, waarbij de centrering blijkt juist te zijn, indien de beide elkander bedekkende beeldjes onveranderd op dezelfde plaats blijven.

Om te onderzoeken of de oculairen en objectiefstelsels van een zamengesteld mikroskoop behoorlijk gecentreerd zijn, kan de volgende handelwijze worden aangewend. Men brenge eenig klein voorwerp, b. v. een vleugelschubbetje van eenen vlinder, op den juiste afstand onder het mikroskoop, en zoodanig dat een van deszelfs uiteinden den rand van het gezichtsveld of het kruissingspunt van twee in het oculair gespannen draden raakt. Nu draaije men achtereenvolgens de verschillende lenzen om hunne as, door middel der schroeven, welke tot hunne bevestiging dienen. Is de centrering volkomen, dan zal het beeld, hoewel het in scherpte iets verliest, uithoofde van den veranderden betrekkelijken afstand der lenzen, toch steeds op dezelfde plaats van het gezichtsveld blijven; is de centrering daarentegen onjuist, dan ondergaat het beeld eene plaatsverandering in het gezichtsveld, bij het omdraaijen der lens, zoodat het, oorspronkelijk met den rand in aanraking geweest zijnde gedeelte zich dan eens binnen- en dan weder buitenwaarts van dezen bevindt.

Indien men de mikroskopen aan deze beproevingswijze

toetst, dan zal men er wel nimmer een vinden, hetwelk blijkt haar geheel en volkomen te kunnen doorstaan. Inzonderheid geldt zulks van de lenzen, die het objectief samenstellen. Men houde toch in het oog, dat hier elke afwijking van de juiste centrering, bij de omdraaijing, eene even sterke vergrooting ondergaat, als het voorwerp zelf, hetwelk men door het mikroskoop waarneemt. Een verschil van $\frac{1}{100}$ millim. zal dus bij eene 500 malige vergrooting als een verschil van 5 millim. in de plaats van het beeld worden waargenomen. Hieruit volgt dus, dat, zelfs bij de zorgvuldigste bearbeiding, er steeds gebreken in de centrering moeten overblijven, welke zich op de gezegde wijze kenbaar maken; en dat het eenige, hetwelk men billijkerwijze verwachten kan, is, dat deze gebreken zoo gering mogelijk zijn.

Verders vloeit hieruit voort, indien twee lenzenstelsels met gelijke zorg gecentreerd zijn, zoodat de onderlinge afstand tusschen de optische assen der onderscheiden lenzen in beide stelsels dezelfde is, dat dan de invloed van dien afstand, of, hetgeen hetzelfde is, van het gebrek in de centrering, het grootst zal zijn in het stelsel, hetwelk den kortsten brandpuntsafstand, en dus het sterkst vergrootend vermogen bezit. Ongetwijfeld is dit eene der oorzaken, waarom sterk vergrootende stelsels voor de mindervergrootende steeds in begrenzend vermogen onderdoen.

Ik moet hier evenwel doen opmerken, dat bij de inrigting, welke men thans veelal aan de objectiefstelsels geeft, door namelijk de verschillende dubbellenzen vast onderling te vereenigen, iets hetwelk trouwens andere niet te miskennen voordeelen oplevert (z. § 157), het onderzoek op de gezegde wijze doorgaans onmogelijk is gemaakt. Doch indien zulk een stelsel, bij de waarneming van voorwerpen, blijken

geeft van een gebrekkig begrenzend en doordringend vermogen, en tevens eene voorafgaande beproeving geleerd heeft, dat zulks aan geene der boven beschouwde oorzaken (gebreklike verbetering der aberratiën, gebreken in de polituur en in de homogeneïteit der lenzen, eenen te geringen openingshoek, enzv.) kan worden toegeschreven, dan komt men aldus op eene ontkennende wijze tot het besluit, dat waarschijnlijk de centrering van zulk een stelsel niet juist genoeg is, hetzij dan, dat het gebrek reeds huisvest in de dubbellenzen zelve, of dat aan derzelver onderlinge vereeniging niet de vereischte zorg is besteed, hetgeen in zulk een geval bezwaarlijk met zekerheid kan worden uitgemaakt, en waarvan de kennis ook weinig baten kan, dan alleen aan den maker zelve, die gedurende de vervaardiging genoegzame middelen heeft, om zich te overtuigen van den graad van naauwkeurigheid, waarmede de centrering geschied is.

225. Als zesde punt, waarop bij het onderzoek van een mikroskoop moet worden acht gegeven, noemde ik de *uitgebreidheid en den graad van platheid van het gezichtsveld*.

Wat de eerste eigenschap aangaat, zoo zijn de handelwijzen, ter bepaling zoowel van den schijnbaren als van den waren doormeter des gezichtsvelds, reeds in § 208 opgegeven, terwijl in § 121 de oorzaken zijn aangewezen, van welke de grootte van het gezichtsveld in een enkelvoudig mikroskoop afhangt. Bij een zamengesteld mikroskoop wordt deszelfs uitgebreidheid alleen door het oculair bepaald, althans indien, zooals meest altijd het geval is, de lengte des buis, d. i. de afstand tusschen het objectief en het oculair, groot genoeg is, om het beeld, dat door het eerste gevormd wordt, eene grootere ruimte te doen innemen, dan door het oculair kan overzien worden.

Van een geheel plat gezichtsveld kan alleen sprake zijn bij een zamengesteld dioptrisch (z. § 151) en bij een katadioptrisch mikroskoop, beide voorzien van een Huygenssch oculair. Het beste hulpmiddel, om een mikroskoop in dit opzicht te beproeven, is een in vierhoekige ruitjes verdeelde glasmikrometer, als voorwerp gebezigd. Is het gezichtsveld volkomen plat, dan zal zulk een mikrometer zich vertoonen als in fig. 67. Is echter, zoo als doorgaans, de invloed van het collectiefglas te gering, dan zal men de ruitjes met eenigzins buitenwaarts gebogen grenslijnen waarnemen, gelijk in fig. 66. Het geval, dat het collectiefglas eenen overwegenden invloed heeft, zoodat de tegengestelde kromming (fig. 65) ontstaat, komt wel nimmer voor, daar zulks alleen plaats zoude kunnen hebben, indien de brandpuntsafstand van het collectiefglas zeer kort was in verhouding tot dien van het oogglas, hetgeen zoowel het vergrootend vermogen verminderen als de aberratiën vermeerderen zoude.

Overigens kan men, wanneer men zulk eenen in ruitjes verdeelden mikrometer niet bezit, ook op andere wijzen onderzoeken, in hoeverre de kromming der beelden is weggenomen. Zoodra namelijk zulks het geval niet is, dan zal elke lijn, die volkomen regt blijkt te zijn, zoodra zij door het middelpunt van het gezichtsveld gaat, ophouden zulks te wezen, en zich al meer en meer gebogen vertoonen, naar mate zij meer nabij deszelfs rand wordt gebragt. Dit blijkt bij de beschouwing van fig. 66. Ook leert deze, dat het vergrootend vermogen in het midden van het gezichtsveld verschilt van dat aan den rand. Meet men derhalve eenig voorwerp door middel van het dubbelzien, en bevindt men dat de uitkomst eenen grooteren doormeter van het beeld aan den rand aanduidt, dan indien het in het midden van

het veld is gelegen, dan kan men ook hieruit tot eene kromming van dit laatste besluiten.

Een belangrijk gemis aan platheid van het gezigtsveld is altijd als een gebrek te beschouwen, vooreerst omdat het alsdan slechts mogelijk is een zeer klein gedeelte van het voorwerp op eens scherp waar te nemen, en ten tweede uithoofde dat het beeld dan altijd eenen verwrongen vorm heeft, die afwijkt van de ware gedaante van het voorwerp. Desniettegenstaande zal men bevinden, dat zelfs de beste mikroskopen in meerdere of mindere mate aan dit gebrek lijden. De oorzaak hiervan moet daarin gezocht worden, dat, indien het oculair zoodanig werd ingerigt, dat de brandpuntsafstanden, zoowel als de onderlinge afstand der beide glazen, juist diegene waren, waarbij een geheel plat gezigtsveld verkregen wordt, deze verhoudingen niet dan hoogst zelden terzelfder tijd ook de beste zouden zijn voor het aplatisisme van het mikroskoop; en daar het in elk geval verkieslijker is, dat de beelden althans in een gedeelte, namelijk het midden van het veld, de grootst mogelijke scherpte bezitten, dan dat zij op alle punten van hetzelfde even goed, doch met eenen minderen graad van scherpte kunnen worden waargenomen, zoo zijn de vervaardigers van mikroskopen veelal gewoon de platheid van het veld op te offeren aan het bereiken van eene grootere verbetering der aberratiën in deszelfs middengedeelte. Het is noodig hierop bedacht te zijn, daar om die reden bij moeilijke waarnemingen de voorwerpen steeds bij voorkeur in dit gedeelte van het gezigtsveld moeten gebragt worden. Maar het is daarom tevens van belang, dat de waarnemer zich, door voorafgaande beproeving van zijn mikroskoop, overtuigd hebbe, tot hoe ver zich de ruimte in het gezigtsveld uitstrekt, binnen welke de

beelden nog geen bespeurbaar verlies in scherpte en duidelijkheid vertoonen, en het vloeit onmiddellijk uit het gezegde voort, dat de uitgebreidheid dier ruimte in gelijke mate toeneemt met de platheid van het gezichtsveld.

224. Ofschoon men, door een volgens de tot hiertoe gegeven voorschriften in het werk gesteld onderzoek van een mikroskoop, deszelfs deugd en den aard der gebreken, waarmede het nog behebt is, met vrij groote zekerheid beoordeelen kan, zoo blijft echter eene regtstreeksche beproeving van het optisch vermogen altijd onontbeerlijk. Dit optisch vermogen bestaat, gelijk vroegere beschouwingen geleerd hebben, uit drie bestanddeelen: het vergrootend, het begrenzend en het doordringend vermogen. Wat het eerste, het vergrootend vermogen namelijk, betreft, zoo zijn de noodige voorschriften, om hetzelfde te bepalen, reeds in het afzonderlijk daaraan gewijde hoofdstuk (bl. 519) gegeven; het zal dus niet noodig zijn hier ter plaatse daaromtrent iets bij te voegen.

Ook is reeds (§ 209 en verv.) de aard der beide andere genoemde vermogens beschouwd, en zijn in het algemeen de middelen aangegeven, om een mikroskoop ten hunnen aanzien te beproeven; doch het zal noodig wezen thans nog in eenige bijzonderheden daaromtrent te treden. Ofschoon toch zeer vele voorwerpen geschikt zijn, om het doordringend en begrenzend vermogen van een mikroskoop te toetsen, zoo zijn er eenige, die meer algemeen daartoe gebruikt worden, en deze voorkeur ook grootendeels verdienen. Deze voorwerpen heeft men dan ook *proefvoorwerpen* genoemd, en het is aan elken mikroskopischen waarnemer aan te raden zich althans met eenige derzelve vertrouwd te maken, en de

wijze, waarop zij zich door een goed mikroskoop vertoonen, zich wel in het geheugen te prenten, dewijl deze kennis hem eenen tamelijk zekeren en gemakkelijk aanwendbaren maatstaf in de hand geeft, om de deugdzaamheid van een mikroskoop te beoordeelen.

De meest gebruikelijke dier proefvoorwerpen zijn de kleine schubben, welke op de huid van vele insekten, vooral op de vleugelen der *Lepidoptera* worden aangetroffen. Reeds Leeuwenhoek (1) had opgemerkt, dat zich op die van den zijdewormvlinder een aantal evenwijdig loopende streepen vertoonen, welke om zigbaar te zijn, eene scherpe vergrooting vorderen. Later is gebleken, dat zich op de schubbetjes van nagenoeg alle insekten dergelijke streepen bevinden, welke echter bij verschillende dieren in waarneembaarheid zeer onderscheiden zijn, zoodat men met dezelve zich eene reeks van proefvoorwerpen kan verschaffen, die elkander in moeilijkheid voor de waarneming opvolgen. Jacquin in Duitschland, maar vooral Goring in Engeland hebben op derzelver geschiktheid tot dit oogmerk opmerkzaam gemaakt, en eenige insekten aangewezen, wier schubben daartoe boven die van anderen de voorkeur verdienen, welker aantal later nog door andere schrijvers met eenige vermeerderd is.

Alvorens echter tot derzelver optelling over te gaan zal het noodig zijn, iets te zeggen over het algemeene maaksel dezer deelen, dewijl zulks tot opheldering kan strekken van de wijze, waarop zij zich onder sommige omstandigheden vertoonen, en welke tot verschillende verkeerde opvattingen heeft aanleiding gegeven, daar men verschijnse-

(1) *Zevende vervolg der Brieven*, Delft 1702. 146ste Missive bl. 448.

len, die hun ontstaan alleen aan een optisch bedrog verschuldigd zijn; als werkelijk bestaande heeft beschreven.

De insektenschubben bestaan altijd uit twee lagen, even als de veel grootere schubben der visschen, waarmede zij inderdaad groote analogie bezitten. De bovenste of buitenste laag vertoont een aantal evenwijdig, of, indien de bovenrand van het schubbetje breeder is dan de basis, divergerend loopende streepen, welke bij eene genoegzaam scherpe vergrooting eenigzins verhevene ribbetjes blijken te zijn, die door twee evenwijdige lijnen begrensd worden. Het zijn deze streepen, welke men de *overlangsche*- of *lengtestreepen* genoemd heeft, omdat zij van de basis naar den bovenrand van het schubbetje loopen. Op de schubben der *Lepidoptera* ziet men, behalven deze, nog *dwaarsstreepjes*, die altijd merkelyk moeilijker zigbaar zijn dan de overlangs loopende, en eenen regten hoek daarmede vormen. Het werkelijk bestaan dezer *dwaarsstreepjes* is door Brewster (1) ontkend, die meent, dat de overlangsche streepen kleine tandjes bezitten, even als de vezelen van de kristallens der visschen. Werkelyk vertoonen zich deze streepen bij eene zekere stelling van het mikroskoop ook als het ware getand, doch de oorzaak hiervan is, dat de *lengtestreepen* eenigzins verheven zijn, in verhouding tot de met hen onmiddelyk zamenhangende *dwaarsstreepen*, welke iets benedenwaarts zijn gekromd, zoodanig, dat, bij eene stelling van het mikroskoop, waarbij de plaats van zamenhang tusschen de beide soorten van streepen duidelyk gezien wordt, men de dieper liggende gedeelten der streepen niet ontwaart, welke eerst te voorschijn treden, nadat het voorwerp iets nader aan het objectief is gebragt.

(1) *Treatise on the microscope*. p. 179.

Om zich van de waarheid hiervan te overtuigen, en in het algemeen om het maaksel dezer schubbetjes te onderzoeken, kieze men niet zulke, waar de beide klassen van streepen moeilijk waarneembaar zijn, en die daarom bij voorkeur als proefvoorwerpen worden aangewend, maar de zoodanige waar de streepen eene aanmerkelijke dikte, en groote tusschenruimten bezitten. Bijzonder geschikt daartoe zijn die van het blaauwe gedeelte der bovenvleugelen van *Papilio Ulysses*. De overlangsche streepen hebben hier eene dikte van 1,2 *mm*, terwijl deze op den, voor zulk een geval (verg. het volgende tafeltje), aanzienlijken afstand van 5,9 *mm* van elkander verwijderd zijn; de dikte der dwarsstreepen bedraagt 0,9 *mm*, en hun onderlinge afstand 5,4 *mm*. Zulk een schubbetje vertoont zich reeds bij eene geringe vergrooting geheel als een netwerk met nagenoeg vierkante mazen, doch welker reeksen niet overal juist aan elkander beantwoorden, maar dikwijls afwisselend geplaatst zijn, hetgeen tevens bewijst, dat de dwarsstreepen niet gelegen zijn in eene afzonderlijke laag, onder de bovenste, die de lengtestreepen bevat, maar dat de oorzaak, waarom beide streepen niet te gelijker tijd even scherp kunnen gezien worden, alleenlijk in de reeds gezegde benedenwaartsche kromming der dwarsstreepjes moet gezocht worden.

Verders neemt men aan de genoemde schubben waar, dat, indien het mikroskoop zoodanig is gesteld, dat zich de bovenranden der overlangsche streepen volkomen scherp vertoonen, deze door regte evenwijdige lijnen begrensd zijn; doch, door het mikroskoop iets nader te brengen, waarbij de mazen beginnen zichtbaar te worden, bespeurt men dat de door hen gevormde hoeken eenigzins afgerond zijn, in dier voege, dat op de plaats, waar een dwarsstreepje met de

overlangsche streep zamenhangt, eene flaauwe verdikking bestaat. Dit verklaart een ander verschijnsel, hetwelk aanleiding tot dwaling heeft gegeven. Chevalier (1), de schubbetjes van *Pieris brassicae* beschrijvende, welke tot de moeilijkste proefvoorwerpen behooren, zegt, dat er geen dwarsstreepjes op gezien worden, en dat de overlangsche streepen uit reeksen van kleine bolletjes bestaan, welke op kleine afstanden van elkander zijn geplaatst; hij beeldt dezelve ook geheel overeenkomstig deze beschrijving af, en zegt zelfs, dat het korrelige voorkomen dezer streepjes de ware toetssteen voor een mikroskoop is, zoodat hij hen alleen door zijne beste mikroskopen zoodanig ziet. Goring (2) en v. Mohl (3) daarentegen beschrijven deze schubbetjes als dezelfde overlangs en overdwars loopende, door evenwijdige lijnen begrensde, streepjes bezittende, als andere schubbetjes, en de laatste is zelfs van oordeel, dat de door Chevalier gegeven beschrijving eene slechte getuigenis voor zijne mikroskopen bevat. Intusschen is zulks inderdaad geenzins het geval, daar het geheel van de wijze van verlichting afhangt, of zich overlangsche en dwarse streepjes met evenwijdige grenslijnen, of wel de eerste alleen, en dan schijnbaar uit bolletjes bestaande, zullen vertoonen. Men ziet dezelve door een uitmuntend mikroskoop, en bij eene 400—500 malige vergrooting, werkelijk geheel op de laatstgenoemde wijze, bij eene centrische verlichting met divergerende lichtstralen, die onder eenen tamelijk scherpen hoek op het voorwerp vallen. Bezigt men daarentegen tot verlichting schuins invallende of convergerende

(1) *Des microscopes et de leur usage*. Duitsche vertaling door Kernstein. p. 104.

(2) *Microscopic Cabinet*. p. 160.

(3) *Mikrographie*. s. 180.

stralen, dan komen de beide door evenwijdige lijnen begrensde soorten van streepen te voorschijn, en verdwijnen de schijnbare bolletjes. De verklaring hiervan is, na het vroeger gezegde, niet moeilijk. De streepjes op de schubbetjes van *Pieris brassicae*, inzonderheid de dwarse, behooren inderdaad tot de moeilijkst zichtbare voorwerpen, en worden alleen waarneembaar bij eenen zekeren inval van het licht, terwijl zij bij eenen anderen inval niet kunnen bespeurd worden, met uitzondering van de bovengenoemde iets dikkere plekjes, waar de overlangsche en dwarse streepen samenhangen. Deze dikkere gedeelten werken dan als reeksen van kleine lensjes, en vertoonen zich, even als deze zouden doen, met donkere omtrekken. In werkelijkheid zijn zij echter niet rond, maar hoekig, doch bij zulke geringe grootten is het niet meer mogelijk den vorm duidelijk te herkennen, en schijnen alle kleine ligchaampjes meer of min rondachtig te zijn. Overigens ziet men dergelijke bolletjes ook aan de lengtestreepen der schubben van de meeste overige vlinders, wanneer de verlichtingswijze daartoe medewerkt, en de bovenkant dier streepen zich niet juist in het brandpunt bevindt. Bij schubbetjes, zoo als die van *Lepisma saccharina*, *Petrobius maritimus*, *Podura plumbea*, enzv., waar geen dwarsstreepjes tusschen de overlangs loopende staan, ziet men zulk eene samenstelling uit bolletjes nimmer.

Onder de zooeven beschreven bovenste laag bevindt zich eene tweede, welke zich echter slechts onder bepaalde omstandigheden aan het oog vertoont. Het best neemt men deze waar bij schubbetjes van insekten, die langen tijd op eene zeer drooge plaats bewaard zijn. Daardoor worden zij zeer broos, en scheiden zich tevens de beide la-

gen vaneen, zoodat men, bij het onderzoek, er doorgaans eenige vindt, waarbij een grooter of kleiner gedeelte der onderste laag bloot ligt. Deze laag is veel doorschijnender dan de vorige, en dikwijls oogenschijnlijk enkel vliezig en structuurloos, doch niet zelden bespeurt men er ook duidelijk evenwijdig loopende streepjes in, welker rigting somwijlen dezelfde is, als die der overlangsche veel duidelijker streepen der bovenste laag, maar in andere gevallen daarmede eenen min of meer scherp en hoek vormt.

Deze zamenstelling der schubben uit twee afzonderlijke gestreepte lagen dient weder ter verklaring van sommige optische verschijnselen, welke men aan dezelve waarneemt. Daar namelijk beide lagen niet te gelijker tijd zich op den vereischten afstand van het mikroskoop kunnen bevinden, om scherp gezien te worden, zoo schemeren de streepjes der onderste laag door die der bovenste heen, wanneer het mikroskoop zoodanig is gesteld, dat het beeld van deze net en duidelijk is. Het onduidelijke beeld der onderste laag wordt dus op het duidelijke der bovenste geprojecteerd, en hierdoor ontstaat eene eigendomlijke verwarring in den gezichtsindruk. Het eenvoudigste voorbeeld van dien aard leveren de schubben van *Lepisma sacharina* op. De streepjes der beide lagen snijden elkander onder eenen scherp en hoek, en het gevolg hiervan is, dat, op alle de punten, waar zich onmiddellijk onder eenen dikkere streep der bovenstaande laag eene dunnere der onderste bevindt, aan de eerste langwerpige schuins staande schaduwachtige vlekjes gezien worden, welke dan aan de streep een voorkomen geven, als of dezelve even als een koord gewonden is.

Verders worden, door deze projectie van de beelden der beide lagen op elkander, de schaduwachtige golvende of in

zigzag loopende streepen verklaard, die men in sommige gevallen ziet, en welke nimmer scherp begrensd, schoon doorgaans merkelyk breeder dan de ware streepen zijn. Het zijn volkomen dezelfde streepen, die men ook in *moiré* of gewaterde stoffen ziet, en welke daarin door eene geheel overeenkomstige oorzaak ontstaan. Het duidelykst ziet men dezelve door twee draadnetten boven elkander te houden, waarbij men waarnemen zal, dat de breedte, rigting en golvende loop der streepen verandert, zoowel met den afstand tusschen de beide netten, als met de rigting waarin, en den afstand waarop zich het oog bevindt. Liggen twee of meer genoegzaam doorschijnende schubbetjes op elkander, dan zal men hetzelfde verschijnsel waarnemen; doch ook bij afzonderlyk liggende schubben komt het somwijlen voor, en wel het duidelykst bij die van *Podura plumbea*. Zelfs ziet men, op de kleinste dezer schubbetjes, niets anders, dan zulke in zigzag loopende streepen; hier is dus het uitwerksel nog zichtbaar, terwijl men van deszelfs oorzaak niets meer bespeurt. Onderzoekt men namelyk de grootere, dan blijkt, dat ook deze schubbetjes uit twee lagen bestaan, welke beide evenwijdig en regt loopende uiterst dunne streepen met zeer geringen tusschenruimten bevatten, die in beide lagen (in tegenstelling met hetgeen men aan de schubben der meeste andere insekten waarneemt) eene gelijke dikte hebben, en elkander onder eenen scherpen hoek snijden. Of hier ook dwarsstreepjes aanwezig zijn, is mij niet gelukt met overtuiging te zien.

Welligt moeten de schuins in de rigting van den diagonaal loopende streepjes, die men onder sommige omstandigheden op de schubbetjes van eenige vlinders, zooals *Pieris brassicae*, *Tinea vestianella*, enzv. waarneemt, op

eene dergelijke wijze verklaard worden. Dit komt mij althans aannemelijker voor, dan de meening van v. Mohl, dat zij hun ontstaan te danken hebben aan golfvormige plooijen, welke de overlangsche streepen op sommige punten in eene schuinsche projectie doen zien (1). Ware dit het geval, dan zoude men dezelve door alle werkelijk goede mikroskopen kunnen waarnemen, iets dat inderdaad het geval niet is. Goring (2) heeft reeds opgemerkt, dat men deze soort van streepen slechts zeer onduidelijk ziet door een aplanatisch dioptrisch mikroskoop, terwijl hij dezelve daarentegen altijd zeer duidelijk waarnam, bij het gebruik van een katadioptrisch mikroskoop. Dat deze omstandigheid intusschen geenzins het meerdere optisch vermogen van dit laatste werktuig bewijst, moge daaruit blijken, dat ik deze schuinsche streepjes het best zie bij het gebruik van sterk vergrootende glasbolletjes, en veel minder duidelijk door een aplanatisch mikroskoop, welk laatste intusschen de stellig in werkelijkheid bestaande overlangsche en dwarse streepen merkelyk scherper doet onderscheiden. Dit wettigt het vermoeden, dat de aard van het werktuig hier eenen dergelyken invloed uitoefent, als de rigting en de afstand van het oog des waarnemers bij het zien der zigzaglijnen, door twee vóór elkander gehouden draadnetten gevormd, en dat de hier bedoelde streepen dus mede een gevolg zijn van de projectie der beelden van de bovenste en onderste lagen op elkander.

Intusschen zoude het ook mogelijk kunnen zijn, dat de hier bedoelde soort van streepjes werkelijk bestaat, en tot de onderste bovengenoemde laag der schubbetjes behoort.

(1) L. c. s. 138.

(2) *Micrographia*. p. 133.

Bij de eigenaardig gevormde, zich van boven in twee punten splitsende schubben, aan de oppervlakte der vleugels van *Papilio Polycaön*, zijn de lengtestreepen der bovenste laag zeer duidelijk; door dezelve heen schemeren, op eene dergelijke wijze als bij die van *Lepisma*, de sterker divergerend loopende lengtestreepen der onderste laag, en nu ziet men, bij eene gepaste stelling van het mikroskoop, en eene scherpe 400 malige vergrooting, tusschen de lengtestreepen, elkander onder eenen vrij scherpen hoek snijdende of kruisende dwarse streepjes. Niet onwaarschijnlijk is het dus, dat hier twee klassen van dwarsstreepjes voorhanden zijn, waarvan de eene een bestanddeel der bovenste, de andere een bestanddeel der onderste laag uitmaakt, en dat derhalve ook in andere gevallen, waar zulke schuinsloopende streepjes gezien worden, deze zich werkelijk in de onderste laag bevinden, en hare dwarsstreepjes uitmaken.

Uit het gezegde volgt dus, dat men bij het gebruik van deze schubben als proefvoorwerpen, steeds eenigzins op zijne hoede moet wezen, voor sommige optische verschijnselen, die anders ligtelijk op een dwaalspoor voeren, en dat datgene, waarop het hier eigenlijk aankomt, bestaat in het onderscheidenlijk waarnemen der overlangs en overdwars loopende streepen, terwijl noch de in zigzag, noch de in de rigting van den diagonaal loopende streepen in aanmerking mogen komen, omdat de eerste stellig aan een optisch bedrog moeten worden toegeschreven, terwijl de aard der laatste nog niet met genoegzame zekerheid bekend is. Elk schubbetje is derhalve als eene fijne mikrometrische verdeling te beschouwen, welker onderscheidbaarheid natuurlijk des te moeilijker is, hoe dunner de streepen, en hoe geringer de tusschenruimten zijn; en daar in die gevallen, waar

de beide soorten van streepen aanwezig zijn, de dwarse gewoonlijk veel bezwaarlijk gezien worden, dan de overlangsche, zoo beantwoordt één zoodanig schubbetje eigenlijk aan twee verschillende proefvoorwerpen, waarvan de overlangsche streepen voor het beproeven der geringere, en de dwarse voor de sterkere vergrootingen kunnen worden aangewend. Bovendien zal men in den regel bevinden, dat de dwarsstreepen aan het breedere gedeelte der schubbetjes duidelijker gezien worden, dan aan het smallere gedeelte nabij de basis.

In het volgende tafeltje zijn de dikte en de onderlinge afstanden der streepen, op het midden van sommige dezer proefvoorwerpen, opgeteekend. Wel is waar zijn de schubbetjes geenzins altijd zoo gelijk van grootte, dat men deze opgaven als volkomen naauwkeurig voor allen, die van hetzelfde dier genomen zijn, kan beschouwen, doch daar voor de meting steeds (hetzij het tegenovergestelde er bijgevoegd is) schubbetjes van middelbare grootte gekozen zijn, zoo geven de getallen in het tafeltje toch eenigen maatstaf, naar welken de onderscheidbaarheid der streepen kan beoordeeld worden.

N ^o .		LENGTESTREEPEN.			DWARSTREEPEN.		
		Dikte.	Onderlinge afstand.	Aantal in eene ruimte van 10 <i>mm.</i>	Dikte.	Onderlinge Afstand.	Aantal in eene ruimte van 10 <i>mm.</i>
1.	<i>Lepisma saccharina.</i> a grootere. b kleinere.	1,4 <i>mm.</i> 0,3 " "	1,6 <i>mm.</i> 0,7 " "	5,5. 8,5.	0,3 <i>mm.</i> 0,3 <i>mm.</i>	0,7 <i>mm.</i> 0,3 " "	8,5. 10,1.
2.	<i>Sphinx Elpenor.</i>	1,5 " "	1,4 " "	5,7.	0,4 " "	0,3 " "	10,1.
3.	<i>Colias rhanni.</i>	1,3 " "	1,3 " "	5,3.	0,4 " "	0,7 " "	9,0.
4.	<i>Morpho Menelaus.</i>	0,8 " "	1,5 " "	4,8.	0,4 " "	0,6 " "	10,0.
5.	<i>Bombyx dispar.</i>	0,8 " "	1,7 " "	4,0.	0,4 " "	0,7 " "	7,7.
6.	<i>Argynnis Gynecia.</i>	0,7 " "	0,9 " "	6,2.	0,6 " "	1,0 " "	6,6.
7.	<i>Igacaena Argus.</i> a gele. b bruine.	0,6 " "	0,9 " "	7,0.	0,3 " "	0,3 " "	10,0.
8.	<i>Tinea vestianella.</i>	0,7 " "	1,1 " "	5,5.	0,3 " "	0,6 " "	10,0.
9.	<i>Pieris brassicae.</i>	0,6 " "	0,6 " "	8,4.	0,4 " "	0,6 " "	10,1.
10.	<i>Podura plumbea.</i> (1)	0,3 " "	1,1 " "	6,2.	0,5 " "	0,6 " "	

(1) Met uitzondering van *Morpho Menelaus* zijn al deze insecten inlandsch.

N°. 1. De schubbetjes, die het geheele ligchaam van *Lepisma sacharina* bekleeden, en aan hetzelfde eenen parelmoerachtigen glans geven, verschillen zoowel in grootte als in vorm, en vandaar vormen zij geen goed vergelijkbaar proef-voorwerp, waartoe zij anders door hunne doorschijnendheid en volkomene kleurloosheid zeer geschikt zijn. Men kan de-zelve echter in twee hoofdsorten onderscheiden, waarvan de eerste (a) herkenbaar zijn aan de wigvormige gedaante en de zeer duidelijke lengtestreepen, terwijl die der tweede soort (b) eenen meer rondachtigen vorm bezitten, met veel bleekere en digter bij elkander staande streepen. De streepen der eersten zijn reeds bij de geringste vergrootingen (30—40 maal (1)) van een goed mikroskoop onderscheidbaar; die der tweede soort vorderen sterkere vergrootingen (100—150 maal) om goed gezien te worden. Omtrent den invloed, die de streepen der onderste laag op het voorkomen van die der bovenste uitoefenen, zie men het boven (bl. 590) gezegde.

N°. 2. De schubbetjes van *Sphinx Elpenor*, waarvan in het tafeltje de maat der streepen is medegedeeld, zijn genomen van het roodachtig gekleurd gedeelte der ondervlakte van de voorvleugels. Zoowel de dwars- als de lengtestreepen zijn reeds bij matige vergrootingen zeer gemakkelijk zichtbaar.

N°. 3. De schubbetjes van de ondervlakte der voorvleugels van *Colias rhamni*.

N°. 4. De bij opvallend licht blaauw, bij doorvallend licht geel gekleurde schubbetjes van de bovenvlakte der voorvleugels van *Morpho Menelaus*.

(1) Door de hier en elders bijgevoegde vergrootingscijfers worden diegene bedoeld, welke bij een aplanatisch zamengesteld mikroskoop verkregen worden met het zwakste gewoonlijk gebruikt oculair, dat, bij eene buislengte van ongeveer 20 centim., de beelden 5—6 malen vergroot.

N°. 5. Die van de bovenzijde der voorvleugels van *Bombyx dispar*.

De onder de drie laatste nummers genoemde proefvoorwerpen zijn iets moeilijker, dan 1 a en 2. Om de dwarsstreepen op de geheele lengte der schubbetjes goed te zien, worden reeds tamelijk sterke vergrotingen (200—250 maal) gevorderd. De lengtestreepen zijn echter bij veel geringere vergrotingen zichtbaar.

N°. 6. De schubbetjes van de parelmoerkleurige gedeelten der voorvleugels van *Arginnis Cynxia* behooren tot de best vergelijkbare proefvoorwerpen, wegens hunne onderlinge gelijkheid in grootte en vorm. De overlangsche streepen kunnen reeds bij eene matige vergroting onderscheidenlijk gezien worden, doch tot de waarneming der dwarsstreepen behoort, uithoofde van de groote doorschijnendheid dezer schubbetjes, eene 500 malige vergroting met eene gepaste verlichting.

N°. 7. Op de bovenzijde der voorvleugelen van *Lycaena Argus* treft men drie soorten van schubbetjes aan:

a. Bij opvallend licht blaauwe, bij doervallend licht heldergele. Deze bezitten het voordeel van, even als de vorige, onderling zeer gelijk in grootte en in gedaante te zijn. De overlangsche streepen zijn bijzonder gepast tot beproeving van middelmatige vergrotingen; de dwarse daarentegen zijn uiterst moeilijk zichtbaar, omdat deze schubbetjes hoogst doorschijnend en de streepjes zeer flauw zijn. Bij eene goed geregelde verlichting en eene 300—350 malige vergroting kunnen zij echter worden waargenomen, doch er behoort ook dan nog eene aanzienlijke mate van doordringend vermogen toe, om dezelve op de geheele lengte van het schubbetje met juistheid te zien.

b. Bij opvallend licht helderbruine, bij doorvallend licht graauwbruine schubbetjes. Deze zijn merkelyk minder doorschijnend, en bovendien onderling niet zoo gelijk als de vorige. De zichtbaarheid der lengtestreepen is nagenoeg dezelfde als voor deze; de dwarsstreepjes staan merkelyk digter bij elkander, doch daar zij donkerder zijn, worden zij desnietteenstaande iets gemakkelijker waargenomen, schoon niet bij eene geringere dan 500 malige vergrooting.

c. Eigenaardig gevormde kleine eironde schubbetjes van eene gele kleur bij op- en doorvallend licht. Deze verschillen van de vorigen, en van die der meeste overige vlinders, door het ontbreken van eigenlyk lengte- en dwarsstreepen. In de plaats van deze neemt men rijen van donkere scherp begrensde ronde vlekjes waar, met een helder lichtpunt in het midden van elk. Ieder dezer vlekjes is de grondvlakte van een zeer kort kegelvormig spits toeloopend haartje, hetwelk zichtbaar wordt, door de schubbetjes met een glas- of micaplaatje te bedekken, door welks gewigt de spitsen van eenige haartjes zijdelings gebogen worden. De doormeter dezer donkere vlekjes is van 1—1,6 *mm*, hun onderlinge afstand 2,5—3,1 *mm*. Zij zijn geschikt tot beproeving van het begrenzend vermogen bij matige vergrootingen. Elk vlekje moet zich scherp begrensd, en net afgescheiden van de naburige, vertoonen.

N°. 8. Op de schubbetjes van de bovenvlakte der voorvleugels van *Tinea vestianella* zijn de lengtestreepen moeilijker herkenbaar, dan bij de vorige proefvoorwerpen; de dwarsstreepen worden echter, ten gevolge der mindere doorschijnendheid, gemakkelijker gezien dan bij N°. 6, en N°. 7 a, in weerwil van hunnen geringeren onderlingen afstand. Overigens bestaat er tusschen deze schubbetjes te veel verschil, om

hen als maatstaf ter vergelijking van onderscheiden mikroskopen te kunnen aanwenden.

N°. 9. Beter voldoen in dit opzicht de schubbetjes van *Pieris brassicae*. Bij het mannetje van dezen vlinder treft men twee of drie soorten van schubbetjes aan; als proefvoorwerp moeten alleen dezulke gekozen worden, die eene van de schubben der meeste andere insekten zeer afwijkende gedaante hebben. Zij zijn namelijk aan de basis breeder, dan aan het tegenovergestelde einde, en hartvormig uitgesneden, terwijl zich, tusschen de beide lobben der basis, het rondachtige steeltje bevindt, waarmede elk schubbetje in de daarvoor bestemde holte der epidermis van de vleugels is ingeplant. Bovendien onderscheiden zich deze schubbetjes van de overige van denzelfden vlinder, door hunne groote doorschijnendheid. Over de op dezelve waarneembare streepen zijn reeds boven (bl. 592) eenige bijzonderheden medegedeeld. Zij behooren inderdaad tot de moeilijkste proefvoorwerpen; de lengtestreepen worden, wel is waar, niet zeer moeilijk herkend, doch, om zoowel deze als de dwarsstreepen scherp begrensd en op de geheele lengte der schubbetjes waar te nemen, wordt een mikroskoop gevorderd, dat eene groote mate van doordringend en tevens van begrenzend vermogen bezit.

N°. 10. Een nog moeilijker proefvoorwerp zijn de schubbetjes van *Podura plunbea*. De breedere zigzagvormige schaduwachtige streepen op dezelve (z. bl. 591) zijn, wel is waar, niet zeer moeilijk waarneembaar, althans die op de grootere; maar daarentegen worden de streepen, die in de beide elkander bedekkende lagen aanwezig zijn, en waardoor die zigzaglijnen ontstaan, uithoofde der zeer groote doorschijnendheid dezer schubbetjes, slechts door een zeer goed mi-

krooskoop duidelijk onderscheiden. Als vergelijkbare maatstaf zijn zij echter minder geschikt dan die van *Pieris brassicae*, omdat zij onderling in grootte te zeer verschillen, en de streepjes in de grootere schubbetjes merkkelijk gemakkelijker, dan in de kleinere waarneembaar zijn.

De beide laatstgenoemde proefvoorwerpen kunnen tot toetsing der sterkere vergrootingen, van 300—500 maal en daarboven, worden aangewend.

Deze lijst van insektenschubbetjes zoude nog met vele andere kunnen vermeerderd worden, die insgelijks als proefvoorwerpen kunnen worden gebezigd; echter zal men met de bovengenoemde, en zelfs met eenige derzelven, b. v. N^o 1, 6, 8 en 9, volkomen kunnen volstaan, om het optisch vermogen van een mikroskoop te onderzoeken. Volledigheids halven laat ik hier echter nog eenige volgen, die aanbevolen zijn geworden.

Goring noemt nog de schubbetjes van *Petrobius maritimus*, als nagenoeg gelijkstaande met die van *Lepisma saccharina*, verders die van het ligchaam van *Alucita pentadactyla* en van *Alucita hexadactyla*. De lengtestreepen op de beide laatsten zijn, volgens v. Mohl, niet op de geheele lengte van het schubbetje zichtbaar, en zij vorderen reeds eene matig sterke vergrooting (100—160 maal), om gezien te worden. Door denzelfden worden als proefvoorwerp zeer geroemd de schubben der vleugels van het wijfje van *Hipparchia Janira*, welke hij door Amici heeft leeren kennen. Bij eene geringe vergrooting zijn de lengtestreepen reeds zichtbaar, doch, om de dwarsstreepen goed en scherp te zien, daartoe wordt, volgens v. Mohl, een uitstekend mikroskoop en eene 300 malige vergrooting gevorderd. Nog veel moeilijker zijn echter die van de bovenvlakte der vleugels van het

mannetje van *Hipparchia Janira*, daar de lengtestreepen hier slechts bij eene zeer scherpe en sterke vergrooting met schuins invallend licht zichtbaar zijn, terwijl hij van de, zonder twijfel voorhanden zijnde, dwarsstreepen niets vermogt te ontdekken.

Verders kunnen, behalven de insektenschubbetjes, als proefvoorwerpen in aanmerking komen: de dwarsgestreepte primitiefbundels der spieren; de kiezelpantseren van verschillende soorten van het geslacht *Navicula*, waarop mede fijne lijntjes in verschillende rigtingen worden aangetroffen; de amyllumkorrels van *Solanum tuberosum*, en van sommige andere planten, wegens de grenslijnen van de concentrisch den kern omgevende lagen; de tracheeën der insekten met hunnen spiraaldraad, die al fijner en fijner wordt, naar gelang van de dunheid van het vat; de teedere ciliën van de zich bewegende algensporidiën; het spiraalvormig gewonden aanhangsel der *spermatozoa* van de onderscheiden *Triton*-soorten, enz. enz.

De gestreepte insektenschubben zijn door Goring inzonderheid aanbevolen tot toetsing van het doordringend vermogen van een mikroskoop, waartoe zij ook in zoo verre als meer bijzonder geschikt te beschouwen zijn, als het bij hen, gelijk ook bij de andere zoo even genoemde voorwerpen, vooral aankomt op het herkennen van zeer geringe afwijkingen, die de lichtstralen ondergaan, waartoe een groote openingshoek, en eene daarvan afhangende aanmerkelijke lichtsterkte van het beeld, gevorderd wordt. Ook verdwijnen, gelijk hij aangetoond heeft (verg. bl. 547), vele der moeilijk zichtbare bijzonderheden in deze proefvoorwerpen, door den openingshoek kleiner te maken, in weerwil dat het begrenzend vermogen daarbij onveranderd blijft.

Intusschen zal een eenigzins geoefend waarnemer ook zeer

wel, met derzelver behulp, den graad van dit laatst genoemde vermogen kunnen bepalen. Hoe grooter hetzelfde is, des te scherper, netter, en donkerder vertoonen zich alle de omtrekken, niet alleen der geheele voorwerpen, maar ook van de daarop aanwezige streepen.

Als meer uitsluitend tot onderzoek van het begrenzend vermogen geschikte proefvoorwerpen, zijn door Goring aanbevolen: 1° *de haren der gewone muis*; de donkere plekken (gedeeltelijk met lucht gevulde cellen), die met doorschijnende gedeelten afwisselen, moeten scherp afgescheiden gezien worden; 2° *de haren op de vleugelen van den vledermuis*; hier komt het inzonderheid aan op het duidelijk herkennen van het maaksel der epitheliumlaag, welks platte schubvormige celletjes in eene spiraalsgewijs gewonden lijn buitenwaarts uitpuilen; 3° de reeds boven (bl. 398c) beschreven gevlekte schubbetjes van *Lycaena Argus*.

De beste middelen echter voor het onderzoek van dit gedeelte van het optisch vermogen zijn dezelfde, welke reeds vroeger (§ 352), als geschikt tot onderzoek van den graad der verbetering van de beide aberratiën, zijn genoemd. Voor geringere vergrootingen kunnen derhalve kleine witte ligchaampjes, zooals amylumkorrels, de pollenkorrels van vele planten enzv., op eene zwarten grond bij opvallend licht gezien, als gepaste proefvoorwerpen worden beschouwd. Zij moeten zich scherp en net afgeteekend, zonder eenig spoor van lichtnevel vertoonen. Voor de beproeving van sterke vergrootingen verdienen alle aanbeveling de kleine openingen in de niet verhoude celwanden, welke men te voorschijn doet treden, door eene doorsnede van eenig plantenweefsel met iodiumtinctuur te doen doortrekken, en deze, na verdamping van den alkohol, met zwavelzuur te bevochtigen, dat met $\frac{1}{3}$ van zijn gewigt

water verdund is. Op de hierdoor zeer donker violet gekleurde celwanden moeten deze openingen, ter plaatse, waar het licht van den spiegel er vrij door heen kan vallen, met scherpe randen worden waargenomen, en daar, waar er meerdere dicht bij elkander staan, deze onderscheidenlijk gezien worden. Inzonderheid geschikt hiertoe zijn zulke weefsels, waar, zooals b. v. in de wanden der parenchymcellen van den aardappel (1), de openingen hier en daar tot eene kleine groep vereenigd zijn, die zich bij geringe vergrootingen, of ook bij sterke, indien het begrenzend vermogen gebrekkig is, als eene enkele grootere opening vertoont, doch, door een goed begrenzend mikroskoop bij genoegzame vergrooting (400—500 maal) gezien, uit meerdere, vijf tot vijftien, uiterst kleine openingen (van $\frac{1}{5000}$ — $\frac{1}{2000}$ millim. in diameter) met zeer geringe tusschenruimten, blijken te bestaan.

225. Een bezwaar, dat aan het gebruik van alle organische proefvoorwerpen verbonden is, bestaat daarin, dat de door den eenen waarnemer met zijn mikroskoop verkregen uitkomsten nimmer volkomen vergelijkbaar zijn met die van eenen anderen, omdat de gelijknamige voorwerpen zelve onderling te veel in grootte en duidelijkheid verschillen. Wel is waar zijn er eenigen, zooals N° 6, 7a en 9 der zoo even genoemde, die in dit opzigt boven de overigen te verkiezen zijn, doch wenschelijk blijkt het toch eenen meer zekeren maatstaf te bezitten, welke veroorlooft het optisch vermogen van een mikroskoop op eene wijze te kenmerken, die overal en altijd geldig is. Beter dan de gestreepte insektenschub-

(1) Zie mijne *Recherches sur la nature et les causes de la maladie des pommes de terre*, in de *Nieuwe verh. der Eerste Kl. v. h. Kon. Ned. Inst.* XII. 1846. p. 212, en de afbeelding op Pl. I. fig. 13.

betjes voldoet aan dit oogmerk eene mikrometrische verdeling op glas. Nobert (1) is op de gelukkige gedachte gekomen, om opzettelijk hiervoor bestemde plaatjes te vervaardigen, waarop 10 groepen van lijnen getrokken zijn, welker, in breukdeelen van de Parijsche lijn, uitgedrukte afstanden de volgende zijn. Ter vergelijking dezer groepen met de streepen der proefvoorwerpen, in het tafeltje op bl. 595, voeg ik er het aantal der lijnen bij, dat in 10 *mm* bevat zoude wezen.

			Getal in 10 <i>mm</i> .			Getal in 10 <i>mm</i> .		
N ^o . 1.	0,001000.	4,4.	N ^o . 6.	0,000463.	9,5.			
» 2.	0,000857.	5,2.	» 7.	0,000397.	11,1.			
» 3.	0,000735.	6,0.	» 8.	0,000340.	13,0.			
» 4.	0,000630.	7,0.	» 9.	0,000292.	15,2.			
» 5.	0,000540.	8,2.	» 10.	0,000225.	19,6.			

Hieruit blijkt dus, dat het aan de kunst gelukt is op glas nog veel fijnere streepen te trekken, dan die, welke men op eenig der bekende organische proefvoorwerpen aantreft. In werkelijkheid is dan zulk een proefplaatje ook geschikt, om eenigermate de grenzen van het optisch vermogen eens mikroskoops te bepalen, althans van een dergenen, die tegenwoordig vervaardigd worden, daar met de uitstekendste thans bestaande mikroskopen zich hoogstens de 9^{de} groep duidelijk vertoont. Zulk een plaatje levert derhalve een hoogst gewichtig hulpmiddel op, om de betrekkelijke waarde van onderscheiden mikroskopen te bepalen, en in de laatste afdeeling van dit werk zullen ook de daarmede bij verschillende werktuigen verkregen uitkomsten worden medegedeeld. Volkomen vergelijkbaar echter zijn ook zulke uitkomsten alleen dan, wan-

(1) Poggendorff's Annal. 1846. N^o. 2. p. 175.

neer telkens hetzelfde plaatje wordt gebezigd, want volgens v. Mohl (1), die in de gelegenheid was twee zulke door denzelfden vervaardigde proefplaatjes onderling te vergelijken, bestond er tusschen de zichtbaarheid der verdeelingen op beiden een niet onbelangrijk verschil, hetgeen trouwens niet verwonderen kan, dewijl het allervergrootste verschil in drukking van den diamant, of in de hardheid van het glas, eenigen invloed moet hebben op de dikte van de daarop getrokken lijnen.

226. Alvorens dit onderwerp te verlaten, moet ik nog op eenige punten opmerkzaam maken, welke bij de beoordeeling van een mikroskoop, volgens de uitkomsten van het onderzoek, hetzij door middel der bovengenoemde proefvoorwerpen, of door mikrometrische verdeelingen, moeten worden in acht genomen.

1° Het is vroeger (§ 160) gebleken, dat het al of niet bedekken der voorwerpen met een glasplaatje eenen niet te veronachtzamen invloed uitoefent op de scherpte van het beeld. Men verzuime derhalve niet dekplaatjes van verschillende dikte te bezigen, ten einde de hoegrootheid van dien invloed te leeren kennen. Het is daarom ook niet gepast de proefvoorwerpen onder glasplaatjes te bewaren, maar beter hiertoe micaplaatjes aan te wenden, welke zoo dun kunnen worden genomen, dat de door hen te weeg gebragte storing in den gang der lichtstralen, als niet bestaande kan worden aangemerkt.

2° De invloed van den graad van verlichting, als ook van de rigting der lichtstralen, op de zichtbaarheid der voorwerpen, moet bij dit onderzoek inzonderheid in het oog worden ge-

(1) L. c. p. 194 en 207.

houden. Als regel kan men vaststellen, dat, naar gelang de proefvoorwerpen meer doorschijnend zijn, eene zwakkere verlichting van het gezigtsveld moet worden aangewend. De meeste proefvoorwerpen, met name de gestreepte, vertoonen zich het best bij schuins invallend licht. Omtrent andere voorzorgen, die in het algemeen bij moeilijke waarnemingen moeten genomen worden, ten einde de verlichting zoo gunstig mogelijk voor de zichtbaarheid te doen zijn, verwijs ik naar het hoofdstuk over dit onderwerp (bl. 275 en verv.).

3° Men plaatse het proefvoorwerp altijd in het midden van het gezigtsveld, omdat aldaar de scherpte van het beeld het grootst is (z. bl. 383).

4° Bij de onderlinge vergelijking van twee of meerdere mikroskopen is over het algemeen datgene het beste, waar door men, bij eene geringere vergrooting, een zeker proefvoorwerp even goed ziet, als bij eene sterkere van een ander mikroskoop. Echter vergete men hierbij niet, dat elk zamengesteld mikroskoop uit een aantal verschillende vereenigingen van objectieven en oculairen bestaat, die elk eigenlijk aan zoovele op zich zelve staande werktuigen beantwoorden, en dat het dus zeer wel gebeuren kan, dat terwijl sommige combinatiën bij het eene werktuig in deugd onderdoen voor die bij het andere, welke nagenoeg van gelijke sterkte zijn, daarentegen bij andere overeenkomstige combinatiën de omgekeerde verhouding plaats kan hebben. Daar waar het op eene grondige beoordeeling aankomt, moet men zich dus niet vergenoegen, met slechts eenige verbindingen van objectieven en oculairen met elkander te vergelijken, maar moeten allen aan het onderzoek onderworpen worden. Verders houde men hierbij in het oog, dat, om bij aplanatische mikroskopen de combinatiën met elkander vergelijkbaar te doen zijn, het niet

voldoende is, dat zij nagenoeg gelijke vergrootingscijfers hebben, maar dat hierbij ook acht gegeven moet worden op den zooveel mogelijk gelijken brandpuntsafstand der gebezigde objectiefstelsels en der oculairen, dewijl hiervan het aandeel afhangt, dat elk voor zich aan de geheele vergrooting heeft, en de scherpte van het beeld in den regel des te grooter is, naar mate het aandeel van het objectief dat van het oculair overtreft. Het is dus niet genoeg eene 500 malige vergrooting van het eene mikroskoop met eene 500 malige van het andere te vergelijken, maar de factoren, waaruit dit vergrootingscijfer bestaat (z. § 148), moeten bovendien ongeveer van gelijke grootte zijn.

227. Ten slotte deel ik hier nog eene methode mede, welke, ofschoon zij eenigermate omslagtig is, mij onder allen de beste voorkomt, om het optisch vermogen van een mikroskoop te toetsen, omdat zij veroorlooft met eene groote mate van juistheid en zekerheid de uiterste grenzen te bepalen, zoowel voor de zichtbaarheid als voor de onderscheidbaarheid der voorwerpen door een mikroskoop, zoodat het mogelijk is in cijfers den graad van deszelfs optisch vermogen, onder de meest verschillende onstandigheden, uit te drukken.

Deze methode bestaat eenvoudig daarin, dat men, in plaats van kleine voorwerpen, derzelver dioptrische beelden door het mikroskoop waarneemt. Deze beelden kunnen naar willekeur verkleind worden door verwijdering van het voorwerp, waarvan het beeld zich vormt, en men heeft het dus in zijne magt, om de uiterste grens te bepalen, waarbij dit beeld nog even waarneembaar is.

Tot vorming der beelden zouden achromatische lenzenstel-

sels kunnen dienen, doch zelfs met die, welke den kortsten brandpuntsafstand bezitten, zouden, om de beelden genoegzaam te verkleinen, de voorwerpen óf zeer ver verwijderd moeten worden, hetgeen verscheidene bezwaren zoude opleveren, en alleen bij eene horizontale stelling van het mikroskoop uitvoerbaar wezen, óf zij zouden zelve uiterst klein moeten zijn, hetgeen wederom aanleiding zoude geven tot eene minder juiste bepaling van hunnen doormeter, waaruit later die van het nog even zichtbare beeld moet berekend worden.

Veel beter voldoen daarom aan dit oogmerk kleine lucht-bellen in eenig vocht. Bij voorkeur bedien ik mij van eene oplossing van poeder van arabische gom in water, welke oplossing altijd eene menigte zulke luchtbellens insluit, afkomstig van de lucht tusschen de deeltjes van het poeder bevat. Men zal weldoen met daartoe water aan te wenden, hetwelk óf eenen geruimen tijd aan de lucht heeft blootgesteld gestaan, óf daarmede eenigen tijd sterk geschud is, omdat, wanneer men water bezigt, hetwelk niet met lucht verzadigd is, de luchtbellens in de oplossing allengs kleiner worden, waardoor de beelden zelve in grootte afnemen, en eene oorzaak van fouten in de uitkomsten der opvolgende metingen ontstaat, zoo als dadelijk blijken zal.

Men brengt dan op een zuiver glasplaatje eenen droppel der oplossing, en bedekt deze met een goed helder mica-plaatje, onder tusschenplaatsing van een ringvormig uitgesneden stukje papier, waardoor verhinderd wordt, dat de luchtbellens plat gedrukt worden. Dit glasplaatje wordt vervolgens onder het mikroskoop op de voorwerptafel gelegd, en eene luchtbel van gepaste grootte uitgezocht, om het beeld te vormen. Niet allen geven echter een even net en scherp beeld, hetgeen inzonderheid daardoor veroorzaakt wordt, dat

sommige luchtbellén aan het dekplaatje raken, waardoor de sphaerische vorm verstoord wordt; ook kunnen zich onder of boven de luchtbel kleine moleculen in het vocht bevinden, of zelfs tegen de binnenvlakte van deze aan, hetgeen hetzelfde te weeg brengt, als een gebrek der polituur bij eene glazen lens, dat namelijk het beeld eenigzins nevelachtig wordt. Steeds echter zal men zonder moeite er eenigen vinden, waardoor beeldjes van de grootste netheid en helderheid ontstaan (1), hetgeen men dan vooraf beproeven kan, door tusschen den spiegel en de voorwerptafel eenig scherp gekant voorwerp, eene strook papier of iets dergelijks, te houden. Het beeld bevindt zich altijd iets onder de luchtbel, en deze moet dus nader aan het mikroskoop worden gebragt, dan vereischt wordt, om hare randen scherp te zien.

Het voorwerp, welks beeld tot het onderzoek moet dienen, moet op eenen toestel geplaatst worden, die veroorlooft hetzelfde, in de tusschenruimte van den spiegel tot aan de voorwerptafel, op en neder te bewegen. Bij sommige mikroskopen is zulks moeilijk uitvoerbaar, hetzij omdat deze afstand te gering is, hetzij uithoofde der trommelachtige gedaante van den voet, waardoor deze ruimte geheel bedekt is. Zijn zulke mikroskopen, in stede van eenen spiegel, voorzien van een terugkaatsend prisma, dan kan het voorwerp aan gene zijde van dit, buiten het mikroskoop, worden geplaatst. Het meest geschikt voor de toepassing dezer methode zijn echter

(1) Het volgende voorbeeld moge dit bewijzen. Ik bragt eene bladzijde van een gedrukt boek op zulk eenen afstand onder eene luchtbel, dat de lengte van het beeld der geheele bladzijde $\frac{1}{7}$ millim., en die van het beeldje van elke letter slechts $\frac{1}{480}$ millim. bedroeg. In weerwil hunner kleinheid, bezaten deze bij opvallend licht gevormde beeldjes nog eenezoo groote scherpte en helderheid, dat bij eene 154 malige vergrooting de geheele bladzijde zonder moeite leesbaar was.

zulke mikroskopen, welker verlichtingstoestel uit eenen spiegel en eene verzamelingslens bestaat, die hooger en lager kan gesteld worden. Men neemt dan deze lens uit den ring, welke haar bevat, en brengt daarvoor het voorwerp in de plaats. De betrekkelijke grootte van het voorwerp en van de luchtbel moet zoodanig wezen, dat het beeld reeds zeer klein is, wanneer zich het voorwerp nog nabij aan de voorwerpplaat bevindt. Door het dan vervolgens allengs van deze, dat is van de luchtbel te verwijderen, is het niet moeilijk de juiste grens te vinden, waarop het beeldje bij de aangewende vergrooting slechts nog even zichtbaar is.

Natuurlijk is het niet mogelijk de grootte dezer kleinste nog zichtbare beeldjes door regtstreeksche meting te bepalen, daar onze beste mikrometrische methoden hier verre te kort schieten. Doch men kan desniettemin met groote naauwkeurigheid deze grootte op de volgende wijze vinden. In de plaats van het vroeger gebruikte kleine voorwerp, en op volkomen gelijken afstand van de luchtbel, legt men een aanzienlijk veel grooter voorwerp, b. v. eene strook kaartenblad van 4—5 centim. doormeter, welke vooraf met naauwkeurigheid bepaald is. Nu meet men, door eene der mikrometrische methoden (waarover later uitvoerig gehandeld zal worden), het door de luchtbel daarvan gevormde beeld, even als ware het een werkelijk voorwerp. Door dan den gevonden doormeter te deelen in dien van het gebezigde voorwerp, vindt men het verkleiningscijfer, dat voor alle voorwerpen, welke op dienzelfden afstand gebragt zijn, geldig is. Men heeft derhalve niets verder te doen, dan den doormeter van het eerst gebezigde kleinere voorwerp door dit verkleiningscijfer te deelen, om de juiste grootte van het nog even zichtbare beeldje te vinden. De doormeter van het grootere

voorwerp zij b. v. 5 centim., en die van deszelfs beeld 52,2 mm, dan is het verkleiningscijfer $= \frac{50000}{52,2} = 1555$. Indien dan het kleinere voorwerp eenen doormeter heeft van 175 mm, dan is die van deszelfs nog even zichtbaar beeld $= \frac{175}{1555} = 0,115 \text{ mm} = \frac{1}{8850}$ millim. Bij aanwending van eenigzins naauwkeurige mikrometrische methoden is het mogelijk, op die wijze, de grootte van het beeldje, tot in de millioenste deelen van den millimeter, met zekerheid te bepalen.

Slechts drage men zorg, dat de grootte der gebezigde luchtbel geene verandering ondergaat door temperatuurs-afwisseling, waarvoor men echter weinig te vreezen heeft, indien de bepaling van het verkleiningscijfer onmiddelijk op de bepaling van de zichtbaarheidsgrens volgt, en waarvan men zich nog ten overvloede overtuigen kan, door de luchtbel zelve, vóór en na de waarneming, te meten.

Wat de voorwerpen aangaat, die voor deze bepalingen geschikt zijn, zoo is het duidelijk, dat de keuze zeer ruim is. Voor het vinden der zichtbaarheidsgrenzen van ronde en van lange draadvormige voorwerpen, op eenen door den spiegel verlichten achtergrond, kunnen korrels parelsago, kleine zaadkorrels, b. v. van mosterdzaad, de pollenkorrels van vele planten (z. bl. 85), haren van dieren, metaaldraad, enzv. (z. bl. 84) gebezigd worden. Kleine ronde openingen en spleeten kunnen verders dienen tot bepaling van de zichtbaarheidsgrenzen van ware lichtbeelden. In dit laatste geval moet natuurlijk zorg worden gedragen, dat, door op eene gepaste wijze aangebrachte kokers en schermen, alle licht buiten dat, hetwelk door de opening heendringt, worde buitengesloten. Voor het bepalen van de grenzen der onderscheid-

baarheid is metaalgaas een gepast voorwerp, alsmede twee zich dicht bij elkander bevindende openingen in een zwart gemaakt plaatje, wier beelden zich dan in het mikroskoop volkomen als eene dubbelster, door eenen kijker gezien, vertoonen. Ook kunnen de voorwerpen onder verschillende omstandigheden worden geplaatst, ten einde den invloed van dezen op de zichtbaarheidsgrenzen te leeren kennen. Zoo kan men een zeer dun glazen haarbuisje, in water gedompeld, als voorwerp bezigen, en hiermede de tedere organische buisjes en vezelen nabootsen, die mede onder water waargenomen worden, doch wier zichtbaarheidsgrens zich, zooals van zelf spreekt, geenzins zoo ver uitstrekt, als die van geheel ondoorschijnende voorwerpen, enzv.

Inderdaad veroorlooft deze methode talloze wijzigingen, en is zij daardoor van eene zeer uitgebreide toepassing. Zij levert bovendien, met inachtneming der noodige voorzorgen, volkomen zekere en vergelijkbare uitkomsten. Daartoe moet echter op ééne voorname omstandigheid gelet worden, t. w. op den aard der verlichting. Het is namelijk duidelijk, dat, op eenen zuiver witten achtergrond, uithoofde der tegenstelling, kleinere ondoorschijnende, d. i. zich bij doervallend licht zwart vertoonende voorwerpen of beelden, nog gezien zullen kunnen worden, dan wanneer die achtergrond graauwachtig of lichtblauw is. Het is dus geenzins onverschillig, of door den spiegel het licht eener wit bewolkte, eener donker betrokene, of eener helder blauwe lucht wordt opgevangen. Kunstlicht kan bij deze bepalingen niet aangewend worden, dewijl het beeld van de vlam, in gelijke mate, als dat van het voorwerp, verkleind wordt, en men dus nimmer een verlicht gezichtsveld daarmede erlangt. De waarnemingen moeten dus bij daglicht geschieden, en, wanneer men vergelijkbare

uitkomsten wenschte te verkrijgen, dan moet de spiegel altijd naar den blaauwen wolkenlozen hemel gerigt zijn, omdat dit deszelfs eenige toestand is, die duidelijk genoeg is gekenmerkt, om anderen in staat te stellen onder gelijke omstandigheden hunne waarnemingen te verrigten. Waar het er bovendien op aan komt de uiterste zichtbaarheidsgrenzen, bij eene meer gepaste verlichting, te bepalen, kunnen afzonderlijk daartoe in het werk gestelde waarnemingen dienen. Overigens zal men bevinden, dat voor deze bepalingen, zelfs bij de aanwending van zeer sterke vergrootingen, een vlakke spiegel volkomen toereikend is, omdat, in het door de luchtbel gevormde beeld van het gezichtsveld, al de stralen zijn zamengedrongen, die van den spiegel uitgaan, en dit dus eene aanzienlijke lichtsterkte bezit.

In de volgende afdeelingen zal ik eenige uitkomsten mededeelen van de toepassing dezer methode, op het onderzoek van het optisch vermogen van verscheidene mikroskopen.

VERBETERINGEN.

- Bl. 54 regel 12 v. o. staat: hoe, dit geschieden kan; lees: hoe dit geschieden kan.
- » 56 » 11 v. o. » plano-concave; lees: plano-convexe.
- » 67 » 4 v. b. » gekruisd; lees: gekruist.
- » 81 noot 1 » reflexie; lees: reflectie.
- » 149 regel 8 v. o. » zoude; lees: zouden.
- » 220 » 6 v. b. » opjectiefselsels; lees: objectiefstelsels.
- » 353 » 4 v. b. » begrenst; lees: begrensd.
- » 373 » 9 v. b. » oogeschijnlijk; lees: oogenschijnlijk.
-

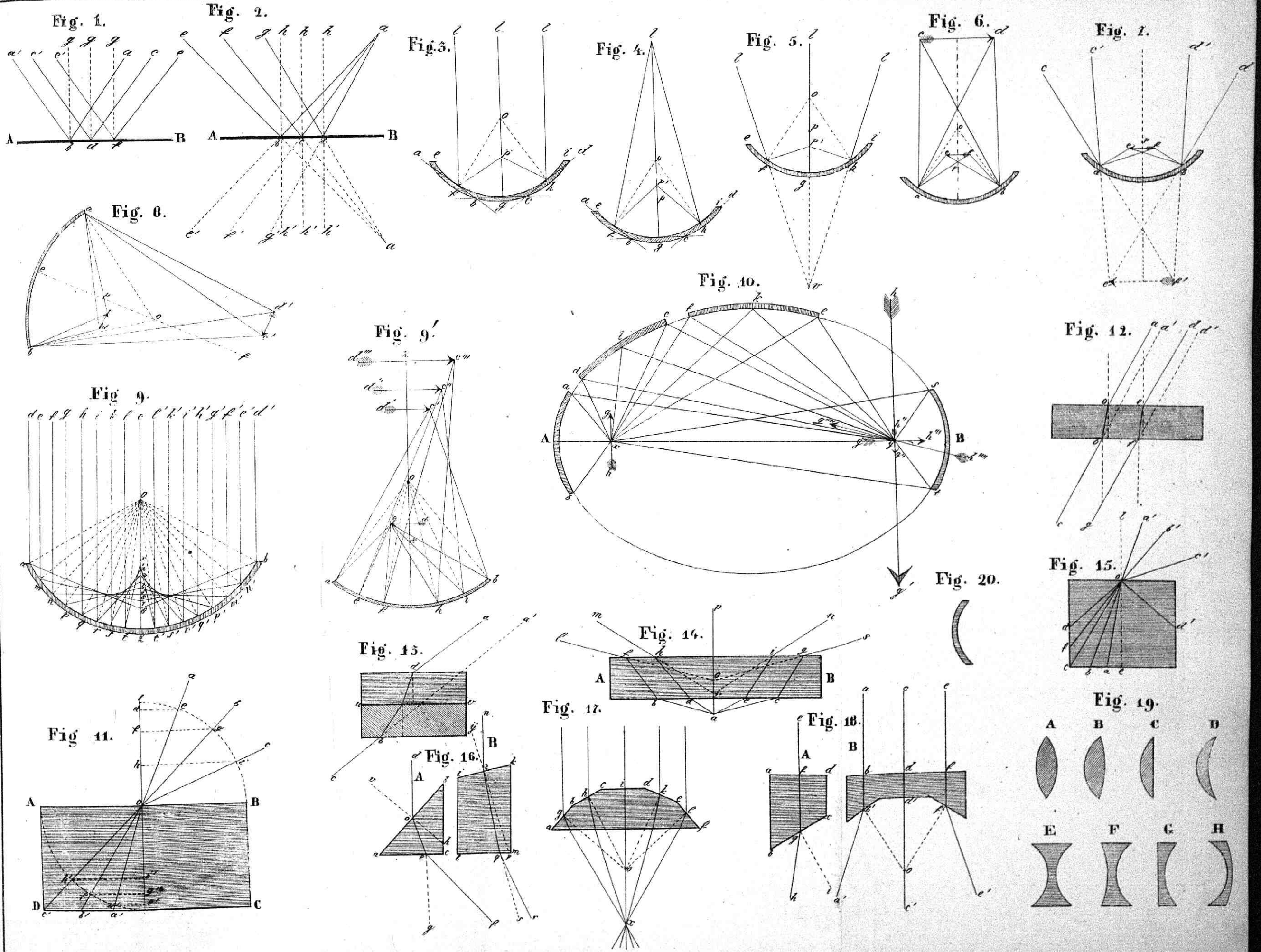


Fig. 21.

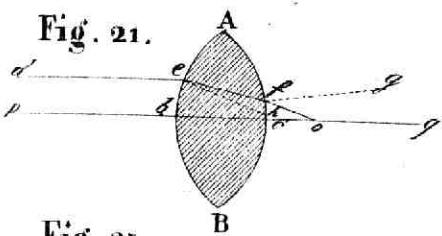


Fig. 22.

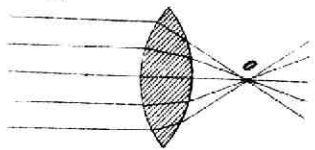


Fig. 23.

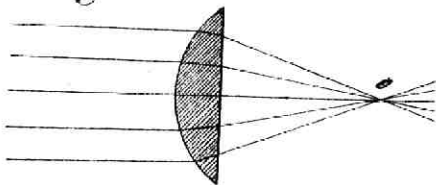


Fig. 24.

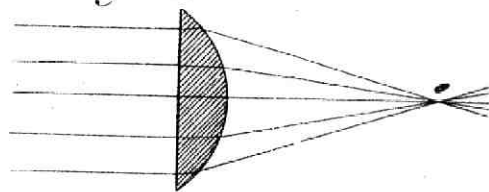


Fig. 25.

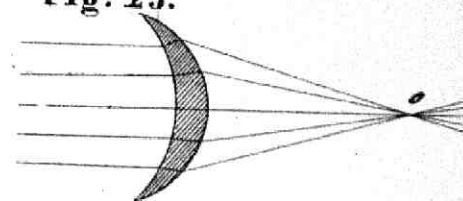


Fig. 21.

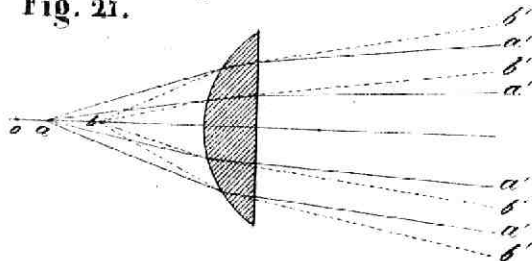


Fig. 28.

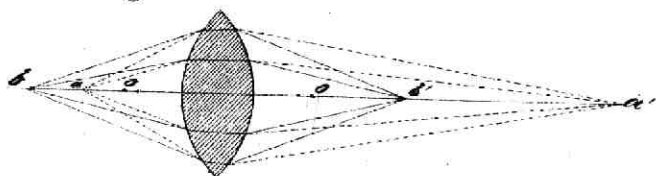


Fig. 29.

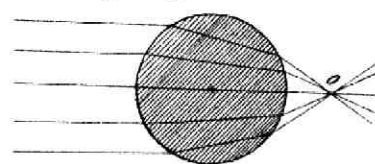


Fig. 26.

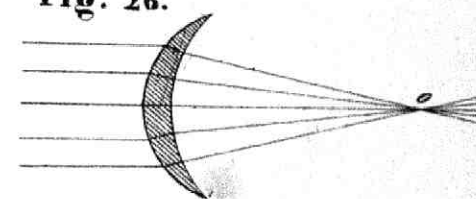


Fig. 30.

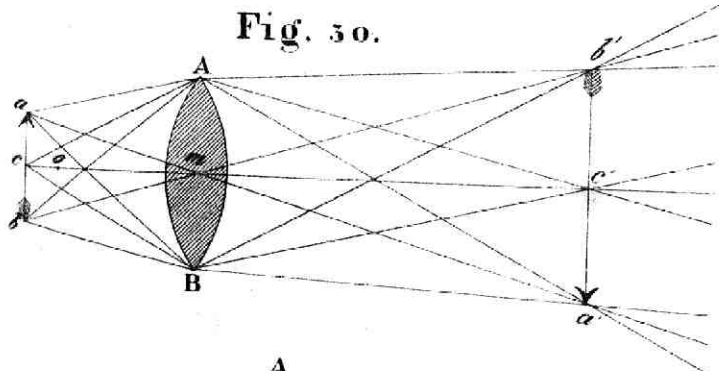


Fig. 30.

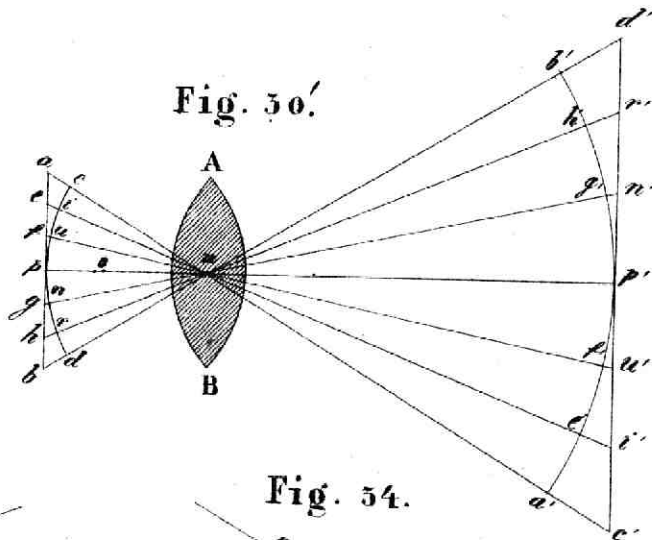


Fig. 31.

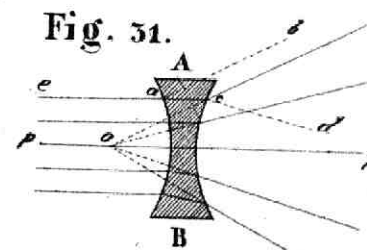


Fig. 33.

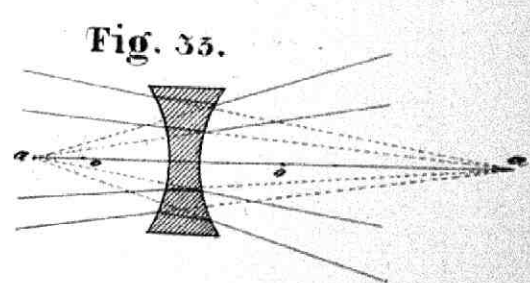


Fig. 33.

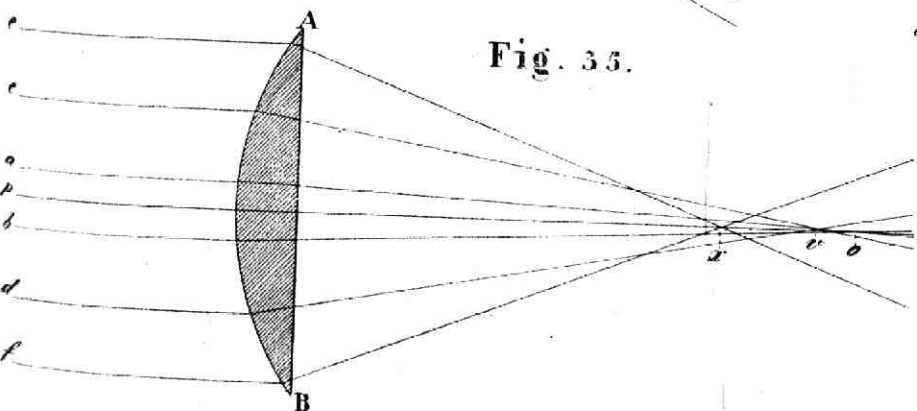


Fig. 34.

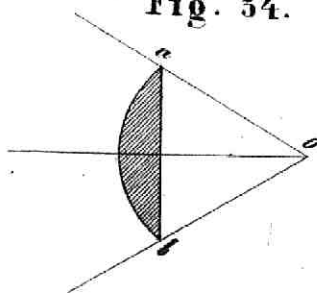


Fig. 32.

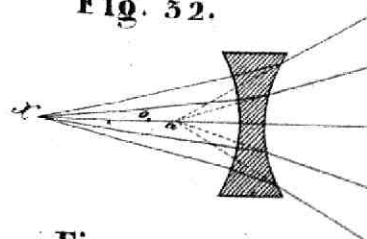


Fig. 37.

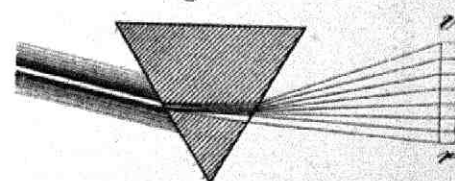


Fig. 38.

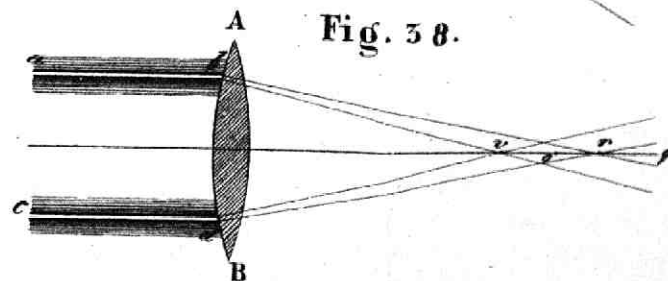


Fig. 37.

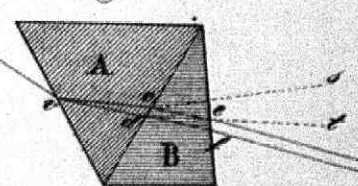


Fig. 36.

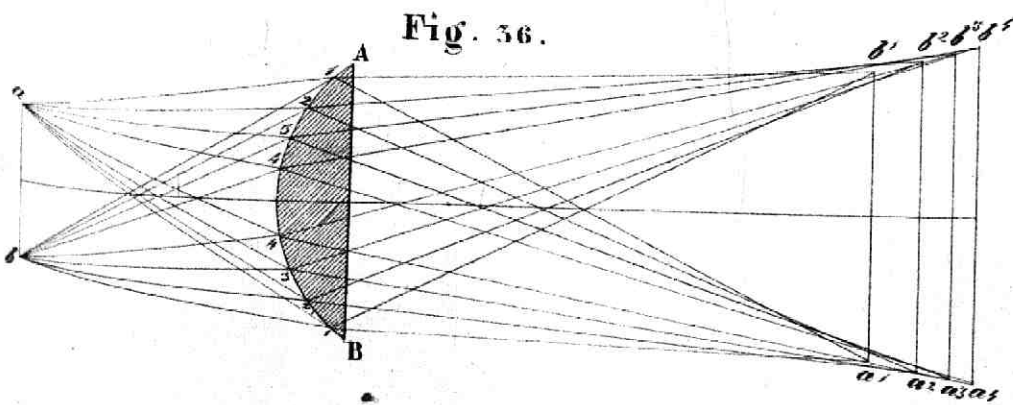


Fig. 40.

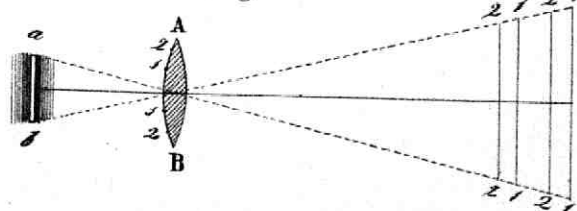
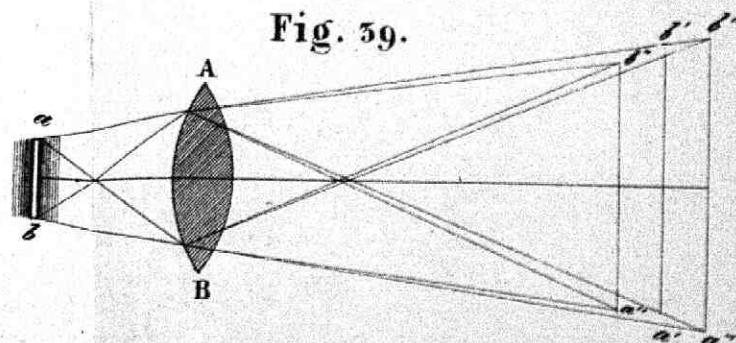


Fig. 39.



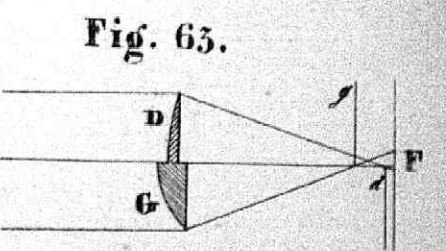
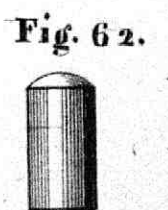
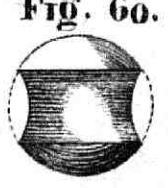
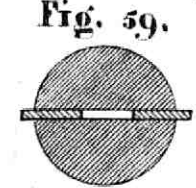
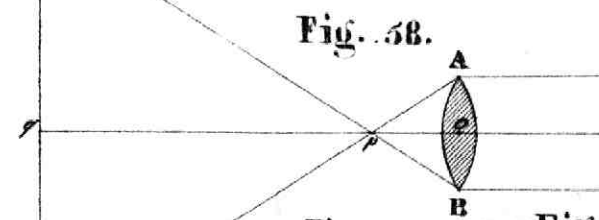
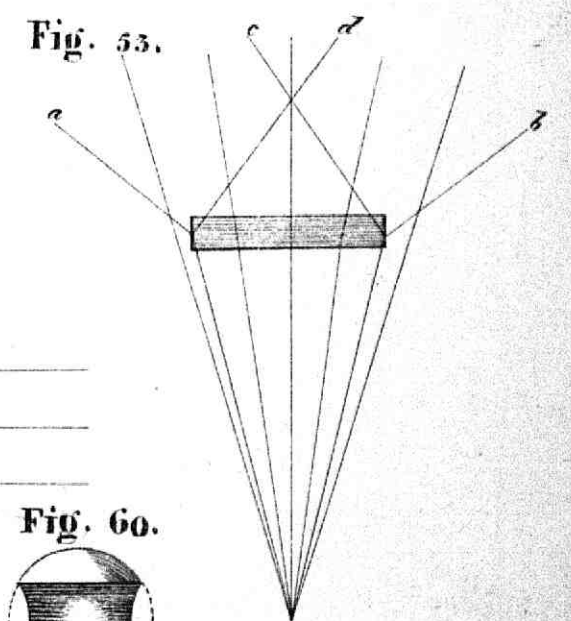
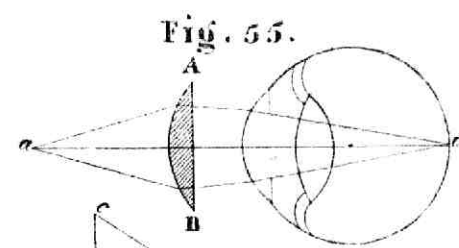
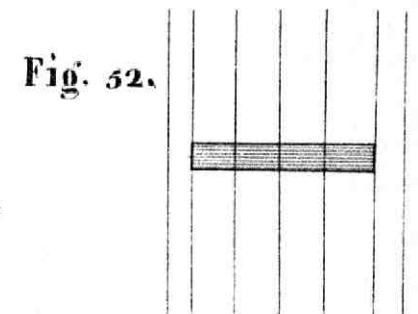
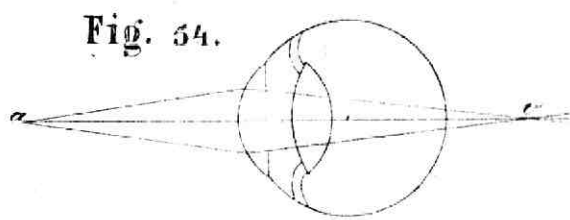
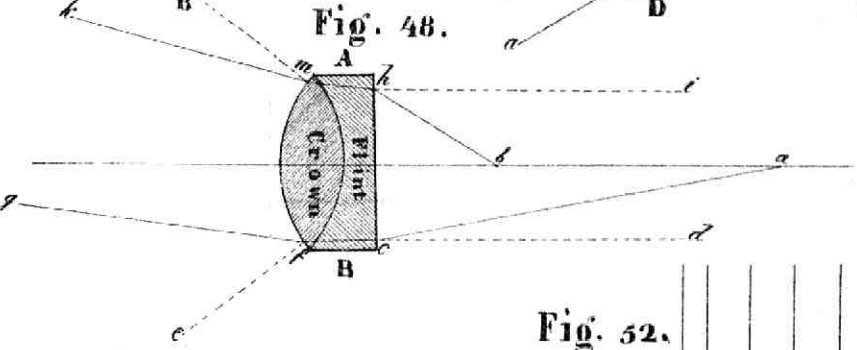
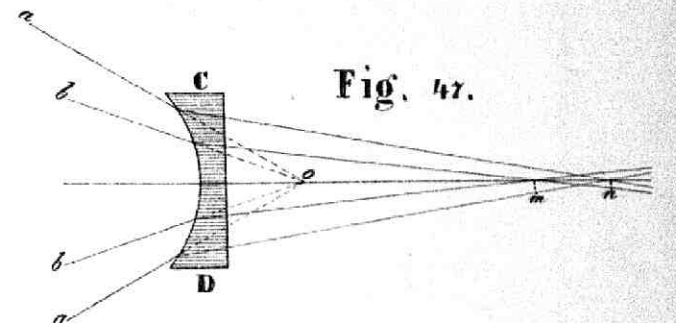
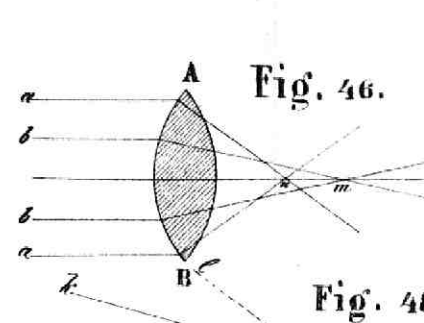
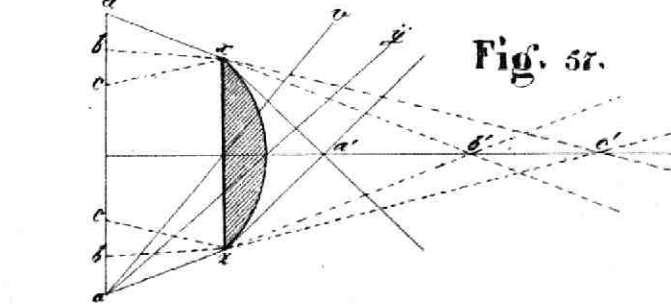
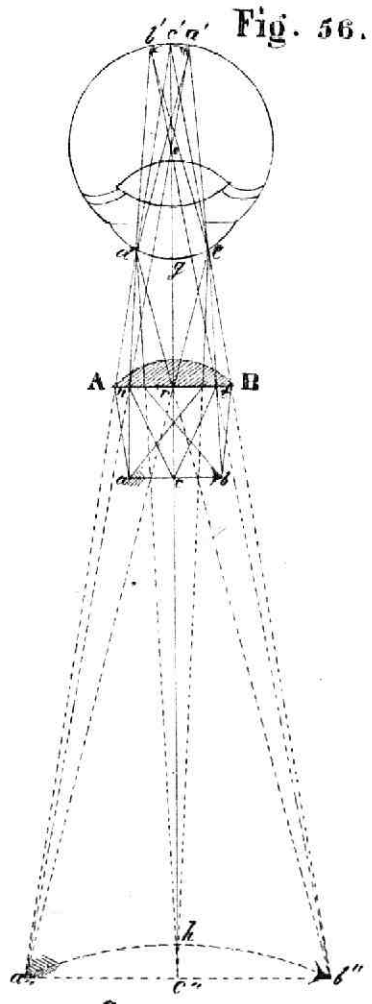
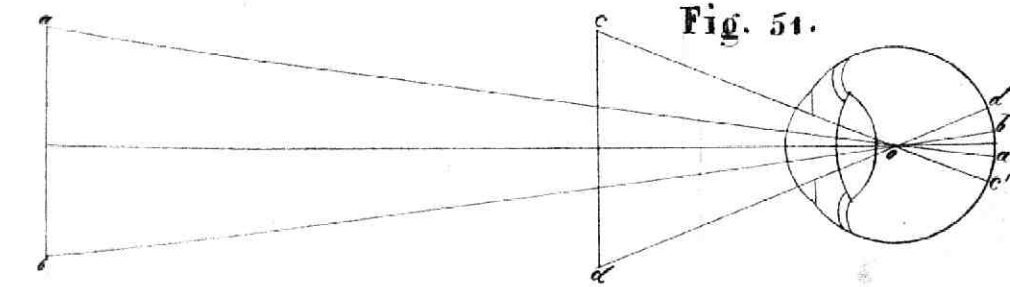
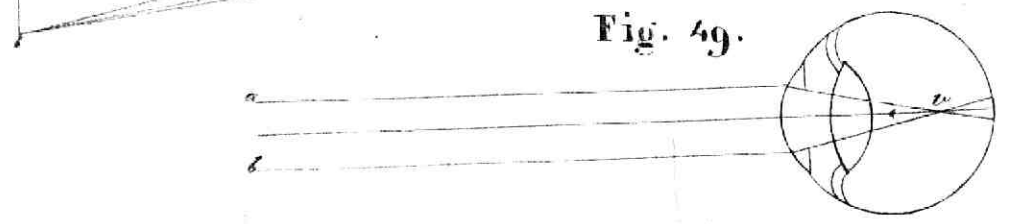
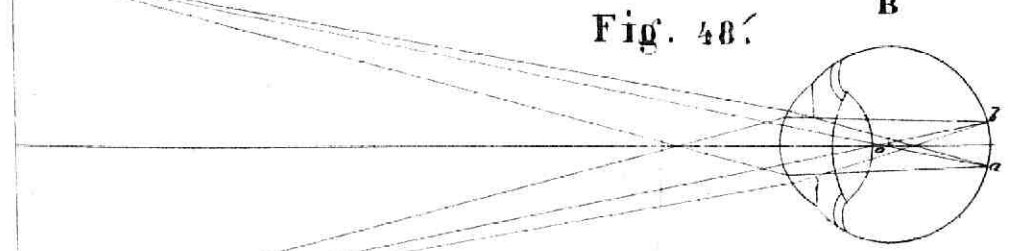
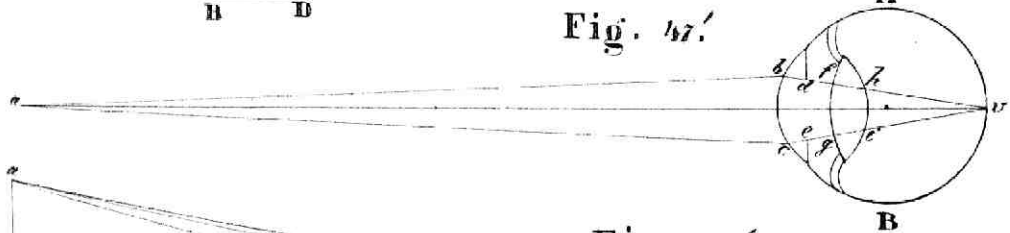
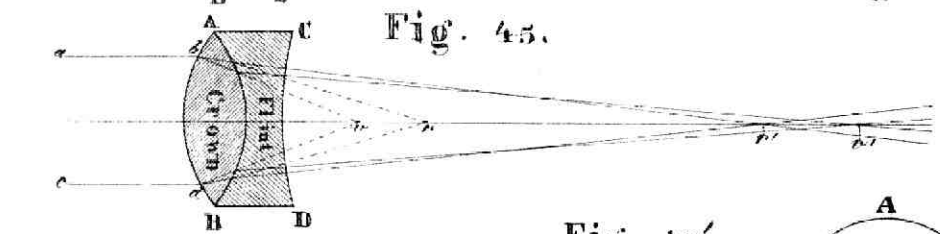
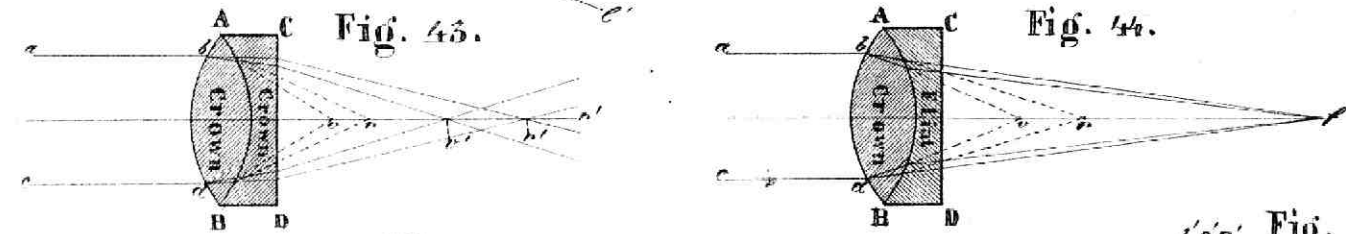
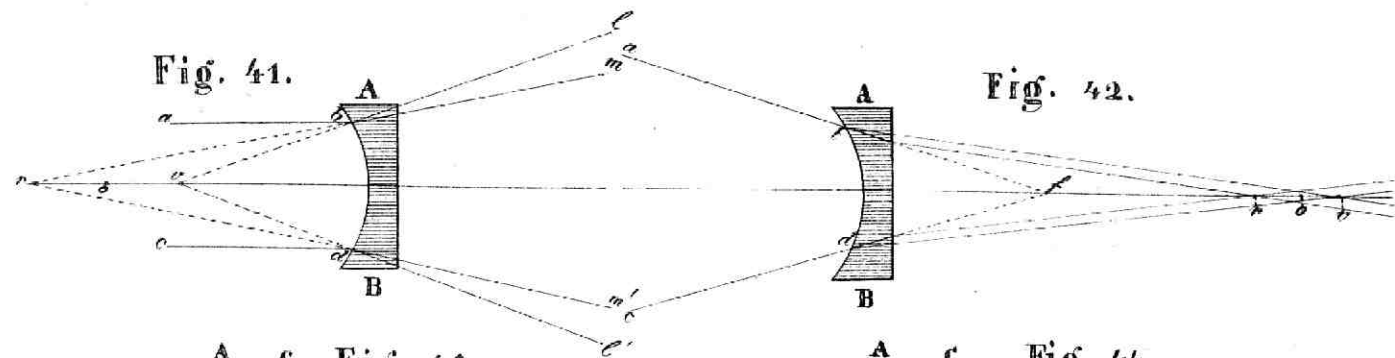


Fig. 64.

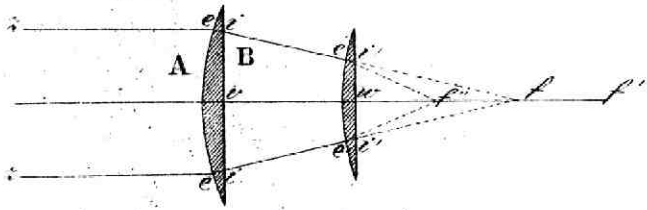


Fig. 65.

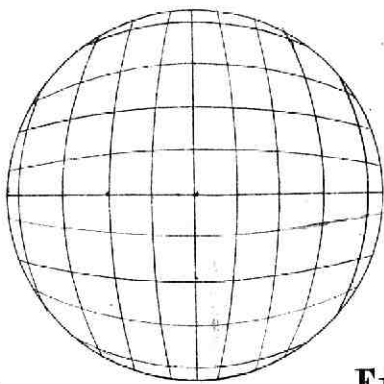


Fig. 66.

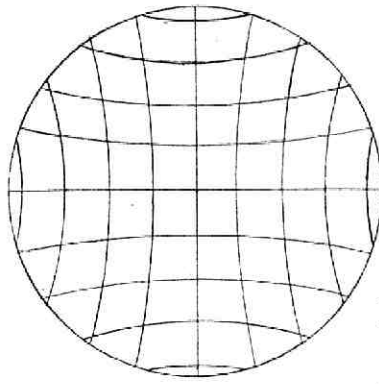


Fig. 67.

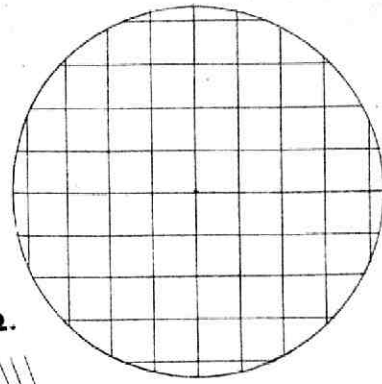


Fig. 73.

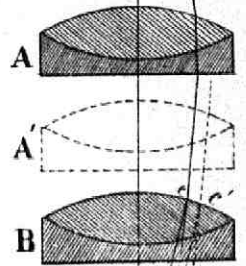


Fig. 68.

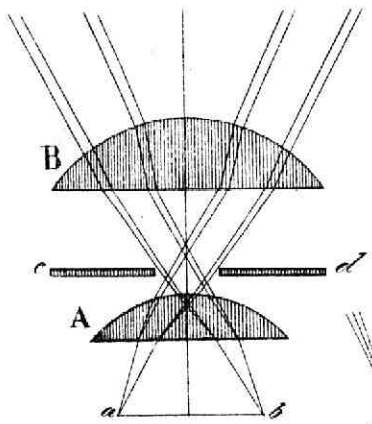


Fig. 71.

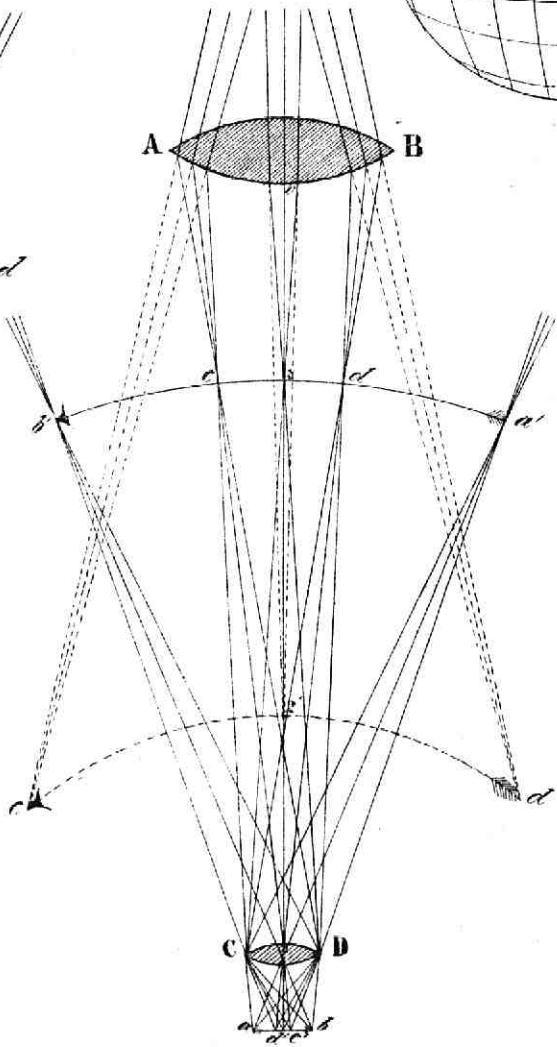


Fig. 75.

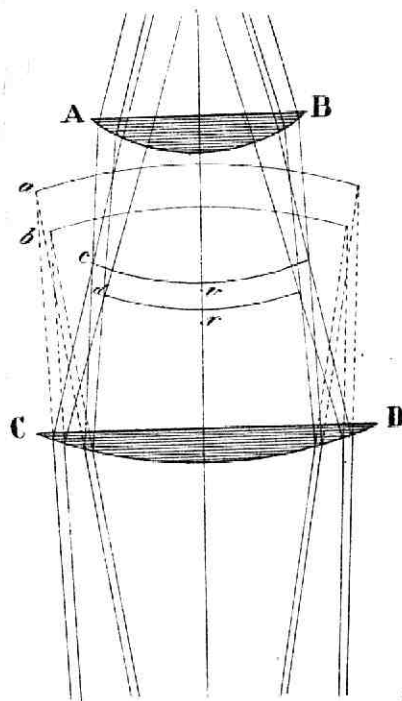


Fig. 72.

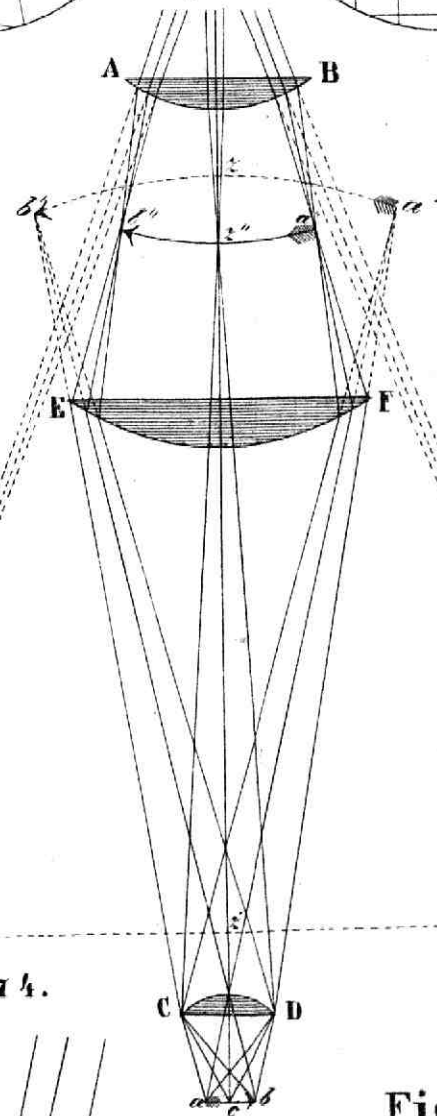


Fig. 77.

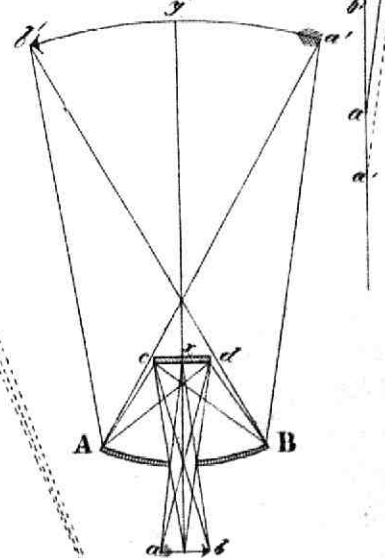


Fig. 69.

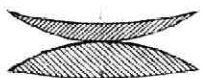


Fig. 70.

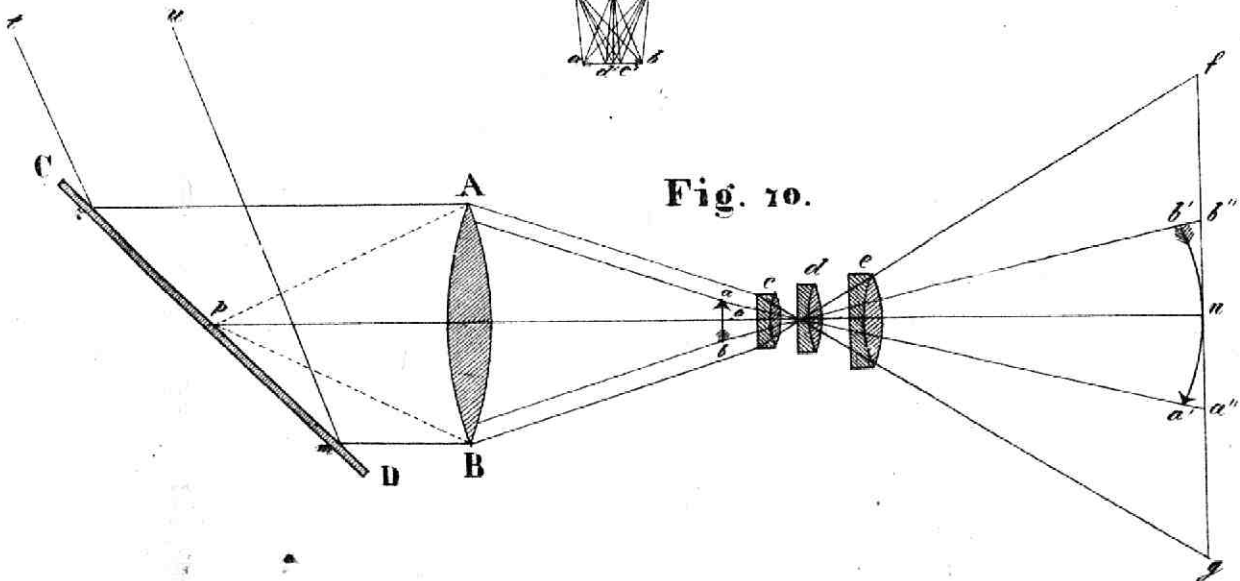


Fig. 74.

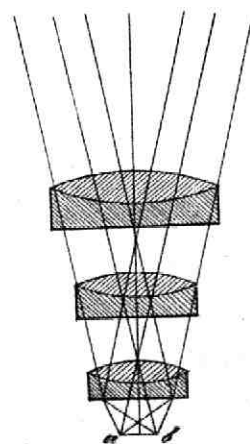
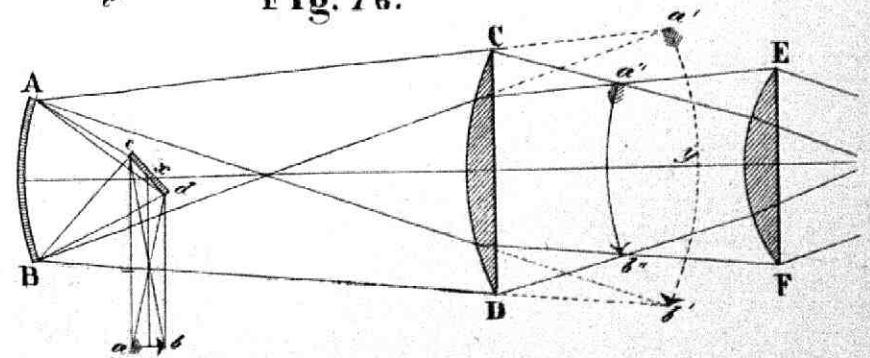
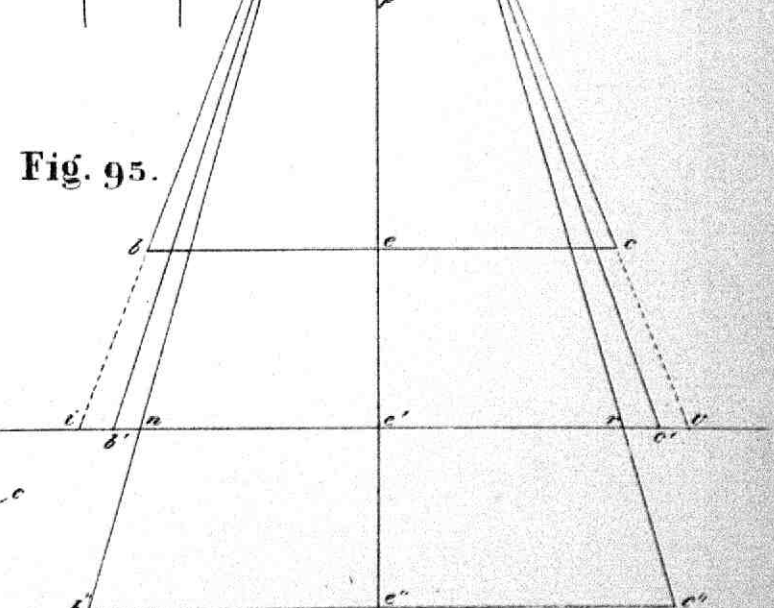
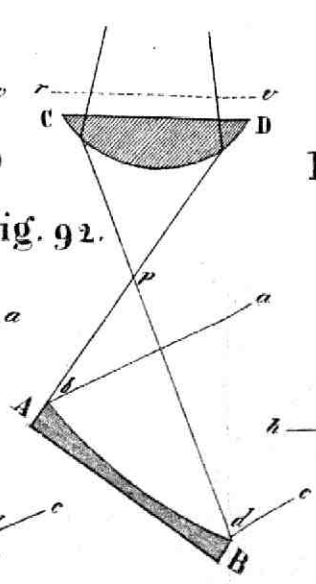
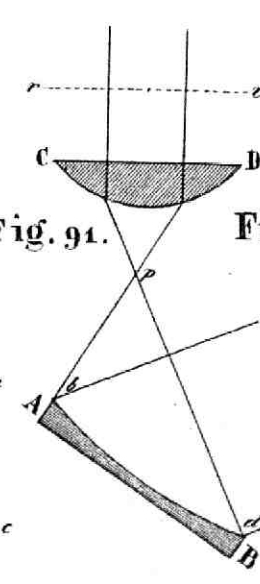
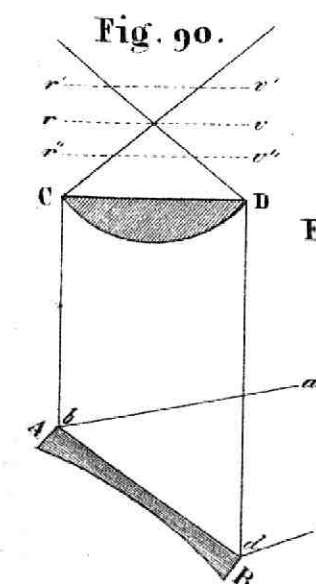
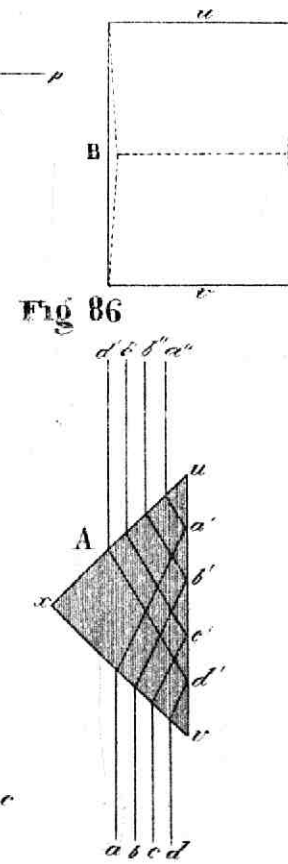
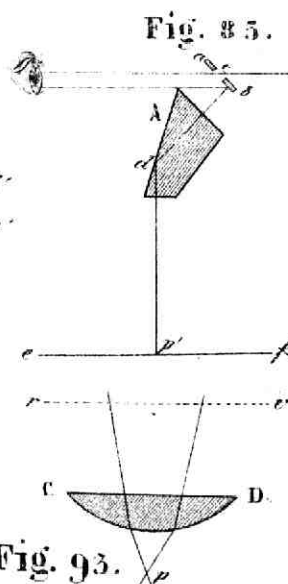
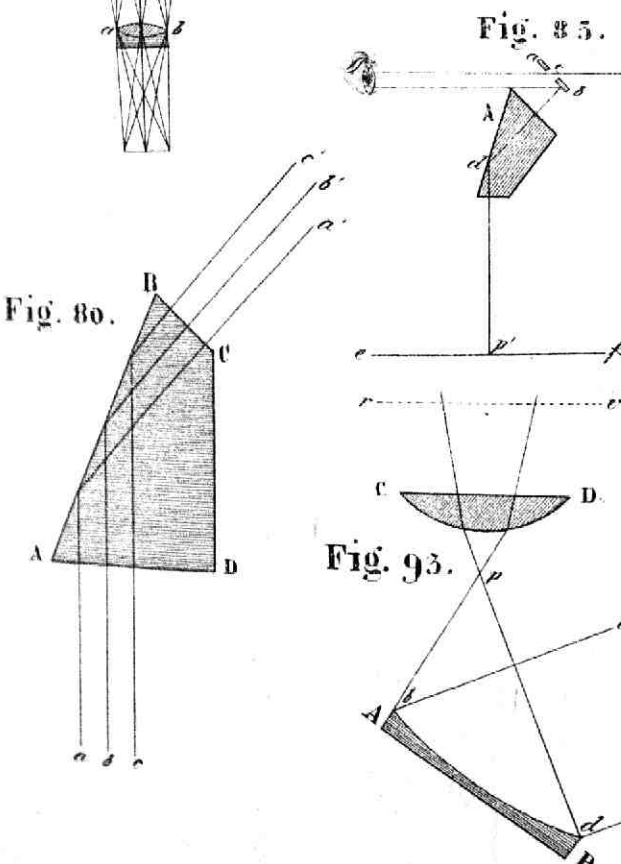
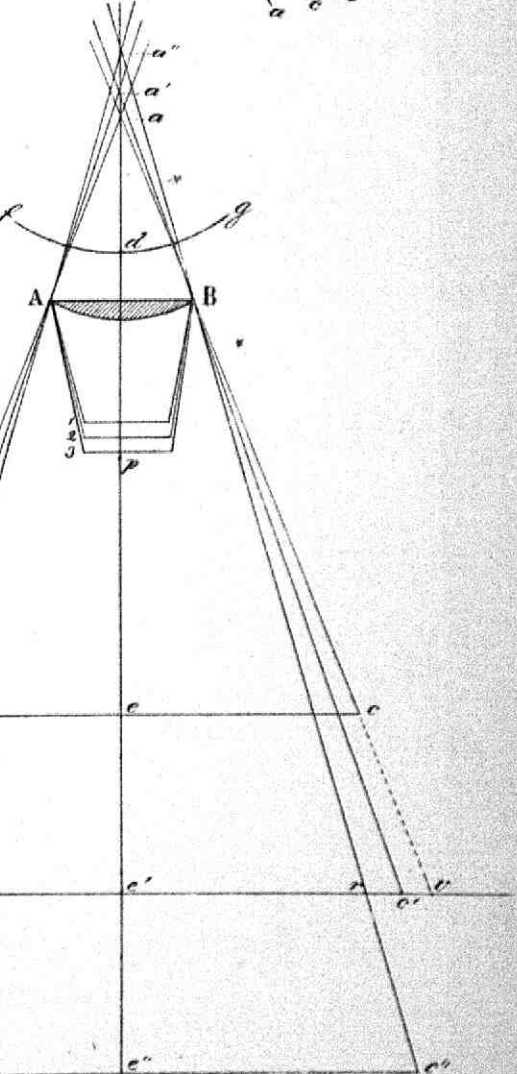
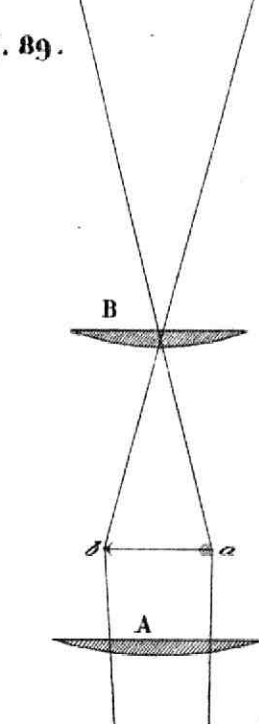
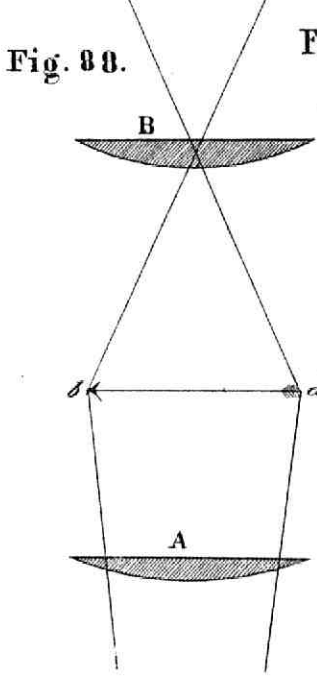
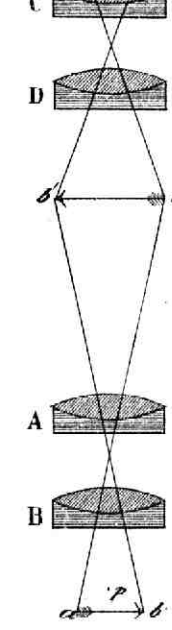
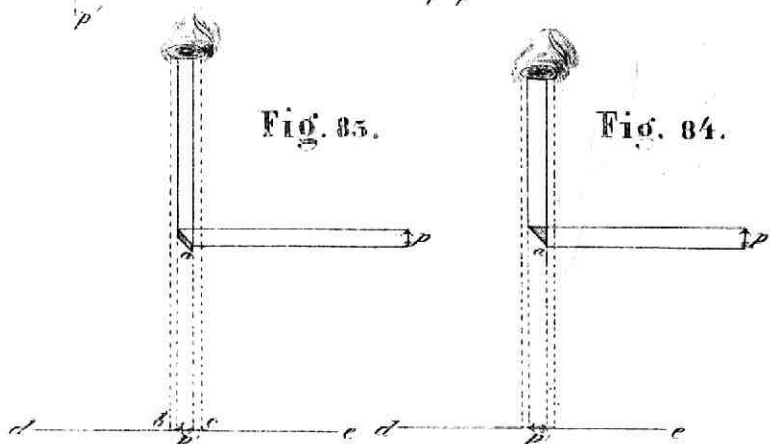
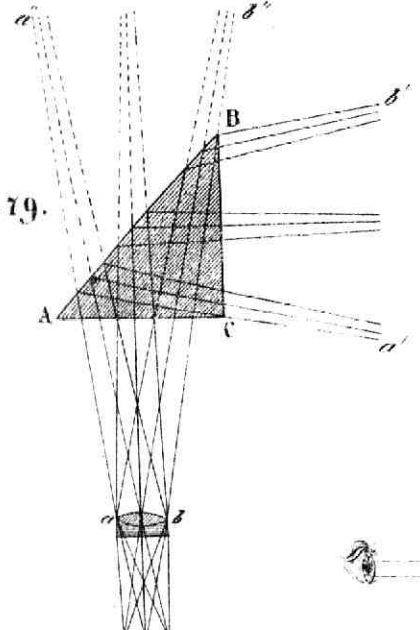
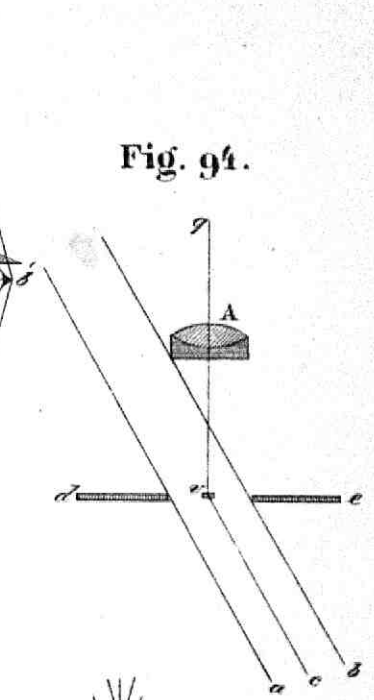
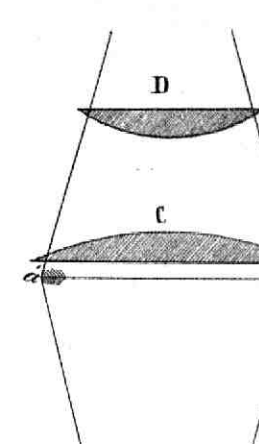
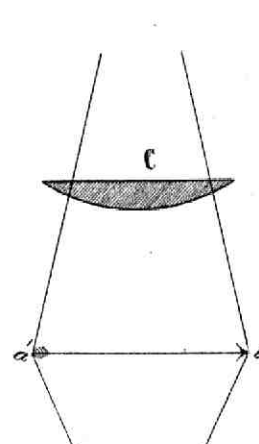
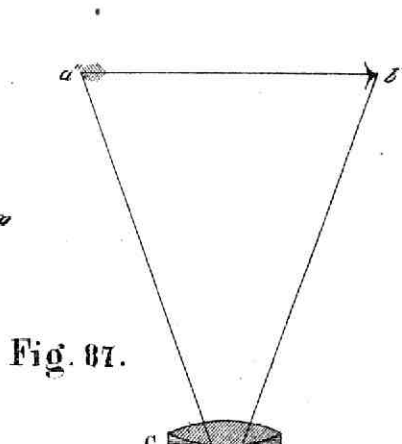
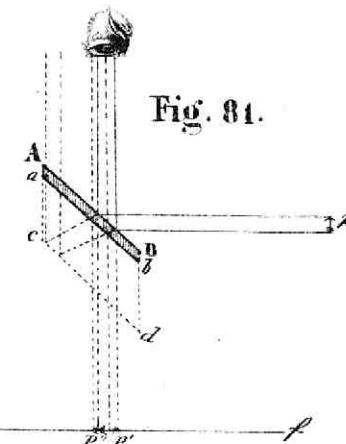
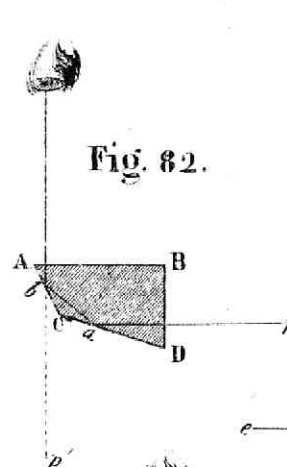
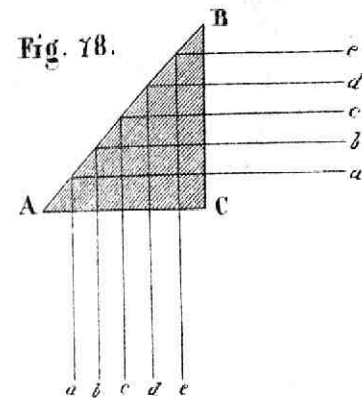


Fig. 76.





I. TAFEL *der zichtbaarheid van ronde of bolvormige voorwerpen.*

De afstanden, waarop de voorwerpen nog even zichtbaar zijn, zijn in *meters* uitgedrukt, de gezigtshoeken in *seconden*.

A.												Doorvallend licht eener Argandsche lamp, geplaatst op 1 met. afstand van het voorwerp.									
Gemiddelde duidelijkheidsafstand 0,162. met.																					
Doormeter van het voorwerp, in mm.	Sterk zonlicht.	Opvallend licht.			Doorvallend licht.						Zonlicht teruggekaatst door een blad wit papier.	Ab.		B.		C.		D.		E.	
		Vlam eener Argandsche lamp onder eenen hoek van 60° op den afstand van			Vlam eener Argandsche lamp, geplaatst op eenen afstand achter het voorwerp van:							Gemidd. duidelijkheidsafstand 0,400 met.		Gemidd. duidelijkheidsafstand 0,372 met.		Gemidd. duidelijkheidsafstand 0,304 met.		Gemidd. duidelijkheidsafstand 0,273 met.		Gemidd. duidelijkheidsafstand 0,255 met.	
		0,07 m.	0,28 m.		0,16 m.	1 met.		3,6 met.	6 met.				Oogafstand.	Gezichts-hoek.	Oogafstand.	Gezichts-hoek.	Oogafstand.	Gezichts-hoek.	Oogafstand.	Gezichts-hoek.	Oogafstand.
N ^o . 1. 1500.					1,043.	568", 2.						5,195.	96", 8.			5,620.	85", 2.	5,562.	86", 7.		
" 2. 178.	0,540.	0,417.	0,515.	0,573.	0,596.	90", 4.	0,469.	0,506.	71", 2.	0,404.	0,645.	56", 0.	0,822.	44", 2.			0,520.	69", 5.	0,575.	65", 0.	
" 3. 172,5.	0,553.			0,573.	0,428.	81", 5.				0,406.					0,934.	57", 2.			0,548.	65", 8.	
" 4. 161.	0,570.			0,558.	0,445.	75", 0.				0,402.	0,753.	44", 6.	1,112.	29", 7.			0,730.	45", 7.			
" 5. 141,5.	0,653.	0,598.	0,504.	0,553.	0,455.	65", 7.	0,509.	0,520.	53", 2.	0,593.											
" 6. 141,5.	0,650.			0,569.	0,404.	70", 5.				0,414.									0,560.	78", 9.	
" 7. 156,5.	0,583.			0,568.	0,415.	66", 5.				0,597.	0,650.	44", 0.	0,762.	56", 5.			0,481.	57", 5.	0,580.	72", 2.	
" 8. 152.	0,545.			0,546.	0,409.	63", 1.				0,420.											
" 9. 117,5.	0,590.	0,578.		0,565.	0,585.	61", 4.	0,422.	0,459.	54", 0.	0,588.	0,543.	42", 7.					0,420.	45", 8.	0,587.	61", 1.	
" 10. 79.					0,541.	46", 4.		0,587.	41", 1.		0,452.	53", 5.	0,556.	29", 9.	0,570.	28", 2.	0,528.	57", 9.	0,285.	55", 5.	
" 11. 60,5.					0,502.	40", 0.					0,553.	54", 2.					0,248.	48", 4.			
" 12. 55,5.					0,262.	42", 1.							0,588.	28", 8.	0,470.	24", 0.			0,219.	50", 0.	
" 13. 46,5.					0,250.	56", 9.		0,278.	55", 5.		0,211.	45", 4.	0,267.	54", 6.	0,245.	57", 6.	0,213.	42", 6.	0,170.	55", 5.	
" 14. 41.	0,543.				0,246.	55", 0.				0,212.					0,164.	48", 6.					
" 15. 40.	0,563.				0,255.	51", 4.				0,188.			0,212.	57", 2.	0,110.	68", 8.					
" 16. 57,5.	0,580.				0,247.	50", 1.		0,259.	28", 8.	0,250.					0,095.	73", 2.			0,182.	40", 5.	
" 17. 52.	0,520.				0,253.	50", 7.				0,183.											
" 18. 27,5.	0,270.				0,195.	28", 0.		0,253.	25", 5.	0,170.											
" 19. 25,5.	0,566.				0,167.	29", 7.				0,150.											
" 20. 25.					0,128.	54", 4.		0,160.	27", 9.												
	a	b	c	d	e	f	g	h													

III. TAFEL van de onderscheidbaarheid der gezichtsindrukken.

1° Grenzen der waarneembaarheid van de mazen in een draadnet.

	Getal der mazen in eenen ☐ centimeter.	Doormeter in <i>mm</i> .		A.			Ab.			B.			C.			D.		
		der mazen.	der draden.	Gemidd. duidelijkheidsafstand 0,162. met.			Gemidd. duidelijkheidsafstand 0,400. met.			Gemidd. duidelijkheidsafstand 0,372 met.			Gemidd. duidelijkheidsafstand 0,304 met.			Gemidd. duidelijkheidsafstand 0,273 met.		
				Oogafstand.	Gezigtshoek.		Oogafstand.	Gezigtshoek.		Oogafstand.	Gezigtshoek.		Oogafstand.	Gezigtshoek.		Oogafstand.	Gezigtshoek.	
					Mazen.	Draden.		Mazen.	Draden.		Mazen.	Draden.		Mazen.	Draden.		Mazen.	Draden.
N°. 1.	67,2.	917.	279. (2)	1,063.	177",5.	54",0.	2,273.	82",8.	23",2.	2,556.	74",6.	22",6.	2,995.	65",0.	19",2.	1,853.	102",9.	51",2.
" 2.	190,4.	489.	227.	0,922.	108",2.	50",5.	2,087.	48",1.	22",5.	2,554.	45",5.	20",0.	2,572.	42",4.	19",7.	1,695.	59",4.	27",6.
" 5.	558,6.	233.	194.	0,664.	78",1.	39",4.	1,540.	58",9.	29",7.	1,589.	52",9.	23",1.	1,840.	28",5.	21",1.	1,253.	42",5.	52",2.
" 4.	1022,5.	250. (1)	91.	0,466.	108",0.	59",5.	0,953.	54",5.	19",9.	1,100.	42",9.	16",9.	1,742.	29",5.	10",7.	0,698.	72",7.	26",5.

1° Grenzen der onderscheidbaarheid van twee mikrometerdraden (5)

	Afstand van het oog van de draden, in <i>met.</i>	A.		Ab.		B.		C.		Onderlinge afstand der draden in <i>mm</i> .	Gezigtshoek.	Algemeene grootte van den gezigtshoek van elken draad.
		Onderlinge afstand der draden, in <i>mm</i> .	Gezigtshoek.	Onderlinge afstand der draden, in <i>mm</i> .	Gezigtshoek.	Onderlinge afstand der draden, in <i>mm</i> .	Gezigtshoek.	Onderlinge afstand der draden, in <i>mm</i> .	Gezigtshoek.			
N°. 1.	0,080.	83.	195".									21",8.
" 2.	0,100.	52.	98".									17",8.
" 3.	0,160.	54.	70".									11",6.
" 4.	0,200.	87.	86".	146.	145".	74.	72".	155.	151".			9",4.
" 5.	0,250.	147.	115".	185.	145".	87.	69".	159.	126".			7",5.
" 6.	0,500.									158.	105".	6",4.
" 7.	0,550.	232.	144".	211.	122".			251.	145".			5",4.
" 8.	0,400.					155.	67".					4",7.
" 9.	0,450.			404.	181".			267.	120".			4",2.
" 10.	0,500.					187.	76".	351.	154".			3",8.
" 11.	0,600.							396.	154".			3",2.

(1) De doormeter der mazen van dit net bedroeg in de eene rigting 260 *mm*., in de andere 240 *mm*. De mazen der andere gebezigde netten waren juist vierkant.

(2) Zie voor de grenzen der zichtbaarheid van elken draad afzonderlijk Taf. II. N°. 1—4.

(3) Zie voor de grenzen der zichtbaarheid van elken draad afzonderlijk Taf. II. N°. 15.