



Over kleurmenging en kleurmeting

<https://hdl.handle.net/1874/313783>

DISSERTATIO PHYSICA INAUGURALIS

DE

COLORUM MIXTIONE

ET

DIMENSIONE.

DISSERTATIO PHYSICA INAUGURALIS

DE

COLORUM MIXTIONE

ET

DIMENSIONE,

QUAM,

ANNUENTE SUMMO NUMINE,

EX AUCTORITATE RECTORIS MAGNIFICI

HENRICI EGBERTI VINKE,

THEOL. DOCT. ET PROF. ORD.,

NEC NON

AMPLISSIMI SENATUS ACADEMICI CONSENSU

ET

NOBILISSIMAE FACULTATIS MATHESIOS ET PHILOSOPHIAE
NATURALIS DECRETO,

PRO GRADU DOCTORATUS

SUMMISQUE IN

MATHESI ET PHILOSOPHIA NATURALI HONORIBUS
AC PRIVILEGIIS.

IN ACADEMIA RHENO-TRAJECTINA,

RITE ET LEGITIME CONSEQUENDIS,

ERUDITORUM EXAMINI SUBMITTIT

THADE VAN DOESBURGH,

Scidamensis.

A. D. VI M. FEBRUARII ANNI MDCCCLV, HORA II.



TRAJECTI AD RHENUM,
APUD POST UITERWEER & Soc.

MDCCCLV.

PARENTIBUS

OPTIMIS, CARISSIMIS.

OVER
KLEURMENGING

EN

KLEURMETING,

DOOR

TH. VAN DOESBURGH.



UTRECHT,
POST UI TERWEER EN COMP.

—
1855.

GEDRUKT BIJ GIEBEN & DUMONT.

EERSTE HOOFDSTUK.

KLEURMENGING.

EERSTE AFDEELING.

PRISMATISCHE KLEUREN.

Even als het geluid voortgebracht wordt door trillingen van lichamen, zoo stelt men zich het licht voor als voortgebracht door trillingen van eene fijne, veerkrachtige, allesdoordringende vloeistof, den aether. Ons gewoonlijk verstrooid daglicht en evenzoo het regtstreeksche zonlicht bestaan echter niet slechts uit ééne kleur, d. i. uit licht, dat overal in al zijne deelen in dezelfde trillingen deelt, maar uit een oneindig aantal verschillende kleuren, welke door haar samenwerken het *witte* (kleurlooze) licht zamenstellen. Men noemt dit licht zamengesteld, terwijl men het licht, dat slechts uit ééne kleur bestaat, homogeen of enkelvoudig licht noemt. Wanneer men *wit* licht door een drievlakkig prisma doet heengaan, scheidt het zich in de enkel-

voudige lichtstralen, welke, op een wit scherm opvangen, het zoogenoemde spectrum vormen. Bij de proef neemt men waar, dat deze enkelvoudige stralen van hunnen weg afgebogen worden en wel niet alle evenzeer; het minst wordt het *rood* afgebogen, iets meer het *oranje* enz. Overal, waar het licht door lichamen met niet evenwijdige vlakken gebroken wordt, ontstaan zulke kleuren. Deze kleuren noemt men de prismatische.

Door NEWTON is de theorie der prismatische kleuren opgesteld in het begin van 1666, gelijk blijkt uit een brief aan OLDENBURG, Secret. der Koninkl. Sociëteit. Wat NEWTON in het begin zijner optische onderzoekingen reeds dadelijk trof, was de groote breedte van het spectrum. Hierin onderscheidde hij de volgende zeven kleuren: *rood, oranje, geel, groen, blaauw, indigo, violet*.

Na vele proeven ¹⁾ besloot hij tot het volgende: de stralen, die door breking eenmaal gekleurd zijn geworden, behouden na herhaalde breking hunne kleuren onveranderd en breiden zich na die breking niet uit als het *witte* licht. Men moet dus iedere enkelvoudige kleur van het spectrum, in tegenstelling met het heterogene zonlicht, homogeen noemen. Het was echter NEWTON niet genoeg de verschillende breekbaarheid van het licht duidelijk aangetoond te hebben; hij zag in, dat men dan eerst gewigtige gevolgtrekkingen uit zijne ontdekking zou kunnen afleiden, wanneer de

¹⁾ Optice Lib. I. Pars I, exp. 1, 2, 5, 6, 9, 10.

brekingsverhouding voor iedere kleur bepaald was ¹⁾. Hij vond, dat wanneer men het spectrum in 360 deelen verdeelt, het *rood* hiervan inneemt 45, het *oranje* 27, het *geel* 48, het *groen* 60, het *blauw* 60, het *indigo* 40 en het *violet* 80 ²⁾. Hij ging nog verder: het *witte* licht was in de zeven prismatische kleuren ontleed: het moest dus ook uit de zeven prismatische kleuren kunnen zamengesteld worden. — Zijne gewigtige proef bestond hierin, dat hij het door een prisma ontbonden licht door eene lens weder verzamelde ³⁾. Deze proef heeft hij op verschillende wijzen afgewisseld.

Eer hij echter door deze proef bewees, dat de vereeniging van al de prismatische kleuren weder *wit* licht te voorschijn brengt, had hij aangetoond: dat men door menging kleuren kan zamenstellen, die geheel en al gelijk zijn aan de kleuren van het *homogene* licht, wat het oordeel van het oog aangaat, niet echter wat aangaat de werking, die het prisma er op uitoefent, en dat die gemengde kleuren hoe meer zamengesteld ze zijn, des te minder breed en krachtig worden, tot dat ze, wanneer al de homogene kleuren van het spectrum bijeengevoegd zijn, eindelijk ge-

¹⁾ Optice Lib. I. Pars I, exp. 11 en prop. 7.

Optice Lib. I. Pars II, exp. 7.

²⁾ Deze metingen zijn betrekkelijk tot het prisma, dat hij gebruikte, waarschijnlijk van flintglas. Later heeft men gevonden, dat de betrekkelijke breedte der verschillende kleuren in het spectrum verschillend is naar gelang der stof waaruit het bestaat.

³⁾ Optice Lib. I. Pars II, exper 10.

heel in *wit* licht overgaan. — Ook maakt hij daarop opmerkzaam, dat men door menging kleuren kan verkrijgen, die met *geene* kleur van het homogene licht overeenkomen: deze zijn de purperkleuren. »Denique, si »Rubeus et Violaceus inter se permisceantur, orientur »inde varii colores *Purpurei*, pro eo, qua proportione »illi invicem commixti fuerint, diversi inter se; *neque ul-* »*lius coloris Homogenei speciem aut similitudinem haben-* »*tes*: atque ex his quidem *Purpureis*, admixto Flavido et »Coeruleo, alii itidem novi colores produci poterunt ¹⁾.”

Uit de menging van homogeen d. i. prismatisch *rood* met *geel* verkreeg hij de kleur, die in het spectrum tusschen deze beiden inligt, het *oranje* en wel van dit *oranje* volstrekt niet te onderscheiden met het niet met een prisma gewapend oog, het prisma echter toonde aan, dat dit *oranje* homogeen was ten opzichte der breekbaarheid, het andere heterogeen. Gelijke proeven deed hij met *geel* en *groen*, *geel* en *blauw*. Bij het *groen* uit deze laatste menging ontstaande, voegde hij nog een weinig *rood* en *violet* en toch verdween de *groene* kleur niet geheel; maar werd ligter en bleeker, totdat na bijvoeging van meer *rood* en *violet*, het *groen* meer en meer verdund zijnde, eindelijk in *wit* overging.

Onder de nieuweren heeft zich bijzonder HELMHOLTZ ²⁾ met de menging der prismatische kleuren bezig gehouden. Dat de proeven van de vroegeren, zooals van WÜNSCH EN HASSENFRATZ, niet meer hebben opgeleverd,

¹⁾ Optice Lib. I. Pars II, Prop. 4.

²⁾ POGG. Ann. Bd. 87, p. 45.

moet men voornamelijk daaraan toeschrijven, dat zij de voorzorgen niet aangewend hebben, die reeds door NEWTON (Optice Lib. I, Pars I, exper. XI) zijn aangewezen, als geschikt om een zuiver spectrum te verkrijgen. Eerst nadat FRAUNHOFER's ontdekking van de donkere strepen in het spectrum aanleiding heeft gegeven om zijne proeven te herhalen, heeft men zich er meer op toegelegd om zuivere spectra te vormen.

Om de menging van twee spectraalkleuren te verkrijgen slaat HELMHOLTZ den volgenden weg in: hij snijdt in een zwart scherm twee spleten ($\frac{1}{4}$ lijn breed), die te zamen eene V vormen, beide onder een hoek van 45° ten opzichte van den Horizon: zij sluiten dus een rechten hoek in. Door een kijker en prisma ziet men op een afstand van 12 voet naar deze spleten. Het prisma is dicht bij het objectief van den kijker onder den hoek van kleinste afwijking bevestigd en de kant van den brekenden hoek staat vertikaal. Men moet de spleten nu met een gelijkmatig licht verlichten en gebruikt hiertoe 't best het gereflecteerde licht van den hemel of van een wit vlak, dat gelijkmatig door de zon verlicht wordt. Ziet men nu naar de twee spleten, zoo verkrijgt men twee spectra, die elkander gedeeltelijk overkruisen, en worden dus al de combinaties te voorschijn gebragt, welke uit twee enkelvoudige kleuren kunnen gevormd worden. Meestal is het noodig om die plaatsen van het veld, over welke kleur men oordeelen wil, afgezonderd van de andere te bezien. Bij het gebruiken van den kijker heeft dit geene zwaarigheid, daar men zich dan slechts op eenigen af-

stand van het oculair (één of twee voet) behoeft te plaatsen. Bij deze verwijdering ziet men slechts een klein gedeelte van het gekleurde beeld door het oculair heen. — Zijne resultaten zijn de volgende:

1. ROOD	geeft met	ORANJE :	<i>roodachtig oranje.</i>
»	»	» GEEL :	<i>Oranje.</i>
»	»	» GROEN :	<i>Geel</i> (bleeker dan enkelvoudig <i>geel</i>); bij overmaat van <i>rood</i> , gaat het door <i>oranje</i> in <i>rood</i> , en bij overmaat van <i>groen</i> , door <i>geelgroen</i> in <i>groen</i> over.
»	»	» GROENBLAAUW :	<i>Vleeschkleur.</i>
»	»	» HEMELSBLAAUW :	<i>Rozenrood</i> , dat bij overmaat van <i>blauw</i> in <i>witachtig violet</i> , bij overmaat van <i>rood</i> in <i>karmijnrood</i> overgaat.
»	»	» { INDIGO : en VIOLET : }	<i>Donker purperrood.</i>
2. ORANJE	»	» GEEL :	<i>Geler oranje.</i>
»	»	» GROEN :	<i>Vaal groen.</i>
»	»	» BLAAUW :	<i>Vleeschkleuren</i> , die
		» { INDIGO en VIOLET }	in <i>Karmijnrood</i> overgaan.
3. GEEL	»	» GROEN :	<i>Groenachtig geel.</i>
»	»	» HEMELSBLAAUW :	<i>ligt groenachtig wit.</i>
»	»	» INDIGO :	ZUIVER WIT.
»	»	» VIOLET :	<i>ligt vleeschkleurig wit</i> , dat bij overmaat van <i>violet</i> in <i>witachtig violet</i> , en bij overmaat van <i>geel</i> in <i>witachtig geel</i> overgaat.

4. GROEN geeft met BLAAUW :	<i>Groenblauw.</i>
» » » INDIGO :	<i>helder blauw</i> , echter witter dan het <i>blauw</i> van het spectrum.
» » » VIOLET :	<i>helder blauw.</i>
5. BLAAUW » » INDIGO :	de toonen 1) daartusschen gelegen.
» » » VIOLET :	<i>donker blauw</i> , echter niet zoo vol als het <i>indigo</i> van het spectrum.
6. INDIGO » » VIOLET :	de toonen daartusschen gelegen.

Onder de hierboven vermelde proeven is bijzonder in 't oog vallend, dat HELMHOLTZ onder de prismatische kleuren er slechts *twee* vond, die zamen *wit* licht geven en dus complementair zijn, namelijk *geel* en *indigo-blauw*. GRASSMANN ²⁾ heeft dan ook dadelijk op theoretischen grond de uitkomsten van HELMHOLTZ betwijfeld, en kort daarop heeft HELMHOLTZ zijne bewering, dat er slechts twee prismatische kleuren zijn, die te zamen *wit* vormen, herroepen, door de mededeeling in de 32^e vergadering der *British Association* van 1853 ³⁾.

1) Uit de analogie met de beteekenis van het woord *toon* in de akustica bezig ik hier en elders dit woord om het verschil der kleuren aan te geven, waardoor zij onafhankelijk van hare intensiteit of de hoeveelheid *wit*, waarmede zij gemengd zijn, zich als *rood*, *groen*, *blauw*, enz. onderscheiden. Bij de Duitschers wordt dit woord meestal in dezelfde beteekenis gebruikt. Bij de Franschen en ook bij ons is de herminologie in de kleurenleer meer wankelend.

²⁾ Pogg. Ann. Bd. 89, p. 69.

³⁾ The Athenaeum 1853. Oct. 8, p. 1197.

HELMHOLTZ erkent, dat er meerdere paren complementaire kleuren zijn. De kleuren van het uiterste *rood* tot aan het *geelachtig groen* hebben respectivelijk tot complementaire kleuren, die welke zich uitstrekken van het *blauwachtig groen* tot aan het *violet*. De plaats echter in het midden van het spectrum, waar het zuivere *groen* ligt, kan niet *wit* geven, met eenige andere homogene kleur. Hare complementaire kleur is *purper* en moet zamengesteld worden uit *rood* en *violet*.

Het zal niet overtollig zijn hier met een enkel woord van eene eenvoudige proef te gewagen, die de complementaire kleuren van het uiterste *rood* en *violet* van het spectrum onmiddellijk doet zien. Legt men op eene lap zwart fluweel een zeer smal reepje *wit* papier en beziet men dit door een prisma, waarvan de brekende kant evenwijdig is aan het reepje, dan verkrijgt men een zeer schoon spectrum van de gewone prismatische kleuren, die eene reeks vormen en in elkander overgaan zonder door *wit* te gaan. De verklaring van dit verschijnsel ligt voor de hand. Maar wanneer men eene breede strook *wit* papier op zwart fluweel legt en deze door het prisma beziet, dan neemt men ja, ook de scheiding van het *witte* licht in de prismatische kleuren waar; maar zij vormen geene reeks. Aan den eenen kant ziet men *rood*, dat door *oranje* en *geel* in *geelgroen* overgaat, en aan den tegenovergestelden kant ziet men *violet*, dat door *indigo* en *blauw* in *blauwgroen* overgaat; maar tusschen het *geelgroen* en het *blauwgroen*, ziet men de strook *wit*

gekleurd. Zuiver *groen* komt aan geene der beide zijden voor.

Vanwaar dit verschijnsel? Naar mijne meening is het alleen te verklaren uit het zamentreffen van de zeven kleuren, die te zamen *wit* maken en wel in dezer voege: Gelijk van zelf spreekt zal *al* het *witte* licht, dat door de strook papier teruggekaatst wordt, door het prisma ontleed worden. Elke *witte* straal wordt ontbonden in een bundel gekleurde stralen; deze bundels bedekken gedeeltelijk elkander; hierdoor vallen de enkelvoudige stralen gedeeltelijk op elkander en vormen, waar zij *allen* zamentreffen, *wit* licht. Aan de beide uitersten van de strook kan dit geen plaats vinden, omdat daar geen bundel aanwezig is om de vorige te bedekken. Laten wij ons de witte strook voorstellen als eene opeenstapeling van *zeven* volmaakt doorzigtige gekleurde strooken: de onderste *rood*, de daarop volgende *oranje*, dan *geel*, enz. Deze zeven vormen regt opgestapeld (zie Fig. 4) *wit*.

Fig. 1.	Stooten wij nu aan
Violet.	het stapeltje, dan ver-
Indigo.	plaatsen wij de ge-
Blaauw.	kleurde strooken, de
Groen.	bovenste (de <i>violette</i>)
Geel.	strook zal het meest
Oranje.	naar achteren ge-
Rood.	drukt zijn en evenals

de onderste (de *roode*) strook nu maar gedeeltelijk bedekt zijn. (zie Fig. 2).

Fig. 2.

					Violet.	V.	V.	V.	V.	V.	V.
				I.	Indigo.	I.	I.	I.	I.	I.	
			B.	B.	Blaauw.	B.	B.	B.	B.		
		Gr.	Gr.	Gr.	Groen.	Gr.	Gr.	Gr.			
	G.	G.	G.	G.	Geel.	G.	G.				
	O.	O.	O.	O.	Oranje.	O.					
R.	R.	R.	R.	R.	R.	Rood.					

Deze proef levert het bewijs, dat de complementaire kleur van het *rood* is *blauwgroen*, van het *violet* *geelgroen*. Want aan die zijde van het *wit*, waar wij *geelgroen* zien, ontbreekt het *violet* om *wit* te maken; aan de zijde, waar wij *blauwgroen* zien ontbreekt het *rood* om *wit* te maken.

Daar nu de complementaire kleur van het *rood* is *blauwgroen* en die van het *geelgroen* is *violet*, volgt hieruit verder, dat de kleuren tusschen *rood* en *geelgroen* gelegen, tot complementaire kleuren hebben die, welke zich uitstrekken van *blauwgroen* tot *violet*: waaruit tevens blijkt, dat het *zuiver groen* geene complementaire kleur in het spectrum heeft.

In zijne eerste verhandeling heeft HELMHOLTZ ook proeven vermeld omtrent de mengsels van drie prismatische kleuren. Hij onderscheidt daarbij in het spectrum drie hoofdafdeelingen: eene *roode*, eene *groene* en eene *violette*, van elkander gescheiden door de *gele* en *blauwe* kleuren, die hem te zamen *wit* licht gegeven hadden en waarvan de eerste gelegen is tusschen de strepen D en E van FRAUNHOFER ongeveer driemaal zoover van D als van E, terwijl de andere minder bepaald is en zich nagenoeg van het midden tusschen de

strepen F en G tot G uitstrekt. Het gelukte aan HELMOLTZ uit verschillende combinaties van drie kleuren, uit elke dier afdeelingen genomen, *wit* licht te verkrijgen. Zoo verkrijgt men bijv. *wit* uit *rood*, *groen* en *violet*, welke men tot drie paren van complementaire kleuren kan verbinden, namelijk:

Enkelvoudig *rood* en zamengesteld *dof blaauwgroen*.

„ *groen* „ „ *Purperrood*.

„ *violet* „ „ *dof geel*.

TWEEDE AFDEELING.

NATUURLIJKE KLEUREN DER LIGCHAMEN.

Met betrekking tot de natuurlijke kleuren der lichamen doet zich het eerst de vraag bij ons op: *hoe ontstaan die kleuren?* NEWTON 1) geeft er ons het antwoord op, : »Die kleuren,» zegt hij, »ontstaan daardoor, dat zekere stralen door zekere natuurlijke lichamen in grooter menigte teruggekaatst worden dan andere. Ieder ligchaam kaatst de stralen van zijne kleur overvloediger terug dan de overige; en ontleent juist daaraan zijne kleur, dat die stralen in het teruggekaatste licht de overhand hebben.» »Isti colores hinc oriuntur, quod a certis corporibus naturalibus certa radiorum genera reflectuntur reliquis omnibus copiosius et ab aliis alia. Omne corpus reflectit radios, qui sunt suo ipsius colore, copiosius quam reliquos; et colorem suum inde trahit, quod radii isti in reflexo lumine praevaleant ac dominantur.»

1) Optice Lib. I. Pars II. prop. X. prob. V.

Ieder verschijnsel in de optica werkt mede om de juistheid dezer beschouwing van den oorsprong der natuurlijke kleuren der lichamen aan te toonen. De meest afdoende proef is zeker in het volgende feit gelegen, dat ieder ligchaam, onverschillig wat ook zijne kleur in wit licht moge zijn, in het prismatisch spectrum geplaatst, gekleurd schijnt door de kleur, die aan dat gedeelte van het spectrum eigen is, waarin het geplaatst is; maar zijne tint is onvergelykelyk veel levendiger en heller als het gebragt wordt in eene kleur die analoog is met die, welke het bij *wit* licht vertoont, dan wanneer het in eenige andere geplaatst wordt; bijv.

VERMILJOEN	in de <i>roode</i>	stralen schijnt <i>hel rood</i> .
»	» » <i>oranje</i>	» » <i>oranje</i> .
»	» » <i>gele</i>	» » <i>geel</i> ,
		maar niet zoo helder.
»	» » <i>groene</i>	» » <i>groen</i> (donker).
»	» » <i>blauwe</i>	» » <i>dof blauw</i> .
»	» » <i>indigo</i>	» » <i>zwart</i> .
»	» » <i>violette</i>	» » <i>zwart</i> .
BERLIJNSCH BLAAUW	» » <i>indigo</i>	» » <i>schoon blauw</i> .
»	» » <i>groene</i>	» » <i>groen</i> .
»	» » <i>roode</i>	» » <i>zwart</i> .

Doch dit zijn proeven met helle en levendige kleuren. Maar lichamen van *bleeke* kleur als *vleeschkleur*, *bleek-rood*, enz. kaatsen, in de prismatische kleuren geplaatst, die alle overvloedig terug, en schijnen voor dien tijd de kleur te hebben van die plaats van het spectrum, waarin zij gelegen zijn.

Eene uitzondering op den algemeenen regel maken de stoffen, die de door STOKES het eerst naauwkeurig onderzochte *inwendige dispersie* of *fluorescentie* vertoo-

nen. Ook verdient hier nog vermelding, dat de phosphorescerende lichamen, zooals de Cantonsche en Bolognesche phosphorus een licht verspreiden, dat steeds voor elke dier stoffen dezelfde kleur heeft, welke ook de kleur van het licht zij, dat de phosphorescentie heeft opgewekt.

Het lijdt wel geen twijfel, dat de verklaring van de *natuurlijke kleuren* der lichamen bij opvallend licht en die der kleuren, welke zij bij doorvallend licht vertoonen, uit hetzelfde beginsel moeten afgeleid worden. De hypothesen, tot dusverre tot dit einde voorgesteld zijn voornamelijk de volgende:

1^o. NEWTON meende, dat de natuurlijke kleuren op dezelfde wijze ontstaan, als die der dunne lagen; dat zij afhangen van de dikte der kleinste deeltjes van de lichamen;

2^o. De verklaring van WREDE is hiermede overeenkomstig, daar hij ze ook aan interferentie toeschrijft, maar die niet bepaaldelijk afleidt uit de dikte der kleinste deeltjes;

3^o. EULER schrijft de kleuren toe aan de eigenschap der lichamen om min of meer gemakkelijk in isochrone trillingen gebragt te worden, door de golven des aethers, die er op vallen.

De verklaring van NEWTON 1) is het uitvoerigst door BIOT 2) ontwikkeld, maar vooral door BREWSTER 3) weer-

1) Optice Lib. II. Pars III. De permanentibus corporum naturalium coloribus et analogia, quae est inter eos colores et colores tenuium laminarum pellucidarum.

2) Traité de Physique IV, 123—148.

3) Edinb. Phil. Trans. XII, 538.

legd. Deze heeft inzonderheid de *groene* kleur der planten onderzocht, die eene der meest algemeen verbreide en steeds identisch is. NEWTON zag daarin het groen der 3^e orde, zoowel wegens de helheid dier kleur, als omdat dit *groen* bij het verwelken der bladeren overgaat in *groenachtig geel*, *geel*, somtijds *rood*, welke kleuren dan te levendig zijn om tot de 4^e orde te behooren. BREWSTER onderzocht die kleur in de alcoholische uittreksels der bladeren. Het spectrum verschilt geheel en al van dat van het *groen* der 3^e orde; men ziet er *zwarte* banden in, in het *rood*, *oranje*, *groen*, *blauw*, *indigo*. Ook het alcoholisch uittreksel van de groene bessen van *convallaria multiflora* en dat van *asparagus officinalis* geven hetzelfde spectrum.

Tegen de verklaring van WREDE en alle verdere verklaring, waarin men de absorptie als een gevolg van interferentie beschouwt, kan aangevoerd worden, dat in alle bekende verschijnselen van interferentie, wanneer op zekere plaatsen licht verzwakt of vernietigd wordt, op andere plaatsen het licht wordt versterkt. Dit argument is vooral aangedrongen door STOKES ¹⁾.

»Licht,» zegt hij, »gaat door interferentie niet verloren, maar de verlichting wordt slechts op eene andere wijze en ongelijk verdeeld. Ware het verdwijnen van het licht eens bundels bij zijn indringen in eene middelstof blootelijk een verschijnsel van interferentie, dan moest de volle hoeveelheid van invalend licht te voorschijn komen in andere rigtingen.

¹⁾ Phil. Traus. 1842, N^o. 238, pag. 555.

»Konde eene reeks van trillingen op eene middelstof
 »vallen, zonder daarin een voortgaande verandering
 »van toestand te veroorzaken, dan zoude hieruit vol-
 »gen, dat voortdurend arbeid (levendige kracht) ver-
 »nietigd werd. Maar wij hebben reden om te geloo-
 »ven, dat de vernietiging van arbeid evenzeer eene
 »physische onmogelijkheid is als zijne schepping, dat
 »is, de eeuwigdurende beweging.»

De hypothese van EULER schijnt dus tot hertoe de eenige, die welligt tot eene voldoende verklaring der natuurlijke kleuren zal kunnen leiden. Zij zal echter dan eerst tot meerdere zekerheid kunnen verheven worden, wanneer men eene nadere kennis verkregen heeft van het verband tusschen den moleculairen toestand eens ligchaams en zijn vermogen om sommige kleuren bij voorkeur terug te kaatsen en andere op te slorpen.

Dat de kleur der lichamen niet alleen afhangt van hunne stof, maar ook van de wijze van groepering of aggregatie der deeltjes is niet aan twijfel onderhevig. De chemie levert honderden voorbeelden op. Zoo wordt *rood kwikoxyde zwart* bij verwarming, weder *rood* bij verkoeling. De verandering der kleur van het *kwik-iodid* van *geel* in *rood* is algemeen bekend. De zwavel kan *geel*, *rood* of *zwart* zijn (MAGNUS, POGG. Ann. bd. 92, pag. 308) enz. enz.

Somwijlen verandert de kleur eener vaste stof door oplossing in een kleurloos vocht, dat er niet chemisch op werkt. Een sprekend voorbeeld hiervan levert het *acidum chrysaminicum*. In vasten staat is het hoog

geel van kleur en door oplossing in water verandert die kleur in een schoon *rood*, voor het oog even schoon als karmijn in ammonia opgelost. Een ander voorbeeld is het rood bloedloogzout, dat in vasten staat *donker-rood* is en in oplossing zich *groen* voordoet.

Het is algemeen bij de mineralogen bekend, dat de kleur der mineralen heller wordt, wanneer zij gekrast of in poedervorm gebragt worden; somwijlen echter neemt het mineraal hierdoor eene geheel andere kleur aan. De *roode cobalt-blüthe* in een mortier tot poeder gewreven, is donker *lavendel-blaauw* ¹⁾.

Het prisma, dat het *witte* zonlicht in de enkelvoudige kleuren ontleedt, kan met even goed gevolg dienen om de natuurlijke kleuren der ligchamen te analyseren. Deze analyse leert ons, dat in het algemeen de natuurlijke kleuren zamengestelde kleuren zijn. — Men behoeft hiertoe slechts een smal reepje der te onderzoeken stof, bijv. van 4 millim. breed, op een zwarten grond te leggen en dit te bezien door een prisma, welks brekende kant evenwijdig is aan het reepje. Ter vergelijking van het aldus verkregen spectrum met het normale kan men naast en in de verlenging van dit reepje een ander even breed van wit papier plaatsen. Er zijn echter voorzorgen in acht te nemen om dezer analyse eenige aanspraak op naauwkeurigheid te geven:

1^o. gebruike men een zoo zwart mogelijken grond,

¹⁾ HAIDINGER, Handb. der Bestimm. Mineralogie. 1854. pag. 344.

waarop men de te onderzoeken kleuren plaatst. Het best bezigt men daar toe zwart fluweel; en

2°. neme men zich in acht voor het regelmatig en onregelmatig gespiegelde licht. Bijna alle voorwerpen hebben de eigenschap van op hunne eerste oppervlakte een gedeelte van het opvallend licht terug te kaatsen, zonder er kleur aan mede te deelen. Dit *witte* licht wordt te gelijk met het *gekleurde* licht ontleed en zijne enkelvoudige kleuren mengen zich met de eigenaardige kleuren van het ligchaam, dat men aan de proef onderwerpt. Men gebruike dus zoo min mogelijk glanzende of gepolijste voorwerpen; en moet men juist deze onderzoeken, dan plaatse men zich in eene andere rigting dan die, waarin het opvallende licht regelmatig teruggekaatst wordt.

De hier aangegevene methode voor het prismatische onderzoek van kleurstoffen heeft het voordeel, dat men daarbij geen donkere kamer hehoeft. — Men verkrijgt echter eene meer regtstreeksche vergelijking van het gewone spectrum met dat des gekleurden lights, wanneer men in de donkere kamer een zuiver en uitgebreid spectrum vormt en dit laat vallen op een papier waarvan de eene helft *wit*, de andere met de te onderzoeken kleurstof bedekt is, zoodat de scheidingslijn in de lengte van het spectrum ligt. Men ziet dan elke kleur van het spectrum gedeeltelijk op het witte, gedeeltelijk op het gekleurde papier; waardoor het gemakkelijk wordt den graad harer verzwakking door de absorptie te beoordeelen.

DERDE AFDEELING.

PRISMATISCHE ANALYSE VAN HET DOOR GEKLEURDE GLAZEN OF VOCHTEN DOORGELATEN LICHT.

De prismatische analyse van het licht, dat door gekleurde vochten of glazen is getogen, levert nog belangrijker punten van onderzoek op, dan het door ondoorzigtige gekleurde stoffen terug geworpen licht; dewijl men in het eerste geval, door vermeerdering van de dikte der vochtlaag of het achtereenplaatsen van meerdere gelijksoortige glazen den gang der opslorping meer in bijzonderheden kan nagaan. De volgende theoretische beschouwing kan daarbij tot grondslag dienen.

Zij voor eene bepaalde homogene kleur van het invallende witte licht, $1 : n$ de verhouding in welke de lichtsterkte dier kleur verzwakt wordt bij het doorvallen door eene gegevene gekleurde middelstof van 1 millimeter dikte, zoodat n steeds kleiner is dan de eenheid. Bij doorvalling door eene tweede laag der middelstof van 1 mm. zal het uit de eerste laag uitgetreden licht in dezelfde verhouding verzwakt wor-

den en derhalve, wanneer wij de lichtsterkte van het invallende licht $= 1$ blijven stellen, nu zijn $= n^2$. Op dezelfde wijze voortgaande, is het duidelijk dat de lichtsterkte, waarmede deze kleur na doorgang van x millim. van het medium uittreedt, zal zijn $= n^x$. Men ziet hieruit, dat de lichtsterkte in geometrische reden afneemt, wanneer de dikte van het opslorpend medium in arithmetische reden toeneemt.

Wanneer voor eene bepaalde kleur n klein is, heeft de opslorping in sterke mate plaats, zoodat de kleur spoedig zoodanig zal verzwakt zijn, dat zij niet meer merkbaar is en men in het spectrum van het doorgevallen licht op hare plaats *zwart* ziet. Daarentegen hoe meer n tot de éénheid nadert, des te langzamer gaat de opslorping voort, des te grooter dikte des mediums zal het gekleurde licht kunnen doorloopen zonder aanmerkelijk verlies van lichtsterkte. De waarde van n voor elke bijzondere kleur van het *witte* licht, kan derhalve als maat dienen voor het doorlatingsvermogen der gekleurde middelstof voor dit licht.

Het is duidelijk, dat indien n niet voor alle kleuren even groot is, de verhouding van de lichtsterkte der gekleurde stralen, die het *witte* licht vormen, gesta dig meer zal gewijzigd worden, en derhalve de gezamenlijke indruk dier stralen op het oog, dat door de gekleurde middelstof naar een wit veld ziet, eene gemengde kleur zal doen waarnemen, die voornamelijk bepaald wordt door de elementaire kleuren, voor welke het doorlatingsvermogen het grootst is. Daar echter de verhouding der lichtsterkten n^x van de individuele

kleuren in het uittredend licht van de dikte x des mediums afhangt, zal ook de tint der resulterende kleur met die dikte kunnen veranderen.

Indien bij eene gegevene middelstof de waarden van n voor elke individuele kleur bekend waren, zoude men eene kromme lijn kunnen construeren, waarvan de as der abscissen de breedte van het spectrum en de ordinaat in eenig punt dier as de waarde van n voor de kleur, tot die plaats behoorende, voorstelde. Deze kromme zoude als het ware de *type* zijn van het doorlatingsvermogen des mediums voor de verschillende kleuren des witten lichts. Hoewel het nog niet mogelijk geweest is voor eenige vloeistof zulk eene kromme numerisch te construeren, leert echter reeds de bloote beschouwing van het spectrum van het door gekleurde media gevallen licht, dat de vorm dier kromme zeer verschillend kan zijn, dat zij nu eens één, dan weder twee of meerdere maxima heeft.

Wanneer er slechts één maximum van doorlating is, bijv. voor de *groene* stralen, zal deze kleur bij toenemende dikte der middelstof spoedig de overhand verkrijgen en derhalve het uittredende licht meer en meer tot zuiver *groen* naderen.

Zijn er daarentegen twee maxima, bijv. voor *groen* en *rood*, dan blijven deze kleuren het langst in het doorgelaten licht aanwezig, hoewel diegene, voor welke de doorlatings-index n het grootst is (gewoonlijk het *rood*) eindelijk de overhand behoudt.

Is echter de andere kleur (het *groen*) oorspronkelijk heller, zoo zal deze bij geringe dikte des medi-

ums aanvankelijk de kleur van het doorgelaten licht bepalen. Het medium zal twee kleuren hebben: *groen* en *rood*, naar gelang men door eene dunnere of dikkere laag des mediums heen ziet: zoodanige media worden *dichromatisch* genoemd.

Men neemt dit verschijnsel zeer fraai waar, wanneer men bijv. eene oplossing van chloorchroom in een hol glazen prisma giet. Ziet men dan daar, waar het prisma het dunst is, naar een *wit* papier of naar het *witte* licht der wolken, dan schijnt dit licht *groen*, ziet men achtereenvolgens door grooter en grooter dikte heen, dan gaat de *groene* toon langzamerhand door een *bleek-bruin* in een *diep bloedrood* over.

Wil men den gang der opslorping voor de verschillende stralen des spectrum's nauwkeuriger nagaan, zoo laat men door eene spleet in het venster een bundel *wit* licht op een flintglas prisma vallen, waar achter het oog, al of niet met een kijkertje, gewapend, geplaatst is. Men ziet dan een zuiver spectrum. Het te onderzoeken medium wordt nu op den weg des lichts gebracht. Voor vochten gebruikt men daartoe glazen bakjes met evenwijdige wanden van verschillende dikte. Bij het onderzoek van gekleurde glazen kan men er twee of meer achter elkander plaatsen.

HERSCHEL heeft in zijne verhandeling: *On light* (*Encyclopaedia metropolitana* § 498) de algemeene uitkomsten, welke men door deze methode verkrijgt, nauwkeurig beschreven: van *roode* media neemt het opslorpend vermogen sterk toe, als men gaat van *rood* naar *violet*. Bij *gele*, *oranje*, *bruine* media min-

der. Maar allen werken sterk op de *violette* stralen en vernietigen ze geheel. Voorbeelden zijn: *roode, bruine, gele* glazen; *portwijn, infusie van saffraan, chloorgoud* enz.

De *groene* media hebben meest alle één maximum van doorlating, overeenkomende met een gedeelte van de *groene* stralen en hun toon wordt dien ten gevolge meer zuiver *groen* bij toenemende dikte. Van deze soort zijn: *groene* glazen, *groene* oplossingen van *koper-* en *nickelzouten*, enz. Zij absorberen de beide einden van het spectrum: helt de toon naar het *blauw*, dan absorberen zij het *rood*; helt de toon naar het *geel*, dan absorberen zij het *violet* sterker.

Nevens deze media merkt men andere op, waar de type 2 maxima heeft: deze media zijn *dichromatisch*. In de meesten is het *groene* maximum geringer dan het *roode*; het *groen* verliest bij toenemende dikte zijne zuiverheid en gaat door een bleek neutralen tint in *rood* over, bijv.: *chloor-chroom, solutie van sap-groen, mangaanzure potasch, alkalische infusie van de bloemblaaden der poeonia officinalis* en van vele andere *roode bloemen* enz.

Blaauwe media bieden eene groote verscheidenheid aan, en zijn meestal *dichromatisch*. Hun eigenaardig karakter is de sterke absorptie van de meer helle *roode* stralen en de *groene*. Bijv. *blauwe koper-soluties*. Het beste voorbeeld is de prachtig *blauwe* oplossing van zwavelzure koper-ammoniak. De stralen van het uiterste *violet* schijnen door de grootste dikte van dit medium te kunnen heendringen.

Purperen media absorberen het midden van het spectrum; sommigen hebben *rood*, anderen *violet* tot *eind-toon*.

Als bijzonder merkwaardig vermelden wij hier nog het spectrum door *blauw* kobaltglas gezien. Het heeft vier maxima van doorlating: het grootste behorende tot een straal van de uiterste grens van het *rood*, het volgende tot een *rood* van gemiddelde breekbaarheid, het derde tot het *geel* en het laatste tot het *violet*. Bij genoegzame dikte van het glas zijn deze lichte plaatsen in het spectrum door *zwarte* banden van elkander gescheiden. Ziet men door het kobaltglas naar een *wit* veld, zoo is het bij geringe dikte van het glas *blauw*, maar gaat bij toenemende dikte door *purper* in *rood* over.

De opslorping, die het witte licht bij doorvalling door een gekleurd medium ondergaat, hangt natuurlijk af van de hoeveelheid gekleurde deeltjes, die het op zijnen weg ontmoet. Bij gekleurde vochten kan men derhalve in plaats van de dikte der vochtlaag te veranderen, hetzelfde doel bereiken, wanneer men het vocht bij gelijke dikte in verschillende graden van concentratie bezigt; zoodat de hoeveelheid kleurstof, die in het vocht aanwezig is, in bepaalde verhouding vermeerderd of verminderd wordt.

J. MULLER ¹⁾ heeft op deze wijze eene reeks van proeven met verschillende gekleurde vochten genomen, waarvan hij de uitkomsten graphisch heeft voorgesteld. Wij moeten hieromtrent naar zijne verhandeling verwijzen, daar de door hem gevolgde methode, om den

¹⁾ POGG. Ann. Bd. 72, pag. 76.

gang der opslorping aanschouwelijk voor te stellen, zonder bijgevoegde figuren, moeilijk zoude kunnen verstaan worden.

In eene tweede verhandeling ¹⁾ heeft hij dit onderzoek tot verschillende bruine vochten uitgestrekt, als tinctura chamomillae, tinct. absynthii, tinct. euphrasiae, koffij, enz. In den verzadigden toestand dier vochten en bij genoegzame dikte der vochtlaag is bij allen het doorgelaten licht *rood*, maar gaat bij meerdere verdunning door *bruin* en *bruin-geel* in *vaal-geel* over. De prismatische analyse van het *bruine* doorgevallen licht leert, dat hierin het *violet*, het *indigo* en een gedeelte van het *blauw* geheel ontbreken, terwijl de meer breekbare kleuren worden doorgelaten. Alleen bij de twee eerstgenoemde vochten vond MULLER nog een smallen donkeren band in het *rood*. Deze samenstelling van het *bruine* licht is zeer verschillend van die van het *bruin* der eerste orde in de kleurschaal van NEWTON, zoodat de bewering van BRÜCKE ²⁾, dat het *bruin* niets anders zoude zijn, dan de complementaire kleur der HERSCHEL'sche *lavendelblauwe* stralen, niet op het door *bruine* vochten doorgelaten licht toepasselijk is.

1) POGG. Ann. Bd. 79, pag. 344.

2) POGG. Ann. Bd. 74, pag. 461.

VIERDE AFDEELING.

MENGSELS VAN KLEURSTOFFEN.

Bekleedde NEWTON eene eerste plaats, waar wij van de menging der prismatische kleuren spraken, ook hier waar wij de mengsels van kleurstoffen gaan beschouwen, zullen wij hem in de eerste plaats noemen, ook hier is hij voorgegaan.

Na de menging der prismatische kleuren, gaat hij over tot de menging van gekleurde poeders, waarbij hij zich bepaaldelijk ten doel stelde daaruit eene *witte* kleur zamen te stellen. Al dadelijk merkt hij op, dat *al* de gekleurde poeders een groot gedeelte van het licht, waardoor zij beschenen worden, in zich opnemen en vernietigen. Weshalve het niet te verwachten is, dat uit de menging van zulke poeders een helder *wit* zal ontstaan, maar een *grijs* of *graauw*, zoo als men uit de vermenging van *wit* en *zwart* verkrijgt.

Geene voorwerpen kaatsen meer licht terug dan de *witte*. Bij het vermengen van poeders, met het doel om een kleurloos mengsel te verkrijgen, neemt hij van

dat poeder, dat het meeste licht terugkaatst, het minste. Bijv. bij de menging van een *rood* poeder met een *groen* gebruikt hij van menie één deel en van kopergroen vijf deelen: »minium autem, propter colorem suum luminosiorum, minori portione quam viride aeris adhibebam ¹⁾." Van deze poeders verkrijgt hij eene kleur, die hij met den naam van *murinus* bestempeld.

Een ander mengsel, menie één deel en bergblauw vier deelen, gaf hem: »colorem quendam fuscum subpurpurascenscentem," welke kleur na bijvoeging van een mengsel, bestaande uit: operment en kopergroen, al haar *purper* verloor en geheel en al bruin geworden was. Maar deze proef gelukte hem beter op eene andere wijze, zonder menie. Bij het operment voegde hij langzamerhand zooveel *purper* tot dat het ophield *geel* te zijn, en *bleek-rood* geworden was. Hierbij voegde hij een weinig kopergroen en een weinig meer bergblauw, totdat er eene bijna *witte* kleur ontstond, die tot geene der gebruikte kleuren meer naderde dan tot eene andere. De verkregen kleur schijnt hem toe te zijn: »color albus talis, qui cineres, aut lignum recens caesum, aut cutem humanam albitudine aequaret."

De kleur des mengsels van twee poeders is echter niet dezelfde, als wanneer men het licht van beide kleuren gelijktijdig in het oog doet vallen. Zeer duidelijk wordt dit uit de bovenvermelde proeven van HELMHOLTZ bewezen, waar hij uit de menging van prismatisch *geel* en *blauw* niet *groen* verkrijgt, maar hoogs-

1) Optice Lib. I, Pars II, exp. XV.

tens een *zwak groenachtig wit* ¹⁾. Dit feit staat lijnregt over tegen de duizendjarige ondervinding van alle schilders en verwers, die steeds om eene *groene* kleur te maken, eene *geele* en *blauwe* verwestof met elkander mengden. Om deze schijnbare tegenstrijdigheid te verklaren, is het noodig op te merken, dat het ons door de lichamen toegezonden licht, waardoor wij ze zien en hunnen vorm en kleur erkennen, niet, gelijk het gespiegelde licht, aan de oppervlakte teruggekaatst is, maar uit de dieper gelegene lagen tot ons komt. Het meest afdoende bewijs dezer stelling is door ARAGO geleverd, toen hij aantoonde, dat, terwijl het gespiegelde licht gepolariseerd is in het vlak van terugkaatsing, het niet gespiegelde of verstrooide licht loodregt op dit vlak gepolariseerd is ²⁾. — Het witte licht, dat een gekleurd ligchaam beschijnt, verkrijgt juist door het indringen in het ligchaam en het weder uittreden na terugkaatsing op de dieper gelegene deeltjes zijne kleuring ten gevolge der absorptie, die het daarbij ondervindt. Wat gebeurt er nu bij mengsels van poeders van verschillende kleur, bijv. *geel* en *blauw*? Het *witte* invallende

1) NEWTON heeft dit niet opgemerkt. Hij zegt uitdrukkelijk: Lect. Opticae, Pars II, Sect. I, prop. III: »idem plane colores ex mistura colorum prismaticum ac pulverum producuntur. »Sic pulvis coeruleus cum flavo mistus producit viriditatem, et eadem viriditas etiam producitur ex mistura radiorum tinctorum cum coeruleo et flavo.»

PLATEAU heeft reeds in 1829 in zijne inaugurale dissertatie het verschil der mengsels van gekleurde lichten en van kleurstoffen opgemerkt (ROGG. Ann. Bd. 88, pag. 173).

2) MOIGNO, Repert. d'Optique Moderne II, 551.

licht moet hier afwisselend door *gele* en *blauwe* deeltjes heendringen, er komt dus uit de diepte slechts zulk licht terug, dat èn door de *gele* èn door de *blauwe* doorgelaten wordt. *Blaauwe* lichamen laten gewoonlijk in ruime mate *groen*, *blauw* en *violet* licht door; *gele* daarentegen *rood*, *geel* en *groen*. Door beide te gelijk wordt dus alleen *groen* licht doorgelaten en er kan dus uit de diepte van het gemengde poeder slechts *groen* licht tot ons oog komen.

Hieruit blijkt, dat wanneer wij bij een *blauw* poeder een *geel* voegen, de kleur niet daardoor verandert, dat er *geel* licht bij *blauw* licht komt, maar hierdoor, dat van de gekleurde stralen, die het *blauwe* poeder terugzendt, nu ook het *blauw* en *violet* wegvalt, zoodat er bijna alleen *groen* overblijft.

Er bestaan echter andere methoden, om het van kleurstoffen komende licht te mengen, waarbij men resultaten erlangt, welke geheel overeenkomstig zijn met die, welke men verkrijgt door de menging van eveneens gekleurde prismatische stralen.

De eerste dier methoden bestaat hierin, dat men de kleuren, die men mengen wil, sectorsgewijze op eene schijf brengt, die men snel kan ronddraaijen (Farbenkreisel). Bij het snel ronddraaijen van eene schijf gekleurd met *geel* en *blauw* (gummi-gutt of chromaatgeel en ultramarine), verkrijgt men zuiver *grijs*; verlicht men dit eeniger mate sterk, dan heeft men bijna zuiver *wit*. Het onderscheid van het mengen der stoffen en het mengen van het licht dier stoffen komt sprekend uit, wanneer men het midden der schijf kleurt met het

mengsel der beide kleurstoffen en op den rand slechts sectoren heeft met de enkele kleuren. Dan ziet men in het midden *groen* en aan de randen *grijs* of *wit*.

Eene tweede methode wordt door HELMHOLTZ beschreven. Zij is deze: men bevestigt eene glasplaat met gladde en parallele vlakken loodregt boven eene tafel en legt aan de naar den waarnemer toegekeerde zijde een gekleurd voorwerp, bijv. een gekleurd papier. Dit ziet men dan in de glasplaat gespiegeld en de schijnbare plaats van het spiegelbeeld is aan gene zijde van de glasplaat ook op de tafel. Men kan nu juist op die plaats, waar zich het spiegelbeeld bevindt, een even groot maar anders gekleurd papier brengen, hetwelk de waarnemer door het spiegelende glas heen ziet. Zijn oog wordt dan door tweeërlei stralen getroffen, welke beide van geheel hetzelfde voorwerp schijnen uit te gaan; *deze* zijn van het licht, dat doorgegaan is, *gene* van het licht, dat gespiegeld is. Hij ziet dus het voorwerp met eene kleur, welke werkelijk uit beide kleuren is zamengesteld. Om de proef zeer juist te nemen, moet men een zoo dun mogelijk glasplaatje gebruiken en het nagenoeg op den afstand van duidelijk zien, boven de tafel en loodregt op deze bevestigen.

Kleuren, die op deze wijze of volgens de vorige methode zamengesteld zijn, onderscheiden zich door heldheid zeer van die, welke men door menging van gekleurde poeders verkregen heeft, en geven niet altijd dezelfde resultaten met deze, maar komen in uitwissel overeen met de menging der prismatische kleuren. *Blaauw* en *geel* geven geen *groen*, maar *wit*.

Wij gaan nu over van de mengsels van kleurstoffen tot de kleuren, die men door twee achter elkander geplaatste gekleurde glazen of vochten ziet. Vooraf willen wij opmerken, dat in beide gevallen de wijziging, die het *witte* licht ondergaat, nagenoeg dezelfde is; dewijl wanneer het licht achtereenvolgens door twee gekleurde glazen of vochten gaat, elk glas of vocht zekere kleuren wegneemt en er dus geene andere kleuren in het oog vallen, dan die, welke door *beide* glazen of vochten worden doorgelaten. Hieruit volgt, dat wanneer twee gekleurde media dezelfde kleur hebben, maar van verschillende prismatische samenstelling, deze media achtereenvolgens met één zelfde gekleurd medium verbonden, verschillende uitkomsten geven kunnen. Hetzelfde moet ook plaats hebben, wanneer men door twee zoodanige media naar een zelfde gekleurd ligchaam ziet. Ik heb mij hiervan door vele proeven verzekerd, waarvan ik de voornaamste hieronder mededeel.

De oplossingen van indigo in North. zwavelzuur en van Berl. blaauw in zuringzuur, hebben beide eene *donkere* en in toon verschillende *blaauwe* kleur: men kan ze echter met water verdunnen, totdat ze beide van eene lichte *hemelsblaauwe* kleur worden en voor het ongewapend oog bij doorvallend licht volstrekt niet te onderscheiden zijn: het zien naar een *rood* voorwerp (bijv. een stukje papier met *karmijn* bestreken) door deze vloeistoffen heen, doet ze echter dadelijk onderkennen, daar het *indigo* de *roode* stralen doorlaat en het *roode* papier dus *rood* vertoont, het *Berl.*

blaauw echter volstrekt geene *roode* stralen doorlaat en het *roode* papier dus *zwart* vertoont.

De volgende uitkomsten werden verkregen bij doorvalling van *wit* licht door eene dier oplossingen en door een daar achter geplaatst gekleurd glas :

<i>Indigo</i>	en	<i>rood glas</i>	geven	<i>rood</i> .
<i>Berl. blaauw</i>	»	»	»	<i>zwart</i> .
<i>Indigo</i>	»	<i>purperglas</i>	»	<i>purper</i> .
<i>Berl. blaauw</i>	»	»	»	<i>blaauw</i> .

Het hier gebruikte *roode* glas liet alleen *rood* licht door. — Bij het zien door twee achter elkander geplaatste vochten vond ik het volgende :

<i>Indigo</i>	en	<i>gumm. gutt.</i>	geven	<i>oranje-bruin</i> .
<i>Berl. blaauw</i>	»	»	»	<i>groen</i> .
<i>Indigo</i>	»	<i>bichrom. potass.</i>	»	<i>rood</i> .
<i>Berl. blaauw</i>	»	»	»	<i>geelgroen</i> .

De oplossingen van *gumm. gutt.* en *bichromas potassae* zijn door verdunning tot denzelfden tint gebragt. De oplossingen van *indigo* en *Berl. blaauw* als hier boven.

TWEEDE HOOFDSTUK.

THEORIEËN DER KLEURMENGING.

EERSTE AFDEELING.

DE DRIE GRONDKLEUREN.

In de theorie der kleurmenging verstaat men door *grondkleuren*, zoodanige kleuren, uit welke alle andere door menging kunnen verkregen worden. Hierbij kan men in het midden laten of die kleuren homogeen zijn, of wel, gelijk blijkens de prismatische analyse bij alle kleurstoffen het geval is, zelve mengsels zijn van homogene kleuren. Het eenige, waar bij deze theorie op gelet wordt, is de indruk, dien de kleur op het oog maakt.

Sommige natuurkundigen hebben het begrip van *grondkleuren* in een strengeren zin opgevat. Vooral heeft D. BREWSTER ¹⁾ voor eenige jaren eene theorie

¹⁾ Trans. of the R. Soc. of Edinb. 1834 Vol. XII, pag. 123—137.

gegeven over het outstaan der verschillende kleuren uit de drie *grondkleuren*, welke hoofdzakelijk op deze vier punten neerkomt:

1°. *Wit* licht bestaat uit *drie* enkelvoudige kleuren, *rood*, *geel* en *blauw*, door menging van welke *alle* andere kleuren gevormd worden.

2°. Het zonnenspectrum gevormd, zoowel door doorschijnende prismata als door groeven in metalische en doorschijnende oppervlakten, bestaat uit *drie* spectra van *gelijke lengte*, *aanvangende en eindigende op dezelfde punten*, namelijk een *rood* spectrum, een *geel* spectrum en een *blauw* spectrum.

3°. Al de kleuren in het zonnenspectrum zijn *zamen- gestelde* kleuren, daar ieder van die bestaat uit *rood*, *geel* en *blauw* licht in verschillende verhoudingen.

4°. Eene zekere hoeveelheid *wit licht*, onscheidbaar door het prisma, wegens dezelfde breekbaarheid van zijne zamenstellende stralen, is aanwezig op elke plaats van het spectrum, en kan somtijds afgezonderd worden.

De theorie van BREWSTER is echter door HELMHOLTZ proefondervindelijk weerlegd.

Wij keeren nu tot de meer practische vraag terug, uit hoevele en uit welke kleuren alle overige kunnen verkregen worden. Reeds PLINIUS zegt, dat de oudste Grieksche schilders slechts *vier* kleuren noodig hadden om alle overige te maken. LEONARDO DA VINCI kent ook de leer der *drie* grondkleuren nog niet, en noemt

behalve *wit* en *zwart*, die eigenlijk geene kleuren kunnen genoemd worden, deze vier: *geel*, *groen*, *blaauw* en *rood*.

LE BLOND ¹⁾ legt de naderhand nagenoeg algemeen aangenomen drie grondkleuren: *rood*, *geel* en *blaauw* tot grond bij eene systematische rangschikking der kleuren en kleurstoffen. Op dezen grond hebben voortgebouwd: CASTEL, MAYER, LAMBERT, HAY en FORBES. MAYER gebruikte als representanten van de drie grondkleuren en tot het maken der mengsels de drie volgende kleurstoffen: *cinnaber*, *koningsgeel* en *bergblaauw*; LAMBERT: *karmijn*, *gumm. gutt.* en *Berlijnsch blaauw* en HAY, die in zijne keus der kleurstoffen door FORBES zeer geroemd wordt, gebruikte *karmijn*, *chromaat-geel* en *Fransch ultramarin*.

De theorie der drie grondkleuren is uitvoerig uitgewerkt door MAYER in zijn werk: *De affinitate colorum* (Op. ined. 1775). Hij stelt de graden van intensiteit, waarmede de grondkleuren in eene gemengde kleur kunnen voorkomen voor door de getallen 1, 2 . . . 12, zijnde 1 de zwakste graad, welke in staat is, om bij eene andere tint gevoegd, die te wijzigen en 12 het volle bedrag der grondkleur, zooals die in het witte licht voorkomt. Dus R^{12} beteekent een vol *rood* van

¹⁾ LE BLOND. Il colorito. London 1735. Zie Dr. EMIL WILDE, Gesch. der Optik. II. 150.

R. WALLER gaf reeds in 1686 (zie Phil. Trans. 1686, pag. 24—33) eene kleurtafel en catalogue of simple and mixt colours, waar hij onder *simple* colours verstaat de kleuren: *rood*, *geel* en *blaauw*; maar onder *mixt* colours die, welke ontstaan door menging van *blaauw* met *geel* of *rood*. De menging van *geel* met *rood* geeft hij niet op.

den breedsten en diepsten tint, G^{12} een vol *geel* en B^{12} een vol *blauw*. Om eene gemengde kleur voor te stellen, gebruikte hij de symbolen der samenstellende kleuren: dus $R^{12} G^4$ of liever $42r + 4g$ beteekent een *rood*, dat naar het *oranje* overhelt.

In plaats van met MAYER slechts 42 intensiteitsgraden van elke grondkleur aan te nemen, is het meer doelmatig een grooter getal te kiezen, om daardoor meer nuances van gekleurd licht te kunnen aanduiden.

HERSCHEL neemt 100 als standaard-intensiteit van elke grondkleur aan, of als uitdrukking van het getal stralen van die kleur, voor eene gegevene oppervlakte, wanneer zij hare volle sterkte heeft en stelt door de volgende uitdrukking:

$$xR + yG + zB$$

den toon voor, die voortgebracht wordt door x zulke stralen enkelvoudig *rood*, y zulke stralen enkelvoudig *geel* en z zulke stralen enkelvoudig *blauw*. Het is dan duidelijk, dat de verschillende numerische waarden van 1 tot 100 toegekend aan x , y , z , de verschillende symbolen zullen zijn van de tinten, wier aantal zal zijn $100 \times 100 \times 100 = 1000000$, en daarom zeker voldoende om al de kleurtoon te omvatten, die het oog kan onderscheiden. Het getal toonen, dat door de Romeinsche mozaïkwerkers wordt onderscheiden, is naar men zegt, boven de 30,000; maar zoo wij stellen, dat 10maal dit bedrag in de natuur voorkomt, dan zijn wij nog zeer ver binnen de limieten van onze schaal.

Er blijft alleen over om na te gaan, in hoever de

toon en zelve door de deelen der schaal kunnen uitgedrukt worden.

Vooreerst dan de *witte*, *grijze* en *neutrale* toonen, voorgesteld door combinaties als:

$$(R + G + B), (2R + 2G + 2B), \text{ enz.}$$

$$\text{of } n(R + G + B)$$

wat men korthedshalve kan uitdrukken door:

$$nW.$$

De verschillende intensiteiten van zuiver *rood*, *geel* en *blauw* stellen wij voor door:

$$nR, nG, nB.$$

Zuiver komen ze hoogst zelden in de natuur voor, maar *bloed*, *gumm. gutt.* (*vochtig*) en *ultramarin* kunnen als voorbeelden aangehaald worden.

Scharlaken en levendig *rood*, als *vermiljoen*, *menie* hebben altijd wat *geel* en *blauw* bijgemengd.

De menging van *rood* met *geel*, geeft al de toonen van *scharlaken* en *oranje*. De donkere toonen zijn bruin: met wit vermengd, geven zij *citroengeel*, *stroogeel* en verder toonen van *bruin*.

De *bruine* toonen echter zijn somber en dof. Om *bruine* toonen voort te brengen, mengt de schilder *zwart* met *geel*, of *zwart* met *rood* (zoo onzuiver als gewoonlijk de roode verwstoffen zijn) of alle drie: zijn doel is om licht uit te dooven en alleen een residuum van kleur over te houden.

Combinaties van *rood* en *blauw* geven met de verdunning door *wit* al de verschillende nuances van *karmozijn*, *purper*, *violet*, *rose*, *vleeschkleur*.

Het schoone *purper* is geheel vrij van *geel*.

Blaauw en geel geven groen.

De theorie der drie grondkleuren geeft de verklaring van een verschijnsel, reeds door NEWTON waargenomen, namelijk dat toonen volstrekt niet met het bloote oog te onderscheiden, door menging uit verschillende kleuren kunnen verkregen worden. Nemen wij bijv. aan, dat *oranje*, *groen* en *violet* uit gelijke deelen *rood* en *geel*, *geel* en *blauw*, *blauw* en *rood* bestaan, zoodat

$$1 R + 1 G = 2 O$$

$$1 G + 1 B = 2 Gr$$

$$1 B + 1 R = 2 V$$

zoo zal het mengsel

$$p R + q G + r B$$

ook beschouwd kunnen worden, als bestaande uit :

$$a R + b O + c G + d Gr + e B + f V,$$

mits de coëfficiënten voldoen aan de vergelijkingen :

$$a + \frac{1}{2} b + \frac{1}{2} f = p$$

$$\frac{1}{2} b + c + \frac{1}{2} d = q$$

$$\frac{1}{2} d + e + \frac{1}{2} f = r$$

waaraan op een oneindig aantal wijzen door positieve waarden van a , b , c , enz. kan voldaan worden.

Maar tevens blijkt hieruit, dat de keus der drie grondkleuren uit een theoretisch oogpunt veel willekeurigs overlaat. Werkelijk hebben ook sommige natuurkundigen eene van de gewone afwijkende keus gedaan. Zoo vindt men door WÜNSCH ¹⁾ en TH.

¹⁾ HASENFRATZ, Ann. de Chimie 66, (1808) pag. 156: »M. WÜNSCH de FRANCFORT, dans un ouvrage imprimé à Leipzig (Versuche und Beobachtungen über die Farben des Lichtes), a

YOUNG ¹⁾ het *rood*, *groen* en *violet* als grondkleuren aangenomen.

Vraagt men dus of er eene Physische reden bestaat, waarom in 't algemeen de schilders en verwers juist *rood*, *geel* en *blauw* als de drie grondkleuren aannemen, dan moet deze vraag ontkennend beantwoord worden. De reden waarom zij juist aan *rood*, *geel* en *blauw* de voorkeur geven, zal wel eene praktische zijn, daarin gelegen, dat *geel* en *blauw* hellere kleuren zijn, dan bijv. *groen* en *violet*; zoodat men wel uit *geel* en *blauw* bijv. een levendig *groen*, maar uit *rood* en *groen* slechts een vuil *geel* en uit *groen* en *violet* een vuil *blauw* verkrijgen kan.

In de voorgaande ontwikkeling van de theorie der drie grondkleuren volgens MAYER en HERSCHEL is geen gewag gemaakt van het verschil tusschen de mengsels van kleurstoffen en van gekleurde lichten. Dit verschil is echter zeer belangrijk zoo als wij boven (Hoofdst. I) reeds aanmerkten. Bij gekleurde lichten is de lichtintensiteit van het mengsel de som der intensiteiten van de bestanddeelen; van daar dat die kleuren, in

tâché de prouver par des expériences ingénieuses que la lumière blanche, ne se décompose qu'en trois couleurs fondamentales, *le violet, le vert et le rouge.*" Een uittreksel van de verhandeling van WÜNSCH komt voor in de Ann. de Chimie (1807), Tome 64, p. 135.

1) Lectures on Natural Philosophy, I, 439.

»And we may consider *white* light as composed of a mixture of red, green and violet, only, in the proportion of about two parts *red*, four *green*, and one *violet*, with respect to the quantity or intensity of the sensations produced."

behoorlijke verhouding gemengd, *wit* licht zamenstellen. De werking der kleurstoffen is eene andere: elke bijgevoegde kleurstof houdt eenige van de stralen terug, die zonder haar het oog zouden treffen. Vandaar dat in den regel de helheid der gemengde kleur geringer is dan die der bestanddeelen en dat zelfs, zoo als bij schilders algemeen bekend is, door eene doelmatige vermenging van de drie grondkleuren zwart kan verkregen worden.

Voegen wij hierbij de vroeger (pag. 29) gemaakte opmerking, dat ook de toon des mengsels in beide gevallen verschillend is, gelijk blijkt uit de proeven met de sectorsgewijze gekleurde draaijende schijven, dan worden wij tot het besluit geleid, dat de beide wijzen van kleurmenging, zoowel ten aanzien van de hoeveelheid *wit* of *zwart*, die geacht moet worden in de eigenlijke kleur der mengsels aanwezig te zijn, als ten opzichte van den toon der kleur zelve, tot verschillende uitkomsten leiden en dus niet in ééne theorie kunnen zamengevat worden. Tot dusverre is de theorie der drie grondkleuren voornamelijk op de mengsels van kleurstoffen toegepast, en kan hier, bij eene doelmatige keus der grondkleuren, tot eene classificatie of rangschikking van alle mogelijke kleuren leiden. Het is vooral uit dit oogpunt, dat zij door MAYER is ontwikkeld, die daarin door LAMBERT, FORBES, CHEVREUL en anderen is gevolgd geworden. De voornaamste wijzen, waarop men getracht heeft de geheele reeks der tinten, die door eene methodische vermenging der drie grondkleuren ontstaan, aanschouwelijk voor te stellen, zijn de volgende:

I°. De driehoek van MAYER ¹⁾. Dit is een gelijkzijdige driehoek, in vakken verdeeld door 3 stelsels van lijnen, die evenwijdig aan de 3 zijden en op gelijke afstanden van elkander geplaatst zijn. De in de hoeken gelegen deelen zijn zuiver *rood*, *geel* en *blauw*. Tusschen *rood* en *blauw* zijn gelegen al de nuances van *rood* met *blauw*. Bijv. heeft men van *rood* tot *blauw* 6 vakken, dan is het eerste zuiver *rood*, het tweede mengsel uit 4 deelen *rood* met 1 deel *blauw*, het derde 3 deelen *rood* met 2 deelen *blauw*, het vierde 2 deelen *rood* met 3 deelen *blauw*, het vijfde 1 deel *rood* met 4 deelen *blauw*, en het zesde zuiver *blauw*. Evenzoo heeft men aan de andere zijden de overgangen van *geel* en *rood*, *geel* en *blauw*.

De vakken in het midden van den driehoek gelegen bevatten mengsels van 3 kleuren. In de 2^e rij van onderen zulke, die 1 deel *rood* bevatten gemengd met 1 deel *geel* en 3 deelen *blauw*; of met 2 deelen *geel* en 2 deelen *blauw*; of met 3 deelen *geel* en 1 deel *blauw*. — Wil men nu bij deze kleuren nog die tinten voegen, die ontstaan door menging met *wit*, zoo moet men eene reeks van zoodanige driehoeken maken, waar in den eenen overal 1 deel *wit*, in den tweeden 2 deelen *wit* enz. in het mengsel voorkomt.

II°. De kleurenpyramide (Farbenpyramide) van LAMBERT ²⁾. Deze pyramide bestaat uit driehoeken

1) GEHLER, Phys. Wört. Bd. IV, 92.

2) LAMBERT. Beschreibung einer ausgemahlten Farbenpyramide. Berlin 1772. Zie GEHLER, Phys. Wört. IV, 93.

van was, die op elkander gestapeld zijn. Aan de was heeft hij de verschillende kleuren medegedeeld.

De onderste driehoek is op de zijde gedeeld in 9 vakken en bevat dus in 't geheel 45 vakken. Het kleurmengsel klimt op met $\frac{1}{9}$ deelen der grondkleuren.

De tweede driehoek heeft 7 vakken op zijde en dus 28 in 't geheel. Hier klimt het mengsel op met $\frac{1}{7}$ deelen en bij elke 5 deelen worden 2 deelen *wit* gemengd: zoodat hier al de kleuren heller zijn.

De derde driehoek heeft 5 vakken aan elke zijde en de hoekvakken bevatten nu 4 deelen *rood*, *geel* of *blauw* met 4 deelen *wit* gemengd.

De vierde driehoek heeft 4 vakken aan elke zijde en het mengsel klimt op met $\frac{1}{4}$ deelen. Maar bij elke 3 deelen kleur komen 5 deelen *wit*.

De vijfde driehoek bestaat uit 6 vakken (in 't geheel), die bij 6 deelen *wit* 2 deelen *rood*, *geel* of *blauw* hebben.

De zesde driehoek bevat slechts 3 kleuren, die uit 4 deel *rood* met 7 deelen *wit*, 1 deel *geel* met 7 deelen *wit*, 1 deel *blauw* met 7 deelen *wit* bestaan. Hierop volgt de laatste: 1 vak geheel *wit*.

Bij deze kleurenpyramide dienen wij

III^o. te vermelden den kleurenkogel (Farbenkugel) van P. O. RUNGE ¹⁾. Deze dient om de overgangen der kleurmengsels in *wit* aan de ééne zijde en

¹⁾ P. O. RUNGE: Farbenkugel oder Construction aller Mischungen der Farben zu einander und ihrer vollständigen Affinität. Hamburg 1810. Zie GEHLER, Phys. Wört. IV, 24.

in *zwart* aan de andere zijde te doen zien. Hij stelt zich op de oppervlakte van een kogel een grooten cirkel voor; op drie punten van dezen cirkel, 120° van elkander verwijderd, worden zuiver *rood*, *geel* en *blauw* aangebragt. Laat men nu uit deze punten den overgang der kleuren in elkander plaats grijpen, door toenemende bijmenging der naburige kleur, zoo komt 60° van *blauw* en *geel*, een *groen* te voorschijn, dat noch naar *geel*, noch naar *blauw* overhelt. Daar naast echter heeft men den overgang in *geel* of in *blauw*. Evenzoo is het met het *oranje* en *violet* gelegen.

Neemt men nu de polen van dezen grooten cirkel, dan ziet men ligt in, welke kleur aan ieder punt van een parallelcirkel toekomt. Neemt men namelijk de ééne pool als *wit*, de andere als *zwart* aan, en legt men door deze polen en door eenig punt van den eerstgenoemden grooten cirkel, wederom een grooten cirkel (als meridiaancirkel) en kleurt men dezen met alle nuances van de kleur, die hij in dat punt aantreft, in *wit* overgaande naar de eene pool toe, en in *zwart* naar de andere pool, dan ontstaat op deze kogeloppervlakte een volmaakte overgang van alle kleuren in alle nuances van *zwart* en *wit*.

Onder de latere natuurkundigen, die getracht hebben de kleuren der lichamen volgens vaste gronden te bepalen en te benoemen, verdient vooral CHEVREUL, Director van de fabriek der Gobelins, vermeld te worden. Hij heeft zijne methode uitvoerig ontwikkeld in zijn werk: *de la loi du contraste simultané des couleurs*, 1839, pag. 87. Hij neemt ook *rood*, *geel* en *blauw*

als grondkleuren aan. Door hare vermenging twee aan twee verkrijgt hij tusschen elk paar 23 nieuwe kleuren, die een geleidelijken overgang van de eene tot de andere grondkleur maken en waarvan de middelste of twaalfde het *oranje*, *groen* en *violet* zijn. Het geheele getal kleuren is dus 72. Deze worden nu weder met *wit* vermengd om de lichtere of bleekere en met *zwart* om de donkerder tinten van elken toon te verkrijgen. Het geheele getal dier toonen bedraagt bij CHEVREUL meer dan veertien duizend. Uit eene latere mededeeling (Comptes rendus, mai 1851, n°. 49) blijkt echter, dat hij eerst in den laatsten tijd er in geslaagd is, eene kleurschaal, die de 72 grond- en binaire kleuren bevat, werkelijk tot stand te brengen.

TWEEDE AFDEELING.

KLEURSCHIJF VAN NEWTON.

Steunende op zijne proeven aangaande de prismatische kleuren en hare vermenging, is NEWTON tot eenen empirischen regel gekomen, door welken hij a priori den toon kan berekenen, welken een mengsel van enkelvoudige stralen zal bezitten, wanneer de toonen en lichtsterkten der gemengde kleuren gegeven zijn.

Hij beschrijft een cirkel en verdeelt den omtrek in zeven deelen, evenredig aan de getallen $\frac{1}{9}$, $\frac{1}{16}$, $\frac{1}{16}$, $\frac{1}{9}$, $\frac{1}{16}$, $\frac{1}{16}$, $\frac{1}{9}$. De waarden van de bogen in graden voorstellende, verkrijgt men

voor den eersten	boog (rood)	60° 45' 34"
»	» tweeden	» (oranje) 34° 40' 38"
»	» derden	» (geel) 57° 41' 1"
»	» vierden	» (groen) 60° 45' 34"
»	» vijfden	» (blauw) 54° 41' 1"
»	» zesden	» (indigo) 34° 40' 38"
»	» zevenden	» (violet) 60° 45' 34"

In de orde zoo als zij in het zonnenspectrum voor-

komen, doet NEWTON de zeven hoofdkleuren elkander opvolgen. Tevens, even als in het spectrum, laat hij de eene kleur allengskens in de andere overgaan: »Fingehos esse colores omnes luminis simplicis gradatim in se invicem desinentes" ¹⁾: zoodat de verschillende afdelingen op zijne schijf al de nuances, »*gradus omnes*", der zeven prismatische kleuren voorstellen. Verder neemt hij het zwaartepunt van ieder der zeven bogen en om dit zwaartepunt beschrijft hij eenen cirkel, evenredig aan het getal der gekleurde stralen van elke kleur in het gegeven mengsel, dat wil zeggen: den cirkel om het zwaartepunt van den boog, die de toonen van *rood* bevat, beschreven evenredig aan het getal *roode* stralen in het mengsel en zoo verder. Nu zoekt hij het gemeenschappelijk zwaartepunt van deze zeven cirkels. Door dit zwaartepunt Z trekt hij van het middelpunt O der kleurschijf een regte lijn naar den omtrek; het punt Y, waar deze regte den omtrek ontmoet, zal den toon aangeven, welke ontstaan zal uit de zamenstelling van alle kleuren in het gegeven mengsel: de lijn O Z (afstand van het middelpunt der kleurschijf en het gemeenschappelijk zwaartepunt der zeven cirkels) zal evenredig zijn aan de breedte of verzadiging van die kleur of, met andere woorden, zal aangeven, hoever die kleur afstaat van *wit*. Bijv. indien het punt Y valt juist in het midden van den sector, die al de toonen van *geel* bevat, dan zal de kleur uit het mengsel ontstaande, het schoonste *geel* zijn.

¹⁾ NEWTON, Optice Lib. I, Pars. II, prop. VI, prob. II.

Zoo dit punt meer nadert tot *oranje* of *groen*, dan zal daardoor de zamengestelde kleur meer oranje-achtig of groen-achtig zijn. Valt het zwaartepunt op de grens van *rood* of *violet* of zeer na daarbij, dan is de kleur des mengsels niet gelijk aan een der prismatische kleuren, maar een *purper*, dat meer naar *rood* of *violet* helt naarmate het punt Y meer aan de *roode* of *violette* zijde der gezegde grens gelegen is. Valt het op den omtrek zelf, dan zal de kleur zoo vol en helder mogelijk zijn: komt het midden tusschen den omtrek en het middelpunt, dan zal de kleur maar *half* zooveel verzadigd zijn, dat is, de tint zal zijn gelijk aan die, welke ontstaat uit menging van het volste en helderste *geel* met eene gelijke hoeveelheid *wit*: (color erit talis factus, qualis ex flavo largissimo floridissimoque, admixto aequâ portione albo, esset oriturus).

Uit deze constructie van NEWTON volgt, dat elk mengsel van homogene (prismatische) kleuren eene zekere hoeveelheid *wit* licht moet bevatten en dus niet volkomen verzadigd kan zijn. Immers het zwaartepunt der gemengde kleuren valt steeds binnen den omtrek. Dit is reeds het geval met het mengsel uit de nuances eener zelfde kleur. Hoe verder echter de kleuren, die in het mengsel voorkomen, uit elkander liggen, des te meer verbleekt de kleur des mengsels, door toetreding van wit licht, totdat, wanneer de vermengde kleuren aan de uiteinden van eenzelfden diameter gelegen en dus complementair zijn, zij bij gelijke sterkte zuiver *wit* licht vormen. Tot duidelijk verstand van de constructie der kleurschijf van GRASS-

MANN, die hier volgt, is deze opmerking van groot belang.

Hoewel nu NEWTON zijnen regel »*non mathematice accurata*” noemt, zoo noemt hij dien toch »*satis accurata ad experimenta agenda*”: en wèl mogt hij dit doen. Belangrijk zijn de toepassingen door BIOT van zijne kleurschijf gemaakt, zoowel ter berekening van de kleuren der dunne lagen (*Traité de Physique* 1846. Tome IV, 64), als van die der loodregt op de as gesnedene kwartsplaatjes in gepolariseerd licht (*Mém. de l'Acad. R. d. S. de l'Institut de France* 1849. Tome II, p. 41).

DERDE AFDEELING.

KLEURSCHIJF VAN GRASSMANN.

In Pogg. Ann. Bd. LXXXIX, 69 geeft GRASSMANN eene theorie der kleurmenging, die voornamelijk ten doel heeft, op theoretische gronden de bewering van HELMHOLTZ te weêrleggen, volgens welke onder de kleuren des spectrums er slechts twee zouden gevonden worden, die te zamen *wit* licht geven en dus complementair zijn. Daar dit onderwerp reeds in Hoofdstuk I. behandeld is, kan het hier worden voorbijgegaan. Aan het einde dier verhandeling geeft GRASSMANN echter, waarschijnlijk niet voldaan met het willekeurige, dat in de verdeeling van de kleurschijf van NEWTON overblijft, nog eene aanwijzing hoe men op zuiver theoretische gronden eene kleurschijf kan zamenstellen, die geschikt is om de kleur van elk willekeurig mengsel van homogene kleuren te berekenen. Het is dit gedeelte, dat hier eene meer opzettelijke vermelding verdient.

Vooraf moeten wij opmerken, dat GRASSMANN (pag. 70) ook het *purper*, in de rij der prismatische kleuren opneemt. Hij beroept zich daartoe op eene waarneming van HASENFRATZ (Ann. de Chimie 1806. Tom. 66, pag. 58) die op sommige heldere zomerdagen, tegen den middag een zeer uitgebreid spectrum verkreeg, waarin, voorbij het *violet*, *purper* gezien werd. Deze waarneming is later door andere waarnemers *niet* bevestigd geworden. Neemt men haar echter met GRASSMANN als geldig aan, zoo is daardoor de cirkelreeks der prismatische kleuren gesloten; de verschillende kleuren vormen eene zamenhangende reeks, zoodat men, van eene kleur uitgaande, door alle andere kleuren heen tot dezelfde kleur terugkomt.

Bij elken kleurindruk zijn, volgens GRASSMANN, de drie volgende zaken te onderscheiden:

- 1°. de toon der kleur,
- 2°. de intensiteit der kleur,
- 3°. de intensiteit van het bijgemengde *wit*.

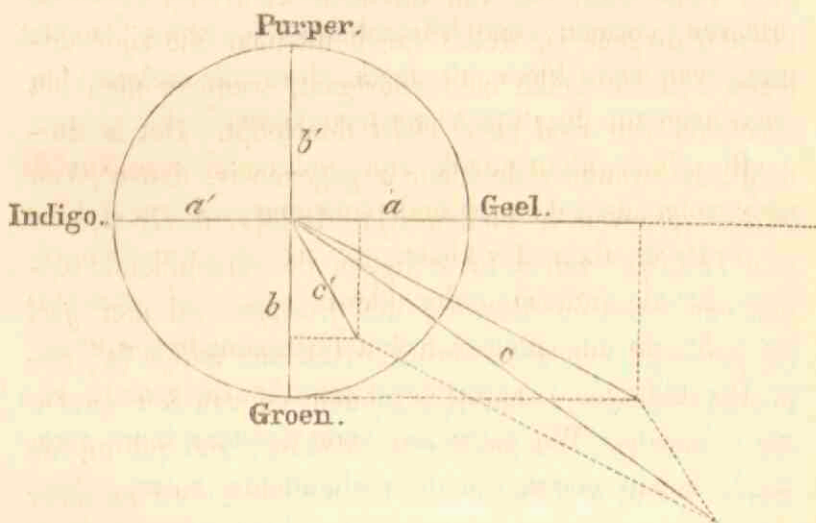
De stellingen, waarop hij zijne theorie grondt, zijn de volgende. Wij verwijzen voor de door hem gebezigde bewijsvoering tot de verhandeling zelve.

- 1°. Wanneer van twee te mengen lichten het eene stadig (*stätig*) verandert, terwijl het andere onveranderd blijft, dan verandert ook de indruk van het mengsel stadig.
- 2°. Men kan bij iedere kleur eene andere homogene kleur vinden, die met haar vermengd *wit* licht geeft.
- 3°. Twee kleuren, waarvan elke een constanten toon,

constante intensiteit van kleur en constante intensiteit van bijgemengd *wit* licht heeft, geven een constant kleurmengsel, uit welke homogene kleuren zij ook zamengesteld mogen zijn.

- 4°. De gezamenlijke lichtsintensiteit eens mengsels is de som van de intensiteiten der vermengde lich- ten. — Onder de *gezamenlijke lichtsintensiteit* wordt hier de som verstaan van de intensiteit der kleur en van die des bijgemengden *wits*.

Fig. 3.



Nu zij a (Fig. 3) eene homogene kleur en a' die homogene kleur, welke met a gemengd *wit* geeft. Voor de aanschouwelijkheid stelle men zich a en a' voor door 2 evenlange, maar in rigting tegengestelde lijnen, die van één punt uitgaan. Verder zij b eene kleur, die met a gemengd evenveel *wit* geeft als met a' gemengd. Om deze verhouding van b tot a en a' uit te drukken,

stelle men b voor door eene lijn loodregt op a en a' gerigt. Verder zij de intensiteit van de kleur b zoo gekozen, dat, wanneer b' de kleur is, die met b *wit* geeft, de intensiteit van het door deze menging te verschijn geroepen licht, gelijk zij aan de intensiteit des lichts ontstaande uit de menging van a met a' . Dit stelle men hierdoor voor, dat men de lijn, die de kleur b uitdrukt, even lang maakt als a en a' , terwijl de complementaire kleur van b door eene even lange maar in rigting aan b tegengestelde lijn wordt aangeduid. Men neme aan, dat van de beide kleuren b en b' de kleur b diegene is, welke van a uit naar die zijde gelegen is, naar welke men voortgaat, wanneer men het spectrum van *rood* naar *violet* doorloopt. Het is duidelijk dat wanneer de kleur a gegeven is, dan a' , b en b' door proeven te vinden zijn. Is bijv. a *Geel*, zoo is a' *Indigo*: van a tot a' liggen de verschillende toonen van *groen* en *blauw*; het *groengeel* zal met *geel* (a) gemengd een zeer gering, maar met *indigo* (a') gemengd een zeer belangrijk bijmengsel van *wit* geven. Gaat men van *groengeel* naar *blauw*, zoo zal bij de menging met *geel* het *wit* in het mengsel, meer en meer toenemen, bij de menging met *indigo*, afnemen. Bij het overgangspunt zal er alzo een kleurtoon gelegen zijn, welke met *geel* gemengd evenveel *wit* geeft als met *indigo* gemengd. Laat dit nu *groen* zijn, zoo is b *Groen* en b' *Purper*. Men ziet in, dat men door menging van elke twee van deze vier kleuren *alle* kleurtoonen bekomen moet. Laten nu deze kleurtoonen voor alle intensiteitsverhoudingen van de te mengen homogene

kleuren a en b' , b en a' , a' en b' , b' en a door proeven gevonden zijn. Wij nemen aan dat de intensiteiten van de beide te mengen kleuren door de lengten van de daartoe betrekkelijke lijnen zijn voorgesteld, zoodat wanneer de eene kleur bijv. den toon a heeft en hare intensiteit zich tot die van a als $m:1$ verhoudt, dat dan die kleur voorgesteld is door een lijn, die eene gelijke rigting heeft met a , maar die m maal langer is. Als men zoo die beide te mengen kleuren geometrisch heeft voorgesteld, construeere men de diagonaal van het parallelogram, dat de beide stralen tot zijden heeft; deze diagonaal zal volgens GRASSMANN de kleur van het mengsel voorstellen, namelijk hare rigting den toon en hare lengte de intensiteit der kleur.

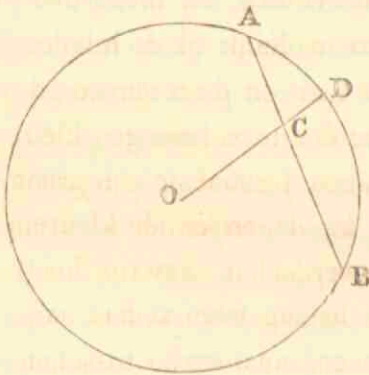
Dit aangenomen zijnde, kan men van nu aan den kleurtoon en de kleursintensiteit van elk mengsel van kleuren door constructie vinden. Namelijk men behoeft slechts de lijnen, welke den toon en de intensiteit van de te mengen kleuren voorstellen, te bepalen en deze dan als krachten zamen te stellen, zoo stelt de resultante van die krachten den kleurtoon en de kleursintensiteit van het mengsel voor.

Men kan deze wet ook nog op eene andere wijze uitdrukken, die tot dezelfde uitkomst leidt en met den regel, door NEWTON bij zijne kleurschijf aangegeven, geheel overeenstemt. Namelijk als men om het aanvangspunt der lijnen een cirkel trekt met den straal a , en in plaats van iedere lijn het punt zet, waarin zij den omtrek treft, voorzien met een gewigt evenredig

aan de lengte van die lijn, zoo kan men de mengingskleur van twee gegeven kleuren op de volgende wijze vinden: Men stelt ieder van de te mengen kleuren door zulk een zwaar punt van den omtrek voor, zoo namelijk, dat de daarbij behoorende straal den *toon* aangeeft, en het gewigt de *kleursintensiteit* uitdrukt, en men bepaalt het zwaartepunt der gewigten. Dan duidt de lijn, die van het middelpunt naar dit zwaartepunt getrokken is, den *toon* der kleur aan en, nadat zij met de som der gewigten vermenigvuldigd is, ook de *intensiteit* der kleur.

Wat de intensiteit van het bijgemengde *wit* betreft, deze vindt GRASSMANN gelijk aan den met de som der gewigten vermenigvuldigten afstand van het zwaartepunt tot den omtrek des cirkels.

Fig. 4.



Tot opheldering van deze constructie kan Fig. 4 dienen. Men stelle de intensiteit der door de lijn a voorgestelde kleur $= 1$, en neme aan, dat de verschillende homogene kleuren, wier intensiteit 1 is, door punten op den omtrek, om het middelpunt O met den straal 1 getrokken, worden voorgesteld, zoodat het gewigt dezer punten eveneens gelijk 1 kan gesteld worden. Zijn nu A en B twee punten in den omtrek, welke dus homogene kleuren van de intensiteit 1 voorstellen en men verlange den *toon* en de intensiteit van het

mengsel der kleuren α A en β B te kennen, dat is, van twee homogene kleuren, wier intensiteiten α en β en wier kleurtoon A en B zijn. Om nu de kleur van het mengsel te bepalen, hebben wij, naar hetgeen boven gezegd is, het zwaartepunt van de met de gewigten α en β voorziene punten A en B te zoeken: Dit zij C , en het punt, waarin OC verlengd den omtrek treft, zij D , zoo is de kleurtoon des mengsels door den straal OD bepaald, de intensiteit der kleur $= (\alpha + \beta) OC$, en die des bijgemengden witten lichts $= (\alpha + \beta) CD$, derhalve de gezamenlijke intensiteit des mengsels $= \alpha + \beta$, daar $OD = 1$ is.

Wanneer men nu de beide kleurschijven van NEWTON en van GRASSMANN onderling vergelijkt, ziet men dadelijk, dat de wijze, waarop zij daarmede den toon en de intensiteit van het mengsel van twee of meer gegeven kleuren door constructie vinden, bij beide overeenstemt. Alleen heeft NEWTON dadelijk al de nuances van elke der zeven hoofdkleuren in één punt vereenigd, terwijl GRASSMANN de aanwijzing der te vermengen kleuren geheel vrij laat. Daarentegen bestaat er een groot verschil in de wijze, waarop zij de reeks der kleuren op den omtrek hunner cirkels verdeelen. NEWTON heeft de gronden, waarop zijne verdeeling berust, niet aangegeven. Hij schijnt daarbij zekere analogieën tusschen de kleuren en de muzikale intervallen van de toonen der gamme gebezigd te hebben, waarvan hij zich op meer dan ééne plaats van zijne *Optica* bedient 1).

1) *Optice*. Lib. I. pars 2 cap. 7 — Lib. II. pars 1 obs

GRASSMANN daarentegen volgt daarbij eenen geheel rationelen gang. Het is natuurlijk dat twee complementaire kleuren a en a' , die te zamen *wit* vormen, aan de uiteinden eens zelfden diameters geplaatst worden; en daar de ondervinding leert, dat in het mengsel van twee gekleurde lichten steeds des te meer *wit* bijgemengd is, hoe verder de kleuren uit elkander liggen, is het even natuurlijk dat men die kleur b , welke met a gemengd evenveel *wit* geeft als met a' , even ver van beide en dus op 90° afstand plaatst. De invoeging der overige kleuren in den cirkel volgt dan van zelf door den regel van het parallelogram van krachten, waarmede hier de kleuren vergeleken worden. Buitendien is bij NEWTON eene zekere inconsequentie niet te miskennen, daar hij aanvankelijk alleen de prismatische kleuren, van *rood* tot *violet*, op zijnen cirkel brengt, en later, bij de bepaling van de kleur des mengsels, die kleuren, welke nabij de grens van *rood* en *violet* vallen, voor *purper* verklaart. GRASSMANN heeft deze inconsequentie vermeden door dadelijk het *purper* in zijnen cirkel op te nemen, hetwelk daarin diametraal overstaat tegen zijne complementaire kleur, het zuivere *groen*.

Van den anderen kant moet men echter erkennen,

14 — Lib. II. pars. 4 observ. 5 en 8. In het précis élémentaire van BIOT, 3^e edit. p. 434 vindt men eene poging om de verdeeling der kleurschijf van NEWTON in verband te brengen met de lengte der accessen van gemakkelijke terugkaatsing en doorlating voor de verschillende kleuren.

dat de uitvoering van de kleurschijf van GRASSMANN aan groote moeilijkheden onderhevig is, zoolang de photometrische en colorimetrische methodes nog in hare tegenwoordige onvolkomenheid zijn. GRASSMANN geeft wel is waar een toestel aan, welke hem geschikt schijnt om voor elke gegevene kleur den kleurtoon, de intensiteit der kleur en de intensiteit van het bijgemengde *wit* te bepalen. Men neme daartoe twee *witte* tafelen van gelijke gesteldheid om een scharnier beweeglijk, en wel zoo, dat hare *witte* zijden zich op de buitenzijde van den door de tafelen gevormden hoek bevinden. Tevens zij een verdeelde cirkel voorhanden, om dien hoek te meten. Nu late men, in een op de draaiingsas loodrecht vlak, op eene dezer tafelen het te onderzoeken gekleurde licht vallen; op de andere tafel valle in eene willekeurige rigting van dat vlak *wit* licht en in eene daarop loodrechte rigting van hetzelfde vlak homogeen licht, welks kleurtoon dezelfde zij als die van het te onderzoeken licht. Terwijl men nu deze laatste tafel om het scharnier draait, zal men aan het *witte* en aan het homogeen gekleurde licht, hetwelk van die tafel naar alle zijden verstrooid wordt, iedere willekeurige intensiteits verhouding kunnen geven. Door eveneens de eerste tafel te draaijen, zal men aan het verstrooide licht, dat van haar uitgaat, elken graad van intensiteit kunnen geven, welke geringer is dan de intensiteit bij loodrecht opvallende stralen. Op deze wijze zal men, indien men slechts de op de tweede tafel vallende vergelijkingslichten zwak genoeg genomen heeft, noodwendig eene stelling der tafelen vinden, bij welke beide

op een oog, dat ze tegelijk beziet, eenen gelijken lichtindruk maken.

GRASSMANN geeft deze methode slechts als ontwerp; hij zelf heeft haar niet toegepast. De ondervinding alleen zal kunnen beslissen of men op deze of dergelijke wijze het voorgestelde doel zal kunnen bereiken.

DERDE HOOFDSTUK.

KLEURMETING.

EERSTE AFDEELING.

KLEURTAFELS.

De beoefenaars der natuurlijke historie hebben te allen tijd de dringende noodzakelijkheid ingezien om de voorwerpen hunner studie, ook wat de kleur aangaat, naauwkeurig te kunnen beschrijven en bepalen. De eerste weg, die zich daartoe aanbiedt en ook in de dagelijksche zamenleving gebruikt wordt, is de vergelijking van de aan te geven kleur met die van een algemeen bekend natuurlijk voorwerp. Zoo vindt men in alle talen en in alle tijden analóge uitdrukkingen voor de bij ons gebruikelijke woorden: *rozenrood*, *hemelsblauw*, *goudgeel*, *grasgroen*, *kastanjebruin*. Dit middel is vooral door de mineralogen, die zich, op het voetspoor van WERNER, meer bijzonder op eene naauwkeurige bepaling der kleuren hebben toegelegd,

bij hunne benamingen veelvuldig aangewend; zoo dragen bijv. de acht door hen aangenomen kenmerkende kleuren, waarvan zij de overige als variëteiten beschouwen, de namen: *sneeuw wit*, *aschgrauw*, *fluveelzwart*, *berlijnschblauw*, *smaragdgroen*, *citroengeel*, *karmijnrood*, *kastanjebruin*.

Daar echter (met uitzondering van *wit* en *zwart*) de kleur der natuurlijke voorwerpen bij geen derzelve steeds volkomen dezelfde is, heeft men, tot naauwkeuriger vaststelling van de namen der kleuren, een ander middel aangewend, bestaande in de vervaardiging van kleurtafels, op welke de bedoelde kleuren met hare namen voorkomen. Voor de kleuren der bloemen gaven MIRBEL EN WILDENOW in hunne botanische handboeken reeds zoodanige tafels, en men vindt die ook, hoewel naar andere beginselen geordend, in de meeste mineralogische handboeken. De *Farbentafel* behoorende bij de *Naturgeschichte der drei Reiche*, en ook afzonderlijk verkrijgbaar, bevat 77 verschillende kleuren.

Men ziet echter spoedig in, dat ook deze wijze van kleuren te bepalen slechts gebrekkig wezen kan, want:

1°. Deze tafels zijn uit de hand gekleurd. Dit heeft het ongelukkig gevolg, dat, wanneer men twee of meerdere exemplaren van *dezelfde* uitgaaf neemt, toch de kleuren dikwijls volstrekt niet overeenstemmen.

2°. Sommige der gebezigde kleurstoffen zijn zeer gevoelig voor den invloed van licht en lucht, zoodat men zeker is, dat wanneer zulk eene tafel veel gebruikt wordt, men na verloop van eenigen tijd geheel andere kleuren, dan men oorspronkelijk had, er op vindt.

3°. De tafels kunnen slechts een bepaald aantal kleuren opnemen. Het is dikwijls moeilijk de daartussen gelegen tot de eene of andere der aangegevene kleuren terug te brengen.

Eene naauwkeurige en zoo mogelijk numerische bepaling der verschillende kleuren blijft dus steeds eene wetenschappelijke behoefte. Om daaraan te voldoen is het noodig, dat men, op eene eenvoudige wijze, eene opvolgende reeks van in elkander verloopende kleuren te voorschijn kunne brengen, die alle mogelijke tinten omvat; dat voorts de wijze van voortbrenging dier kleuren zoodanig zij, dat elke kleur aan een zeker getal verbonden worde en dus eene numerische bepaling erlange. Elke toestel, welke aan deze voorwaarden voldoet, is dan in den eigenlijken zin een kleurmeter.

De verschijnselen der interferentie en polarisatie van het licht bieden ons meer dan ééne zoodanige reeks van kleuren aan. Onder deze komen er twee bepaaldelijk tot kleurmeters in aanmerking, namelijk de kleuren der dunne lagen, door NEWTON onderzocht, en de kleuren der loodregt op de as gesnedene kwartsplaatjes in gepolariseerd licht, dat is, die der draaijende polarisatie.

TWEEDE AFDEELING.

KLEURMETERS BERUSTENDE OP DE KLEURSCHAAL VAN NEWTON.

Wij zijn de kennis der wetten, volgens welke de kleuren in zeer dunne plaatjes van vaste lichamen of in dunne lagen van vloeistoffen zich vormen, aan NEWTON verschuldigd: zijne wijze van proefneming was zeer eenvoudig. Hij plaatste eene bolle lens van zeer flauwe kromming op een vlak glas en bragt door eene geringe drukking de beide glazen in volkomen aanraking. Men ziet dan op de plaats van aanraking eene zwarte vlek, welke omgeven is door gekleurde ringen, die afwisselend lichter en donkerder zijn. NEWTON onderscheidde diensvolgens de aldus gevormde kleuren in orden, afgescheiden door de plaatsen van geringste helheid. In elke der vier eerste orden onderscheidt men met meerder of minder duidelijkheid de opvolgende kleuren van *blauw* door *geel* naar *rood*, in de volgende verbleeken de kleuren meer of min, men erkent slechts duidelijk het *blauwachtig groen* en het *rood*, terwijl na

de *zevende* orde de kleuren niet meer van *wit* te onderscheiden zijn.

Wanneer men, in plaats van het teruggekaatste, het door de dunne laag doorgelaten licht beschouwt, ziet men een tweede stelsel van ringen, beginnende met *wit* in het midden en ook overigens geheel complementair aan het stelsel der teruggekaatste ringen.

De dikten der luchtlaag, die tusschen de glasoppervlakten besloten is en in welke de kleuren zich vormen, nemen van het midden toe evenredig aan de kwadraten van den afstand van het middelpunt. Het was aan NEWTON gemakkelijk, de dikten, tot elke door terugkaatsing ontstane kleur behoorende, uit dien afstand en uit den bekenden kromtestraal der lens te berekenen en in eene tabel te vereenigen, die men de *kleurschaal* van NEWTON noemt.

NEWTON verklaarde deze kleuren uit zekere *accessen* van gemakkelijke terugkaatsing en doorlating, welke hij in zijne theorie der emanatie, aan de lichtdeeltjes toekende. Eerst in het begin dezer eeuw heeft TH. YOUNG de ware verklaring van het verschijnsel gegeven, door het in de theorie der undulatie terug te brengen tot het beginsel van de interferentie der aethergolven, die op de eerste en de tweede oppervlakte der luchtlaag worden teruggekaast.

Dezelfde reeks van kleuren kan ook verkregen worden, door de werking van dubbelbrekende kristalplaatjes op gepolariseerd licht. Zij ontstaan hier door de interferentie der twee lichtbundels, in welke het op het plaatje vallende licht door de dubbelbreking ge-

scheiden wordt, en die met eene ongelijke snelheid het plaatje doorloopen. Wanneer men in een polarisatie-toestel, in welken de tweede spiegel of nicol die stelling heeft, waarbij het licht uitgedoofd wordt en het veld dus zwart is, een éénassig kristalplaatje, loodrecht op de optische as gesneden, op den weg des lichts plaatst, brengt dit bij loodrechte invalling geene verandering te weeg, omdat de lichtstralen, in de richting der as doorgaande, niet dubbel gebroken worden. Draait men echter het plaatje om eene lijn in zijn vlak, zoo wordt het dadelijk gekleurd en de kleuren doorloopen bij toenemende helling de tinten der *kleurschaal* van NEWTON, des te sneller hoe dikker het plaatje is.

Plaatjes van éénassige kristallen, evenwijdig aan de optische as gesneden, vertoonen zich in den polarisatie-toestel, bij genoegzame dunte, dadelijk gekleurd. Hetzelfde is het geval met plaatjes van tweeassige kristallen, bijv. gyps of glimmer, die men bij voorkeur gebruikt, omdat zij gemakkelijk in dunne plaatjes met volkomen evenwijdige oppervlakten gespleten worden. De kleur is het helst wanneer de hoofdsnede van het plaatje een hoek van 45° maakt met het polarisatievlak van het invallende licht. Bij toenemende dikte van het plaatje doorloopt de kleur weder de verschillende orden van NEWTON, van *zwart* af (bij eene dikte $= 0$) tot aan het *wit* der hoogere orden.

Men kan echter ook de kleur wijzigen door helling van het plaatje op het invallende licht. Naarmate men de draaijng van het plaatje, bij de hierboven aange-

geven stelling, doet geschieden om de hoofdsnede of om eene daarop loodregte lijn in zijn vlak, klimt of daalt de kleur, maar steeds overeenkomstig met de *kleurschaal* van NEWTON.

Wanneer men voor een gegeven kristal de constanten kent, door welke zijn dubbelbrekend vermogen naar aard en sterkte bepaald wordt, kan men steeds bij elke dikte ¹⁾ en helling van het plaatje, volgens bekende formules de dikte der luchtlaag in NEWTON'S *kleurschaal* berekenen, die bij terugkaatsing dezelfde kleur zoude geven.

Worden te gelijker tijd twee of meer plaatjes met evenwijdige of gekruiste hoofdsneden in den polarisatie-toestel gebragt, zoo behoort de kleur, die gezien wordt, tot eene dikte van luchtlaag in de schaal van NEWTON, die de algebraïsche som is der dikten, tot elk der plaatjes behoorende; waarbij op te merken is, dat aan al die dikten hetzelfde teeken gegeven wordt, wanneer van de twee lichtbundels, die door dubbelbreking ontstaan, dezelfde bundel in al de plaatjes de snellere is, terwijl, indien de bundel, die in het eene plaatje, welks dikte nu als positief beschouwd wordt, de snellere is, in een ander plaatje de langzamere is, de dikte van dit plaatje als negatief moet beschouwd worden.

In plaats van den tweeden spiegel of nicol wordt dikwijls als analyseur van het uit het kristalplaatje tredende licht een geachromatiseerd dubbelbrekend

1) De dikten der glimmerplaatjes kunnen, met behulp van den sphaerometer, tot op minder dan $\frac{1}{1000}$ millimeter bepaald worden.

prisma gebruikt, welks hoofdsnede men doet zamen-vallen met het polarisatie-vlak van het invallende licht. Is dan het veld beperkt door een diaphragma met cirkelronde opening, zoo ziet men, in plaats van éenen, twee gekleurde cirkels, wier kleuren steeds aan elkan-der complementair zijn. Het ééne beeld is datgene, dat men ook door een nicol zou zien, welks hoofd-snede in het polarisatie-vlak ligt; het tweede zoude door den nicol gezien worden, indien men deze 90° om zijne as ronddraaide.

Hierboven (pag. 44) is reeds melding gemaakt van het gevoelen van NEWTON, volgens hetwelk de natuur-lijke kleuren der lichamen op dezelfde wijze ontstaan als de kleuren der dunne lagen, waaruit noodwendig volgt, dat elke natuurlijke kleur moet overeenkomen met eene der kleuren van zijne kleurschaal. BIOT, die een ijverig voorstander was van dit gevoelen, heeft hieruit aanleiding genomen om een kleurmeter te ver-vaardigen, waaraan hij den naam van *colorigrade com-parable* gegeven heeft ¹⁾. Dit werktuig is een éenvou-dig polarisatie-toestel. Het bestaat uit een spiegel van zwart glas, geplaatst voor eene buis, en welke door middel van eene schroef zoodanig kan gesteld worden, dat de door zijne oppervlakte teruggekaatste stralen gepolariseerd in de buis treden. Aan de andere zijde

1) De eerste mededeeling van BIOT omtrent dit werktuig is van 1816 (Ann. de chim et de Phys. 1817. Tom. 4 p. 91). Ik volg hier de beschrijving voorkomende in zijn *Précis élé-mentaire de Physique*. 3^e Edit. 1824. Tom. 2 pag. 607.

der buis bevindt zich een gechromatiseerd dubbelbrekend prisma. Om de kleuren voort te brengen is er tusschen den spiegel en het prisma een dun plaatje van éénassigen glimmer, waaraan door eene draaijende beweging verschillende hellingen kunnen gegeven worden, maar steeds zoo, dat het vlak van invalling een hoek van 45° maakt met het oorspronkelijk polarisatievlak. Wanneer dit plaatje gesteld is onder loodrechte invalling, is er geene kleuring; het eene beeld is *zwart*, het andere *wit*. Doet men nu het plaatje op den lichtstraal hellen, zoo vertoont het vroeger *zwarte* beeld achtereenvolgens de kleuren der orden van NEWTON met volkomen regelmatigheid. Wanneer het plaatje zuiver is en men als invallend licht het *witte* licht der door de zon beschenen wolken gebruikt, zijn de kleuren bijzonder fraai en hel.

BIOT verkiest natuurlijke plaatjes van éénassigen glimmer bij voorkeur boven andere éénassige kristallen, omdat zij gemakkelijk door splijting verkregen worden en, wanneer dit met zorg geschied is, hunne oppervlakten volkomen evenwijdig zijn, eene voorwaarde, waaraan men niet volkomen kan voldoen, indien men zich bedient van plaatjes, die door de kunst geslepen zijn. Om echter kleuren te verkrijgen, waarvan de overgangen langzaam geschieden, moet het glimmerplaatje zeer dun zijn; maar in dat geval doorloopt de kleur zelfs bij sterke hellingen slechts een gering aantal van termen der kleurschaal. Ten einde de overige te verkrijgen, zonder de voordeelen op te offeren, die de dunte van het plaatje aanbiedt, gebruikt Biot eenige

andere plaatjes van verschillende dikte, meestal uit den tweeassigen Siberischen glimmer, en bevestigt in de buis een dier plaatjes, waarvan de kleur in gepolariseerd licht ongeveer met de te bepalen kleur overeenkomt, in zoodanige stelling, dat zijne hoofdsnede een hoek van 45° met het polarisatie-vlak maakt. Het draaibare éénassige plaatje verandert die kleur niet, zoolang het in de stelling van loodregte invalling is. Brengt men het echter uit die stelling in verschillende hellingen, zoo voegt zich zijne werking, welke met de helling toeneemt, bij die van het vaste plaatje en doet de kleur in de kleurschaal rijzen of dalen, naarmate de hoofdsnede van het vaste plaatje aan de eene of de andere zijde van het oorspronkelijke polarisatie-vlak gelegen is. Op die wijze kan men den toonder kleur, dien men in den kleurmeter ziet, gelijk maken aan de te bepalen kleur, waarna men uit de dikten der beide plaatjes en de helling van het éénassige nauwkeurig de numerische waarde dier kleur in de kleurschaal van NEWTON berekenen kan. Door deze aanwijzing zal elk ander waarnemer, zonder die kleur gezien te hebben, haar even nauwkeurig kunnen te voorschijn brengen als degeen, die haar onmiddellijk met het voorwerp vergeleken heeft.

Eene vereenvoudiging van den kleurmeter van BIOT is in 1829 door Dr. A. VAN BEEK voorgeslagen ¹⁾. Daar te dier tijde de geachromatiseerde dubbelbrekende pris-

1) Nieuwe verhandelingen der 1^e klasse van het Kon. Ned. Instituut II. 217.

ma's nog moeilijk te verkrijgen waren, gebruikte hij in plaats daarvan als analyseur een tweeden zwarten spiegel, zoodanig gesteld, dat zijn reflectievlak loodrecht was op het reflectievlak des eersten of polariserenden spiegels. Voorts verving hij den zeldzamen éénassigen glimmer van BIOT door een plaatje van tweeassigen glimmer en koos dat zoo dun, dat het bij loodrechte invalling het *blauw* der 4^e orde van NEWTON'S tafel vertoonde. Meerdere andere plaatjes van dezelfde dikte (uit één zelfden grooten glimmerplaat gesneden) dienden hem om, waar dit noodig was, de kleur tot hoogere orde te doen opklimmen, dan met het eerste plaatje alleen kon verkregen worden, hetgeen, zelfs bij eene helling van 70°, slechts het *oranje* of *rood* der 2^e orde bereikte. Deze plaatjes werden daartoe in eene met eené ronde opening voorziene lade geplaatst, die in de buis van het werktuig geschoven werd.

Daar echter in het begin der tafel de verschillende toonen elkander veel langzamer opvolgen dan verder op, was het hem niet mogelijk door de enkele waarneming der kleur van elk individueel plaatje hare numerische waarde in de kleurschaal te bepalen. Het gebruik van den sphaerometer wantrouwende, omdat de oppervlakte des glimmers zelden geheel vlak is en volkomen vrij van geringe golvingen, bezigde VAN BEEK daartoe de volgende wijze van repetitie. Hij plaatste eenige der gemelde glimmerplaatjes op elkander in de lade, om tot orden op te klimmen, alwaar de kleursveranderingen zeer snel zijnde minder onzekerheid in

de juiste bepaling van de numerische waarde der kleur overlieten, en deelde vervolgens het getal van NEWTON'S tafel, hetgeen daarmede overeenstemde, door het getal van plaatjes tot deze proefneming gebezigd.

Reeds dadelijk, nadat BIOT zijne eerste mededeeling omtrent zijnen kleurmeter had gedaan, werden door ARAGO daartegen bedenkingen in het midden gebragt 1). Zij betreffen de stelling door BIOT als beginsel aangenomen, dat elke van de kleuren der natuurlijke ligchamen noodwendig identisch moet zijn met ééne der kleuren van de ringen van NEWTON. ARAGO merkt daartegen op dat, — zelfs indien men de door NEWTON aangenomen gelijkstelling (assimilation) van de kleuren der dunne lagen en van die der natuurlijke ligchamen, welke echter hypothetisch is, in het algemeen als gegrond beschouwt, — er echter eenig bezwaar is om in den *Colorigrade* een middel te zien tot voortbrenging van al de schakeringen van kleuren, die deze ligchamen kunnen aanbieden.

Wanneer een bundel van *wit* licht op eene dunne laag valt en er ringen vormt, gaat geene enkele straal verloren; de doorgelatene kleur, bij de teruggekaatste kleur gevoegd, geeft altijd *wit*. In de onvolmaakt doorzigtige ligchamen zijn deze twee kleuren zelden complementair ten aanzien van den toon; welligt nooit ten aanzien van de intensiteit. Hieruit ontstaat de door alle natuurkundigen erkende noodzakelijkheid om aan te nemen, dat een grooter of kleiner gedeelte van het invallend licht bij zijnen doorgang door de ligchamen

1) Ann. de Chim. et de Phys. Tom. IV p. 95.

vernietigd, opgeslorpt wordt. Hoewel de wetten dier opslorping ons onbekend zijn, weet men echter, dat zij wezenlijk verschillen van die, welke de ontbinding van het *witte* licht aan de tweede oppervlakte der dunne lagen regelen. Zonder de opslorping zouden (in de hypothese van NEWTON) de door elke gekleurde middelstof doorgelatene toonen in de klasse dergenen vallen, die de *Colorigrade* kan verwezenlijken. Na de opslorping, welke bij dit werktuig niet voorkomt, is er tusschen de twee verschijnselen geene gelijkheid meer. ARAGO beroept zich hier als voorbeeld op de prismatische analyse van het door het *blauwe kobaltglas* doorgelatene en reeds door TH. YOUNG onderzochte licht.

Dezelfde opmerkingen worden door ARAGO op de teruggekaatste toonen toegepast. De stralen, die de eigene kleur der lichamen vormen, treden uit hun binnenste te voorschijn. Indien het ligchaam ondoorzigtig is, laat het zich door de lichtstralen slechts tot eene geringe diepte doordringen, maar die korte weg kan vergezeld gaan met eene zeer merkbare opslorping. Eene soortgelijke uitdooving zal plaats hebben ten aanzien der stralen, die, eene grootere dikte van een half doorzigtig ligchaam doorloopen hebbende, naar het oog terugkeeren, na in het inwendige des ligchaams teruggekaast te zijn. Vóór de opslorping, zouden de bij terugkaasting geziene kleuren hare overeenkomstige gevonden hebben in die van de gekleurde ringen of van den *Colorigrade*: zal dit ook nog plaats hebben, wanneer zij zullen gewijzigd zijn door de onttrekking van sommige der stralen, die hen zamenstellen? Even zeker als het

is, dat de *Colorigade* het middel verschaft om naar willekeur ten allen tijde en in elk klimaat dezelfde soorten van toonen te voorschijn te roepen, gewis eene zeer te waarden eigenschap, evenzeer schijnt het twijfelachtig, dat men daardoor al de toonen kan verwezenlijken, welke de natuurlijke lichamen opleveren.

Wij zien hieruit dat ARAGO reeds in 1817 dezelfde bedenkingen tegen de NEWTON'sche verklaring der kleuren van de natuurlijke lichamen in het midden gebragt heeft, die, zooals hierboven (pag. 44) vermeld is, later door BREWSTER, STOKES en anderen nader zijn aangedrongen. In der daad, zoodra het bewezen is, dat de ongelijke opslorping der verschillend gekleurde lichtstralen in de lichamen eene voorname oorzaak is van hunne kleuring, vervalt de reden, waarom men tot verklaring van dit verschijnsel tot de theorie der dunne lagen zijne toevlugt zoude nemen, wier toepassing in dit geval gegrond is op willekeurige hypothesen omtrent den vorm en de grootte van de kleinste deeltjes der lichamen, van welke ons niets bekend is.

Wij moeten hier nog gewag maken van eene kleurschaal door NOBILI aangegeven ¹⁾ en die in beginsel zich naauw aan die van NEWTON aansluit. Genoemde geleerde had in 1826 ontdekt, dat wanneer men door eene oplossing van een metaalzout een galvanische stroom laat gaan, en daarbij als positieve elektrode een gepolijst metaalplaatje, als negatieve elektrode een me-

1) Bibl. Univers. 1830. XLIV. 337. XLV. 35. SCHWEIGGER-SEIDEL Neues Jahrb. der chemie und Physik 1831. I. 406. III. 37.

talen punt bezigt, op de plaat een stelsel van ringen ontstaat, wier gemeenschappelijk middelpunt tegen de negatieve punt overstaat, en die zich bij voortgang des strooms meer en meer uitbreiden. Men kan er tot zes of zeven tellen, daarna verkrijgt men een éénkleurig graauw. De ringen zijn vooral fraai, wanneer men eene oplossing van azijnzuur loodoxyde als elektroliet gebruikt. NOBILI schreef ze toe aan eene dunne laag van de elektro-negatieve bestanddeelen der oplossing (zuurstof en zuur). Het is later gebleken, dat de laag uit het hyperoxyde van lood bestaat, dat bij genoegzame dunte doorzigtig is. De kleuren, die men waarneemt, zijn dus die van dunne lagen. Daar echter het hyperoxyde begrensd is door twee middelstoffen, waarvan de eene (de oplossing of, na reiniging der plaat, de lucht) eenen kleineren, en de andere (het metaal) eenen grooteren brekingsindex heeft, komen de ringen overeen met diegene, welke eene luchtlaag tusschen twee glazen platen in het doorgelatene licht vertoont ¹⁾. Daar echter de dikte der laag van het midden naar den omtrek afneemt, klimt de orde der ringen van de buitenste naar het midden toe.

Bij voortzetting zijner proeven, gelukte het aan NOBILI metaalplaten met gelijkaardige kleuren te overdekken. Hij verving daartoe de negatieve punt door eene vlakke plaat, in het vocht evenwijdig geplaatst aan die, op

1) BEETZ in POGG. Ann. Bd. 71. pag. 82. De vergelijking, die NOBILI maakt tusschen de reeks zijner kleuren en die van de ringen van NEWTON, in teruggekaatst licht, is dus onjuist.

welke de kleur moest voortgebracht worden. Het was hem nu niet moeilijk, door regeling van den duur der bewerking, eene reeks van toonen te verkrijgen, naar hunne natuurlijke opvolging geordend. De kleurschaal, die hij op deze wijze vervaardigde, bestond uit 44 kleuren, waarvan elke op eene staalplaat ontstaan was, en die de vier eerste orden van kleuren omvatteden. Het is deze schaal, die hij wenscht ten grondslag te leggen bij de beoordeeling van de kleuren der natuurlijke ligchamen.

Men ziet echter ligt in, dat deze kleurschaal achterstaat bij den *colorigrade* van BIOT. Niet alleen geeft zij, even als de *kleurtafels*, slechts een bepaald aantal van kleuren, tusschen welke de overgangstoonen ontbreken, maar hare vervaardiging vereischt ook eenen geruimen tijd en eene langdurige oefening. Buitendien mist zij het groote voordeel van *vergelijkbaar* te zijn, waar en door wien ook vervaardigd; want de toon, die op de positieve plaat ontstaat, hangt behalve van den duur der bewerking, nog van zoo vele andere omstandigheden af, als daar zijn: de stoomsterkte, de verzadiging en temperatuur van het vocht, de grootte en afstand der platen enz., dat men niet verwachten kan, dat twee kunstenaars, al werkten zij naar hetzelfde voorschrift, volmaakt identische kleuren zouden verkrijgen.

DERDE AFDEELING.

KLEURMETERS, BERUSTENDE OP DE KLEURVERSCHIJNSELEN BIJ DRAAIJENDE POLARISATIE.

Wij zagen dat het beginsel, van hetwelk BIOT bij de zamenstelling van zijn kleurmeter is uitgegaan, in strijd is met de uitkomsten van de prismatische analyse der natuurlijke kleuren. Deze kleuren, grootendeels zoo niet geheel, door opslorping des lichts ontstaan, zijn, wat hare zamenstelling betreft, zeer verschillende van de kleuren der dunne lagen, die de kleurmeter van BIOT vertoont. Hierdoor vervalt de wetenschappelijke waarde, die aan dit werktuig door zijnen uitvinder werd toegekend, en de vraag rijst op, of niet elk ander middel om eene cirkelreeks van kleuren op eene steeds gelijke (standvastige) wijze voort te brengen, tot grondslag van een kleurmeter kan dienen.

Deze vraag schijnt bevestigend beantwoord te moeten worden. Het is toch het algemeen gevoelen der natuurkundigen, dat wanneer men van eene gegevene kleur uitgaande door een stadige reeks van elkander opvolgende kleurschakeringen tot dezelfde kleur terug-

komt, men daarbij alle mogelijke kleurtoonën moet doorloopen hebben. Onder meerderen kunnen wij ons hier op GRASSMANN ¹⁾ beroepen, die, na opgemerkt te hebben, dat de homogene kleuren des spectrum's zulk eene gesloten kleurenreeks vormen, mits men daarbij het *purper* als overgangskleur tusschen *violet* en *rood* opneemt, vervolgt: »es lässt sich jeder Lichteindruck nachahmen, indem man eine homogene Farbe von bestimmter Intensität mit farblosem Lichte von bestimmter Intensität vermischt." CHEVREUL, die, door zijne betrekking aan de fabriek der GOBELINS, meer dan eenig ander eene grondige studie der kleuren gemaakt heeft, neemt ook in zijne schaal geene andere kleurtoonën op, dan die, welke door binaire combinaties der drie grondkleuren *rood* en *geel*, *geel* en *blauw*, *blauw* en *rood* verkregen worden. Wel is waar hebben velen, bij de toepassing van de theorie der drie grondkleuren, niet alleen de binaire, maar ook de ternaire mengsels in hunne kleurschalen opgenomen. Hierdoor verkregen zij geen nieuwe maar slechts donkerder tinten, welk doel CHEVREUL evenzeer bereikte door bij de binaire mengsels in verschillende verhoudingen *zwart* te voegen ²⁾.

Behalve deze twee gesloten kleurenreeksen, die der prismatische kleuren (met toevoeging van *purper*) en die der binaire mengsels van de drie grondkleuren, bestaan er nog andere, die meer bepaaldelijk voor kleur-

1) POGG. Ann. Bd. 89 pag. 70.

2) CHEVREUL du contraste simultané des couleurs pag. 87 et suiv.

meters geschikt zijn. Uit dit oogpunt zijn vooral opmerkelijk de kleuren der loodregt op de optische as gesnedene kwartsplaten in gepolariseerd licht, welke, tegelijk met de kleuren der dunne gips en glimmerplaatjes, het eerst door ARAGO zijn bekend gemaakt ¹⁾.

Het kwarts is optisch éénassig, maar onderscheidt zich van de overige éénassige kristallen door de eigenschap, dat loodregt op de as gesnedene plaatjes ook bij loodregte invalling het gepolariseerde licht kleuren. Deze kleuring ontstaat uit een draaijend vermogen, dat het kwarts op het polarisatievlak van het in de rigting der optische as doorgaande licht uitoefent, en welks sterkte voor elke homogene kleur verschillend is, geringer voor de minder breekbare, grooter voor de meer breekbare kleuren der spectrums. De draaijing van het polarisatievlak is voorts evenredig aan de dikte van het plaatje. Haar bedrag bij 4 millim. dikte is voor elke kleur des spectrums door BIOT nauwkeurig bepaald.

Ligt de hoofdsnede van den analyserenden nicol des polarisatietoestels in het polarisatievlak van het invalende witte licht, zoodat, zonder tusschenkomst van het kwarts, het veld donker is, en plaatst men achtereenvolgens kwartsplaatjes van verschillende dikte op den weg des lichts, zoo vertoonen deze eene opvolgende reeks van kleuren, welke bij eene te geringe of te groote dikte flauw, maar vooral levendig zijn bij plaatjes van

¹⁾ Mémoires de la classe des Sciences Mathém. de l'Institut de France 1811, pag. 93.

4 tot 9 millimeters, en binnen deze grenzen de reeks der kleuren doorloopen in de orde: *geel, rood, violet, blaauw, groen*. Bij aanwending van een dubbelbrekend prisma in plaats van den nicol ziet men hier ook weder twee beelden, die steeds complementair zijn.

Men verkrijgt echter op eenvoudiger wijze eene volmaakt geslotene reeks van kleuren met slechts één plaatje van behoorlijke dikte bijv. van 6 millim. Plaatst men dit in den polarisatietoestel, de hoofdsnede des dubbelbrekenden prisma's in het polarisatievlak gelegen zijnde, zoo ziet men een *rood* en een *groen* beeld. Draait men nu het prisma rond, zoo verschijnen achtereenvolgens al de toonen der kleurenreeks, zoodat na 90° draaijing elke der beide aanvankelijke kleuren in hare complementaire is overgegaan, en na 180° draaijing de aanvankelijke kleuren weder optreden.

Men ziet dus dat, om op deze wijze eenen vergelijkbaren kleurmeter te verkrijgen, het slechts noodig is, de hoegrootheid der draaijing te kunnen aangeven door middel van eenen met het prisma verbonden index, die zich beweegt over eenen aan de achterzijde van den polarisatietoestel aangebragten verdeelden cirkel.

Zoowel de polariskoop van ARAGO, als de saccharimeter van SOLEIL, voldoen aan de hier vermelde voorwaarden. In den polariskoop van ARAGO, waarover ik beschikken konde, bevond zich een kwartsplaatje van 6 m. m.; in den saccharimeter konde, door middel van den compensateur, eene willekeurige dikte van kwarts tot aan 6 m. m. gebragt worden, terwijl mij nog dik-

kere kwartsplaatjes van ongeveer 7 en 8 m. m. ten dienste stonden.

Met de genoemde werktuigen heb ik vele proeven omtrent het meten van kleuren in het werk gesteld, de uitkomst was echter verre van bevredigend. Het bleek spoedig, dat het in vele gevallen uiterst moeilijk is, den kleurtoon van een natuurlijk ligchaam in den kleurmeter terug te vinden, waardoor men bij het draaijen van het dubbelbrekend prisma meerdere graden onzeker blijft. Dit blijkt reeds uit de afwijkingen, welke herhaalde metingen eener zelfde kleur door denzelfden waarnemer opleveren; bij afwisseling van waarnemers nemen die verschillen nog toe.

De reden hiervan is niet ver te zoeken. Hierboven (pag. 50) is reeds volgens GRASSMANN opgemerkt, dat de indruk, die eene kleur op het oog maakt, van drie momenten afhangt: den toon der kleur, de intensiteit der kleur en de intensiteit van het daarmede gemengde *wit*. Zijn nu deze twee laatste momenten in twee te vergelijken kleuren zeer verschillend, dan wordt het oordeel over de al of niet gelijkheid der kleurtoon tevens hoogst onzeker. De kleuren van den polariskoop of saccharimeter, die ter vergelijking dient, zijn alle met eene bepaalde hoeveelheid *wit* licht vermengd, en hebben eene bepaalde intensiteit. Wijken de te onderzoeken kleuren te veel af, zoo wordt eene nauwkeurige kleurmeting onmogelijk. Dit is bijv. door te geringe intensiteit der kleur het geval bij al de variëteiten van *wit*, *grijs*, *zwart* en *bruin*, die bij de mineralen zoo veelvuldig voorkomen. Maar ook eene te groote intensiteit

der kleur kan even bezwarend zijn voor de kleurmeting. Zoo was het mij bijv. onmogelijk den kleurtoon van het prismatisch *rood*, of van het *rood*, dat men door een met koperoxydule gekleurd glas ziet, onder de kleuren van den kleurmeter terug te vinden.

Deze zwarigheid rust niet alleen op de kleurmeters, waarin de kleuren door circulaire polarisatie worden voortgebracht, zij komt ook voor bij den colorigrade van BIOT. Wel is waar heeft deze het voordeel dat, daar hij in de verschillende orden der kleurschaal meer dan een *rood*, *geel*, *groen* enz. oplevert, er meer kans is, dat men onder die kleuren er eene treft, die met de te bepalen kleur ten aanzien der intensiteit van de kleur en van het bijgemengde *wit* genoegzaam overeenkomt, om over de identiteit des kleurtoons met volle overtuiging te beslissen; dit zal echter ook dikwijls falen, terwijl de veelvuldigheid der hier voorkomende kleuren van denzelfden toon, die echter door het werktuig niet te gelijker tijd aan het oog aangeboden, en met de te bepalen kleur kunnen vergeleken worden, veeleer belemmerend is voor de waarneming. Aan deze oorzaken is het waarschijnlijk toe te schrijven, dat de Colorigrade van BIOT geene nuttige toepassing in de wetenschap of kunst gevonden heeft, maar spoedig is vergeten geworden, zoodat zelfs in het vrij volledige *Répertoire d'Optique* van MOIGNO er met geen enkel woord melding van gemaakt is.

Wij worden in dit gevoelen bevestigd, door eenige opmerkingen voorkomende in een opstel van HELMHOLTZ

over de zamenstelling der spectraalkleuren, 1) dat ons eerst onder de afdrukken dezer verhandeling is ter hand gekomen, en waarvan ons vroeger slechts het korte, op bladz. 7 vermelde, uittreksel bekend was. Zij betreffen den invloed van de intensiteit der kleur en van de hoeveelheid bijgemengd licht op den waargenomen kleurtoon.

Zoo bewijst HELMHOLTZ proefondervindelijk 2), dat het *hemelsblaauw*, welks kleurtoon door GRASSMANN aan het minder breekbare *blaauw* des spectrums, het *coeruleum* van NEWTON, gelijkgesteld wordt, werkelijk een *witachtig* (verbleekt) *indigoblaauw* is, weshalve men de minder breekbare toonen van het *blaauw* in het spectrum niet *hemelsblaauw* mag noemen, hoewel zij bij eene voor het oog geschikte lichtsterkte meer met *hemelsblaauw* schijnen overeen te komen, dan het *indigoblaauw*.

Iets verder van de kleurtoonen sprekende, die aan het meer breekbare einde des spectrums nog kunnen waargenomen worden, en van den invloed dien eene ongelijke sterkte van het zonlicht op de kleuren uitoefent, zegt hij 3): »hoe lichtzwakker het *violet* wordt des te meer bekomt het eene streek van het *rosa*. Vermeerdert de lichtsterkte, zoo wordt de kleurtoon meer naar *blaauw* gelijkend, en gaat in een *witachtig grijsblaauw* over.”

Zelfs meent hij 4), dat het *witte* zonlicht niet altijd

1) POGG. Ann. Bd. 94, p. 1.

2) T. a. p. p. 6.

3) T. a. p. p. 13.

4) T. a. p. p. 20.

denzelfden toon heeft en beroept zich daarbij op de waarneming van *DOVE*, dat bij sterke verlichting de *roode* en *gele*, bij zwakke verlichting de *blauwe* kleuren meer indruk op het oog maken. Dus zal ook het zonlicht, hoewel wij dit bij alle graden van helheid als het normale *wit* beschouwen, bij grootere lichtsterkte een meer *gele*, bij zwakkere een *blauwen* kleurtoon hebben. Hierin vindt HELMHOLTZ de wetenschappelijke regtvaardiging voor de gewoonte der landschapschilders, die hellen zonneschijn door *gele*, maanschijn daarentegen door *blauwen* kleurtoon uitdrukken.

Indien wij nu uit kracht dezer opmerkingen gedrongen worden de stelling aan te nemen, dat ons oordeel over den toon eener kleur afhankelijk is van hare lichtsterkte en van de hoeveelheid bijgemengd *wit*, zoo schijnt daarmede tevens bewezen, dat het niet mogelijk is, de toonen van de, ten aanzien dier beide momenten oneindig verschillende, kleuren der natuurlijke lichamen te meten door vergelijking met ééne bepaalde kleurenreeks. Daarmede zoude het beginsel, hetwelk tot dusverre aan de kleurmeters tot grondslag gediend heeft, ten eenenmale wederlegd zijn.

INHOUD.

HOOFDSTUK I.

KLEURMENGING.

	Blz.
AFD. 1. Prismatische kleuren.....	1.
» 2. Natuurlijke kleuren der lichamen.....	12.
» 3. Prismatische analyse van het door gekleurde glazen of vochten doorgelaten licht.....	19.
» 4. Mengsels van kleurstoffen.....	26.

HOOFDSTUK II.

THEORIËN DER KLEURMENGING.

AFD. 1. De drie grondkleuren.....	33.
» 2. Kleurschijf van NEWTON.....	45.
» 3. Kleurschijf van GRASSMANN.....	49.

III.

De Teleologie is den vooruitgang der wetenschappen heilzaam, waar zij opwekt; nadeelig, waar zij ter verklaring wordt aangewend.

IV.

Bruinsteen werkt als ontkleuringsmiddel van door ijzer-oxydule groengekleurd glas niet Chemisch maar Physisch.

V.

Lakmoes mag niet beslissen omtrent neutraliteit.

VI.

De vergelijking die NOBILI maakt tusschen de reeks zijner kleuren en die der ringen van NEWTON is onjuist.

(Diss. pag. 73.)

VII.

De warmte-ontwikkeling op de zon schrijven wij met THOMSON toe aan het voortdurend vallen van stof op dit ligchaam.

VIII.

Licht is zichtbare warmte.

IX.

De opslorping van het licht kan niet door interferentie verklaard worden.

X.

De warmte-ontwikkeling in de galvanische keten is equivalent aan de verbruikte chemische kracht.

XI.

De verschijnselen van het diamagnetismus hebben aan de theorie van AMPÈRE boven die der twee magnetische vloeistoffen den voorrang verzekerd.

XII.

Het is meer waarschijnlijk, dat het meerendeel der beenderen in de zoogenaamde beenderengrotten door overstromingen daarin is gevoerd; dan dat die grotten alleen de overblijfselen bevatten van hare bewoners en van hunne prooi.

XIII.

De uitbarstingen der vulkanen moeten niet alleen aan de inkrimping der aardkorst, maar ook aan de werking des waters worden toegeschreven.

XIV.

De zoogenaamde watervaten der Lumbricinen en Hirudineën zijn geene respiratie- maar excretie-organen.

XV.

De verrigting van de milt bestaat in het in evenwigt houden van de bestanddeelen en de hoeveelheid des bloeds.

XVI.

De ontarding der vruchtsoorten moet meer toegeschreven worden aan de slechte behandeling der boomen, dan dat deze door herhaalde enting hunne goede eigenschappen zouden verloren hebben.

AAN ZIJNEN VRIEND

TH. VAN DOESBURGH,

BIJ ZIJNE BEVORDERING TOT DOCTOR IN DE WIS- EN NATUURKUNDE

6 FEBRUARIJ 1855.

Licht en liefd' omstraal uw volgend leven!
Welkom! welkom op de nieuwe baan!
Milde zegen rust' op al uw streven!
Kracht en moed geleid' U op uw paên!
Wat uw hart in hooge geestvervoering
Als het grootste heil op aarde
In den droom der jeugd ontwaarde,
Moogt gij dat in nameloos' ontroering
't Uwe noemen, en uw dankend' oogen
Heffen tot den Gever in den hoogen!

Heerlijk stijgt de zon aan 's hemels transen
Uit den liefelijken morgengloed;
Ziet de velden in haar stralen glanzen
Ziet haar spieglen in den klaren vloed. —

Maar daar rijzen zwarte donderwolken
Aan de tintelende kimmen
— Hoe zij jagen, hoe zij klimmen!
Donders raatlen in de sombre kolken,
Bliksemschichten schieten heen en weder;
Bevend buigt natuur haar hoofd ter neder.

Maar door stormen en door onweêrsvlagen
Breekt een zilvren straal der zonne heen;
En, als door haar toovergloed verslagen
Vliedt het zwarte hemelfloers uiteen.
Koestrend straalt de zonne van den hoogen;
Spiegelt zich in zilvren droppen
Aan de takjes, aan de toppen,
Straks nog door den rukwind neêrgebogen;
Koele windjes suizen door de bladen;
Alles is met zegen overladen.

Moog' aldus, wen stormen U omringen
Op het moeilijke levenspad,
In uw hart een straal des hemels dringen,
Dat de nevel uit elkander spatt';
Welken naam die sprank van licht moog' dragen,
Of de liefd' uw weg omgeve,
Of de hoop in 't harte leve,
Zij zal nacht en nevelen verjagen;
En met nieuwen gloed, met jeugdig pralen
Zal de levenszon uw hoofd bestralen.

—

Waar U dan uw schreden henenvoeren,
Moge hier of ginds uw plaatse zijn,
Moogt g' in wijden kring uw taak volvoeren
Of in stillen vrede nuttig zijn;
Wat U ook op aarde zij beschoren,
Zij het vreugde, zij het smart,
Eeuwig blijft het vriendenhart
Met de trouw der jeugd U toebehooren,
Wat voor U de toekomst moog' verhelen
Blijft het leed en vreugde met U deelen.

UTRECHT,
27 Jan. 1855.

Dr. W. A. J. VAN GEUNS.

