



De fotografische somwet en haar geldigheidsgebied

<https://hdl.handle.net/1874/315693>

1. 4. 1933, 1933

DE FOTOGRAFISCHE
SOMWET
EN HAAR
GELDIGHEIDSGEBIED

Diss.
Utrecht

1933

DE FOTOGRAFISCHE SOMWET EN HAAR GELDIGHEDSGEBIED

P R O E F S C H R I F T

TER VERKRIJGING VAN DEN GRAAD VAN
DOCTOR IN DE WIS- EN NATUURKUNDE
AANDERIJKSUNIVERSITEITTEUTRECHT
OP GEZAG VAN DEN RECTOR-MAGNI-
FICUS Dr. C. W. STAR BUSMANN,
HOOGLEERAAR IN DE FACULTEIT DER
RECHTSGELEERDHEID, VOLGENS
BESLUIT VAN DEN SENAAT TEGEN DE
BEDENKINGEN VAN DE FACULTEIT DER
WIS- EN NATUURKUNDE TE VER-
DEDIGEN OP DINSDAG 12 DECEMBER
1933 DES NAMIDDAGS TE 4 UUR DOOR
ARNOLD VAN KREVELD
GEBOREN TE AMSTERDAM

CH. NIJPELS
AMSTERDAM
MCMXXXIII

BIBLIOTHEEK DER
RIJKSUNIVERSITEIT
UTRECHT.

AAN MIJN OUDERS.

De voltooiing van dit proefschrift biedt mij de gelegenheid om mijn dank te richten tot hen, die tot mijn wetenschappelijke vorming hebben bijgedragen.

Veel dank ben ik verschuldigd aan de hoogleeraren en docenten der wis- en natuurkundige faculteit te Amsterdam, in 't bijzonder aan u, hooggeleerde Mannoury, die door uw diepgaande en boeiende colleges een zoo grooten invloed op mijn denkwijze hebt uitgeoefend en aan u, hooggeleerde de Vries, die mij de eerste schreden op het pad der wiskunde zoo aangenaam hebt gemaakt.

Ook u, hooggeleerde Weitzenböck en hooggeleerde Brouwer, dank ik voor hetgeen ik op het gebied der wiskunde heb geleerd.

Hooggeleerde Clay, u dank ik voor uw vriendelijke tegemoetkoming bij mijn experimenteel werk en u, hooggeleerde Aten, breng ik dank voor den leerrijken en aangename tijd, welke ik op het electrochemisch laboratorium heb doorgebracht en waar u jegens mij, niet-chemicus, zooveel belangstelling hebt getoond.

Hooggeleerde Kramers, hooggeleerde Pannekoek, hooggeleerde Wibaut en zeergeleerde Büchner, u dank ik voor uw interessante colleges.

Zeer veel ben ik verschuldigd aan u, hooggeleerde Ornstein. Hoewel ik niet uw leerling was, was u dadelijk bereid mij gelegenheid te geven voor fotografisch onderzoek en mijn promotor te zijn. Uw hartelijke belangstelling in mijn werk en mijn persoon, uw veelzijdige raadgevingen hebben mij het werken op uw laboratorium tot een van de mooiste deelen van mijn studie gemaakt.

En ook u, assistenten en collega's van het Utrechtsche laboratorium, dank ik voor de steeds zoo gul verleende medewerking.

Den heer Reman dank ik voor zijn conscientieuze hulp bij de metingen.

Tenslotte spreek ik mijn bijzonderen dank uit jegens stichters en bestuurderen van het Rosenberg-fonds voor de mij verleende onderscheiding, welke van zoo grooten invloed op mijn loopbaan is geworden.

INHOUD.

Hoofdstuk I: de kleurgevoeligheid van fotografische emulsies	9
Hoofdstuk II: de apparatuur voor het meten van kleur- gevoeligheden	13
De monochromator-opstelling	13
Mengtoestel met filterkleuren	15
De microfotometer	16
De pyrometer-opstelling	16
De Goldberg-densograaf	18
De invloed van het Eberhard-effect	18
Hoofdstuk III: methoden om de meetresultaten in wetten samen te vatten	19
De waarde van zwartingskrommen	19
De somwet	20
Hoofdstuk IV: experimenteele toetsing der somwet onder varieerende omstandigheden	22
1. De aard van de emulsie	23
2. De mengverhouding der kleuren	27
3. De golflengte der kleuren	30
4. Het aantal kleuren	32
5. De zwarting	32
6. De belichtingstijd	33
7. De wijze van ontwikkelen	34
8. De methode der zwartingsmeting	36
Hoofdstuk V: de somwet en haar geldigheidsgebied	37
Discussie van de waarnemingen	37
De somwet voor meer dan twee kleuren	38
De physische inhoud van de somwet	40
Bijzondere gevallen	41
Practische toepassing van de somwet	41
Hoofdstuk VI: metingen ter verklaring van de somwet	43
Pogingen tot uitbreiding der somwet	43
De invloed van de ontwikkeling	46
De methode der eenlaag-ontwikkeling	48

De invloed van de zwartingsmeting	50
De oorzaak der gradatieverschillen	52
Hoofdstuk VII: theoretische afleiding van de somwet . . .	56
Analytische beschouwing	56
Physische verklaring	57
De dikte van de gevoelige laag	62
Hoofdstuk VIII: de invloed van den belichtingstijd . . .	65
De reciprociteitswet en de somwet	65
De exponent van Schwarzschild	65
De tijdsexponent voor verschillende kleuren	67
De tijdsexponent en de somwet	68
Literatuur	71

HOOFDSTUK I.

DE KLEURGEVOELIGHEID VAN FOTOGRAFISCHE EMULSIES.

HET feit, dat de verschillende kleuren op de fotografische plaat niet even helder worden weergegeven als het menschelijk oog ze waarneemt, is reeds sinds den begintijd der fotografie bekend. De fotograaf spreekt van „vervalsching der toonwaarden" en dit verschijnsel was reeds vroeg de aanleiding tot de studie van de fotografische kleurgevoeligheid. Nu is er feitelijk geen reden om te verwachten, dat eenig fotografisch proces dezelfde ingewikkelde kleurgevoeligheidsverdeeling als ons oog zou bezitten; men zou veeleer geneigd zijn aan een eenvoudig verband tusschen de gevoeligheid en de opvallende energie te denken. Maar ook zulk een eenvoudig verband is niet gevonden, integendeel: de kleurgevoeligheid der fotografische plaat is zeker even ingewikkeld als die van het menschelijk oog.

In den eersten tijd der fotografie was de studie der fotografische kleurgevoeligheid in zooverre weinig interessant, dat de kleurgevoeligheden van verschillende soorten gewone collodiumplaten en gewone broomzilvergelatineplaten onderling weinig uiteenloopen. De totale gevoeligheid mag verschillen, doch de verhouding van het gedrag der verschillende kleuren wordt nauwelijks door de emulsie beïnvloed. In 1873 echter ontdekte H. W. Vogel, dat de kleurgevoeligheid van collodiumemulsies sterk kan worden gewijzigd door haar te kleuren met verschillende organische kleurstoffen. Al spoedig werd dit toegepast op broomzilver-gelatineplaten en daarna kon men het aantal geschikte kleurstoffen sterk vermeerderen. Thans zijn er honderden sensibilatoren bekend, waarmee men de meest uiteenlopende kleurgevoeligheden in het gebied van 1000 tot 20000 Å kan verkrijgen.

Parallel hiermede ontwikkelde zich het onderzoek van de kleur-

gevoeligheid. Doordat de emulsie-techniek zich echter geheel empirisch heeft ontwikkeld, is de formuleering van en het inzicht in fotografische vraagstukken sterk bij de praktische ontwikkeling achtergebleven en in 't bijzonder geldt dit voor het vraagstuk der kleurgevoeligheid. Nauwkeurige definities ontbreken volkomen en hebben ook geen zin, zoolang quantitatief nog zoo weinig omtrent den invloed van de kleur op de fotografische plaat bekend is.

Voor de amateurfotografie is het fotografeeren van in verschillende kleuren gedrukte proefkaarten een bevredigend kwalitatief hulpmiddel. En wat de totale gevoeligheid betreft, kan men zich behelpen door deze met wit licht te meten, waarvan de samenstelling nauwkeurig is vastgelegd. Een voor dit doel bruikbare lichtbron is op het laatste congres voor wetenschappelijke fotografie ¹⁾ te Dresden in 1931 vastgelegd.

Maar uit natuurkundig oogpunt kunnen dergelijke willekeurige methoden niet bevredigen en het is dan ook bij physische experimenten gebruikelijk om voor elke gebruikte monochromatische kleur de zwartingskrommen afzonderlijk te bepalen. Het is duidelijk, dat bij deze wijze van werken de omstandigheden veel beter zijn gedefinieerd. In de praktische fotografie komen monochromatische kleuren echter nooit voor, zoodat voor haar doel het physische werk onvoldoende is. In verband hiermee zal in dit proefschrift het vraagstuk worden behandeld, hoe de werkingen van monochromatische kleuren en van gemengde kleuren met elkaar in verband staan.

In de literatuur is hierover alleen voor enkele bijzondere gevallen iets te vinden. Bekend is bijvoorbeeld het Herschel-effect ²⁾, dat hierin bestaat, dat een door zichtbare of ultraviolette stralen veroorzaakte fotografische werking door nabestraling met ultrarode stralen kan worden te niet gedaan. De intensiteit der ultrarode straling moet daarvoor echter van de orde van 10^{10} maal zoo sterk zijn als die van de eerste bestraling. En zoo zijn nog een aantal analoge uitdoovings- en versterkingsverschijnselen bekend, wier gemeenschappelijk kenmerk is, dat er zoo groote intensiteiten voor noodig zijn als in de praktische fotografie niet voorkomen. Voorzooover mij bekend, is het nooit onderzocht of dergelijke verschijnselen in geringe mate ook bij kleine intensiteiten voorkomen. Gewoonlijk wordt stilzwijgend aangenomen, dat in de praktijk de

werking van mengkleuren additief is, dat wil zeggen dat de werking van een mengkleur gelijk is aan de som van de werkingen van de afzonderlijke kleuren. Op zichzelf is deze onderstelling echter zinledig, want zelfs al laat men bijzondere effecten buiten beschouwing, dan nog is er geen natuurlijke methode aan te geven volgens welke fotografische werkingen moeten worden opgeteld.

Bezien we om dit te motiveeren allereerst het geval, dat de beide werkingen, die opgeteld moeten worden, door licht van dezelfde kleur worden veroorzaakt. Veroorzaakt bijv. de intensiteit I_1 de werking W_1 , de intensiteit I_2 de werking W_2 , dan is het een bekend feit, dat de werking van $I_1 + I_2$ in 't algemeen niet gelijk is aan $W_1 + W_2$, (als deze werking bijvoorbeeld door het aantal ontwikkelbare korrels, door de zwarting e.d. gekarakteriseerd wordt waarvan de keus reeds een zekere willekeurigheid veroorzaakt) doch aan een kleiner bedrag, over welks grootte à priori niets valt te zeggen en dat slechts gevonden kan worden door de empirische bepaling van de zwartingswetten voor de betreffende emulsie.

Nemen we nu algemeener aan, dat de beide werkingen door verschillende kleuren worden veroorzaakt, dan ontstaat een nieuwe complicatie: de zwartingswetten van een emulsie zijn in 't algemeen voor verschillende kleuren verschillend. Zoo wist Eder ³⁾ reeds, dat de gradatie (zie Hoofdstuk III) van de kleur afhangt. Dientengevolge is het onmogelijk om te zeggen volgens welke empirische wet de door ongelijke kleuren veroorzaakte werkingen moeten worden opgeteld. Moet daarvoor de zwartingswet van de eerste kleur worden genomen of van de tweede, of een geheel andere wet?

Het bestaan van dit probleem toont duidelijk, dat het sommeeren van de werkingen van verschillende kleuren niet zoo eenvoudig is, als steeds stilzwijgend is aangenomen.

Daarom zijn bij dit onderzoek zoowel de zwartingswetten van monochromatische als van mengkleuren experimenteel onderzocht; het bleek, dat onder zekere omstandigheden een zeer eenvoudige wet geldt, die wij de somwet zullen noemen, welke wet het verband tusschen de verschillende zwartingswetten quantitatief aangeeft. Over de toetsing en beteekenis van deze wet zal dit proefschrift voor een groot deel handelen.

Bezien wij nu vooreerst het vraagstuk der kleurenmenging in zijn volle algemeenheid, dan vinden we een uitgestrekt terrein van mo-

gelijkheden. De verschillende kleuren kunnen hetzij gelijktijdig, hetzij opeenvolgend, hetzij met een tusschenpoos inwerken; de belichtingstijden kunnen gelijk of verschillend, continue of intermitteerend zijn, enz. enz. Om in de veelheid der mogelijkheden een richtsnoer te vinden heb ik de omstandigheden der practische fotografie bij mijn metingen zooveel mogelijk nagebootst. Daaruit volgen de vier hieronder te noemen beperkingen:

1°. Gelijktijdige belichting der samenstellende kleuren met even langen belichtingstijd;

2°. Zwartingskrommen door intensiteitsvariatie bij constanten belichtingstijd. (Overeenkomend met de omstandigheid, dat in de practische fotografie alle deelen van een negatief even lang worden belicht.)

3°. Een niet te groote verhouding van de intensiteiten der samenwerkende kleuren.

4°. Kleuren uit een golflengte-gebied van 3500 tot 7000 Ångström.

HOOFDSTUK II.

DE APPARATUUR VOOR HET METEN VAN KLEURGEVOELIGHEDEN.

DE door mij gebruikte apparatuur moest dienst doen voor twee doeleinden: ten eerste voor het laten inwerken van gedoseerde hoeveelheden licht van varieerende kleur; ten tweede voor het meten der verkregen platen.

a. Belichtingstoestellen.

De monochromator-opstelling. Om eenige monochromatische kleuren gelijktijdig op dezelfde plaats te kunnen laten inwerken zou de dubbelmonochromator volgens van Cittert⁴⁾ met meer-voudige middenspleet ongetwijfeld de ideale oplossing zijn. Voor mijn doel was een dergelijk precisie-instrument niet noodig en daarom bouwde ik een vereenvoudigde monochromator-opstelling, in hoofdtrekken overeenkomend met het type, dat door Toy⁵⁾

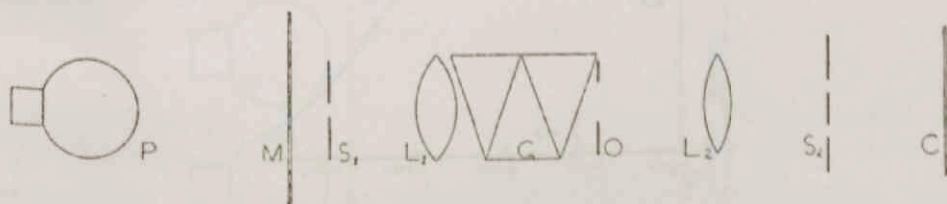


fig. 1. Monochromator-opstelling

werd gebruikt. Het schema is op fig. 1 weergegeven. P is een projectie-gloeilamp van 500 Watt, 130 Volt (staand type), welke door een batterij van accumulatoren met een stroom van 4,00 Am-père wordt gevoed. De lamp verlicht het matglas M, dat door zwart papier zoo is afgedekt, dat een cirkelvormige opening van 5 cm middellijn vrij blijft.

Op ongeveer 2 cm achter het matglas bevindt zich de primaire spleet S_1 , die ongeveer 1,5 cm hoog en 0,1 cm breed is. Deze spleet

bevindt zich in het brandpunt van de achromatische lens L_1 , met een brandpuntsafstand van 10 cm. Onmiddellijk achter L_1 bevindt zich het rechtziende prisma G en hierachter een diafragma met de kleine opening O van zeshoekigen vorm (hoogte 0,6 cm, breedte 0,3 cm). Op circa 30 cm achter dit diafragma bevindt zich de lens L_2 van het Petzval-type met een brandpuntsafstand van 15 cm. In het brandpunt hiervan bevindt zich het spleetdiafragma S_2 en op 15 cm daarachter de fotografische plaat C .

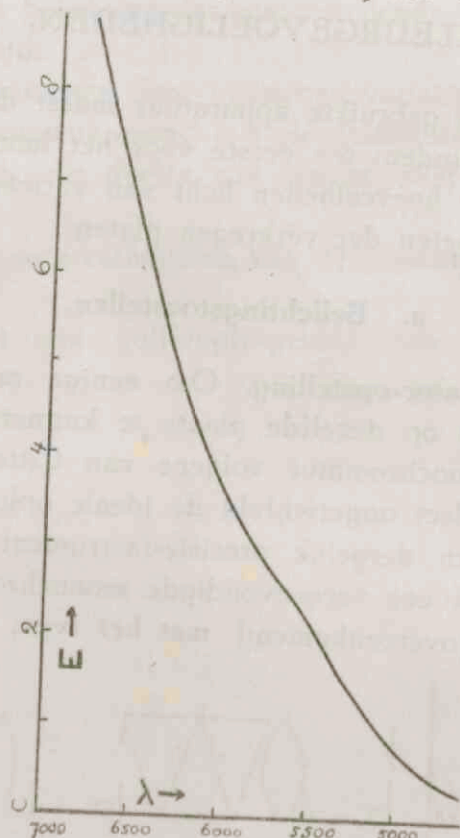


fig. 2 Energie-verdeeling van de monochromator-opstelling

De stralengang is zoodanig, dat L_1 de spleet S_1 in het oneindige afbeeldt en L_2 dit beeld op S_2 als een spectrum afbeeldt. Tegelijkertijd beeldt L_2 de opening O op de fotografische plaat af. Bevindt zich in het spectrum S_2 geen diafragma, dan valt op de plaat wit licht. Met behulp van spleetdiafragma's in S_2 , kan men nu naar keuze één of meer monochromatische kleuren doorlaten. De intensiteitsverhouding der opvallende kleuren kan geregeld worden door de breedte of — wat ik steeds toepaste — de hoogte der

spleten S_2 te veranderen. De totale intensiteit die op de plaat valt, kan geregeld worden door den afstand, waarop zich de lamp P bevindt, te veranderen; 13 afstanden van 15 tot 204 cm werden gebruikt. In dit gebied geldt in verband met de grootte van het filament van de lamp en van het matglas voldoende nauwkeurig (beneden 3 % afwijking) dat de intensiteiten omgekeerd evenredig zijn met het het quadraat van den afstand. Om absolute kleur-gevoeligheden te kunnen meten, werd de energieverdeeling van het spectrum S_2 gemeten. Daartoe werden de spleten S_2 verwijderd en het witte beeldje met den spectraal-pyrometer gemeten.⁶⁾ Na correctie voor de dispersie van het prisma werd de kromme van fig. 2 verkregen. Het beeldje bleek in verticale richting wel, in horizontale richting niet volkomen homogeen te zijn. Daarom is voor den vorm van het diafragma een rechtopstaande zeshoek gekozen. De verticale verbindingslijn van de twee overstaande hoekpunten levert dan een goed gedefinieerde plaats voor de meting der zwarting.

Mengtoestel met filterkleuren. De monochromator-opstelling is niet lichtsterk genoeg voor zeer korte belichtingstijden; de minimale tijd, waarvoor zij bruikbaar was, was 5 seconden. Daarom heb ik naast den monochromator een toestel gebruikt, dat met de veel intensievere filterkleuren werkt. Het is op fig. 3 afgebeeld.

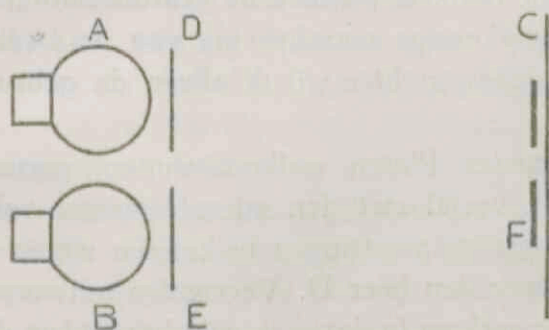


fig 3 Belichting met filterkleuren

A en B zijn twee 12—16 volts autolampjes, welke in goed afsluitende lantaarntjes zijn bevestigd. Naar gelang van de omstandigheden werden zij met constante stroomen van 1,8 tot 2,6 Ampère gevoed. De lantaarns zijn van voren afgesloten door de glazen filters D en E, die gemakkelijk verwisselbaar zijn. Het aldus verkregen gekleurde licht valt zonder tusschenvoeging van lenzen direct

op de fotografische plaat C, welke is bevestigd in den valsluiter F volgens Luther⁷⁾; deze is in de werkplaats van het laboratorium van hout vervaardigd (met metalen val-element). De belichtingstijden waren zeer goed reproduceerbaar; zij liepen van ongeveer 0,05 tot 0,002 seconden. Ook in deze opstelling werd variatie van den afstand toegepast. Terwijl op een 6×9 plaatje van de monochromator-opstelling slechts 72 beeldjes konden worden opgenomen, konden op de bij de filter-opstelling gebruikte 9×12 platen niet minder dan 300 beeldjes (van 5×5 mm) worden belicht. Daardoor kunnen toevallige plaatfouten veel beter worden geëlimineerd, zoodat de nauwkeurigheid der op de tweede wijze verkregen zwartingen grooter is. Dat doet zich ook bij de uitwerking der resultaten gelden. Voorts was te verwachten, dat de met de filter-opstelling verkregen beeldjes volkomen homogeen zouden zijn, hetgeen het geval bleek te zijn. Om deze redenen heb ik later bij voorkeur met de tweede opstelling gewerkt.

b. Toestellen voor het meten van zwartingen.

Hoewel de werking van een hoeveelheid licht op de fotografische platen aan verschillende verschijnselen kan worden afgemeten, heb ik zonder uitzondering de platen ontwikkeld en gefixeerd en van de aldus ontstane donkere plekken de lichtdoorlating (of zwarting) bepaald. De nauwkeurige omschrijving van de zwarting wordt in Hoofdstuk III gegeven; hier wil ik alleen de gebruikte toestellen vermelden.

De microfotometer. Platen, welke uitsluitend geringe zwartingen bevatten, mat ik veelal met den microfotometer volgens Moll⁸⁾. Om echter ook groote zwartingen te kunnen meten maakte ik gebruik van een door den heer D. Vermeulen ontworpen pyrometer, voor wiens medewerking in dezen ik mijn hartelijken dank uitspreek.

De pyrometer-opstelling. Deze is op fig. 4 afgebeeld.

P_1 is een projectie-gloeilamp van hetzelfde type als bij de monochromator-opstelling is beschreven. Zij verlicht een matglas G, waarachter zich de te meten plaat C bevindt. Deze wordt door de lens L_1 afgebeeld op den gloeidraad van het pyrometerlampje P_2 , gevoed door een 2-volts accu. Beeldje en gloeidraad worden te zamen bekeken door de loupe L_2 via het roode filter R. De

meting geschiedt zoodanig, dat P_1 constant brandt en de stroomsterkte van P_2 met een weerstand wordt geregeld, totdat de gloeidraad even helder wordt gezien als het fotografische beeldje. Het lampje P_2 is met een standaardlamp geijkt ^{8a)} over een intensiteitsgebied van 1 op 2000. Met filters zou dit gebied nog aanmerkelijk kunnen worden uitgebreid, doch dat bleek niet noodig te zijn.

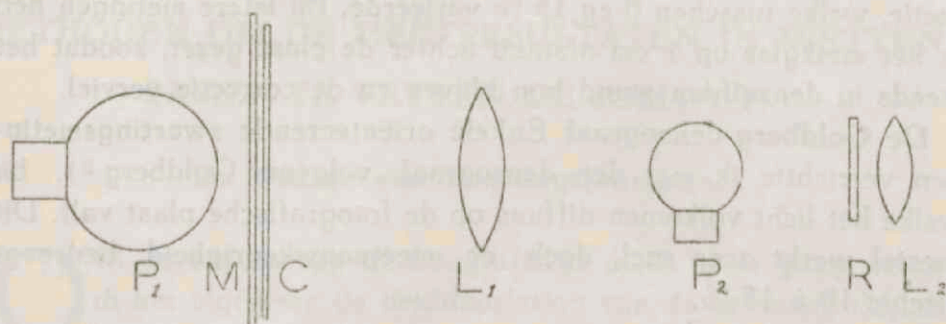


fig. 4 Pyrometer voor zwartingsmetingen

De nauwkeurigheid bedraagt bij deze methode circa 1 % voor zoover zij het oog betreft. Door de fouten in de ijking van het lampje kan de totale nauwkeurigheid echter op niet meer dan 3 à 4 % worden gesteld, doch deze geldt dan ook voor alle zwartingen, in tegenstelling met den microfotometer, welke kleine zwartingen zeer nauwkeurig meet, doch waarbij de nauwkeurigheid der meting met toenemende zwarting snel afneemt.

Een moeilijkheid was de inhomogeniteit van het gloeidraadjje van P_2 , waarvan de helderheid van links naar rechts bij verschillende lampjes een regelmatig verval vertoonde. Een zeer scherpe instelling wordt echter verkregen, door den stroom zoo te regelen, dat links van het midden de gloeidraad lichter, rechts van het midden donkerder is dan de omgeving of omgekeerd.

Om de groote warmtestraling van de projectielamp P_1 tegen te houden, heb ik tusschen lamp en melkglas een cuvette met water geplaatst.

Het melkglas baarde ook eenige moeilijkheid. Uit nog niet gepubliceerde metingen van Broekhuisen blijkt, dat alle melkglazen het licht in een gebied, niet te ver van de normaal, volkomen diffuus doorlaten. Door het bewegen van het oog achter de loupe worden dus geen fouten gemaakt. Echter laat de homogeniteit van een melkglas op verschillende plaatsen, naar mijn eigen ervaring, te

wenschen over. Nu hechtte ik er in het begin veel waarde aan, dat het licht volkomen diffuus op de fotografische plaat viel en klemde deze dus tegen het melkglas aan. Op deze wijze werden echter de verschillende deelen van de plaat door verschillende deelen van het melkglas verlicht. Daarom moest ik het geheele melkglas op zichzelf pyrometreeren en verkreeg zoo voor iedere plek een correctie, welke tusschen 0 en 15 % varieerde. Bij latere metingen heb ik het melkglas op 1 cm afstand achter de plaat gezet, zoodat het steeds in denzelfden stand kon blijven en de correctie verviel.

De Goldberg-densograaf Enkele oriënteerende zwartingsmetingen verrichtte ik met den densograaf volgens Goldberg⁹⁾, bij welke het licht volkomen diffuus op de fotografische plaat valt. Dit toestel werkt zeer snel, doch de meetnauwkeurigheid bedraagt slechts 10 à 15 %.

De invloed van het Eberhard-effect. Zoowel met den microfotometer als met den pyrometer heb ik nagegaan in hoeverre de gezwarte plekken homogeen waren. Afgezien van de belichtingsinhomogeniteiten (bij den monochromator) bleek het in de spectrografie zoo beruchte Eberhard-effect¹⁰⁾ hier weinig te schaden. Het midden van elke plek bleek binnen 1 à 2 % homogeen te zijn en slechts een smalle rand van circa $\frac{1}{2}$ mm breed vertoonde de hoogere zwarting. Daaruit trok ik de conclusie, dat de zwartingen in het midden van een plek zoodanig waren alsof een oneindig uitgestrekte plaat met de betreffende intensiteit homogeen was belicht. Wanneer ik in het volgende van zwarting of van inwerking spreek, bedoel ik daarmede steeds deze „oneindig uitgestrekte” zwarting of inwerking. Evenzoo bedoel ik met blanke plaat (d.w.z. onbelichte plaat) de „oneindig uitgestrekte” blanke plaat.

HOOFDSTUK III.

METHODEN OM DE MEETRESULTATEN IN WETTEN SAMEN TE VATTEN. DE SOMWET.

De waarde van zwartingskrommen.

OM de wetten van de fotografische plaat na te gaan wordt in het algemeen de lichtdoorlating van de gezwarte deelen beschouwd, dat wil zeggen men laat een zekere constante hoeveelheid licht op de ontwikkelde en gefixeerde plaat vallen en meet hoeveel licht eenerzijds door de donkere plek, anderzijds door de blanke plaat wordt doorgelaten. Als maat voor de zwarting wordt dan genomen de verhouding van deze twee getallen, of het omgekeerde ervan, of de logarithme of eenige andere analytische functie van de verhouding. Deze functie wordt dan tegen de intensiteit of meestal tegen de logarithme van de intensiteit uitgezet en de zoo verkregen voorstelling is de zwartingskromme. In de spectrografie, waar ze slechts een middel is om intensiteitsverhoudingen te bepalen, is de wijze, waarop de kromme wordt uitgezet, van gering belang, doch dit is niet het geval, indien men, zooals ik, uit de zwartingskrommen iets omtrent de eigenschappen van de fotografische plaat wil te weten komen. In dit geval wordt als regel de zwarting gedefinieerd als de logarithme van opvallend licht gedeeld door doorvallend licht en deze functie Z tegen de logarithme van de intensiteit uitgezet.

Uit den vorm van de aldus verkregen zwartingskrommen hebben reeds vele onderzoekers theoretische conclusies getrokken; zeer opvallend is bijvoorbeeld het lange rechte stuk, dat vele van deze krommen vertoonen en waarvan de tangens van den hellingshoek de gradatie γ wordt genoemd ¹¹⁾. En zoo was ook mijn eerste werk om na te gaan hoe de gradatie van een mengkleur afhangt van de gradaties van haar componenten. Het was echter niet mogelijk

om hiervoor behoorlijk reproduceerbare resultaten te verkrijgen. Kleine zwartingsverschillen, die gemakkelijk door de plaatfouten worden veroorzaakt en die voor intensiteitsmetingen ook niet schaden, kunnen belangrijke verschillen in de gradatie opleveren; zij kunnen de zwartingskromme zelfs zoo vervormen, dat er niet eenduidig een recht stuk in is aan te wijzen. Daarom beschouw ik het begrip gradatie, hoewel voor de practijk geschikt, theoretisch als van zeer geringe beteekenis.

En tenslotte is dat ook heel begrijpelijk. Het begrip zwarting zelf mist immers een theoretisch-fotografischen ondergrond. De vorm van een zwartingskromme hangt van zooveel niet-fotografische factoren af — bijvoorbeeld van de definitie ervan, van de wijze waarop het licht in- en uitvalt, van de kleur van het licht, van den vorm der zilverkorrels, van de dikte van de gevoelige laag, van de voorafgegangene wijze van ontwikkelen enz. — dat men niet mag verwachten uit zwartingskrommen quantitative theoretische conclusies te kunnen trekken. Daarvoor zijn integendeel korrel- en kiemtellingen volgens Svedberg ¹²⁾ het aangewezen middel. Deze eischen echter onvergelykelyk veel meer tijd dan zwartingsmetingen en hebben tot nu toe evenmin duidelijke quantitative resultaten opgeleverd. Daarom heb ik me op een andere wijze geholpen. Als voorloopige hypothese werd aangenomen: indien op een fotografische plaat twee zwartingen gelijk zijn, zijn de primaire licht-inwerkingen, waardoor zij zijn ontstaan, eveneens gelijk. Alle fotografische intensiteitsmetingen berusten op deze onderstelling, doch ik breid ze hier uit op werkingen, die door verschillende kleuren zijn veroorzaakt. (Deze uitgebreide hypothese is niet volkomen juist; zie Hoofdstuk III.)

Op deze wijze worden dus alleen gelijke zwartingen met elkaar vergeleken en slechts zoo wordt het begrijpelijk waarom de formulering van de nu te bespreken somwet zulk een van de gewone zwartingswetten afwijkenden vorm heeft.

De somwet. De gevonden somwet ¹³⁾ werd op de volgende wijze heuristisch afgeleid: We denken ons twee monochromatische stralingen gegeven, bij voorbeeld rood en violet en daarmee intensiteitszwartingskrommen bij een bepaalden belichtingstijd opgemaakt. Voorts zij van een bepaald mengsel m der beide kleuren de zwartingskromme bij denzelfden belichtingstijd bepaald. We kiezen nu

een zekere zwarting Z en constateeren, dat deze in de drie zwartingskrommen respectievelijk de energieën E_r , E_v en E_m bepaalt, terwijl E_m bestaat uit een rood deel ${}_rE_m$ en een violet deel ${}_vE_m$. Voor het bereiken van de bepaalde trap van zwarting Z gelden dus de volgende aequivalenties:

$$E_r \text{ rood} \equiv E_v \text{ violet} \equiv {}_rE_m \text{ rood} + {}_vE_m \text{ violet}.$$

De eerste twee leden van deze vergelijking geven aan, dat in dit geval het rood E_v/E_r maal zoo effectief werkt als het violet. Vervangen we nu in deze verhouding het rood uit het derde lid door violet, dan wordt dit: $\frac{E_v}{E_r} {}_rE_m \text{ violet} + {}_vE_m \text{ violet}$.

$$\text{Dus } E_v = \frac{E_v}{E_r} {}_rE_m + {}_vE_m \text{ of}$$

$$\frac{{}_rE_m}{E_r} + \frac{{}_vE_m}{E_v} = 1$$

Dit is de somwet in haar eenvoudigsten vorm. De redeneering kan gemakkelijk op meer dan twee componenten worden toegepast en we vinden voor k componenten:

$$\sum_{i=1}^k \frac{{}_iE_m}{E_i} = 1$$

De bovenstaande formuleering van de somwet omzeilt verschillende moeilijkheden, die bij het onderzoek der fotografische plaat kunnen optreden.

1°. De wet is homogeen in de energieën van iedere kleur afzonderlijk en dus onafhankelijk van de keuze der energie-eenheden (bijvoorbeeld ergen of quanten). De dubia, die uiteraard bij heterochromatische methoden optreden, doen zich hier dus niet gelden.

2°. De met elkaar in verband gebrachte energieën worden uitsluitend uit gelijke zwartingen afgeleid. Het resultaat is dus onafhankelijk van:

- a. het karakter van de zwartingswetten;
- b. de methode der zwartingsmeting;
- c. de keuze der coördinaten van de zwartingskrommen.

De op blz. 20 geschetste moeilijkheden betreffende het begrip zwarting doen zich dus niet voor.

HOOFDSTUK IV.

EXPERIMENTEELE TOETSING DER SOMWET ONDER VARIEERENDE OMSTANDIGHEDEN.

Inleiding. Nadat op de in het vorige hoofdstuk geschetste wijze de richting van het onderzoek nader wast vastgelegd, heb ik de somwet onder zeer verschillende omstandigheden experimenteel getoetst. De zwartingskrommen construeerde ik, zooals in de theoretische fotografie gebruikelijk is, namelijk door de logarithmische zwarting Z ($= \log \frac{\text{opvallend licht}}{\text{doorgelaten licht}}$) tegen de logarithme van de intensiteit uit te zetten. De grootte van de intensiteit stelde ik in alle gevallen $I = 1/A^2$, waarin A de variabele afstand van de belichtende lamp voorstelt. Bij een bepaalden lampafstand A behoort dus voor alle lichtsoorten (monochromatisch of niet) dezelfde grootte van de intensiteitscoördinaat $\log I$. Zien we nu, hoe de somwet er in deze coördinaten uitziet. Zijn r en v de samenstellende kleuren, m hun mengsel, dan stellen we, dat voor $A = 1$ (dus $I = 1$) op de plaat vallen de respectievelijke intensiteiten r (Erg/sec), v (Erg/sec) of $r + v$ (Erg/sec).

$$\begin{aligned} \text{Dus} \quad E_r &= I_r \cdot r \\ E_v &= I_v \cdot v \\ E_m &= I_m (r + v). \end{aligned}$$

Dit laatste kan ook zoo worden uitgedrukt:

$${}_rE_m = I_m \cdot r \quad \text{en} \quad {}_vE_m = I_m \cdot v.$$

De somwet was: ${}_rE_m/E_r + {}_vE_m/E_v = 1$.

Vervangen we hierin de E - door de I -coördinaten, dan komt er:

$$1/I_r + 1/I_v = 1/I_m,$$

terwijl de r en v wegvallen.

In dezen vorm heb ik de somwet steeds getoetst en bij elke toetsing als procentische fout opgegeven hoeveel $1/I_r + 1/I_v$ meer of minder was dan $1/I_m$.

De experimenteele omstandigheden, die ik heb gevarieerd, zijn de volgende:

- 1°. de aard van de emulsie;
- 2°. de mengverhouding der kleuren;
- 3°. de golflengte der kleuren;
- 4°. het aantal kleuren;
- 5°. de zwarting;
- 6°. de belichtingstijd;
- 7°. de wijze van ontwikkelen;
- 8°. de methode der zwartingsmeting.

1. De aard van de emulsie.

a. Een serie van 6 verschillende panchromatische platen werd belicht met de monochromator-opstelling. Samenstellende kleuren: 6500 Å (± 50 Å) en 4500 Å (± 25 Å). Belichtingstijd: 60 seconden. Ontwikkeling: 8 minuten in Rodinal 1:20. Zwartingsmeting met den pyrometer.

Plaat P 1. Ilford special rapid pan.

Z	$1/I_r$	$1/I_v$	$1/I_m$	% fout
0,1	220	240	440	+ 4
0,2	140	145	280	+ 2
0,3	96	94	190	0
0,4	69	63	140	— 5
0,5	51	42	101	— 8
0,6	39	28	74	— 10
0,7	30	19	53	— 8
0,8	24	12	38	— 6
0,9	19	8	28	— 4
1,0	14,4	5,1	20,4	— 4
1,1	10,8	3,0	14,7	— 6

Plaat P 2. Ilford soft gradation pan.

Z	$1/I_r$	$1/I_v$	$1/I_m$	% fout
0,1	102	102	220	— 7
0,2	66	66	138	— 4
0,3	45	42	93	— 6

0,4	34	28	64	— 3
0,5	27	20	47	0
0,6	21	14	34	+ 3
0,7	16,0	9,5	25,6	0
0,8	12,0	6,2	19,0	— 4
0,9	8,7	3,8	14,3	— 12

Plaat P 3. Ilford rapid process pan.

Z	$1/I_r$	$1/I_v$	$1/I_m$	% fout
0,1	95	115	202	+ 4
0,2	63	65	133	— 3
0,3	47	44	93	— 2
0,4	33,5	30,5	67	— 5
0,5	25,0	23,1	50,0	— 4
0,6	20,4	17,2	37,7	0
0,7	16,7	13,0	29,0	+ 2
0,8	13,7	9,8	23,0	+ 2
0,9	11,2	7,4	18,6	0
1,0	9,3	5,5	15,0	— 1
1,1	7,6	4,1	12,2	— 4
1,2	6,0	2,9	9,8	— 9

Plaat P 5. Photax rapid process pan.

0,1	1,66	119	119	+ 1
-----	------	-----	-----	-----

Plaat P 6. Wratten & Wainwright pan.

Z	$1/I_r$	$1/I_v$	$1/I_m$	% fout
0,1	105	145	256	— 2
0,2	73	69	141	+ 1
0,3	46	49	92	+ 3
0,4	36	34	66	+ 6
0,5	28,0	24,5	49,9	+ 5
0,6	21,5	17,5	37,5	+ 4
0,7	16,1	11,2	28,1	— 3
0,8	11,8	6,8	21,0	— 11
0,9	8,1	3,7	14,9	— 21

Plaat P 11. Agfa superpan.

Z	$1/I_r$	$1/I_v$	$1/I_m$	% fout
0,1	330	200	510	+ 4
0,2	190	110	320	— 6
0,3	126	65	215	— 11
0,4	86	44	145	— 10
0,5	59	30	98	— 9
0,6	41	21	66	— 6
0,7	28	14	44	— 4
0,8	20,0	10,1	30,0	0
0,9	12,9	6,2	19,8	— 4
1,0	8,0	3,1	12,0	— 7

b. Ter controle eenige niet-panchromatische platen met de filteropstelling. De eene component werd steeds gevormd door twee op elkaar geplaatste Schott-filters U.G. 2, die het ultra-violet van 3000—4000 Å doorlaten met een zeer steile top bij 3500 Å. Ook rood boven 6700 Å wordt eenigszins doorgelaten, doch de twee filters tezamen laten hiervan niet meer dan enkele procenten door.

Plaat p 41. Ilford special rapid.

Belichting: v = ultraviolet filter.

r = noviolfilter, dat de stralen boven 4100 Å doorlaat.

Belichtingstijd: 0,05 sec.

Ontwikkeling: Pyrocatechine 2 minuten (recept later).

Meting: met den microfotometer.

Naar uiterlijken vorm is de onderstaande tabel eenigszins anders opgesteld in verband met later te bespreken bijzonderheden van dit plaatje.

Z	I_m/I_r	I_m/I_v	% fout
0,03	0,62	0,40	+ 2
0,05	0,61	0,40	+ 1
0,06	0,61	0,40	+ 1
0,08	0,62	0,40	+ 2
0,10	0,62	0,40	+ 2

0,12	0,63	0,40	+ 3
0,14	0,61	0,38	— 1
0,16	0,61	0,38	— 1
0,18	0,60	0,36	— 4
0,20	0,60	0,36	— 4
0,22	0,59	0,36	— 5
0,24	0,60	0,37	— 3
0,27	0,61	0,38	— 1
0,30	0,61	0,39	0
0,33	0,61	0,38	— 1

Plaat p 58. Ilford special rapid; door mij met erythrosine gesensibiliseerd volgens Eder ¹⁴).

Belichting: v = ultravioletfilter.

r = geelfilter, dat de stralen boven 5000 Å doorlaat.

Belichtingstijd: 0,05 sec.

Ontwikkeling: Rodinal 1 : 20; 8 minuten.

Meting met den pyrometer.

Z	1/I _r	1/I _v	1/I _m	% fout
0,2	30	250	281	0
0,3	16,7	128	151	+ 1
0,4	10,0	70,0	82,5	— 3
0,5	6,2	38,6	46,8	— 4
0,6	3,94	22,5	28,6	— 8

Plaat p 53 A. Ilford special rapid; door mij gesensibiliseerd met pinacyanol volgens von Angerer ¹⁵).

Belichting: v = ultravioletfilter.

r = Schott-filter R.G. 5, dat de stralen boven 6700 Å doorlaat.

Belichtingstijd: 0,05 sec.

Ontwikkeling: Rodinal 1 : 20; 8 minuten.

Meting: met den pyrometer.

Z	1/I _r	1/I _v	1/I _m	% fout
0,2	105	282	405	— 4
0,3	65	147	232	— 9

0,4	42	81	127	— 3
0,5	28,6	49,0	78,7	0
0,6	20,5	29,4	50,5	— 1
0,7	13,7	19,7	34,8	— 3
0,8	10,9	13,9	25,2	— 2
0,9	8,3	10,2	18,5	0
1,0	6,1	7,4	13,7	— 2
1,1	4,4	5,0	10,1	— 7

2. De mengverhouding der kleuren.

Onder gelijke omstandigheden als bij de plaatjes P1— P 11 (zie blz. 23) werd een reeks van 6 plaatjes gemaakt op Ilford rapid process pan met varierende intensiteitsverhouding der componenten in het mengsel. De regeling hiervan geschiedde met de hoogte der secundaire spleten.

Plaatnummer	B 7	B 2	B 3	B 5	B 6	B 8
Hoogte roode spleet	11,5	11,5	8,5	4,5	2,7	2,0
Hoogte violette spleet	16	21	21	21	21	21
Relatieve intensiteit rood	2,5	1,9	1,4	0,8	0,43	0,30
Relatieve intensiteit violet	1	1	1	1	1	1

Grootere verhoudingen dan B 7 en kleinere dan B 8 hebben geen zin, omdat dan één component zóó gaat overheerschen, dat de zwartingskromme van dezen component en die van het mengsel vrijwel samenvallen.

Plaat B 7.

Z	$1/I_r$	$1/I_v$	$1/I_m$	% fout
0,5	313	70	407	— 8
0,6	262	57	333	— 4
0,7	223	47	279	— 3
0,8	193	40	236	— 1
0,9	167	33	200	0
1,0	145	28	176	— 2
1,1	125	23	146	+ 1
1,2	109	19	127	+ 1

1,3	93	16	109	0
1,4	82	13	92	+ 3
1,5	71	11	80	+ 3
1,6	62	9	68	+ 4
1,7	53,8	6,7	58,9	+ 3
1,8	47,0	5,1	50,0	+ 4
1,9	40,7	3,8	43,2	+ 3

Plaat B 2.

Z	$1/I_r$	$1/I_v$	$1/I_m$	% fout
0,2	135	196	323	+ 2
0,3	104	132	244	— 3
0,4	83	100	189	— 3
0,5	68	80	151	— 2
0,6	57	64	121	0
0,7	49	52	98	+ 3
0,8	42	42	82	+ 3
0,9	36,4	33,8	68,5	+ 3
1,0	32,0	26,9	57,9	+ 2
1,1	27,8	21,3	49,2	0
1,2	23,8	17,3	41,7	— 1
1,3	20,4	13,7	35,0	— 3
1,4	16,8	10,7	28,6	— 4
1,5	13,7	8,1	23,3	— 6
1,6	10,7	5,8	18,4	— 10

Plaat B 3.

Z	$1/I_r$	$1/I_v$	$1/I_m$	% fout
0,1	154	323	450	+ 6
0,2	103	202	316	— 3
0,3	79	141	231	— 5
0,4	65	105	175	— 3
0,5	55	81	135	+ 1
0,6	48	65	109	+ 4
0,7	42	53	88	+ 8
0,8	36	43	71	+ 12
0,9	31,7	36,7	58,5	+ 17

1,0	27,0	29,4	50,0	+ 13
1,1	23,0	24,4	41,7	+ 14
1,2	19,5	19,9	35,5	+ 11
1,3	15,6	16,0	29,9	+ 6
1,4	12,8	12,8	26,5	— 3
1,5	10,2	10,1	20,8	— 2
1,6	7,7	7,9	17,2	— 10

Plaat B 5.

Z	$1/I_r$	$1/I_v$	$1/I_m$	% fout
0,2	182	168	377	— 8
0,3	141	119	279	— 7
0,4	112	89	219	— 8
0,5	93	69	168	— 4
0,6	80	54	135	— 1
0,7	68	43	109	+ 2
0,8	59	35	91	+ 3
0,9	51	28	76	+ 4
1,0	45	23	64	+ 6
1,1	39,2	18,3	55,0	+ 5
1,2	33,8	14,7	47,5	+ 2
1,3	28,6	11,9	40,3	0
1,4	23,8	9,3	33,9	— 2
1,5	19,6	7,1	28,6	— 7
1,6	15,6	5,3	23,0	— 9

Plaat B 6.

Z	$1/I_r$	$1/I_v$	$1/I_m$	% fout
0,2	133	190	342	— 5
0,3	108	137	263	— 7
0,4	90	105	204	— 4
0,5	77	82	169	— 6
0,6	67	67	139	— 4
0,7	59	55	115	— 1
0,8	52	46	96	+ 3
0,9	46	39	81	+ 5
1,0	39,0	33,9	69,0	+ 6
1,1	35,8	29,3	59,2	+ 10

1,2	30,8	24,4	51,6	+ 7
1,3	26,3	20,2	45,0	+ 3
1,4	22,3	16,3	39,2	— 2
1,5	18,9	13,0	33,8	— 6
1,6	15,8	10,2	28,6	— 9
1,7	13,0	7,9	23,4	— 11
1,8	10,5	6,1	18,9	— 12

Plaat B 8.

Z	$1/I_r$	$1/I_v$	$1/I_m$	% fout
0,1	111	318	435	— 1
0,2	88	211	313	— 4
0,3	72	150	238	— 7
0,4	60	116	185	— 5
0,5	51	92	147	— 3
0,6	44	73	119	— 2
0,7	37,5	58,9	100	— 4
0,8	33,0	47,5	82,5	— 2
0,9	26,9	38,2	68,5	— 5
1,0	22,2	30,3	57,2	— 8

Opmerking: Vergelijkt men de verschillende B-plaatjes, wat betreft de intensiteiten, welke van een zelfde kleur noodig zijn om een bepaalde zwarting te bereiken, dan blijken deze voor het violet vrijwel omgekeerd evenredig te zijn met de spleethoogte; zooals ook verwacht moest worden. Bij het rood zijn echter groote afwijkingen te constateeren, veroorzaakt door het feit dat in het tijdsverloop, dat noodig was om de B-serie te vervaardigen (circa 3 weken) de roodgevoeligheid van de emulsie sterk is achteruitgegaan.

3. De golflengte der kleuren.

In de reeds besproken plaatjes hebben we voorbeelden gezien, die met kleuren van verschillende golflengte zijn vervaardigd, n.l.:

B-serie en P-serie: 4500 en 6500 Å.

p 41: 3500 en 4100—5000 Å.

p 58: 3500 en 5000—6000 Å.

p 53 A: 3500 en 6700—7200 Å.

Een goed overzicht over den invloed der golflengte is echter slechts mogelijk, als men de inwerking van de verschillende kleuren op dezelfde emulsie beschouwt. We nemen hiervoor Ilford rapid process pan en krijgen dus:

P 3 en B-serie: 4500 en 6500 Å

en verder eenige hieronder te vermelden plaatjes op deze emulsie.

Plaat dn 1. Belichting met monochromator: 4100 en 6900 Å. Belichtingstijd 60 seconden.

Ontwikkeling: Rodinal 1 : 20; 7 minuten.

Meting met microfotometer.

Z	$1/I_r$	$1/I_v$	$1/I_m$	% fout
0,2	111	250	400	— 10
0,3	83	179	298	— 12
0,4	68	139	225	— 8
0,5	56	110	177	— 6
0,6	47	88	143	— 5
0,7	40	73	116	— 2
0,8	36	61	97	0
0,9	32	52	82	+ 2
1,0	28,2	43,7	69,5	+ 3
1,1	25,5	37,0	60,0	+ 4
1,2	22,7	31,5	52,4	+ 3
1,3	20,6	26,9	46,1	+ 3
1,4	18,6	22,7	40,0	+ 3
1,5	16,7	19,2	34,6	+ 4
1,6	14,9	16,4	30,1	+ 4
1,7	13,5	13,9	26,2	+ 5
1,8	12,2	11,8	23,0	+ 4

Plaat p 34. Belichting, ontwikkeling en meting als p 53 A. (blz. 26), dus golflengten van 3500 en 6700—7200 Å.

Z	$1/I_r$	$1/I_v$	$1/I_m$	% fout
0,1	154	350	585	— 14
0,2	107	210	355	— 11

0,3	81	137	236	— 7
0,4	64	92	164	— 5
0,5	52	62	115	— 2
0,6	42	43	85	0
0,7	33,3	31,0	64,1	0
0,8	27,0	22,9	49,3	+ 1
0,9	21,6	17,2	38,5	+ 1
1,0	17,2	12,9	30,5	— 1
1,1	13,6	9,6	24,1	— 3
1,2	10,9	7,0	18,7	— 4
1,3	8,4	5,0	14,4	— 7

4. Het aantal kleuren.

Ter contrôle heb ik ook een plaatje gemaakt met 3 monochromatische componenten van 4500, 5300 en 6500 Å.

Plaat D 1. Belichtingstijd: 60 seconden.

Ontwikkeling: Rodinal 1 : 20; 8 minuten.

Meting: met den pyrometer.

Z	$1/I_r$	$1/I_g$	$1/I_v$	$1/I_m$	% fout
0,3	92	121	126	335	+ 1
0,4	72	92	89	259	— 3
0,5	56,9	73	76,5	194	+ 2
0,6	45,7	58	51	150	+ 3
0,7	39,6	45,7	37,1	117	+ 5
0,8	30,5	37,6	29,5	93	+ 5
0,9	24	29,8	23,7	75	+ 3
1,0	19,2	24,0	18,2	59,8	+ 2
1,1	15,4	18,8	13,8	48,5	— 1
1,2	12,5	14,3	10,2	38,6	— 5
1,3	9,9	10,9	7,4	29,8	— 5
1,4	7,7	7,8	5,1	21,2	— 3

5. De zwarting.

Alle in het voorgaande vermelde plaatjes bevatten een geheele reeks van zwartingen, bij welke de somwet is getoetst. Zij va-

riëren, wat betreft de pyrometrische zwartingen, van 0,1 tot 1,9 en beslaan daarmee het geheele zwartingsgebied dat practisch voorkomt. In Hoofdstuk VI zullen voorbeelden worden gegeven met zeer hooge zwartingen.

6. De belichtingstijd.

In de voorafgaande voorbeelden waren de belichtingstijden hetzij 60 sec., hetzij 0,05 seconden. Om den invloed van den belichtingstijd te overzien is het weer gewenscht om alleen plaatjes van eenzelfde emulsie te beschouwen. We nemen daarvoor wederom Ilford rapid process pan en hebben dus reeds:

P 3, B-serie en dn 1: 60 seconden belichting.

P 34: 0,05 seconden belichting.

Op hetzelfde plaatje p 34 zijn eenige belichtingen van 0,005 sec. opgenomen. Zij geven het volgende resultaat:

Z	$1/I_r$	$1/I_v$	$1/I_m$	% fout
0,1	129	276	400	+ 1
0,2	88	165	255	— 1
0,3	63	107	178	— 4
0,4	45	70	128	— 10

Voorts zijn eenige plaatjes opgenomen onder dezelfde omstandigheden als de P-serie (zie blz. 23), doch met andere belichtingstijden.

Plaat p 25. Belichtingstijd 100 seconden.

Z	$1/I_r$	$1/I_v$	$1/I_m$	% fout
0,4	69	186	253	+ 1
0,5	58	149	202	+ 2
0,6	49	118	164	+ 2
0,7	41	94	132	+ 2
0,8	34,6	74,7	107,5	+ 1
0,9	29,4	59,2	87,8	+ 1
1,0	24,7	47,5	71,5	+ 1

Zelfde plaat p 25. Belichtingstijd 20 seconden.

Z	$1/I_r$	$1/I_v$	$1/I_m$	% fout
0,4	182	500	671	+ 2
0,5	148	400	553	— 1
0,6	121	323	455	— 2
0,7	99	266	370	— 1
0,8	79	211	299	— 3

Plaat p 28. Belichtingstijd 100 seconden.

Z	$1/I_r$	$1/I_v$	$1/I_m$	% fout
0,3	200	231	435	— 1
0,4	165	182	345	+ 1
0,5	135	143	276	+ 1
0,6	113	112	225	0
0,7	96	90	185	+ 1
0,8	82	72	152	+ 1
0,9	70	58	127	+ 1
1,0	59	46	105	0
1,1	50,5	36,1	88,6	— 2
1,2	43,3	30,3	74,1	— 1

Zelfde plaat p 28. Belichtingstijd 5 seconden.

Z	$1/I_r$	$1/I_v$	$1/I_m$	% fout
0,4	132	145	283	— 2
0,5	107	107	222	— 4
0,6	84	80	174	— 6
0,7	67	60	137	— 5

7. De wijze van ontwikkelen.

Het scheen mij van belang (wegens in Hoofdstuk VI uiteen te zetten redenen) om den invloed van de ontwikkeling nauwkeurig na te gaan. Ik stelde mij er niet mee tevreden om platen van eenzelfde emulsie met elkaar te vergelijken, doch belichtte telkens een plaat zoodanig, dat hij in vier gelijk belichte deelen kon worden

gesneden, ontwikkelde deze deelen op verschillende wijze en vergeleek ze met elkaar. Daar op ieder kwart van een plaat niet voldoende ruimte was om drie volledige zwartingskrommen op te nemen, beperkte ik mij tot een zeer klein stukje ervan. Door voorafgaande proeven moest ik natuurlijk uitmaken, welke belichtingsintensiteiten ik moest kiezen om voor de drie kleuren ongeveer dezelfde zwarting te verkrijgen. De uiteindelijke zwarting hing uiteraard van de ontwikkelingsmethode af, maar de zwartingen van de drie kleuren bleven onderling vergelijkbaar.

De plaatjes werden belicht onder gelijke omstandigheden als P 1—P 11 (zie blz. 23). Elke belichting werd op ieder stukje 4 keer herhaald om de nauwkeurigheid te vergrooten. In totaal maakte ik 4 plaatjes, welke alle in vieren werden gesneden en als volgt ontwikkeld:

- O 1A Rodinal 1 : 5; 2 minuten;
- O 1B Rodinal 1 : 5; 8 minuten;
- O 1C Rodinal 1 : 20; 15 minuten;
- O 1D IJzeroxalaat volgens Schmidt ¹⁶⁾; 8 minuten.

- O 2A Rodinal 1 : 20; 8 minuten;
- O 2B Hydrochinon volgens Schmidt ¹⁷⁾; 8 minuten;
- O 2C Amidol volgens Schmidt ¹⁸⁾; 8 minuten;
- O 2D Glycine volgens Schmidt ¹⁹⁾; 25 minuten.

- | | | |
|------|---------------|-----------|
| O 3A | | 8 minuten |
| O 3B | Rodinal 1 : 5 | 5 " |
| O 3C | | 3 " |
| O 3D | | 1 minuut. |

- O 4A Glycine (geconcentreerd) 3 minuten;
- O 4B " " 5 "
- O 4C } mislukt.
- O 4D }

De temperatuur van den ontwikkelaar was steeds 18° C. De toetsing der somwet gaf het volgende resultaat:

Plaat	Z	$1/I_r$	$1/I_v$	$1/I_m$	% fout
O 1A	0,30	94	147	243	— 3
O 1B	0,45	106	137	238	— 1
O 1C	0,40	103	139	235	0
O 1D	0,35	101	139	232	— 1
O 2A	0,30	100	158	254	— 1
O 2B	0,45	101	132	232	— 3
O 2C	0,40	105	125	224	+ 1
O 2D	0,30	114	134	246	+ 1
O 3A	1,95	152	154	322	— 6
O 3B	1,85	140	152	318	— 9
O 3C	1,62	154	166	314	+ 1
O 3D	0,97	137	179	312	0
O 4A	1,32	139	182	298	+ 3
O 4B	1,55	152	158	317	— 3

Voorts verwijs ik naar Hoofdstuk VI, waar nog een andere ontwikkelmethode wordt behandeld.

8. De methode der zwartingsmeting.

In het voorgaande zijn zoowel plaatjes vermeld, die met den pyrometer, als plaatjes, die met den microfotometer zijn gemeten. Om echter den invloed van de meetmethode beter te overzien, heb ik een plaatje met beide instrumenten uitgemeten.

Plaat B 6. Meting met den pyrometer; zie blz. 29.

Meting met den microfotometer:

Z	$1/I_r$	$1/I_v$	$1/I_m$	% fout
0,2	182	266	441	+ 2
0,4	133	167	303	— 1
0,6	104	119	230	— 3
0,8	84	89	179	— 3
1,0	67	69	136	0
1,2	54	53	104	+ 3

HOOFDSTUK V.

DE SOMWET EN HAAR GELDIGHEDSGEBIED.

Discussie van de waarnemingen.

DE in het vorige hoofdstuk beschreven plaatjes leveren ons reeksen van procentische afwijkingen van de somwet en de vraag doet zich voor in hoeverre deze reël zijn, dat wil zeggen, op de onjuistheid van de somwet wijzen. Hierover valt het volgende op te merken:

1°. De beschreven plaatjes zijn niet speciaal uitgezocht, doch de geheele reeks van de door mij voor dit doel vervaardigde opnamen vertoont hetzelfde karakter, slechts met uitzondering van die, welke door bijkomstige oorzaken mislukt waren (bijv. te korte of te lange belichtingstijd; sluier; te groote verhouding der componenten; te groote strooiing van de door gelijke belichting verkregen zwartingen, enz.).

2°. De afwijkingsreeks van ieder plaatje is geheel onregelmatig, nu eens positief, dan weer negatief, zonder een bepaalde richting.

3°. De afwijkingen zijn het kleinst in die gevallen waarin de meetnauwkeurigheid het grootst is. Nader omschreven:

a. De afwijkingen zijn des te kleiner naarmate de zwartingen minder strooien. Zoo zijn de met den microfotometer gedane metingen, voorzoover het kleine zwartingen betreft, nauwkeuriger de opnamen met de filter-opstelling nauwkeuriger dan die met den monochromator door het grootere aantal gezwarte velden. Bijzonder nauwkeurig zijn bijv. de plaatjes O 1 tot en met O 4, waarbij elke belichting op een klein plaatoppervlak 4 keer is herhaald (blz. 36).

b. De afwijkingen zijn bij contrastrijke platen kleiner dan bij minder contrastrijke, ze zijn in het midden van de zwartingskrommen kleiner dan aan het begin en het einde. Dat wil dus zeggen: ze zijn kleiner naarmate de intensiteiten I zich met grootere nauwkeurigheid uit de zwartingen laten bepalen.

4°. De grootte der afwijkingen bedraagt gemiddeld circa 5 %, dus van de orde van nauwkeurigheid waarmee in 't algemeen intensiteiten uit zwartingskrommen kunnen worden bepaald.

Uit deze opmerkingen trek ik de volgende conclusie:

De somwet geldt met een nauwkeurigheid die door de plaatfouten wordt begrensd:

- 1°. voor alle gebruikelijke negatief-emulsies;
- 2°. voor alle mengverhoudingen der componenten;
- 3°. voor een golflengte-gebied van circa 3500 tot 7000 Å;
- 4°. voor een willekeurig aantal kleuren;
- 5°. voor het geheele practisch bruikbare deel van de zwartings kromme;
- 6°. voor belichtingstijden in een gebied van 0,005 tot 100 sec.;
- 7°. voor alle gebruikelijke ontwikkelmethoden;
- 8°. voor microfotometrische zoowel als voor pyrometrische zwartingen.

Het punt 8 wordt nog nader in het volgende hoofdstuk toegelicht; verder vereischt punt 4 nog eenige motiveering, welke hieronder volgt.

De somwet voor meer dan twee kleuren.

De door mij gemeten plaatjes hebben in hoofdzaak betrekking op mengsels van twee monochromatische of gemengde kleuren. Slechts één plaatje (D 1, blz. 32) betreft een mengsel van drie componenten. Daar hiervoor de somwet bleek te gelden, nam ik zonder metingen aan, dat ze ook voor meer dan 3 componenten geldt. Deze onderstelling is minder gewaagd dan ze lijkt, want er blijkt een nauw verband te bestaan tusschen de somwet-formule voor k (al- of niet-monochromatische) kleuren en die voor twee filterkleuren. Zuiver mathematisch kan namelijk worden bewezen:

„Geldt de somwet voor elk paar filterkleuren, dan geldt ze voor elk aantal (monochromatische of filter-) kleuren.”

Het bewijs zal ik, om het principe duidelijk te doen uitkomen, eerst voor het eenvoudigste geval leveren.

Ik onderstel gegeven: drie monochromatische kleuren: a , b en c .

Het mengsel van a en b zij m, dat van a, b en c zij n. Ondersteld is nu, dat de somwet voor elk paar componenten geldt, dus in de eerste plaats voor a en b:

$${}_aE_m/E_a + {}_bE_m/E_b = 1 \quad (1)$$

In de tweede plaats voor m en c:

$${}_mE_n/E_m + {}_cE_n/E_c = 1 \quad (2)$$

${}_mE_n$ bestaat uit een hoeveelheid ${}_aE_n$ van a en een hoeveelheid ${}_bE_n$ van b. Heeft nu alles betrekking op een bepaalde zwarting en een bepaalde mengverhouding van a, b en c, dan bestaan tusschen de grootheden van (1) en (2) de volgende betrekkingen:

$$E_m = {}_aE_m + {}_bE_m \quad (3)$$

$${}_mE_n = {}_aE_n + {}_bE_n \quad (4)$$

$${}_aE_m/{}_aE_n = {}_bE_m/{}_bE_n \quad (5)$$

Uit de betrekkingen (1) tot en met (5) worden ${}_aE_m$, ${}_bE_m$, E_m en ${}_mE_n$ geëlimineerd en we vinden:

$${}_aE_n/E_a + {}_bE_n/E_b + {}_cE_n/E_c = 1$$

dus de somwet voor drie monochromatische componenten. Door volledige inductie is de somwet gemakkelijk op een willekeurig aantal componenten uit te breiden, en door gedeeltelijke terugwerking van het bewijs volgt de uitbreiding van een willekeurig aantal monochromatische op een willekeurig aantal gemengde componenten.

Daar nu de somwet experimenteel voor diverse combinaties van twee filterkleuren is bevestigd, acht ik in verband met het bovenstaande bewijs mij gerechtigd tot de conclusie, dat ze ook voor meer dan drie componenten geldt.

Beschouwt men uitsluitend monochromatische componenten, dan heeft het ook zin om tot een oneindig aantal over te gaan. Zij bijvoorbeeld een mengsel gegeven door den vorm $dE_\lambda = f(\lambda) d\lambda$; λ is hierin de golflengte; $f(\lambda)$ is een continue functie van λ en dE_λ is de energie van een golflengtegebied $d\lambda$. De somwet gaat dan over in een integraalvergelijking:

$$\int \frac{f(\lambda) d\lambda}{E_\lambda} = 1$$

waarin E_λ de energie van de golflengte λ voorstelt, welke nodig is om dezelfde zwarting te verkrijgen als het mengsel oplevert. Van practische waarde is deze uitbreiding mijns inziens niet.

Nu op deze wijze het verband is gelegd tusschen de verschillende gedaanten van de somwet, zal ik mij in het verdere deel van dit proefschrift gemakshalve tot den eenvoudigsten vorm, namelijk die voor twee monochromatische componenten, beperken. De uitbreiding der volgende beschouwingen op meer ingewikkelde vormen biedt trouwens geen nieuwe perspectieven.

De physische inhoud van de somwet.

De somwet: ${}_rE_m/E_r + {}_vE_m/E_v = 1$ is op zichzelf slechts een empirische betrekking tusschen gemeten grootheden. Wanneer we echter aan de oorspronkelijke heuristische afleiding ervan denken (zie blz. 20), valt het gemakkelijk haar physisch te interpreteren en wel als volgt:

Bepalen E_r en E_v een zekere zwarting Z , dan bepaalt ieder mengsel dat verkregen wordt door een willekeurige hoeveelheid rood te vervangen door een E_v/E_r maal zoo groote hoeveelheid violet (of omgekeerd) dezelfde zwarting Z . Het heeft dus zin om de kleurgevoeligheid van een emulsie voor een kleur a te definiëren door $1/E_a$.

Daar echter het quotient E_v/E_r met de zwarting sterk kan variëren (door de niet-evenwijdigheid der zwartingskrommen) kan de kleurgevoeligheidsverdeeling slechts bij een bepaalde zwarting worden gedefinieerd. Eigenlijk moest ik hier bijvoegen: „en bij een bepaalden belichtingstijd”, maar het zal in Hoofdstuk VIII blijken, dat bij constante zwarting de kleurgevoeligheid onafhankelijk is van den belichtingstijd.

Hieruit volgt, dat ook voor de practijk de kleurgevoeligheid van een emulsie streng kan worden gedefinieerd. Nemen we met Goldberg ²⁰⁾ aan, dat het practisch bruikbare zwartingsgebied bij 0,1 (gemeten in diffuus licht) begint, dan is de volgende definitie doelmatig: „De kleurgevoeligheidsverdeeling van een emulsie wordt verkregen door tegen de golflengte uit te zetten: het omgekeerde van de energie, welke noodig is om bij een willekeurigen doch voor alle kleuren gelijken belichtingstijd de zwarting 0,1 te bereiken.”

Natuurlijk zitten hier de ontwikkelmethode en de wijze van zwartingsmeting in, en deze behooren dan ook bij het verruimde begrip emulsie te worden inbegrepen.

Ik wil nog opmerken, dat, ondanks de geldigheid van de somwet, het gebruik van kleurenkaarten ter bepaling van de kleurgevoeligheid onexact blijft, daar het oog de kleuren in 't algemeen anders sommeert dan de fotografische plaat.

Bijzondere gevallen.

1°. De zwartingskrommen van de componenten vertoonen dikwijls een snijpunt. Voor 't geval dat de coördinaten zoo zijn gekozen als ik het bij de experimenteele toetsing deed (zie blz. 22) is in het snijpunt $I_r = I_v$. En uit $1/I_m = 1/I_r + 1/I_v$ volgt dan

$$I_r = I_v = 2 I_m.$$

Of in woorden uitgedrukt: veroorzaken de energieën E_r en E_v de zwarting Z , dan veroorzaakt ook $\frac{1}{2} E_r + \frac{1}{2} E_v$ de zwarting Z . In ander verband werd dit experimenteel reeds door Toy^{20a)} gevonden.

2°. Zijn de zwartingskrommen der componenten evenwijdig, dan beteekent dit, dat $I_r : I_v = \text{constant}$ of ook: $E_r : E_v = \text{constant}$ onafhankelijk van de zwarting. Uit de somwet volgt dan gemakkelijk, dat ook $E_m : E_r : E_v = \text{constant}$; m. a. w. de zwartingskromme van de mengkleur is evenwijdig met die van de componenten. Een experimenteel voorbeeld hiervan is plaat p 41 (blz. 25).

Algemeener geldt: zijn de zwartingskrommen van alle monochromatische kleuren evenwijdig, dan zijn ze ook van alle mengkleuren evenwijdig.

Practische toepassing van de somwet.

De somwet heeft een praktische toepassing: uit de zwartingskrommen van twee kleuren is die van haar somkleuren (en van haar eventueele verschillkleuren) te berekenen. Denken we ons bijvoorbeeld de twee krommen $Z(E_r)$ en $Z(E_v)$ gegeven en voorts een mengsel van r en v in de verhouding $k : 1$, dan is:

$${}_rE_m = \frac{k}{k+1} E_m \text{ en } {}_vE_m = \frac{1}{k+1} E_m$$

en de somwet gaat over in:

$$\frac{\frac{k}{k+1} E_m}{E_r(Z)} + \frac{\frac{1}{k+1} E_m}{E_v(Z)} = 1.$$

Hieruit kan de kromme $Z(E_m)$ zonder meer worden berekend. Het blijkt, dat haar vorm en gradatie tusschen die van $Z(E_r)$ en $Z(E_v)$ inliggen, en naar gelang van de mengverhouding dichter tot die van de eene of van de andere naderen. Practisch gesproken is de samenwerking van verschillende kleuren dus additief.

Opmerkelijk is nog, dat met de rechte gedeelten der zwartingskrommen van de componenten [dus van de functies: $Z(\log E_r)$ en $Z(\log E_v)$] in 't algemeen een niet recht gedeelte van de zwartingskromme van de mengkleur [dus van de functie $Z(\log E_m)$] moet overeenkomen. Dit versterkt de op blz. 20 uitgesproken meening, dat het rechte stuk van geen theoretische waarde is.

Overigens zijn ook de functies $Z(E_r)$ en $Z(E_v)$ als regel niet expliciet bekend en dan moet de som- of verschilskromme grafisch met behulp van de somwet worden afgeleid.

HOOFDSTUK VI.

METINGEN TER VERKLARING VAN DE SOMWET. DE OPPERVLAKKIGE ONTWIKKELING ALS METHODE.

Pogingen tot uitbreiding der somwet.

OM tot een beter begrip van de somwet te komen, heb ik in de eerste plaats pogingen gedaan om haar te generatiiseeren. Ik heb bijvoorbeeld zwartingskrommen bij constante intensiteit vervaardigd en de zwarting als functie van den belichtingstijd t uitgezet. Een eventueele somformule zou dan de volgende gedaante hebben:

$$1/t_r + 1/t_v = 1/t_m \text{ (vergelijk blz. 22).}$$

Voorbeeld:

Plaat p 26. Ilford rapid process pan.

Belichting, ontwikkeling en meting als P 1—P 11 (zie blz. 23).

Z	$1/t_r$	$1/t_v$	$1/t_m$	% fout
0,2	51	208	292	— 11
0,3	39	147	216	— 17
0,4	31	107,5	161,5	— 14
0,5	25	80	120,6	— 14
0,6	29,4	60,1	90,1	— 11
0,7	16,7	44,9	68,5	— 10
0,8	13,7	34,3	52,6	— 9
0,9	12,5	26,1	41,0	— 6
1,0	9,3	20,0	31,8	— 8
1,1	7,7	15,4	25,1	— 8
1,2	6,54	12,1	20,0	— 7
1,3	5,46	9,45	15,9	— 6
1,4	4,61	7,51	12,7	— 4
1,5	3,89	5,92	10,3	— 5
1,6	3,28	4,70	8,26	— 3
1,7	2,63	3,58	6,54	— 5

Blijkens de geringe strooiing der zwartingen was dit plaatje zeer nauwkeurig en mede in verband met de groote verhouding van t_r tot t_v , wijzen de procentische afwijkingen op de ongeldigheid van de tijdsomwet in dit geval.

Later is gebleken, dat uit het feit dat de gewone (= intensiteits-) somwet voor alle belichtingstijden geldt, volgt, dat de tijdsomwet in 't algemeen niet juist kan zijn. Deze overgang wordt in Hoofdstuk VIII behandeld.

Maar zelfs uit elementaire overwegingen volgt reeds, dat de tijdsomwet van een geheel anderen rang is dan de intensiteitssomwet. De oorzaak hiervan ligt in het feit, dat voor heterochromatische methoden de begrippen intensiteit en tijd niet duaal zijn. Dit blijkt aanstonds als we trachten de woorden tijd en intensiteit duaal te verwisselen.

De somwet heeft betrekking op „het verband tusschen *intensiteiten*, als men verschillende kleuren *gelijktijdig* en met gelijken *belichtingstijd* laat inwerken.”

Duaal zou dit worden: „het verband tusschen *belichtingstijden*, als men verschillende kleuren en met gelijke *intensiteit* laat inwerken.”

Op de plaats van de stippeltjes moet het duale van „gelijktijdig” komen, dat niet bestaat. En wat „gelijke intensiteit van verschillende kleuren” wil zeggen, dat valt ook niet eenduidig uit te maken.

Trachten we nu omgekeerd het duale van de tijdsomwet te vinden. De tijdsomwet heeft betrekking op „het verband tusschen *belichtingstijden* van verschillende kleuren, welke men elk met constante *intensiteit* laat inwerken.”

Duaal wordt dit: „het verband tusschen *intensiteiten* van verschillende kleuren, welke men elk met constanten *belichtingstijd* laat inwerken.”

Zoo werd ik op logische wijze gevoerd tot het duale van de tijdsomwet: *de uitgebreide intensiteitssomwet*. Haar uiterlijke vorm is dezelfde als van de gewone intensiteitssomwet, doch de zwartingskrommen van de samenstellende kleuren kunnen elk met een anderen belichtingstijd zijn opgenomen.

Ik heb eenige plaatjes gemaakt om deze wet experimenteel te toetsen.

Plaat p 29. Ilford rapid process pan.

Kleuren, ontwikkeling en meting als P 1—P 11.

Belichting: rood 5 seconden;

violet 50 seconden.

Somkleur: rood + violet gedurende 5 seconden en onmiddellijk
hierna violet gedurende nog 45 seconden.

Z	$1/I_r$	$1/I_v$	$1/I_m$	% fout
0,1	97	286	328	+ 17
0,2	71	185	213	+ 20
0,3	55	137	164	+ 17
0,4	47	105	127	+ 22
0,5	37,7	83,5	101	+ 20
0,6	29,8	66,7	82,6	+ 17
0,7	24,1	53,5	67,5	+ 15
0,8	19,6	43,9	55,2	+ 15
0,9	15,8	34,5	44,9	+ 12
1,0	13,0	27,6	36,3	+ 12
1,1	10,4	21,8	29,8	+ 8
1,2	8,2	16,7	24,1	+ 3
1,3	7,6	12,7	19,2	+ 5
1,4	4,9	9,8	15,0	— 2
1,5	3,57	7,35	11,25	— 3

Plaat p 30. Als p 29, doch met de volgende belichtingstijden:

rood: 50 seconden;

violet: 10 seconden.

Somkleur: rood + violet gedurende 10 seconden, daarna nog
40 seconden rood.

Z	$1/I_r$	$1/I_v$	$1/I_m$	% fout
0,1	540	760	1120	+ 16
0,2	400	520	770	+ 19
0,3	327	396	595	+ 21
0,4	270	301	481	+ 19
0,5	222	230	395	+ 14
0,6	184	174	321	+ 12
0,7	152	132	260	+ 9
0,8	125	100	211	+ 7

0,9	103	75	170	+ 5
1,0	85	56	138	+ 4
1,1	70	42	111	+ 1
1,2	57,5	31,7	90,0	— 1

De uitgebreide intensiteitssomwet geldt dus in deze gevallen niet. De toetsingsmethode als boven is trouwens niet ondubbelzinnig, want in verband met intermittentie-effecten kan het bij de belichting van de somkleur wel verschil uitmaken of het samenvallende deel van de roode en violette belichting aan het begin, aan het eind of in het midden van de totale belichting valt. Inderdaad heb ik zulke verschillen gevonden, doch zag geen aanleiding om in deze richting verder te werken. De eenige conclusie, die ik uit deze pogingen heb getrokken is de volgende:

De begrippen belichtingstijd en intensiteit, welke in de monochromatische fotografie dual verwisselbaar zijn, zijn dit niet meer in de heterochromatische fotografie.

In Hoofdstuk VIII zal deze stelling nog aan een ander vraagstuk worden gedemonstreerd.

De invloed van de ontwikkeling.

Dat de somwet, wanneer zij voor één ontwikkelmethode geldt, ook voor alle mogelijke wijzen van ontwikkeling geldt (zie blz. 34) schijnt op het eerste gezicht triviaal. Want stel, dat de eerste ontwikkelmethode bij een bepaalde zwarting 1Z , het tripel E_r , E_v en E_m oplevert, dat aan de somwet voldoet, dan zal een tweede ontwikkelmethode hetzelfde latente beeld tot een zwarting 2Z ontwikkelen; en thans behoort bij deze zwarting het tripel E_r , E_v en E_m , zoodat vanzelf aan de somwet is voldaan.

Toch blijkt bij nadere beschouwing in de bovenstaande redeneering een niet bewezen onderstelling te zitten, welke ik in haar algemeenheid de transformatiewet voor zwartingen heb genoemd en die als volgt luidt:

Beschouwt men de door twee verschillende ontwikkelmethoden en overigens op dezelfde wijze verkregen zwartingsparen 1Z en 2Z , welke bij een gelijke belichting behooren, dan is de transformatie $^1Z \rightarrow ^2Z$ onafhankelijk van den aard van de belichting.

We zullen nu aan de plaatjes O 1 tot en met O 4 (zie blz. 35) nagaan in hoeverre deze wet juist is. O 1 en O 2 waren gelijk belicht en worden dus samengevat. Als basis neem ik O 1A en bepaal hierin de intensiteiten I_r , I_v en I_m , welke bij de zwarting $^1Z = 0,30$ behooren. De onderstaande tabel geeft aan, welke zwartingen 2Z door deze intensiteiten met de andere ontwikkelmethoden zijn veroorzaakt.

Plaat	Ontwikkeling	Zwartingen		
		r	v	m
O 1A	Rodinal 1 : 5 2 min.	0,30	0,30	0,30
O 1B	„ 1 : 5 8 „	0,57	0,41	0,44
O 1C	„ 1 : 20 15 „	0,46	0,37	0,39
O 1D	IJzeroxalaat 8 „	0,39	0,31	0,33
O 2A	Rodinal 1 : 20 8 „	0,33	0,32	0,30
O 2B	Hydrochinon 8 „	0,51	0,39	0,39
O 2C	Amidol 8 „	0,51	0,29	0,36
O 2D	Glycine 25 „	0,48	0,25	0,27

De transformatiewet geldt dus niet, de overgang $^1Z \rightarrow ^2Z$ is in hooge mate van de kleur afhankelijk. Vergelijking van O 1A met O 1B en van O 2A met O 1C, doet zien, dat met toenemenden ontwikkeltijd het roode beeld meer toeneemt dan het violette, terwijl het sombeeld tusschen beide in blijft.

De invloed van den ontwikkeltijd blijkt nader uit de platen O 3 en O 4, welke onderling gelijk (doch intensiever dan O 1 en O 2) waren belicht.

Plaat	Ontwikkeling	Zwartingen		
		r	v	m
O 3A	Rodinal 1 : 5 8 min.	1,95	1,95	1,95
O 3B	„ 5 „	1,79	1,83	1,84
O 3C	„ 3 „	1,62	1,67	1,60
O 3D	„ 1 „	0,92	1,03	0,97
O 4A	Glycine 3 „	1,21	1,38	1,25
O 4B	„ 5 „	1,54	1,57	1,54

De invloed van den ontwikkeltijd wordt hiermee bevestigd. Mijn verklaring van dit verschijnsel is als volgt:

De roode stralen worden door de broomzilverkorrels minder verstrooid of geabsorbeerd dan de violette; naar verhouding ligt het roode latente beeld dus dieper in de gevoelige laag en het neemt bij langere (dus diepere) ontwikkeling meer toe.

Blijkens de toetsing op blz. 36 geldt de somwet echter voor de geheele O-serie. Hoewel dus de transformaties $^1Z \rightarrow ^2Z$ voor roode, violette en gemengde bestraling verschillend zijn, staan ze wel met elkaar in verband, namelijk juist in dat verband, hetwelk door de somwet wordt gegeven. De natuurlijkste wijze om dit te verklaren is de onderstelling, dat de somwet voor elke elementaire laag van de emulsie op zichzelf geldt.

Zoo wees dit onderzoek dwingend in de richting van de eenlaagplaten volgens Svedberg ²¹⁾, welke op andere gebieden reeds zulk een machtig hulpmiddel bleken te zijn. Het is echter uiterst moeilijk om eenlaagplaten zoo homogeen te gieten, dat zij geschikt zijn voor de toetsing van de somwet, vooral als ze tevens gesensibiliseerd moeten zijn. Prof. Ornstein opperde het denkbeeld om deze moeilijkheid te omzeilen door gewone handelsplaten te gebruiken en deze zoo oppervlakkig te ontwikkelen, dat slechts de bovenste elementaire laag tot de zwarting bijdraagt. In de plaats van eenlaagplaten kwam dus de eenlaag-ontwikkeling.

De methode der eenlaag-ontwikkeling.

Daar ik korreltellingen voorloopig wilde vermijden, was het noodig om een ontwikkelaar te vinden, welke tegelijk krachtig ontwikkelt en weinig in de diepte dringt. Het bleek, dat deze twee eischen eenigszins met elkaar in strijd zijn. Daarom ben ik er toe overgegaan om de plaat eerst een tijdlang in azijnzuur te drenken, daarna het bovenste laagje azijnzuur weg te wasschen en dan pas te ontwikkelen. In de diepte is de gelatine dan nog zuur en hier kan geen ontwikkeling plaats vinden. Na de ontwikkeling baad ik ook in azijnzuur, doch alleen met het doel om de ontwikkeling op een goed gedefinieerden tijd stop te zetten. Na vele proeven kwam ik tot het volgende definitieve recept:

5 minuten baden in 5 % azijnzuur.

1 minuut baden in water onder heftig schudden.

1 minuut ontwikkelen onder heftig schudden in:

water 100 cm³.
 2 % pyrocatechine-oplossing 40 cm³.
 10 % NaOH oplossing 10 cm³.

Temperatuur 18° C.

Daarna baden in 5 % azijnzuur. Fixeeren naar keuze.

Het verdient aanbeveling om hoge zwartingen niet één, doch twee minuten te ontwikkelen en dan zoo noodig de hoeveelheid NaOH te verminderen.

Onder het microscoop heb ik de dikte van het aldus ontwikkelde beeld nagegaan. Terwijl ik met de normale Rcdinal-ontwikkeling (1:20; 8 minuten) dikten van 0,012 tot 0,020 mm vond (naar gelang van de emulsie), bleef de dikte volgens de nieuwe methode beneden de 0,002 mm; alles bepaald aan de reeds eenige dagen gedroogde plaat.

Dat een andere methode een beter resultaat zou opleveren, is niet te verwachten, daar de zilverkorrels en de fouten in het emulsieoppervlak nog grooter dan 0,002 mm kunnen zijn.

Dat de somwet blijft doorgaan blijkt o.a. uit het oppervlakkig ontwikkelde plaatje p 41 (blz. 25).

Ander voorbeeld:

Plaat p 36. Ilford rapid process pan.

Belichting als P 1—P 11 (blz. 23).

Eenlaagontwikkeling.

Zwartingsmeting met microfotometer.

Daar bij eenlaagontwikkeling de zwartingen klein blijven is in de onderstaande tabel als zwartingsmaat ingevoerd de functie S, dat is het percentage van het licht, dat wordt geabsorbeerd.

$$[S = 100 (1 - 10^{-z})]$$

S	1/I _r	1/I _v	1/I _m	% fout
3,3	654	1110	1695	+ 4
6,7	450	705	1170	— 1
10,0	362	510	870	0
13,3	297	400	700	0
16,7	258	313	572	0
20,0	220	250	477	— 2
23,3	187	202	394	— 1

26,7	162,5	167	328	0
30,0	138	141	270	+ 3
33,3	116,3	116,3	228	+ 2
36,7	98,2	93,5	191,7	0
40,0	82,0	76,5	164,5	— 2
43,3	67,1	60,3	136,8	— 7
46,7	54,7	47,6	115,0	— 10

Mijns inziens kan de eenlaagontwikkeling ook voor andere doeleinden, zooals voor intensiteitsmetingen van nut zijn en wel om de volgende redenen:

1°. De zwartingen blijken veel beter reproduceerbaar te zijn dan met gewone ontwikkeling, vermoedelijk doordat de dikteverschillen van de emulsie worden uitgeschakeld. De dikte van het beeld wordt hier immers uitsluitend door de diffusie-snelheid van den ontwikkelaar bepaald.

2°. De zwartingskrommen loopen flauwer dan met normale ontwikkeling. Dit werkt de vergrooting van de nauwkeurigheid weliswaar eenigszins tegen, doch maakt aan den anderen kant, dat een veel grooter intensiteitsgebied wordt omspannen. Terwijl als regel bij fotometrische zwartingsbepaling geen grooter gebied dan 1 : 5 à 1 : 10 wordt bereikt, doordat hogere zwartingen niet nauwkeurig kunnen worden gemeten, is bij oppervlakte-ontwikkeling de maximaal te bereiken zwarting 0,4 à 0,7, zoodat het intensiteitsgebied slechts door het karakter van de emulsie wordt begrensd en van 1 : 100 tot 1 : 300 varieert.

3°. Bij ongesensibiliseerde platen loopen de zwartingskrommen voor verschillende kleuren bij gelijken belichtingstijd en oppervlakkige ontwikkeling evenwijdig. (Zie hierover blz. 54).

4°. Ondanks de flauwere gradatie is de vergrooting van de drempel-intensiteit gering. Ze bedraagt naar mijn ervaring 50 à 100 %.

De invloed van de zwartingsmeting.

We knopen aan bij de transformatiewet, welke op blz. 46 is geformuleerd. Ze laat zich als volgt generaliseeren:

Beschouwt men de langs twee verschillende wegen bepaalde in-

werkingen 1W en 2W als functies van de hen veroorzakende energie E , dan is de door eliminatie van E verkregen overgang $^1W \rightarrow ^2W$ onafhankelijk van de kleur van het opvallende licht.

Het ware interessant om na te gaan voor welke functies deze wet opgaat en voor welke niet. Verscheidene mogelijkheden doen zich hier voor, bijvoorbeeld:

1°. De neergeslagen hoeveelheid zilver als functie van de zwarting.

2°. De korrelgrootte-verdeeling als functie van de zwarting.

En zoo zijn nog diverse andere voorbeelden te bedenken, die m. i. van nut kunnen zijn voor een beter inzicht in de heterochromatische fotografie, doch die te ver van mijn onderwerp af lagen om er op door te gaan. We hebben echter reeds gezien, dat de transformatiewet niet geldt voor de volgens de eene ontwikkelmethode verkregen zwarting als functie van de volgens een andere ontwikkelmethode verkregen zwarting. En als verder voorbeeld wil ik nog behandelen: de pyrometrische zwarting als functie van de fotometrische zwarting.

Plaat B 6.

Somwettoetsing met pyrometer, zie blz. 29.

Somwettoetsing met microfotometer, zie blz. 36.

1Z (Zwarting met pyrometer voor roode, violette en gemengde belichting)	2Z (Overeenkomstige zwarting met microfotometer)		
	r	v	m

0,10	0,22	0,16	—
0,20	0,41	0,34	0,32
0,30	0,57	0,51	0,50
0,40	0,74	0,69	0,68
0,50	0,88	0,86	0,83
0,60	1,01	1,02	0,99
0,70	1,13	1,17	1,13
0,80	1,24	1,31	1,26
0,90	—	1,43	1,39

Plaat p 50.

Sensibilisatie, belichting en ontwikkeling als p 53A (blz. 26).

1Z (Zwarting met pyrometer voor roode, violette en gemengde

2Z (Overeenkomstige zwarting met microfotometer)

belichting)	r	v	m
0,2	0,29	—	—
0,3	0,43	0,43	0,43
0,4	0,58 ⁵	0,58 ⁵	0,58 ⁵
0,5	0,73	0,74	0,74
0,6	0,87	0,88	0,88
0,7	—	—	1,03
0,8	—	—	1,17

Voor B 6 gaat de transformatiewet dus niet precies door, voor p 50 wel. De gemeenschappelijke functie 1Z (2Z) blijkt voor p 50 merkwaardigerwijs nauwkeurig een rechte lijn door de oorsprong te zijn, terwijl de drie functies van B 6 niets bijzonders opleveren.

Dat de transformatie-wet wel eens niet kan opgaan, is begrijpelijk wanneer we bedenken, dat het roode en violette beeld niet dezelfde diepte-verdeeling bezitten. Maar waarom ze in 't eene geval wel, in 't andere niet opgaat, dat vereischt een nauwkeurige analyse van de wetten der zwartingsmeting. Dit is echter een zeer ingewikkeld vraagstuk; de grootte van de zwarting van een gegeven ontwikkeld beeld hangt bijv. af van:

- 1°. de golflengteverdeeling van het opvallende licht;
- 2°. de hoekverdeeling (tevens insluitend de begrenzing) van het invallende licht;
- 3°. de begrenzing van het uitvallende licht;
- 4°. de integratiemethode.

Alle vier factoren verschillen voor pyrometrische en microfotometrische zwartingen. Een goede theorie van dit probleem is mij niet bekend en daar de zwarting voor dit onderzoek niet het doel was, doch slechts een hulpmiddel om inwerkingen zichtbaar te maken, heb ik me hier niet verder mee beziggehouden.

De oorzaak der gradatie-verschillen.

Zooals in het volgende hoofdstuk zal blijken, is de eenige moeilijkheid bij de verklaring van de somwet, dat de zwartingskrommen

van verschillende kleuren onder overigens gelijke omstandigheden niet evenwijdig zijn. Het scheen mij daarom van belang om na te gaan welke factoren de niet-evenwijdigheid veroorzaken.

De voor de hand liggende verklaring ²²⁾ steunt op de absorptieverschillen in de gevoelige laag. De roode straling wordt minder geabsorbeerd dan de violette, dringt daardoor dieper door, waardoor de zwarting sneller met de intensiteit toeneemt en de zwartingskromme dus steiler wordt. Dat dit effect bestaat lijdt geen twijfel en blijkt ook uit mijn metingen betreffende den invloed van de ontwikkeling. Maar dat het de hoofdoorzaak van de gradatieverschillen vormt, kan niet juist zijn. De belangrijkste factor is veeleer de sensibilisatie. We zullen dit in twee stappen aantonen:

1. De absorptie veroorzaakt niet de groote gradatie-verschillen.

a. De oppervlakkige ontwikkeling schakelt de absorptie vrijwel geheel uit. We vergelijken nu de platen P 3 (blz. 24) en p 36 (blz. 49), welke op dezelfde emulsie onder gelijke omstandigheden zijn belicht. P 3 is 8 minuten met Rodinal ontwikkeld, p 36 is oppervlakkig ontwikkeld; het quotiënt I_r/I_v verandert in het eerste geval bij toenemende zwarting met een factor $2\frac{1}{2}$, in het tweede geval met een factor 2. De gebieden dekken elkaar niet volkomen, doch dat de uitschakeling van de absorptie de gradatieverschillen slechts weinig verandert, blijkt duidelijk.

b. Van dezelfde emulsie (Ilford rapid process pan), waarop de beide plaatjes P 3 en p 36 zijn vervaardigd, heb ik de spectrale absorptie direct gemeten en wel met den spectraalpyrometer ⁶⁾ op de volgende wijze: een op constante spanning brandende bandlamp verlichtte allereerst een diffuus wit vlak, bestaande uit een glazen plaat, waarop met behulp van brandend magnesium magnesiumoxyd was neergeslagen. Dit vlak werd in diverse golflengten gepyrometreerd. Vervolgens werd op de plaats van het witte vlak de fotografische plaat gebracht en van deze zoowel het teruggekaatste als het doorgelaten licht in verschillende richtingen bij verschillende golflengten gemeten. Tijdens de meting liep de plaat eenigszins aan, doch na een uur was het verloop nog niet meer dan 10 %.

Het witte vlak kaatst practisch al het licht terug en vertoont in ieder geval geen merkbaar golflengte-effect. De metingen hiervan

geven dus het licht, dat op de plaat valt. Trekken we daarvan de totale hoeveelheden teruggekaatst en doorgelaten licht af, dan is het verschil gelijk aan de absorptie in de gevoelige laag. De methode is niet zeer nauwkeurig, maar voor ons doel zeer geschikt. De resultaten voor de „Ilford rapid process pan”-plaat zijn als volgt:

Golflengte.	Terugkaatsing in % van het opvallende licht.	Doorlating in % van het op- vallende licht.	Absorptie in % van het op- vallende licht.	Absorptie in % van het in de laag tredende licht.
4600 Å	37 ⁵	15	47 ⁵	76
5000 Å	48	22	30	58
5400 Å	41	17 ⁵	41 ⁵	70
6000 Å	39	18	43	70
6600 Å	39	20	68	41

De absorptieverschillen van deze plaat zijn dus opvallend gering, ze is vrijwel grijs van kleur. Zien we nu van welke orde de gradatieverschillen kunnen zijn tusschen de volgens deze metingen meest uiteenlopende kleuren van 4600 en 5000 Å. De absorptie-

coëfficiënt van de eerste kleur is $\frac{100}{100-76} = 4,2$, die van de

tweede $\frac{100}{100-58} = 2,4$. De gemiddelde intensiteit over de ge-

heele laagdikte is dus in het eerste geval circa $1/\sqrt{4,2} = 0,48$ maal die van de bovenste laag, in het tweede geval $1/\sqrt{2,4} = 0,64$ maal die van de bovenste laag. Nemen we nu als uiterste geval aan, dat voor de drempelzwarting alleen de bovenste laag werkzaam is, voor de hoogste bruikbare zwarting de geheele laag, dan zien we dat de verhouding E_r/E_v slechts met een factor $0,64/0,48 = 1,25$ kan veranderen.

Zelfs voor deze volkomen onwaarschijnlijke onderstelling en met inachtneming van de grootste gemeten absorptieverschillen blijft dus de berekende factor ver achter bij de experimenteele waarde $2\frac{1}{2}$, waaruit weer volgt, dat de absorptie de gradatieverschillen niet verklaart.

II. De sensibilisatie veroorzaakt verandering van de gradatie.

a. De zwartingskrommen op ongesensibiliseerde platen van verschillende kleuren bij gelijken belichtingstijd en oppervlakkige ont-

wikkeling lopen evenwijdig. Dat bewijst o.a. het plaatje p 41 (blz. 25) en wordt bevestigd door de ervaringen op het Utrechtsche laboratorium. Een verder nauwkeurig onderzoek hieromtrent zal later worden verricht.

b. Wij hebben de emulsie van p 41 (Ilford special rapid) door baden gesensibiliseerd en vinden dat dan de zwartingskrommen niet meer evenwijdig zijn. Hiervoor verwijs ik naar p 53A (blz. 26) en p 58 (blz. 26), terwijl hieronder nog een voorbeeld gegeven wordt.

Plaat p 53B.

Sensibilisatie en belichting als p 53A.

Oppervlakkige ontwikkeling.

Meting met den pyrometer.

Z	$1/I_r$	$1/I_v$	$1/I_m$	% fout
0,1	166	478	650	— 1
0,2	92	256	337	+ 3
0,3	58	134	189	+ 2
0,4	36	75	108	+ 3
0,5	23,4	42,7	65,4	+ 1
0,6	14,9	25,3	40,7	— 1
0,7	9,6	16,4	25,9	0
0,8	6,3	10,5	16,9	— 1
0,9	4,0	6,6	10,4	+ 2

Het feit, dat de verhouding I_r/I_v met de zwarting verloopt doet zien, dat de zwartingskrommen niet evenwijdig zijn.

Samenvattende kunnen we dus zeggen, dat de gradatieverschillen in hoofdzaak door de sensibilisatie worden veroorzaakt. Bij de verklaring van dit verschijnsel moeten we de theorie van het latente beeld als basis nemen. Dit zal in het volgende hoofdstuk geschieden.

HOOFDSTUK VII.

THEORETISCHE AFLEIDING VAN DE SOMWET.

Analytische beschouwing.

DE somwet zelf houdt geen bepaalde theorie van de zwartingswetten in. We zullen nu eerst nagaan in hoeverre ook haar verklaring zonder zulk een theorie mogelijk is. Het blijkt, dat de somwet analytisch kan worden bewezen, als we onderstellen:

1°. dat de kleuren in een mengsel onafhankelijk van elkaar inwerken;

2°. dat de zwartingskrommen van verschillende kleuren bij den belichtingstijd, waarvoor de somwet moet gelden, evenwijdig zijn.

Bewijs: elke zwartingswet, die physisch zin heeft, kan in den volgenden vorm worden gebracht:

$$dZ = E_r dt \times F(Z)$$

waarin dZ de toename van de zwarting in den tijd dt . Deze wet geldt voor één bepaalde kleur. De 2e onderstelling zegt nu, dat voor een tweede kleur de gedaante van de zwartingswet gegeven wordt door:

$$dZ = E_v dt \times c F(Z)$$

waarin c een van de zwarting onafhankelijke constante is. De eerste onderstelling geeft dan als wet voor de mengkleur:

$$dZ = ({}_rE_m + c {}_vE_m) dt \times F(Z)$$

Integratie over een bepaalden tijd geeft nu:

$$Z = Q({}_rE_r)$$

$$Z = Q(c {}_vE_v)$$

$$Z = Q({}_rE_m + c {}_vE_m)$$

waaruit door eliminatie van Z en c de somwet onmiddellijk volgt.

Staan echter de zwartingswetten der beide componenten niet in zulk een eenvoudig verband, dan geldt de somwet slechts voor heel bijzondere functies F en deze kunnen alleen door een theorie van het latente beeld worden gerechtvaardigd.

Physische verklaring.

We zullen ons voorloopig stellen op het standpunt der meest gebruikte theorie, de statistische, welke door Svedberg²³⁾ en anderen²⁴⁾ is ontwikkeld. We gebruiken slechts één grondvergelijking der theorie, welke uitdrukt, dat voor eenlaagplaten het aantal door een gegeven energie ontwikkelbaar wordende korrels evenredig is met die energie en met het aantal nog niet aangeslagen korrels. Zij dx de vermeerdering van het aantal korrels door de energie dE , dan geldt:

$$dx = K dE (N - x) \quad (1)$$

waarin K een constante, N het totale aantal beschikbare korrels en x het aantal reeds aangeslagen korrels.

De vergelijking (1) geldt voor één klasse van korrels van bepaalde grootte. Voor iedere klasse van grootte in een emulsie moet de vergelijking feitelijk afzonderlijk en met een eigen K worden opgeschreven; de K is dan in 't algemeen evenredig met het oppervlak van de betreffende korrels.

De grootte van een K hangt verder ook af van de kleur van het inwerkende licht. De onderstelling ligt nu voor de hand, dat de verhouding van de K 's van twee kleuren voor alle klassen van korrels gelijk is. Deze verhouding c kan dan de kleurgevoeligheidsfactor worden genoemd. Deze onderstelling reduceert de vergelijking (1) tot een bijzonder geval van de functie $F(Z)$, die ik in het begin van dit hoofdstuk invoerde; en het daar gegeven analytische bewijs blijft dus zonder meer gelden. Anders gezegd: de invoering van den kleurgevoeligheidsfactor bewerkt:

1°. dat de zwartingskrommen van de verschillende kleuren evenwijdig zijn;

2°. dat — onafhankelijkheid van de inwerking onderstellend — de somwet doorgaat.

We zullen voorloopig de onafhankelijkheid van de inwerking van verschillende kleuren postuleeren. Het feit echter, dat voor gesensibiliseerde platen — ook bij eenlaagontwikkeling — de zwartingskrommen niet evenwijdig zijn, noopt tot het invoeren van een meer ingewikkelde voorstelling van de kleurgevoeligheid. Voor onze verdere beschouwing kunnen we nu twee wegen inslaan en er van uitgaan, dat of de kleurgevoeligheidsfactor afhankelijk is van de

grootteklasse, of de N's van de kleur afhangen. De eerste onderstelling geeft ongeveer het volgende beeld:

Die kleur, waarvoor naar verhouding de K voor de grootste korrels het grootst is, heeft bij kleine energieën de grootste gradatie; bij grotere energieën wordt ze echter door de andere kleur ingehaald. Daar dit niet met de verschijnselen in overeenstemming is, leek het juister om te onderstellen, dat de constante c onafhankelijk is van de korrelgrootte en dus het aantal beschikbare korrels N voor iedere klasse van de kleur afhangt.

Met het oog op de in Hoofdstuk VI gevonden eigenschappen van de sensibilisatie komt de laatste onderstelling fysisch hierop neer:

de sensibilisator maakt een grooter aantal korrels voor de kleur, waarvoor gesensibiliseerd is, gevoelig dan oorspronkelijk gevoelig zijn voor de kleuren, welke op de ongesensibiliseerde emulsie inwerken.

Beschouwen we nu voorloopig slechts één bepaalde grootteklasse, dan krijgen we dus de volgende vergelijkingen:

$$dx_r = K_r dE_r (N_r - x_r) \quad (2)$$

$$dx_v = K_v dE_v (N_v - x_v) \quad (3)$$

waarin $N_r > N_v$.

Eén vraag is nu nog te overwegen, n.l. die of de korrels N_v al of niet, of gedeeltelijk in die van N_r begrepen zijn; plausibel is om te onderstellen, dat de korrels N_v wel in N_r begrepen zijn. In plaats van N_r kunnen we dus van N (totaal aantal beschikbare korrels) spreken. De vergelijking van de somkleur wordt dan:

$$dx_m = dx_a + dx_b = (K_r d_r E_m + K_v d_v E_m) (N_v - x_a) + K_r d_r E_m (N - N_v - x_b) \quad (4)$$

We kunnen de constanten K_r en K_v opnemen in de energieën en verkrijgen dan door integratie van (2), (3) en (4) respectievelijk:

$$x_r = N (1 - e^{-E_r}) \quad (5)$$

$$x_v = N_v (1 - e^{-E_v}) \quad (6)$$

$$x_m = N_v (1 - e^{-E_m}) + (N - N_v) (1 - e^{-r E_m}) \quad (7)$$

Om de somwet te toetsen moeten we de zwartingen gelijk stellen, d.w.z.: $x_s = x_v = x_m = X$ en nagaan in hoeverre de hierdoor bepaalde energieën aan de somformule voldoen. Door reeksontwikkeling van (5), (6) en (7) blijkt, dat bij verwaarloozing van de termen van tweede en hogere orde de somwet streng doorgaat. In hoeverre deze verwaarloozing geoorloofd is, hangt echter zoowel van de waarde van X , als van die van N_v/N en rE_m/E_m af. Om een oordeel hierover te krijgen stellen wij rE_m/E_m gelijk $1/2$, daar bij deze waarde der verhouding de grootste afwijkingen optreden. De waarde van N_v/N hangt van het karakter van de emulsie af. Voor de „Ilford rapid process pan”, (plaat p 36, zie blz. 49), is $N_v/N = 0,5$ à $0,7$ een redelijke waarde. Voor $N_v/N = 0,5$ worden de afwijkingen als volgt:

X/N_v	% fout in de somwet
0,10	0
0,20	— 2
0,30	— 7

Voor $N_v/N = 0,7$ krijgen we:

X/N_v	% fout in de somwet
0,10	0
0,20	0
0,40	— 3
0,60	— 7

Naarmate N_v/N dichter tot 1 nadert, worden de fouten steeds geringer. Daar dan ook de verschillen in de gradatie geringer worden, mag N_v/N niet al te dicht tot 1 naderen. Een andere mogelijkheid om bij gegeven N_v/N de afwijkingen van de somwet te verkleinen is het invoeren van verschillende grootte- (dus gevoeligheids-) klassen. Des te meer en des te sterker uiteenlopende grootte-klassen worden ingevoerd, des te geringer worden de afwijkingen van de somwet.

Hieruit blijkt wel, dat de bovenstaande afleidingen als zuiver kwalitatief moeten worden beschouwd. In werkelijkheid is de grootte-klassenverdeling voor iedere emulsie anders, terwijl ook de kleur-gevoeligheidsfactor c niet constant behoeft te zijn. En zelfs is het

gebleken, dat de statistische wetten voor één bepaalde grootte-klasse slechts bij benadering gelden. De statistische theorie op zichzelf heeft dus slechts kwalitatieve waarde.

Maar hoe men de afleidingen ook opzet, altijd moeten de negatieve afwijkingen van de somwet met hogere zwarting toenemen. Daarom heb ik nagegaan of bij zeer hoge zwartingen systematische afwijkingen boven de meetfouten optreden. De volgende platen geven hiervoor experimenteele gegevens.

Plaat p 45. Ilford special rapid. Belichtingstijd 10 seconden. Kleuren als p 41. Eenlaag-ontwikkeling. Meting met den pyrometer. Voor lage zwartingen vergelijk p 41, blz. 25. De hier en bij de volgende plaatjes opgegeven intensiteiten beginnen met circa een factor 1000 boven de drempelwaarde. Ze zijn niet zoo nauwkeurig als bij de andere plaatjes wegens den moeilijker af te meten belichtingstijd van 10 seconden.

Z	I_m/I_r	I_m/I_v	% fout
0,30	0,47 ⁵	0,63	+ 10
0,35	0,46 ⁵	0,61 ⁵	+ 8
0,40	0,43	0,61 ⁵	+ 4
0,45	0,41	0,60	+ 1
0,50	0,41	0,58 ⁵	— 1
0,55	0,40	0,57	— 3
0,60	0,38	0,55	— 7

Plaat p 59. Ilford special rapid, gesensibiliseerd als p 58. Kleuren, ontwikkeling en meting als p 58. Belichtingstijd 30 seconden. Voor de lage zwartingen vergelijk p 58 (blz. 26).

Z	$1/I_g$	$1/I_v$	$1/I_m$	% fout
1,6	83	418	614	— 20
1,7	45	235	340	— 18
1,8	23	109	156	— 15
1,9	11,6	37,0	63,7	— 24

Plaat p 50A. Ilford special rapid, gesensibiliseerd als p 53A. Kleuren, ontwikkeling en meting als p 53A. Belichtingstijd 10 seconden. Voor de lage zwartingen vergelijk p 53A (blz. 26). Ter toelichting geef ik van p 50A de zwartingskrommen: fig. 5.

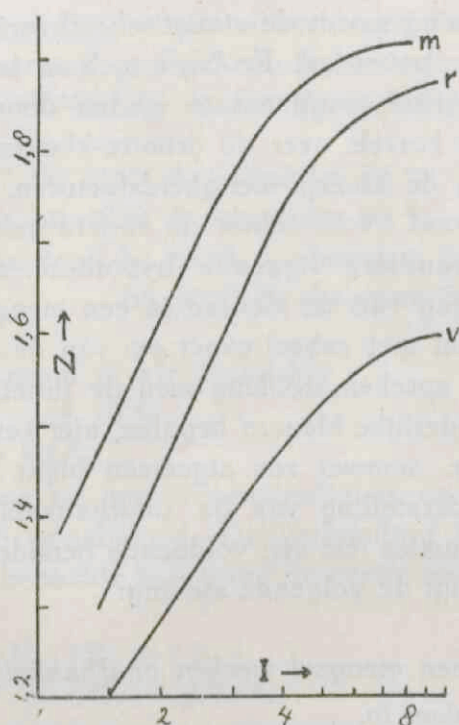


Fig. 5. Zwartingskrommen van p 50A.

Duidelijk blijkt hier, dat de maximaal te bereiken zwarting van de kleur afhangt. De toetsing van de somwet geeft dan ook:

Z	$1/I_r$	$1/I_v$	$1/I_m$	% fout
1,4	55,5	34	84	+ 6
1,45	50	28	75	+ 4
1,5	44,2	22,4	66,3	0
1,55	38,8	17,6	58,5	- 4
1,6	34,7	10,0	51,8	- 14
1,7 en hoger.	}		0	zeer groot.

Bij zeer hoge zwartingen blijven de krommen dus vrijwel evenwijdig en gaat de somwet door voor de ongesensibiliseerde platen, voor de gesensibiliseerde niet, terwijl de afwijkingen in dit geval

negatief zijn. Qualitatief worden onze theoretische beschouwingen dus volkomen bevestigd.

Welke quantitatieve conclusies kunnen hier nu uit worden getrokken?

Naar mijn meening wordt de statistische theorie van het latente beeld er niet door bevestigd. Er blijft toch in haar beeld te veel ruimte om gewenschte resultaten te vinden door aanpassing van de verdeeling der korrels over de grootte-klassen en door onderstellingen omtrent de kleurgevoeligheidsfactoren.

Op den voorgrond treedt echter de andere helft van de aan dit hoofdstuk ten grondslag liggende hypothese, namelijk de onafhankelijke inwerking van de kleuren in een mengsel.

Weliswaar is het niet geheel exact om van de onafhankelijkheid van werkingen te spreken, zoolang men de functies die de inwerking van de afzonderlijke kleuren bepalen, niet kent. Maar het feit, dat eenerzijds de somwet zoo algemeen blijkt te gelden en dat anderzijds bij onderstelling van de onafhankelijke werking zoo groote groepen functies met een voldoende benadering aan de somwet voldoen, wettigt de volgende stelling:

De kleuren in een mengsel werken onafhankelijk van elkaar op de fotografische plaat in.

Met dien verstande, dat zij uitsluitend geldt voor normale belichtingsprocessen; niet voor buitengewoon intensieve of in ander opzicht afwijkende belichtingen. (Vergelijk blz. 10.)

De dikte van de gevoelige laag.

Onze beschouwingen hadden uitsluitend betrekking op elementaire emulsielagen. Gewone fotografische platen kan men echter uit circa 5 tot 20 elementaire lagen opgebouwd denken. Voor iedere laag afzonderlijk geldt de somwet, maar daaruit volgt nog niet, dat zij ook geldt voor de plaat als geheel genomen. Want door de verschillende absorptie van de inwerkende kleuren zijn bij een bepaalde belichting de verhoudingen E_r/E_v en ${}_rE_m/{}_vE_m$ voor elke elementaire laag verschillend; wat men waarneemt zijn gemiddelden, die a priori niet aan de somwet behoeven te voldoen.

Het blijkt echter, dat de absorptie-verschillen niet zoo groot zijn, dat ze merkbare afwijkingen van de somwet veroorzaken. We zullen dit met een schematische berekening laten zien; nu vertoont de door mij gemeten „Ilford rapid proces pan”-plaat zulke geringe absorptieverschillen, dat ze als uitzondering moet worden beschouwd. Meer normale geel gekleurde emulsies zijn gemeten door Eggert en Noddack ²⁵⁾. Zij vinden bijvoorbeeld:

Agfa „Spezial” bij 6150 Å: absorptie 33 %

bij 4050 Å: absorptie 93 %

Agfa „Reproduktion” bij 6150 Å absorptie 29 %

bij 4050 Å absorptie 90 %

Deze getallen neem ik als grondslag

dus: absorptie rood 30 %

absorptie violet 90 %.

We denken ons nu ter vereenvoudiging de emulsie uit twee elementaire lagen opgebouwd. De verhouding tusschen de energieën die bij een bepaalde belichting de eerste resp. de tweede laag bereiken is dan:

voor het rood ${}^1E_r : {}^2E_r = 1,2 : 1$

voor het violet ${}^1E_v : {}^2E_v = 3,2 : 1$

In iedere laag wordt nu de statistische wet toegepast. Voor de eerste laag geldt:

$$\begin{cases} X_r = N (1 - e^{-E_r}) \\ X_v = N_v (1 - e^{-E_v}) \\ X_m = N_v (1 - e^{-E_m}) + (N - N_v) (1 - e^{-rE_m}) \end{cases}$$

Voor de tweede:

$$\begin{cases} X_r = N (1 - e^{-\frac{E_r}{1,2}}) \\ X_v = N_v (1 - e^{-\frac{E_v}{3,2}}) \\ X_m = N_v (1 - e^{-(\frac{rE_m}{1,2} + \frac{vE_m}{3,2})}) + (N - N_v) (1 - e^{-\frac{rE_m}{1,2}}) \end{cases}$$

Voor het geheel:

$$\begin{cases} X_r = N (2 - e^{-E_r} - e^{-\frac{E_r}{1.2}}) \\ X_v = N_v (2 - e^{-E_v} - e^{-\frac{E_v}{3.2}}) \\ X_m = N_v (2 - e^{-E_m} - e^{-(\frac{rE_m}{1.2} + \frac{vE_m}{3.2})}) + \\ + (N - N_v) (2 - e^{-rE_m} - e^{-\frac{rE_m}{1.2}}) \end{cases}$$

In eerste orde gaat de somwet ook hier streng door, terwijl de afwijkingen van tweede en hogere orde geheel in die van de elementaire laag zelf opgaan. De absorptie heeft dus geen merkbaren invloed.

HOOFDSTUK VIII.

DE INVLOED VAN DEN BELICHTINGSTIJD.

DE TIJDSEXPONENT.

De reciprociteitswet en de somwet.

DE statistische theorie geeft ons het aantal ontwikkelbare korrels als functie van de totale opvallende energie en volgens haar is het dus onverschillig hoe de energie over den belichtingstijd verdeeld is. Of de belichting lang of kort, continue of intermitterend is, dat mag de werking niet beïnvloeden. Noemen we I de intensiteit (= energie per seconde) en t den belichtingstijd, dan moet bij continue belichting de zwarting slechts een functie zijn van het product It — de oude reciprociteitswet van Roscoe-Bunsen ²⁶⁾.

Experimenteel blijkt de reciprociteitswet niet uit te komen. Het feit dat de statistische theorie dit niet kan verklaren, is m. i. een ernstig bezwaar tegen deze theorie.

Indien de reciprociteitswet wel juist was, zou uit het feit dat de somwet voor één bepaalden belichtingstijd geldt, onmiddellijk volgen, dat ze voor alle belichtingstijden geldt en de geldigheid van de tijdsomwet en van de uitgebreide somwet (zie blz. 44) zou eveneens direct bewijsbaar zijn.

De reciprociteitswet geldt niet, maar desondanks geldt onze somwet voor alle gemeten belichtingstijden (van 0,005 tot 100 seconden). Het ligt dus voor de hand om na te gaan in hoeverre de somwet gegevens omtrent de werkelijke tijd-intensiteits-wetten kan opleveren.

De exponent van Schwarzschild.

Schwarzschild ²⁶⁾ stelde in de plaats van de reciprociteitswet een andere wet. Hij vond, dat de zwarting een functie is van het

product van de intensiteit en den tot een zekere macht verheven belichtingstijd, dus

$$Z = F (I t^p)$$

waarin p een van de emulsie afhankelijke constante is, die we tijds-exponent zullen noemen. Uiteraard kan dezelfde wet ook worden

geschreven als $Z = Q (I^q t)$ waarin $q = 1/p$ de intensiteitsexponent is. Indien de wet van Schwarzschild juist is, volgt wederom uit het feit dat de somwet voor één belichtingstijd geldt, de geldigheid voor alle belichtingstijden, niet echter de tijdsomwet en de uitgebreide somwet.

Ook de wet van Schwarzschild blijkt experimenteel niet juist te zijn, maar zij kan, doordat men over een vrijen parameter beschikt, beter bij de waarnemingen worden aangepast dan de reciprociteitswet. De constante p is echter in 't algemeen niet een voor een emulsie karakteristieke grootte, haar waarde hangt geheel van de wijze van meten af. We kunnen daarom volgens de huidige gegevens niet meer zeggen, dan dat de zwarting een functie is van I en t afzonderlijk, dus van twee onafhankelijke variabelen²⁶⁾.

In de practijk is het begrip tijdsexponent echter blijven bestaan, niet als een constante van de emulsie, doch als een grootte die ter samenvatting van waarnemingen dienst kan doen. Kan namelijk een zelfde zwarting Z worden verkregen door de intensiteit I_1 gedurende den tijd t_1 of ook door de intensiteit I_2 gedurende den tijd t_2 toe te voeren, dan is volgens Schwarzschild:

$$I_1 t_1^p = I_2 t_2^p$$

$$\text{waaruit volgt: } p = \frac{\log \frac{I_1}{I_2}}{\log \frac{t_2}{t_1}}$$

Deze formule geeft de practisch gebruikte definitie van den tijdsexponent; de grootte p is de verhouding van twee door de waarnemingen bepaalde logarithmen. Het is gebleken dat de waarde van p geheel afhankelijk van de grootte van I_1 , I_2 , t_1 en t_2 en dus ook van de zwarting Z .

Meestal spreekt men van den tijdsexponent bij één bepaald tripel I , t , Z en bedoelt daarmee den limiet, waartoe p nadert, indien men

de intensiteiten I_1 en I_2 en dus ook de tijden t_1 en t_2 bij constante zwarting tot elkaar laat naderen.

$$\text{Dus: } p = \lim_{\Delta \rightarrow 0} \frac{\log \frac{I}{I + \Delta I}}{\log \frac{t + \Delta t}{t}} = - \left(\frac{\partial I}{\partial t} \right)_Z \times \frac{t}{I}$$

We zullen ons van deze laatste definitie bedienen, daarbij steeds bedenkend, dat de op deze wijze gedefinieerde p niet experimenteel kan worden bepaald en dat men practisch den tijdsexponent slechts uit twee verschillende paren I, t kan bepalen.

De tijdsexponent voor verschillende kleuren.

De vraag doet zich nu voor in hoeverre de functie $p(I, t, Z)$ van de kleur van het werkende licht afhankelijk is. Een vergelijking van p 's voor verschillende kleuren heeft alleen zin, indien de omstandigheden der belichting nauwkeurig gelijk zijn. Nu is door twee der drie grootheden I, t en Z de derde vastgelegd, zoodat in 't algemeen voor twee verschillende kleuren slechts twee dezer grootheden gelijk kunnen zijn, of ook kunnen twee functies van I, t en Z gelijk zijn. Welke functies moeten hiervoor nu worden gekozen? Niet de intensiteit, want het vergelijken van intensiteiten van verschillende kleuren is niet eenduidig, daar men bijvoorbeeld het aantal ergen/sec. of het aantal quanten/sec. als maatstaf zou kunnen nemen. Om dezelfde reden komt de totale energie $I \times t$ niet in aanmerking en trouwens geen enkele functie welke I bevat.

Het vergelijken van de tijdsexponenten van verschillende kleuren heeft slechts zin, indien dit bij gelijke belichtingstijden en zwartingen geschiedt.

In de rijke literatuur over dit onderwerp zijn mij slechts weinig publicaties bekend, waarin aan deze voorwaarde is voldaan; ook de verdere omstandigheden der meting zijn dikwijls ondoorzichtig. Zie hiervoor ²⁷⁾.

Daarentegen heeft Webb in een recente publicatie ²⁸⁾ zeer belangrijke resultaten medegedeeld. Hij beschouwt $I \times t$ als functie van t bij de zwarting 1,0 en meet deze functie voor verschillende

golflengten over een intensiteitsgebied van circa 1 op 1500. Het blijkt nu dat met twee bepaalde belichtingstijden een van de kleur onafhankelijke verhouding van de bijbehorende intensiteiten overeen komt. Dit resultaat wordt gevonden aan 4 verschillende emulsies met golflengten van 6720 tot 3650 Å, zoodat het wel algemeene geldigheid schijnt te bezitten. Een bezwaar is natuurlijk de beperking tot de zwarting 1,0. Maar aangezien dit een willekeurige middelmatige zwarting is, lijkt het waarschijnlijk, dat het resultaat ook voor andere middelmatige zwartingen geldig is. Hieruit zou de onafhankelijkheid van p van de kleur volgen.

Ook ik heb in den loop van het in dit proefschrift beschreven onderzoek eenige malen den tijds-exponent bepaald ²⁷⁾ over het geheele gebied der zwartingskromme, namelijk voor de plaatjes p 28 (zie blz. 34) en p 34 (zie blz. 31 en 33), beide op dezelfde emulsie onder vrijwel dezelfde omstandigheden gemeten.

Plaat p 28. Bepaling van p voor $t_1 = 100$ sec., $t_2 = 5$ sec.

Z	p_r	p_v	p_m
0,3	0,84	0,82	0,84
0,4	0,84	0,85	0,84
0,5	0,86	0,83	0,84
0,6	0,87	0,88	0,86
0,7	0,89	0,90	0,87
0,8	0,92	0,92	0,89
0,9	0,95	0,95	0,91
1,0	0,99	0,98	0,93
1,1	1,02	1,01	0,95
1,2			0,98
1,3			1,00

Plaat p 34. Bepaling van p voor $t_1 = 0,05$ sec., $t_2 = 0,005$ sec.

Z	p_r	p_v	p_m
0,1	1,05	1,08	1,14
0,2	1,06	1,08	1,12
0,3	1,09	1,08	1,09
0,4	1,13	1,09	1,08

We concludeeren uit deze plaatjes:

- 1o. de tijdsexponent verandert bij gelijken belichtingstijd sterk met de zwarting;
- 2o. de tijdsexponent verandert ook bij gelijke zwarting sterk met den belichtingstijd;
- 3o. binnen de grenzen der nauwkeurigheid (welke door de kleine t_1/t_2 gering is) is $p_r = p_v = p_m$.

(Natuurlijk kan voor bepaalde emulsies p in een bepaald gebied vrijwel constant zijn, maar dit mag blijkbaar niet worden generaliseerd.)

In verband met de zeer uitvoerige waarnemingen van Webb wil ik dus aannemen, dat de functie $p(Z, t)$ niet van de kleur afhangt. Of, wat principieel nog beter is omdat het begrip tijdsexponent geheel achterwege blijft:

Bepaalt men bij twee bepaalde belichtingstijden t_1 en t_2 de intensiteiten I_1 en I_2 , welke een bepaalde zwarting Z opleveren, dan is de verhouding I_1/I_2 onafhankelijk van de kleur van het werkende licht.

Dat onder deze voorwaarde de somwet voor alle belichtingstijden opgaat is wel duidelijk; immers bij overgang van den eenen op den anderen belichtingstijd worden alle grootheden E met eenzelfde factor vermenigvuldigd, welke dan door de homogeniteit van de somformule weer uitvalt.

En dat de tijdsomwet $1/t_r + 1/t_v = 1/t_m$ in 't algemeen niet juist is ook gemakkelijk in te zien.

Want: de somwet geeft $1/I_r + 1/I_v = 1/I_m$ gedacht bij een bepaalde Z en als belichtingstijd de eenheid.

Bepalen we nu tijdszwartingskrommen met de respectievelijke eenheden van intensiteit dan geldt volgens Schwarzschild:

$$I_r = t_r^{p_1}; I_v = t_v^{p_2}; I_m = t_m^{p_3}$$

En de somwet gaat over in:

$$\frac{1}{t_r^{p_1}} + \frac{1}{t_v^{p_2}} = \frac{1}{t_m^{p_3}}$$

In 't algemeen is dit in tegenspraak met:

$$1/t_r + 1/t_v = 1/t_m.$$

Natuurlijk zijn bijzondere waarden van p_1 , p_2 en p_3 denkbaar waarbij geen tegenspraak bestaat, doch onder normale omstandigheden zal p_3 daarvoor te weinig van p_1 en p_2 verschillen.

De onafhankelijkheid van p van de kleur verklaart tevens waarom de kleurgevoeligheid (blz. 40) niet bij een bepaalden belichtingstijd behoeft te worden gedefinieerd.

De somwet en de tijdsexponent.

Omgekeerd zullen we nu nagaan welke conclusies omtrent den tijdsexponent kunnen worden getrokken uit de geldigheid van de somwet.

Nemen wij bijvoorbeeld in overeenstemming met Webb²⁸⁾ aan, dat de tijdsexponent voor alle monochromatische kleuren gelijk is, dan geeft de somwet onmiddellijk, dat ze ook voor alle gemengde kleuren gelijk is.

Anderzijds kunnen we uit de somwet alleen reeds conclusies omtrent de p 's trekken. Nemen we daartoe aan dat de tijdsexponent van een kleur in een zeker gebied alleen van de zwarting, dus niet van den belichtingstijd afhangt. Voor twee belichtingstijden 1t en 2t geldt dan bij een bepaalde zwarting de somwet en voorts:

$$\left. \begin{aligned} ^1E_r \times ^1t^{p_r} &= ^2E_r \times ^2t^{p_r}; \quad {}_r^1E_m \times ^1t^{p_m} = {}_r^2E_m \times ^2t^{p_m} \\ ^1E_v \times ^1t^{p_v} &= ^2E_v \times ^2t^{p_v}; \quad {}_v^1E_m \times ^1t^{p_m} = {}_v^2E_m \times ^2t^{p_m} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$\text{De somwet geeft: } {}_r^2E_m/{}^2E_r + {}_v^2E_m/{}^2E_v = 1 \quad (2)$$

waaruit met behulp van (1) volgt:

$$\frac{{}_r^1E_m}{^1E_r} \left(\frac{^1t}{^2t} \right)^{p_m - p_r} + \frac{{}_v^1E_m}{^1E_v} \left(\frac{^1t}{^2t} \right)^{p_m - p_v} = 1$$

Dit moet gelden voor alle waarden van 2t , waaruit volgt:

$$p_r = p_r = p_m.$$

Was de p dus slechts van de zwarting afhankelijk, dan gaf de somwet streng de onafhankelijkheid van de kleur; en de mate

waarmee de gelijkheid der p 's in werkelijkheid door de somwet wordt gegeven hangt af van het verloop van p met den belichtingstijd (bij constante zwarting).

Dit is natuurlijk geenszins in tegenspraak met het verschijnsel, dat de tijdsexponent ondanks zijn verloop met den belichtingstijd toch voor alle kleuren gelijk is; alleen laat zich dit verschijnsel niet uit de somwet bewijzen.

Eén opmerking moet nog worden gemaakt: daar het fotografische beeld niet gelijkmatig over de diepte van de emulsie-laag verdeeld is, zal de p voor elke elementaire laag verschillen en meet men slechts een gemiddelde p . Daar nu bovendien de diepte-verdeeling met de kleur verschilt, zal men nooit volmaakte onafhankelijkheid van p van de golflengte kunnen vinden behalve voor eenlaagplaten.

Literatuur.

- 1) Verslag VIIIe Internationaal Congres voor Fotografie, Dresden 1932. Blz. 84.
- 2) Hay, Handbuch der wiss. Phot. Bd. V. Weenen 1932. Blz. 315.
- 3) Zie: Eder, Handb. der Phot. Bd. III, 4. Halle, 1930. Blz. 246.
- 4) Van Cittert, Revue d'Optique 2 (1923), blz. 57.
- 5) Toy, Photographic Journal 61 (1921), blz. 176.
- 6) Ornstein, Eymers en Vermeulen, Amsterd. Proc. 35, No. 3 (1932), blz. 278.
- 7) Luther, Verslag VIIIe Congres l.c. blz. 105.
- 8) Zie: Ornstein, Moll en Burger, Objektive Spektralphotometrie, Braunschweig 1932 Blz. 60.
- 8a) Ornstein, van der Held en Vermeulen, Journal of the Optical Soc. of Am. 20 No 10 (1930), blz. 573.
- 9) Goldberg, Der Aufbau des photographischen Bildes, Halle 1922. Blz. 100.
- 10) Eberhard, Publ. Astrophysik. Observ. Potsdam 26, Nr. 84, H. 1 (1926).
- 11) Zie Hay l. c. blz. 167.
- 12) Svedberg, Zeitschr. für wiss. Phot. 20 (1920/21), blz. 36.
- 13) Van Kreveld, Zeitschr. für wiss. Phot. Nog niet verschenen.
- 14) Eder, Rezepte und Tabellen Halle, 1933. Blz. 118.

- 15) Von Angerer, Wissenschaftliche Photographie, Leipzig 1931, blz. 51.
- 16) Schmidt, Kompendium der Photographie, Leipzig 1922. Blz. 201.
- 17) Schmidt, l. c. Blz. 205.
- 18) Schmidt, l. c. Blz. 214.
- 19) Schmidt, l. c. Blz. 208.
- 20) Goldberg, l. c. Blz. 78.
- 20a) Toy, Proc. Royal Soc. A 100 (1921), blz. 109.
- 21) Svedberg, Zeitschr. für wiss. Phot. 20 (1920/21), Blz. 36. Blz. 36.
- 22) Ross, The Physics of the developed image, Rochester 1924. Blz. 80.
- 23) Svedberg, Photogr. Journ. Vol. LXII (XLVI) 1922. Blz. 186.
- 24) Zie bijvoorbeeld: Hay l. c. blz. 269.
- 25) Eggert en Noddack, Zeitschr. f. Phys. 20 (1920), Blz. 304.
- 26) Zie: Hay l. c. blz. 288 en volgende.
- 27) Van Kreveld, Physica, Nov. 1933.
- 28) Webb, Journ. of the Opt. Soc. of Am. Vol. 23 (1933). Blz. 317.

STELLINGEN.

- I. Of een comitant een combinant is, kan ook symbolisch worden geverifieerd.
(Weitzenböck, Invariantentheorie, blz. 51.)
- II. De stelling, dat het kwadraat van een scheeven comitant door een vorm van rechte comitanten kan worden voorgesteld, wordt door Kerschensteiner zonder bewijs uitgesproken en is onjuist.
(Gordan-Kerschensteiner, Invariantentheorie, Deel II, blz. 9.)
- III. Zoowel uit systematisch als uit didactisch oogpunt is het wenschelijk om de invariantentheorie niet te beginnen met de projectieve groep, doch met de algemeene groepen van Lie en hiervan als eerste voorbeeld de eenledige groepen te behandelen.
(Weitzenböck, Acta Mathematica, Bd. 58, blz. 231.)
- IV. Het alternatief: „de Schwarzschild-exponent is wel of niet afhankelijk van de golflengte” is op zichzelf zonder zin.
(Hay-Meidinger, Handb. der wiss. Phot., Bd. V, blz. 305.)
- V. De papieren negatief-film is voor de practijk ongeschikt.
- VI. De meening van van Ewijk, dat voor de practische fotografie de gradatie-verschillen der kleuren zonder beteekenis zijn, is onjuist.
(Van Ewijk, Dissertatie, Delft 1932, blz. 36.)
- VII. De wijze, waarop van Selms den invloed van korrel-aantal en korrel-grootte op de zwarting scheidt, is te simplistisch.
(Van Selms, Dissertatie, Utrecht 1927, blz. 10.)
- VIII. De multiplex-interferometer heeft een voor absorptiemetingen veelal te geringe nauwkeurigheid.
- IX. Het lesgeven onder leiding is voor aanstaande leeraren van groote waarde.

