



Gekorrelldheid van fotografische negatieven in absolute maat

<https://hdl.handle.net/1874/322662>

496. 192, 1936

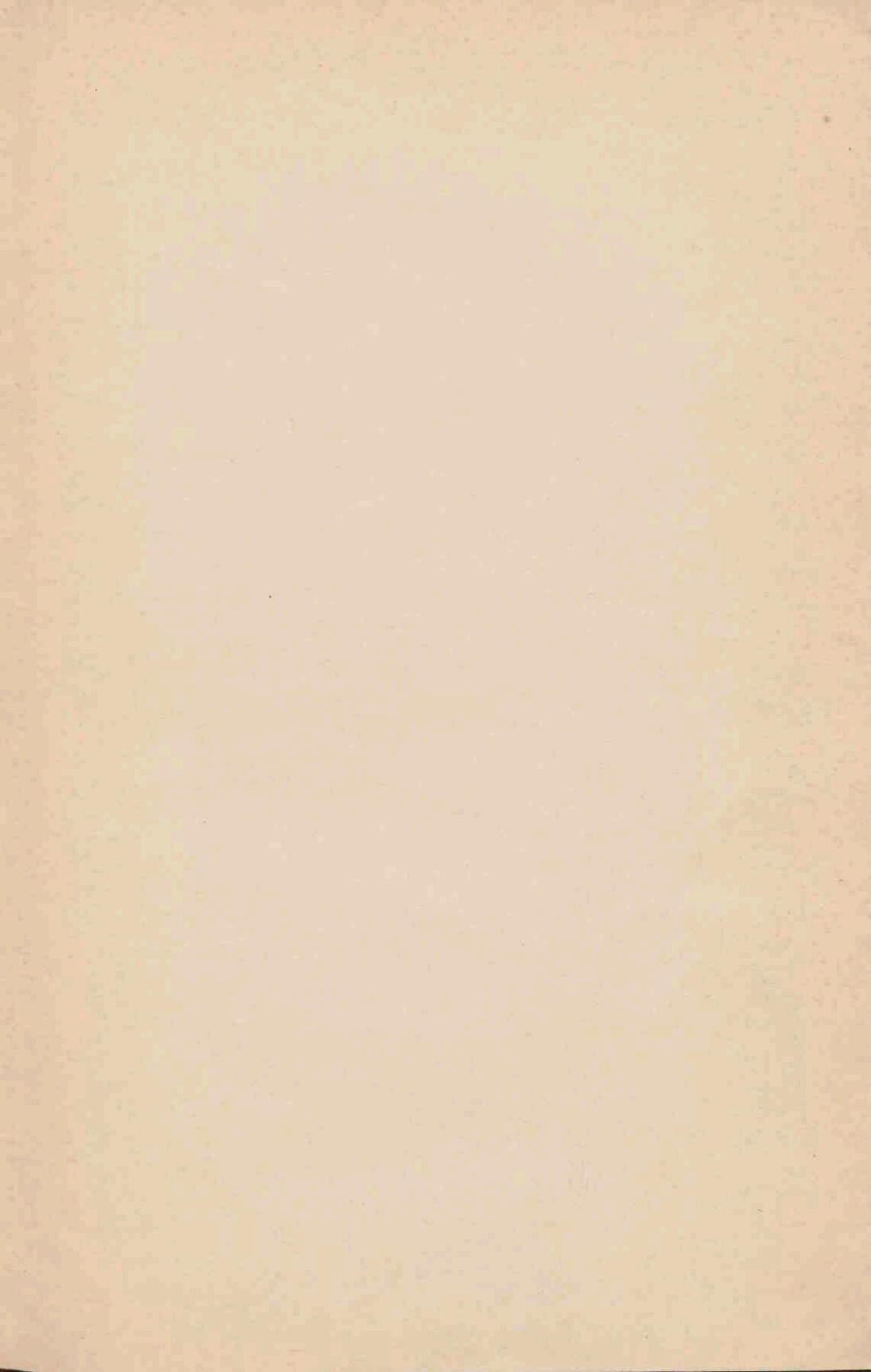
GEKORRELDHEID VAN FOTO-
GRAFISCHE NEGATIEVEN IN
ABSOLUTE MAAT

J. C. SCHEFFER

BIBLIOTHEEK DER
RIJKSUNIVERSITEIT
UTRECHT.

u.

2



GEKORRELDHEID VAN FOTOGRAFISCHE NEGATIEVEN
IN ABSOLUTE MAAT

A qu 192 1936.

GEKORRELDHEID VAN FOTO- GRAFISCHE NEGATIEVEN IN ABSOLUTE MAAT

PROEFSCHRIFT

TER VERKRIJGING VAN DEN GRAAD VAN
DOCTOR IN DE WIS- EN NATUURKUNDE
AAN DE RIJKSUNIVERSITEIT TE UTRECHT,
OP GEZAG VAN DEN RECTOR MAGNIFICUS
DR. W. E. RINGER, HOOGLEERAAR IN DE
FACULTEIT DER GENEESKUNDE, VOLGENS
BESLUIT VAN DEN SENAAAT DER UNIVERSI-
TEIT TEGEN DE BEDENKINGEN VAN DE FA-
CULTEIT DER WIS- EN NATUURKUNDE TE
VERDEDIGEN OP MAANDAG 23 NOVEMBER
1936, DES NAMIDDAGS TE 4 UUR,

DOOR

JURRIËN CORNELIS SCHEFFER

GEBOREN TE AMSTERDAM

AMSTERDAM — 1936

N.V. NOORD-HOLLANDSCHE UITGEVERSMAATSCHAPPIJ

BIBLIOTHEEK DER
RIJKSUNIVERSITEIT
UTRECHT.

Aan mijn Vader.
Aan de Nagedachtenis van mijn Moeder.

Het is mij een voorrecht hier een woord van dank te kunnen richten tot allen, leeraren en hoogleeraren, die bijdroegen tot mijn ontwikkeling, en de totstandkoming van dit proefschrift. Dit geldt in het bijzonder Prof. Ir. P. LANDBERG, wiens belangwekkende colleges en prettige leiding aan de Technische Hoogeschool te Delft mij steeds in aangename herinnering zullen blijven.

Ook Ir. M. J. VAN DIJK dank ik voor de leerzame wijze waarop hij mij gedurende mijn leertijd bij de N.V. Werkspoor te Amsterdam, met den practischen kant van het bedrijfsleven in aanraking bracht.

Veel dank ben ik verschuldigd aan Prof. Dr. L. S. ORNSTEIN voor zijn bereidwilligheid als mijn promotor op te treden, en zijn grooten steun bij voorkomende moeilijkheden.

Dr. A. VAN KREVELD dank ik voor zijn opwekkende leiding en hulp bij mijn werkzaamheden in het Physische Laboratorium te Utrecht.

Tenslotte rest mij nog mijn dank uit te spreken aan de Stichting tot verruiming van werkgelegenheid voor academisch gevormden en de Stichting voor fotografisch en kinematografisch onderzoek, die het mij mede mogelijk maakten, mijn onderzoek tot een goed einde te brengen.

INHOUD

BLADZ.

HOOFDSTUK 1. Historisch overzicht.

- § 1. Inleiding 1
- § 2. Callierquotiënt en gemiddelde korreldiameter 2
- § 3. De vergrooting, waarbij de gekorreldeheid juist zichtbaar wordt als maat voor de gekorreldeheid 4

HOOFDSTUK 2. Objectieve gekorreldeheidsmeting.

- § 1. De zwartingsfluctuaties in het registrogram van een micro-fotometer als maat voor de gekorreldeheid 8
- § 2. De traagheid van den galvanometer in de microfotometeropstelling 12
- § 3. De kwaliteit van een emulsie voor verschillende toepassingen 13

HOOFDSTUK 3. De apparatuur.

- § 1. De gekorreldeheidsmeter en zijn werkwijze 16
- § 2. Correctie voor de traagheid van den galvanometer . . . 21
- § 3. Correctie voor den onscherpen beeldrand in den gelijk-richter-versterker 26

HOOFDSTUK 4. De absolute maat voor de gekorreldeheid.

- § 1. Metingen met verschillende diafragma's 32
- § 2. Beteekenis van de grootte ΔK 35

HOOFDSTUK 5. Metingen en conclusies.

- § 1. Onderzoek van verschillende ontwikkelaars in combinatie met eenige plaatsoorten 38
- § 2. Bespreking van de resultaten 42
- § 3. Invloed van den ontwikkeltijd 51
- § 4. Verdere metingen 55
- § 5. Slotbeschouwing 56

LITERATUUR 61

HOOFDSTUK 1.

Historisch overzicht.

§ 1. *Inleiding.*

Bij de beschouwing van een (b.v. tien- à twintigvoudige) vergrooting van een fotografisch negatief treft ons het inhomogene, korrelige uiterlijk van den afdruk, een verschijnsel dat we bij een copie op ware grootte vergeefs zullen zoeken. De oorzaak van dit verschijnsel, dat blijkbaar eerst bij sterke vergrooting tot uiting komt, is gelegen in den microscopischen bouw van het negatief en wordt aangeduid als zijn *gekorreltheid*.

Deze gekorreltheid dient men wèl te onderscheiden van de korrelgrootte, d.i. van de afmetingen der afzonderlijke zilverkorrels waaruit het negatief bestaat. De eerste die hierop volgens LÜPPO—CRAMER¹⁾ in 1898 de aandacht vestigde was C. KAISERLING. Hij betoogde dat men, om de korrels met behulp van een microscoop van elkaar te onderscheiden, een minstens zestigvoudige vergrooting moet gebruiken, terwijl de gekorreltheid reeds bij veel geringer vergrootingen zichtbaar wordt. Bovendien is het oplossend vermogen van de gebruikelijke vergrotingsobjectieven, projectielenzen enz. veel te klein om ook bij voldoende vergrooting de afzonderlijke korrels te scheiden. Hoewel de grootte der korrels ongetwijfeld invloed heeft, is het toch in de eerste plaats hun verdeeling over de plaat, de eventueele opeenhooping tot groepen en de verdeeling van deze groepen, die de gekorreltheid bepaalt. KAISERLING maakte dan ook onderscheid tusschen „Plattenstruktur” en „Plattenkorn”.

Het probleem der gekorreltheid is eerst in de laatste jaren sterk op den voorgrond getreden. Was aanvankelijk onder de fotografen het negatiefformaat 13×18 c.m. normaal, spoedig ging men over tot kleinere formaten: 9×12 , 6×9 enz. om tenslotte bij de kleinbeeldcamera met de normaalfilm afmetingen van 24×36 m.m. te belanden. Tegelijk hiermede ontwikkelde zich de behoefte aan fijnkorrelig materiaal en werd tevens ijverig gezocht naar de mogelijk-

heid om door nieuwe ontwikkelmethoden den hinderlijken invloed van de gekorreltheid te verminderen.

Doch niet alleen in de amateurfotografie doet dit verschijnsel zich gelden. Ook in de kinematografie, waar een tot 200 maal vergroot beeld wordt ontworpen, heeft men er mee te kampen. Hier veroorzaakt de gekorreltheid, door de snelle opeenvolging van de filmbeeldjes, den indruk van het „koken” van het beeld op het doek. Bij de geluidsfilm, waarbij het geluid op den filmband gefotografeerd wordt, kan de gekorreltheid bovendien aanleiding geven tot bijgeluiden.

Tenslotte doet de gekorreltheid zich hinderlijk gevoelen bij de wetenschappelijke toepassingen van de fotografie, t.w. intensiteitsmetingen, afstandsmetingen (b.v. van spectraallijnen of sterren) enz. Zij manifesteert zich dan b.v. als onregelmatige fluctuaties in het registrogram van den microfotometer.

Om nu verschillende fotografische materialen wat betreft hun gekorreltheid met elkaar te kunnen vergelijken, is het noodzakelijk om een maat in te voeren, waarin die gekorreltheid kan worden uitgedrukt. Die maat kan worden ontleend aan elk der vormen, waarin de gekorreltheid zich manifesteert, en met uitzondering van het grondgeruisch bij de geluidsfotografie is dit ook voor alle gevallen geschied. Wij zullen achtereenvolgens de verschillende systemen de revue laten passeeren om daarna het verdere deel van dit proefschrift te wijden aan de uitwerking van de methode die door VAN KREVELD ²⁾ ³⁾ werd ontwikkeld.

§ 2. Callierquotiënt en gemiddelde korreldiameter.

THREADGOLD ⁴⁾ stelde in 1932 voor om het Callierquotiënt Q te gebruiken als maat voor de gekorreltheid. Dit quotiënt is de verhouding van de zwarting in gericht licht tot de zwarting in diffuus licht. Onder zwarting verstaan we daarbij de gewone logarithme van de verhouding van opvallend tot doorgelaten licht. Q verschilt van de eenheid tengevolge van de verstrooiing van het licht door de zilverkorrels.

KÜSTER ⁵⁾ en later EGGERT en KÜSTER ⁶⁾ werkten deze methode uit met een kleine wijziging, waarin zij $K = 100 \log. Q$ voor de diffuse zwarting 0.5 als juiste maat voor de gekorreltheid aannamen. Met den „Granulometer” ⁷⁾ bepaalden zij de waarde van K

voor een groot aantal platen, die verschillend ontwikkeld waren en maakten tegelijkertijd microfoto's van deze platen om hieruit de ware afmetingen van de zilverkorrels te bepalen. Als resultaat vonden zij, dat K rechtevenredig was met den gemiddelden korreldiameter en besloten hieruit, dat de door hen gedefinieerde K een praktische maat voor de gekorreldeheid („Körnigkeit”) van de plaat is.

Ten aanzien van deze methode kunnen wij allereerst opmerken, dat zij blijkbaar niet is gebaseerd op een der vormen, waarin de gekorreldeheid zich in de practijk doet gelden. De gemeten grootte heeft dan ook niets met de praktische gekorreldeheid uitstaande en levert in het gunstigste geval een maat voor de gemiddelde werkelijke korrelgrootte. Nu is het niet uitgesloten, dat de korrelgrootte bij een bepaalde zwarting een maat voor de gekorreldeheid zou kunnen zijn, maar dit moet dan toch langs anderen weg aangetoond worden, en hiervoor vervalt men onherroepelijk in een der andere methodes ter bepaling van de praktische gekorreldeheid. Een ander principieel bezwaar tegen de methode van EGGERT en KÜSTER is, dat zij alleen de K waarde van de diffuse zwarting 0.5 gebruikt ter bepaling van de gekorreldeheid. Zooals later zal blijken, varieert de praktische gekorreldeheid sterk met de zwarting, en men kan toch moeilijk a priori aannemen, dat dit voor alle platen en ontwikkelmethoden in dezelfde mate het geval is.

Doch ook de praktische resultaten van EGGERT en KÜSTER zijn aanvechtbaar. Vooreerst bepalen zij zich, blijkens hun verdere proeven, zelf allermint tot de zwarting 0.5, maar laten hun proportionaliteitsbeginsel blijkbaar met dezelfde constante ook voor andere zwartingen gelden. In dat geval is het gevonden verband tusschen de K factor en de praktische gekorreldeheid geheel onjuist, want de gemiddelde korrelgrootte en daarmee dan K is bij de kleinste zwartingen het grootst, terwijl de praktische gekorreldeheid juist bij toenemende zwarting snel stijgt.

De door EGGERT en KÜSTER ter bepaling van de korrelgrootte gebruikte methode, die zij hebben overgenomen van SCHAUM en BELLACH⁸⁾, is eveneens aan bedenking onderhevig. Bij deze werkwijze wordt de vochtig gemaakte emulsie uitgestreken tot een dunne laag, waarvan een microfoto gemaakt wordt. Dit uitstrijken is een dubieus punt, daar de groote korrels verbrijzeld kunnen worden.

Bovendien geeft het beperkte oplossende vermogen van het microscopobjectief aanleiding tot fouten, doordat de korrels groter worden afgebeeld dan ze zijn, of doordat twee afzonderlijke korrels aaneengroeien op de foto. Dit euvel komt nog sterker tot uiting, wanneer de microfoto nog eens eenige malen vergroot wordt afgedrukt op papier.

De resultaten van EGGERT en KÜSTER zijn vooral aangevochten door NARATH⁹⁾, die voor films met sterk verschillende korrelgrootte, ongeveer hetzelfde Callierquotiënt vond.

LOWRY¹⁰⁾ bepaalde de K factor voor eenige emulsies, waarvan hij met zijn in de volgende paragraaf te beschrijven toestel eerst de gekorreldehad had gemeten. Er bleek tusschen de verschillende waarnemingen geen verband te bestaan.

Ook wij hebben in verband met deze vragen een aantal metingen gedaan, zij het ook met minder volmaakte apparatuur dan de bovengenoemde onderzoekers tot hun beschikking hadden. De zwarting in gericht licht werd gemeten met den gekorreldehadsmeter op de in hoofdstuk 5, § 1 beschreven wijze. De zwarting in diffuus licht werd verkregen door meting met een pyrometeropstelling met rood licht¹¹⁾. Hoewel de metingen kwantitatief niet vergeleken kunnen worden met die van EGGERT en KÜSTER, leverden zij kwalitatief het zeer merkwaardige resultaat, dat de fijnkorreligste emulsie het grootste Callierquotiënt te zien gaf. Ook theoretisch is het trouwens niet goed verklaarbaar, dat de K factor, die afhankelijk is van de buiging en reflectie van het licht door de zilverkorrels, een lineair verloop met den gemiddelden korreldiameter zou hebben, ongeacht de grootteklassenverdeeling van de korrels. Samenvattende mogen wij concludeeren, dat de methode van EGGERT en KÜSTER niet geschikt is om de gekorreldehad van fotografische negatieven te meten, terwijl haar waarde voor de bepaling van den gemiddelden korreldiameter op zijn minst twijfelachtig mag worden genoemd.

§ 3. *De vergrooting, waarbij de gekorreldehad juist zichtbaar wordt, als maat voor de gekorreldehad.*

De methodes, waarbij de vergrooting van het negatief, die de gekorreldehad juist merkbaar doet worden, als maat voor die gekorreldehad wordt gebruikt, sluiten aan bij den vorm, waarin zij in de practische fotografie optreedt. Daar hierbij de indruk, dien het te

onderzoeken negatief maakt op den waarnemer, beslissend is, hebben we dus te doen met een subjectieve methode.

De eersten, die een toestel construeerden, dat op dit principe berust, waren wel JONES en DEISCH¹²⁾. Hierin wordt door middel van een microscoop een sterk vergroot beeld van het negatief ontworpen op een vaststaand scherm. Dit scherm wordt met behulp van een verplaatsbaren spiegel door den waarnemer geobserveerd. Door heen en weer schuiven van den spiegel wordt nu de afstand bepaald, waarop de inhomogeniteit van het beeld juist verdwijnt, en deze afstand is dan een maat voor de gekorreltheid. Dit systeem, waarbij de vergrooting constant gehouden wordt en de afstand van den waarnemer tot het beeld veranderlijk is, verschilt in wezen niet van de methode, die een vasten afstand en een veranderlijke vergrooting gebruikt, welk principe in het toestel van LOWRY¹⁰⁾ is toegepast.

Daar het oplossend vermogen van het oog afhankelijk is van adaptatie, vermoeidheid, oefening, enz. en bovendien voor verschillende waarnemers verschillend is, vergeleken JONES en DEISCH hun proefplaten met een lijnrooster van 500 lijnen per inch. Zij deelden dan den afstand, waarbij de gekorreltheid van het negatief verdween, door dien waarbij het lijnrooster juist homogeen scheen te zijn geworden, en namen dit quotiënt als maat voor de gekorreltheid. De waarde, die hieruit volgde, bleek reproduceerbaar voor verschillende omstandigheden en verschillende waarnemers. JONES en DEISCH maten de gekorreltheid bij constante helderheid van het waargenomen veld en vonden, dat zij toenam met toenemende zwarting. Later veranderden HARDY en JONES¹³⁾ het toestel in dien zin, dat nu de verlichting van het te onderzoeken negatief constant werd gehouden, en dus de helderheid van het gezichtsveld met de zwarting varieerde, hetgeen overeenkomt met de gewone omstandigheden waaronder een fotografische vergrooting wordt waargenomen. Zij vonden, dat op deze wijze de gekorreltheid een maximum vertoonde bij zwartingen van 0.3—0.6. Deze waarde stemt vrij goed overeen met het theoretische maximum, dat volgens de auteurs zou moeten liggen bij de zwarting 0.3, in welk geval het oppervlak, door de zilverkorrels ingenomen, even groot is als de licht doorlatende tusschenruimten. In dit geval zou het inhomogene karakter het duidelijkst zijn, zooals zij aannemelijk trachten te

maken door vergelijking met een lijnrooster, waarvan de lijnen op den grootsten afstand zijn te onderscheiden, indien zij even breed zijn als de tusschenruimten. Deze vergelijking met een volkomen regelmatig object is echter niet geoorloofd. De gekorreldeheid van een fotografische emulsie ontstaat juist door de ónregelmatige groepeerings van de korrels, die de oorzaak is van zwartingsfluctuaties, welke aan de plaat haar inhomogene uiterlijk geven. Deze fluctuaties nu worden grooter bij grooter aantal korrels, dus bij grooter zwarting, en men mag dan ook een voortdurende toename van de gekorreldeheid met de zwarting verwachten. Zooals reeds opgemerkt, werd dit ook bij constante helderheid van het negatief door JONES en DEISCH waargenomen. Ook de hierna te noemen proeven van LOWRY¹⁰⁾ gaven een sterke afhankelijkheid van de verlichting te zien. Uit een en ander komt wel zeer duidelijk het subjectieve karakter dezer metingen te voorschijn. Op grond van het bovenstaande lijkt ons ook het gebruik van een lijnrooster als vergelijkingsobject bij de gekorreldeheidsbepaling minder juist. Een betere beoordeeling wordt wellicht verkregen door vergelijking met een gelijksoortige grootheid, b.v. een standaardgekorreldeheid.

In dit verband is het niet onaardig te wijzen op een publicatie van LAU en JOHANNESSON^{13a)}, die op grond van statistische overwegingen tot de conclusie komen, dat bij de zwarting 0.3 juist een minimum aan gekorreldeheid te verwachten is. Hun betoog is echter vrij zonderling. Zij beschouwen de korrels en de open ruimten als gelijksoortige eenheden. Hoe kleiner het aantal van een van de twee is, des te grooter zou de zwartingsfluctuatie zijn. Bij halve dekking (dus zwarting 0.3) zou het aantal van beide even groot zijn, waarbij dan een minimale fluctuatie zou behooren. De experimenten bewijzen echter, dat dit onjuist is, nog afgezien van het feit, dat korrels en tusschenruimten onvergelijkbare grootheden zijn. Ook het ter staving van bovenstaande beschouwing afgedrukte fotogram is weinig overtuigend.

Later zijn nog andere methodes voorgesteld om de gekorreldeheid te meten. De methode van CRABTREE¹⁴⁾ bestond in de beoordeeling van het schijnbare koken van het beeld bij projectie van een strook belichte en ontwikkelde film op het projectiedoek. Deze methode sluit zich dus onmiddellijk aan bij de eischen der filmindustrie.

CONKLIN¹⁵⁾ en ook LANDAU¹⁶⁾ gaven als oplossing van het

probleem een methode aan, waarbij het proefobject vergeleken wordt met een serie standaardgekorrelheden, en dus niet de vergroting wordt bepaald, waarbij de gekorreltheid verdwijnt.

Als laatste kwam LOWRY¹⁰⁾ met een toestel, dat in principe overeenkomt met dat van JONES en DEISCH, waarbij echter de afstand van waarnemer tot proefplaat constant blijft. De vergroting wordt hier geregeld door een verschuifbare lens tusschen het oog van den waarnemer en het negatief, die zoodanig geplaatst is, dat de waarnemer een virtueel vergroot beeld ziet. Het toestel maakt sterker verlichting van het negatief mogelijk dan bij JONES en DEISCH, terwijl het zoodanig is ingericht, dat met de gekorreltheid tevens de zwarting kan worden gemeten. Ook hier wordt weer de gekorreltheid verkregen door vergelijking met een bepaald lijnrooster.

LOWRY onderzocht den invloed van de verlichting van het negatief op de gekorreltheid. Hij vond, dat met toenemende lichtsterkte de gekorreltheid groter werd, terwijl bovendien het maximum zich naar groter zwarting verplaatste.

Vervolgens onderzocht hij een aantal emulsies bij constante helderheid van het proefobject. Hiervoor koos hij de gemiddelde helderheid van het beeldvlak in een bioscoop.

Hij vond, dat onder deze omstandigheden de gekorreltheid lineair met de zwarting steeg, dat echter de curven voor de verschillende platen een verschillende helling vertoonden. LOWRY oppert dan de mogelijkheid om door middel van deze helling de gekorreltheid van een negatief te karakteriseeren.

Een bezwaar tegen al deze methodes is, dat zij subjectief zijn en dus een persoonlijk element inhouden. Bovendien bieden zij kwantitatief geen oplossing voor alle practische problemen.

In de volgende hoofdstukken zal een methode besproken worden, die hierin beter voorziet en die bovendien het voordeel heeft, geheel objectief te zijn.

HOOFDSTUK 2.

Objectieve gekorrelheidsmeting.

§ 1. *De zwartingsfluctuaties in het registrogram van een microfotometer als maat voor de gekorreltheid.*

Door VAN KREVELD ¹⁷⁾ werd een theorie ontwikkeld omtrent den invloed van de microscopische eigenschappen van een emulsie bij verschillende toepassingen. Daarbij werd beoogd een duidelijker verband te leggen tusschen de verschillende practische toepassingen dan tot dusverre bij de groote verscheidenheid van onderzoekers en onderzoekmethoden mogelijk was geweest. Het was daartoe noodzakelijk de verschillende gevallen van hetzelfde standpunt te beschouwen en met dit doel werd een aantal fundamenteele grootheden gedefinieerd, waarvan wij de belangrijkste hieronder laten volgen:

γ_d : de helling $\frac{dD}{d \log I}$ van de zwartingskromme bij de zwarting D .

(Onder zwartingskromme verstaan we de karakteristiek, die het verband geeft tusschen de zwarting D en de gewone logaritmische van de haar veroorzakende lichtintensiteit I .)

γ_t : de totale helling van de zwartingskromme, dus $\frac{D_2 - D_1}{\log I_2 - \log I_1}$ als 1 en 2 de onderste en bovenste grens van het bruikbare stuk van de zwartingskromme voorstellen.

ΔD : gemiddelde fluctuaties in de zwarting, veroorzaakt door de gekorreltheid.

L : verstrooïingsfactor, d.i. de afstand in de emulsie op welke het verstrooide licht de helft is van het opvallend licht. (L varieert alleen met de golflengte van het licht. Deze definitie van L is te verkiezen boven andere, waarbij de verstrooïing afhankelijk is van zwarting, ontwikkelaar, enz. Zie ¹⁷⁾).

Wij zullen ons nu in de eerste plaats bezighouden met de grootheid ΔD als maat voor de gekorreltheid. In een volgende paragraaf komen we dan nog terug op de conclusies uit het genoemde artikel.

Wanneer wij met een registreerenden microfotometer een homogeen gezwarte plaat meten, dan zien we, dat het fotogram een onregelmatige golflijn vertoont, als gevolg van de korrelverdeling in de plaat. Het denkbeeld om met behulp van deze golflijn de gekorreldeheid van een emulsie te karakteriseeren is afkomstig van DUNHAM¹⁸⁾.

In fig. 1 is van een homogene, gezwarte oppervlakte, begrensd door onbelichte plaat, het registrogram gegeven zooals dit b.v. met den microfotometer van MOLL verkregen wordt. De lijn XY geeft

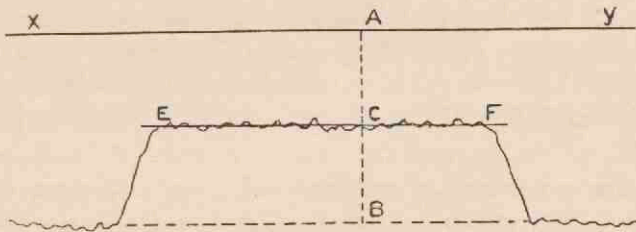


Fig. 1. Registrogram van een homogene zwarting begrensd door blanke plaat.

den nulstand van den galvanometer aan. De logarithmische zwarting is dan $\log \frac{AB}{AC}$. We trekken nu de gemiddelde zwartingslijn EF en meten de totale oppervlakte van de golvingen aan beide kanten van EF . Dit kan gedaan worden met een planimeter, na vergrooiting van het registrogram. We deelen nu deze oppervlakte door de lengte EF van het gezwarte deel van de plaat en vinden zoo een gemiddelde afwijking δ , die overeenkomt met een gemiddelde fluctuatie in de zwarting ΔD , die gevonden wordt uit:

$$\Delta D = \log \frac{AC + \delta}{AC} = \frac{0.434 \delta}{AC} \dots \dots (1)$$

ΔD is nu een maat voor de gekorreldeheid, die in onmiddellijk verband staat met de practijk.

Om te onderzoeken of de schommelingen in de zwarting uitsluitend veroorzaakt worden door de zilverkorrels, zijn de volgende proeven gedaan:

10. Van een plaat van homogene zwarting werd een fotogram gemaakt als in fig. 1. Vervolgens werd de plaat gebaad in water en

werd er een microscoop-dekglas op gedrukt, teneinde de oppervlakte van de gelatine volmaakt vlak te maken. De plaat werd onder deze omstandigheden opnieuw geregistreerd en vertoonde praktisch hetzelfde fotogram als eerst. De oppervlaktehoedanigheid had dus blijkbaar geen invloed op ΔD .

20. Dezelfde plaat werd gebaad in FARMER's verzwakker, die de zilverkorrels oploste. De plaat werd gespoeld en gedroogd en daarna opnieuw geregistreerd. De fluctuaties waren nu verdwenen. Alleen waren enkele geïsoleerde afwijkingen aan een zijde van de lijn te zien als gevolg van stof en krasjes op de oppervlakte van de emulsie. (Zie fig. 2.)

Fig. 2. Registrogram van een plaat waaruit de zilverkorrels zijn opgelost met FARMER's verzwakker.

Vervolgens werden de mathematische eigenschappen van een aantal registrogrammen onderzocht. Deze werden daartoe tezamen met een schaalverdeling op cellophaanpapier viermaal vergroot gereproduceerd. (Zie fig. 3.) Op de aldus afgedrukte schaalverdeling werd een willekeurige horizontale lijn aangenomen en de

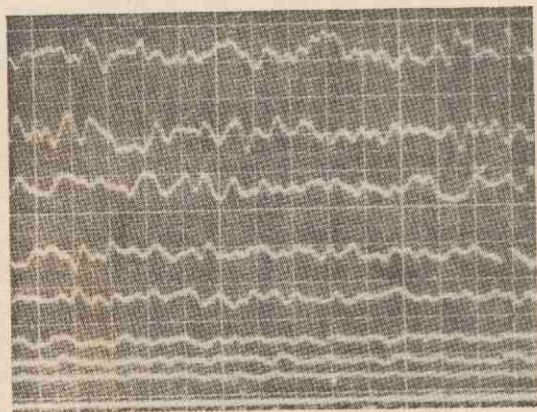


Fig. 3. Vergroote registrogrammen met millimeterschaal afgedrukt.

afstanden r van de golflijn tot deze horizontale lijn van millimeter tot millimeter afgelezen. Hiervan werd het gemiddelde genomen en aldus de horizontale gemiddelde zwartingslijn bepaald. Daarna wer-

den de afwijkingen van deze lijn berekend en hun frequentieverdeeling bepaald. Deze werd tenslotte vergeleken met de Gaussische frequentiewet met dezelfde gemiddelde waarde en dezelfde gemiddelde afwijking als de gemeten waarden.

De gemeten waarden bleken vrij goed aan de wet van GAUSS te voldoen. Een geringe systematische afwijking naar de positieve zijde was te verklaren als gevolg van stof en krassen op de emulsie, die uiteraard alleen positieve afwijkingen kunnen geven.

Hoewel de afwijkingen, wat betreft hun frequentie, dus aan de wet van GAUSS voldoen, zouden zij toch nog in hun volgorde den een of anderen bijzonderen regel kunnen volgen. Om dit te onderzoeken, werd de volgende statistische methode toegepast: Zij i een bepaald interval in de volgnummers van de aflezingen r . Dan trekken we aflezing no. 1 af van aflezing no. $1 + i$, no. 2 van no. $2 + i$, no. 3 van no. $3 + i$, enz. Van deze verschillen wordt de gemiddelde absolute waarde m bepaald, waarna de berekening voor andere waarden van i herhaald wordt. (Op deze wijze vinden wij of er over den afstand i correlatie bestaat.)

Wanneer de registrogrammen werkelijke foutenkrommen zijn, is m onafhankelijk van i en $\sqrt{2}$ maal zoo groot als de gemiddelde afwijking van de horizontale gemiddelde zwartingslijn.

Uit de gemeten registrogrammen bleek, dat dit inderdaad het geval was, indien i niet te klein gekozen werd. De afwijking bij kleine i is een gevolg van de spleetbreedte van den micrometer, die een zekere correlatie tusschen naburige aflezingen veroorzaakt. In ieder geval kon besloten worden, dat de golflijnen van het fotogram Gaussische foutenkrommen waren.

Slechts een tweetal gevallen scheen een uitzondering te vormen. Hier was m kleiner dan uit de afwijking van de gemiddelde zwartingslijn, die dus een maat is voor ΔD , zou volgen. De oorzaak van dit effect bleek te liggen in een gering systematisch verloop van de zwarting langs het registrogram. Dit veroorzaakt een te hooge waarde van ΔD , terwijl het m slechts weinig beïnvloedt.

Hieruit blijkt tevens, welk gevaar er schuilt in de directe meting van ΔD : we kunnen de gekorreltheid niet van een mogelijk systematisch verloop van de zwarting scheiden. Deze moeilijkheid is echter te vermijden door niet ΔD direct te meten, doch het gemid-

delde verschil m voor een interval i , dat voldoende grooter is dan de breedte van het spleetbeeld, te bepalen en daarna door $\sqrt{2}$ te deelen.

Het nadeel van deze methode is, dat zij zeer tijdroovend en omslachtig is. VAN KREVELD³⁾ ontwierp daarom een instrument, dat de gemiddelde waarde van m automatisch aangeeft, en dus de langdurige berekeningen als beschreven in het bovenstaande, overbodig maakt. De beschrijving van dit toestel zal in het volgende hoofdstuk gegeven worden. Zooals later blijken zal, biedt het tevens de mogelijkheid om een absolute maat voor de gekorreltheid in te voeren. (Zie hfdst. 4.)

§ 2. De traagheid van den galvanometer in de microfotometer-opstelling.

In het voorgaande werd ΔD bepaald uit de fluctuaties in het registrogram van den microfotometer van MOLL. Deze bevat een vacuum thermo-element, waarvan de stroomsterkte geregistreerd wordt door een MOLL-galvanometer. Bij de bepaling van ΔD is nu geen rekening gehouden met de traagheid van dezen galvanometer.

Deze traagheid kan echter niet verwaarloosd worden, want de zwartingsfluctuaties, die de wisselingen in de stroomsterkte veroorzaken, zijn volkomen toevallig, en er zullen dus naast langzame ook zeer snelle wisselingen voorkomen, welke de galvanometer niet kan volgen. We dienen ons dus af te vragen in hoeverre de waargenomen ΔD overeenkomt met de werkelijke gemiddelde zwartingsfluctuatie. De volledige theorie hiervan is gegeven in een artikel van ORNSTEIN en VAN KREVELD¹⁹⁾. We vermelden hieruit het volgende:

Onderstel, dat de galvanometer aperiodisch ingesteld is, (zooals bij het gebruik van den MOLL-microfotometer steeds het geval is) en dat de gekorreltheid wordt waargenomen met behulp van een rechthoekige spleet, dan geldt de volgende betrekking:

$$\Delta D_s = \Delta D_w \sqrt{\frac{(\nu\tau + 3)e^{-\nu\tau} + 2\nu\tau - 3}{2\nu\tau}} \dots (2)$$

Hierin is ΔD_s de gemeten gemiddelde zwartingsafwijking,

en ΔD_w de werkelijke „ „

zooals die gevonden zou worden met behulp van een oneindig snellen galvanometer.

ν is de galvanometerconstante uit de bekende differentiaalvergelijking:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 2\nu \frac{dx}{dt} + \nu^2 x = \frac{F(t)}{K}. \quad (3)$$

τ is de tijd waarin het negatief zich over een afstand, gelijk aan de breedte van het spleetbeeld, beweegt.

De gemeten ΔD_s moet dus met een correctiefactor vermenigvuldigd worden om de werkelijke ΔD te vinden. In het vervolg zal met ΔD steeds de werkelijke gemiddelde zwartingsfluctuatie bedoeld worden.

In het bedoelde artikel wordt dan verder uiteengezet, dat voor $\nu\tau \ll 1$ de verdeling van x , dat is dus de uitwijking van den galvanometer zooals die uit het registrogram blijkt, altijd Gaussisch is. Voor $\nu\tau \gg 1$ is de verdeling van x gelijkvormig met het door de gekorreldeheid veroorzaakte electromotorische koppel F .

In het geval, dat F een Gaussische verdeling heeft, is die van x dus zowel Gaussisch voor $\nu\tau \gg 1$ als voor $\nu\tau \ll 1$. Voor tusschengelegen waarden van $\nu\tau$ zal de verdeling van x dan waarschijnlijk ook wel niet veel van de wet van GAUSS afwijken.

Nu is uit het voorgaande gebleken, dat x inderdaad Gaussisch is, terwijl $\nu\tau$ weinig van 1 verschilde. We zullen daarom aannemen, dat F eveneens een Gaussische verdeling heeft.

§ 3. De kwaliteit van een emulsie voor verschillende toepassingen.

Met de in § 1 gedefinieerde fundamentele grootheden is het mogelijk de „kwaliteit” van een emulsie, wat betreft hare microscopische eigenschappen, voor verschillende toepassingen aan te geven.¹⁷⁾

Hieronder volgt het resultaat van de betreffende berekeningen.

<i>Toepassing</i>	<i>Kwaliteit</i>
1. Afstandsmetingen (spectraallijnen, astronomie)	$\frac{\gamma_d}{\Delta D \times L}$
2. Intensiteitsmetingen van kleine oppervlakken (bandspectra, enz.)	$\frac{1}{L}$

<i>Toepassing</i>	<i>Kwaliteit</i>
3. Intensiteitsmetingen van grootere oppervlakken (sensitometrie)	$\frac{\gamma_d}{\Delta D}$
4. Vergrooting van opnamen met kleinbeeldcamera's	$\frac{\gamma_t}{\Delta D \times G}$
5. Omkeerfilm	$\frac{1}{\Delta D \times G}$
6. Geluidsfilm	$\frac{1}{L \left(1 + \frac{0.7}{\gamma_{t \text{ pos. } \gamma_{t \text{ neg.}}} } \right)}$

De grootheid ΔD , zooals die wordt bepaald uit het registrogram van den microfotometer is afhankelijk van de verlichte oppervlakte van het negatief, dus van de breedte van de spleet. Deze ΔD mag dus in bovenstaande formules alleen worden gebruikt voor toepassingen, waarbij een microfotometer met dezelfde spleetbreedte wordt gebruikt, dat is dus voor no. 1—3. Zooals later blijken zal, is ΔD omgekeerd evenredig met den wortel uit het verlichte oppervlak, en het is dus mogelijk ook voor andere toepassingen de juiste waarde van ΔD te berekenen. (Zie hfdst. 4.)

We zien, dat in de meeste gevallen ΔD niet voldoende is om de microscopische eigenschappen te karakteriseeren, maar dat ΔD , gedeeld door de helling van de zwartingskromme, een betere maat daarvoor is. $\left(\frac{\Delta D}{\gamma_d} \right)$ is de fluctuatie in de logaritmie van de intensiteit $\Delta \log. I$, welke uit de zwartingsfluctuatie ΔD volgt. Dit geldt alleen voor niet te sterk gekromde gedeelten van de zwartingskromme, zooals ze ook slechts in de practijk gebruikt worden.) We zullen dit voor een tweetal gevallen nader toelichten:

30. Bij fotografische intensiteitsmetingen wordt de intensiteit afgeleid uit de gemeten zwartingen. Een onnauwkeurigheid in de zwarting geeft dus een fout in de intensiteit, die des te geringer is, naarmate de zwartingskromme van de plaat een steiler verloop heeft.

40. Wanneer we bij het maken van een vergrooting een afdruk met gradatie 1 willen verkrijgen, moeten we zachter papier gebrui-

ken, naarmate het negatief contrastrijker is. De gekorreldeheid van den afdruk wordt dus ook kleiner bij grooter gradatie van het negatief. We deelen hier door γ_t (en niet γ_d), omdat in dit geval de gekorreldeheid voor alle zwartingen in dezelfde mate gereduceerd wordt.

Ten aanzien van toepassing 1 kunnen we nog opmerken, dat de reciproke waarde van de kwaliteit in dit geval, vermenigvuldigd met een constante, den kleinsten meetbaren afstand op de plaat aangeeft en dus deze kwaliteit als maat voor het oplossend vermogen van de emulsie kan worden beschouwd. Hieruit blijkt, dat het oplossend vermogen afhankelijk is van de gekorreldeheid, en verder bepaald wordt door verstrooiingsfactor en gradatie.

Tenslotte rest ons nog een toelichting te geven bij de grootheid G , die in toepassing 4 en 5 voorkomt. Deze grootheid stelt voor den gemiddelden afstand tusschen twee doorsnijdingen van de golflijn in fig. 1, met de gemiddelde zwartingslijn EF . Zij is tennaastebij evenredig met ΔD en de spleetbreedte, en omgekeerd evenredig met de zwarting. In de betreffende publicatie¹⁷⁾ wordt nu de kwaliteit van de emulsie in geval 4 en 5 omgekeerd evenredig gesteld met ΔD en met G .

Deze aanname is eenigszins speculatief. Bij een fotografische vergroting is het niet zoo eenvoudig aan te geven wat men onder G moet verstaan. Men kan zich hier een soortgelijke grootheid indenken, die dan door het oplossend vermogen van het vergrootings-objectief wordt bepaald. In hoeverre deze grootheid invloed heeft op het inhomogene uiterlijk, kan slechts uitgemaakt worden door een vergelijking met een der subjectieve methodes ter bepaling van de gekorreldeheid.

HOOFDSTUK 3.

De apparatuur.

§ 1. De gekorrelheidsmeter en zijn werkwijze.

Het optische gedeelte van den gekorrelheidsmeter is weergegeven in fig. 4. Het principe van het toestel is ontleend aan den

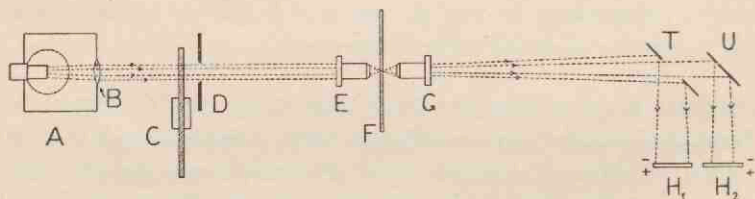


Fig. 4. Optisch gedeelte van den gekorrelheidsmeter.

microfotometer van MOLL, waarmee dit gedeelte dan ook groote overeenkomst vertoont.

A is het lamphuis, waarin een 6-volts autolamp brandt. De lens B (een gewone loupe) ontwerpt een beeld van den gloeidraad op het diafragma D. Dit diafragma vervangt de eerste spleet van den microfotometer. Daar een spleet in dit geval geen enkel voordeel oplevert, is als diafragma (D) een in koper geboord cirkelvormig gat van 2 m.m. diameter gekozen. Deze vorm toch bezit de eenvoudigste optische eigenschappen. (In verband met de in § 2 van dit hoofdstuk te bespreken correctie voor de traagheid van den MOLL-galvanometer, verdient niettemin een vierkant of rechthoekig diafragma de voorkeur.)

Voor het diafragma bevindt zich een neutraal-grijze wig C, die de totale hoeveelheid licht regelt. Het gat D wordt $10 \times$ verkleind afgebeeld op het te meten negatief F door middel van het microscopobjectief E (ZEISS apochromaat num. apertuur 0.30; vergr. $\times 10$). Het beeld op het negatief wordt nu $30 \times$ vergroot afgebeeld, door een tweede apochromaat van hetzelfde type op den spiegel T. Deze spiegel dient om het lichtbeeld, dat erop valt, in twee gelijke deelen te verdeelen. Daartoe is een cirkelvormige

opening gemaakt in de zilverlaag ter halve grootte van het lichtbeeld. Dit laatste wordt nu zoodanig op den spiegel geprojecteerd, dat het

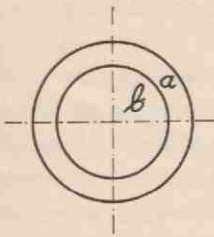


Fig. 5. Vorm van het lichtbeeld in den gekorrigeerdheidsmeter.

concentrisch is met het gat in de zilverlaag (zie fig. 5) en bijgevolg gaat het centrale gedeelte *b* door den spiegel *T* heen, terwijl de buitenste ring *a* teruggekaatst wordt op de fotospanningscel H_1 . Het binnenge-deelte *b* wordt door een tweeden spiegel *U* op de fotospanningscel H_2 gereflecteerd.

In fig. 6 is het schakelschema van de cellen H_1 en H_2 gegeven. Hieruit blijkt, dat hun verschilstroom door den MOLL-galvanometer *J* vloeit, welke verschilstroom

in een keten loopt, die steeds als totalen weerstand heeft: Den weerstand van den galvanometer *J* plus den inwendigen weerstand van een der cellen in de richting van zijn E.M.K. Dit schema is zeer veel gevoeliger dan dat in fig. 7, waarbij de weerstand verhoogd wordt met den inwendigen weerstand van de tweede cel, maar nu tegen

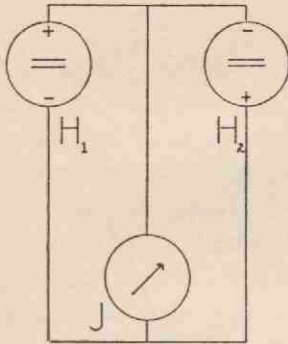


Fig. 6. Schakelschema van de fotospanningscellen.

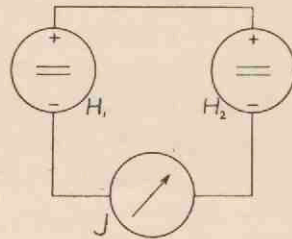


Fig. 7. Foutief schakelschema van de fotospanningscellen.

de E.M.K. in, welke weerstand, zooals bekend, buitengewoon groot is. (Dit laatste schema werd vroeger wel gebruikt, en is gemakkelijk te verwezenlijken, doordat men alleen de zilverlaag van een fotospanningscel doorsnijdt en elk van de beide helften met een aansluitklem van den galvanometer verbindt.)

Het negatief *F* wordt met microscoopklemmetjes bevestigd op een

ronddraaiende schijf, waarvan de rotatie-as evenwijdig is aan de optische as van de objectieven en 0.7 m.m. daarvan verwijderd is. Deze schijf wordt eenparig, met een omlooptijd van 10 sec., door een synchronomotor rondgedraaid.

De plaat *F* draait dus in haar eigen vlak, en wel zoodanig, dat verschillende deelen achtereenvolgens den lichtbundel passeeren. Tengevolge van de willekeurige verdeling der zilverkorrels zal dus de hoeveelheid licht, die op elk der fotospanningscellen valt, voortdurend varieeren, waardoor nu eens de eene, dan weer de andere cel meer licht ontvangt, en bijgevolg door den galvanometer *J* een onregelmatige wisselstroom vloeit, overeenkomende met de fluctuaties in de zwarting van het negatief.

Wij wenschen nu de gemiddelde absolute waarde van dezen wisselstroom te kennen (het algebraïsch gemiddelde is nul). Dit gemiddelde wordt gemeten in het tweede gedeelte van het toestel, den gelijkrichter-versterker (zie fig. 8), op de volgende wijze:

Een rechthoekig diafragma *L* wordt verlicht door een 6 volts

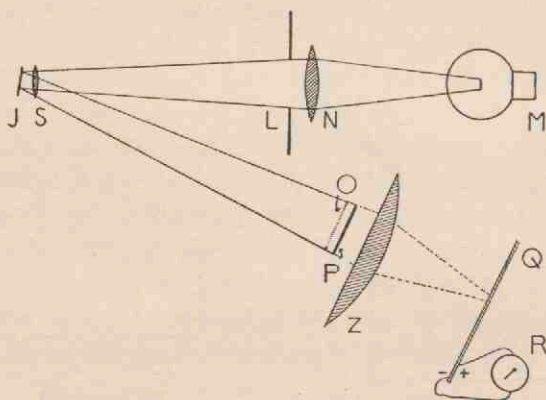


Fig. 8. Schema van den gelijkrichter-versterker.

autolamp van het zelfde type als *A*. De condensor *N* ontwerpt een beeld van den gloeidraad van *M* op het spiegeltje *J* van den MOLL-galvanometer. Een lens *S*, vóór dit spiegeltje bevestigd, vormt in *O* een homogeen verlicht beeld van het diafragma *L*. Wanneer er geen stroom vloeit door den galvanometer, wordt het beeld *O* op een reep zwart metaal *P* van dezelfde breedte als *O* geprojecteerd. Wordt

echter de te meten wisselstroom ingeschakeld, dan schommelt het beeld O overeenkomstig de fluctuaties van den stroom heen en weer, en er passeert beurtelings links en rechts van de metaalstrip P een gedeelte van het licht. Dit licht valt op een lens Z , die het spiegelte J van den MOLL-galvanometer afbeeldt op de fotospanningscel Q . Deze cel levert dus een pulseerenden gelijkstroom, waarvan de gemiddelde waarde evenredig is met die van den te meten wisselstroom, doch vele malen grooter is. Behalve als gelijkrichter, werkt Q dus bovendien als lineairen versterker.

De pulseerende gelijkstroom wordt nu gemeten door een SIEMENS-galvanometer R , die een inwendigen weerstand heeft van 275 Ohm en aperiodisch is met 10000 Ohm. De slingertijd is 24 seconden. Deze galvanometer is door een shunt van 300 Ohm zeer traag gemaakt, zoodat hij de snelle wisselingen in de stroomsterkte niet kan volgen, maar direct de gemiddelde waarde aangeeft. De gemiddelde uitwijking van O , die hieruit volgt, is een maat voor $\delta\sqrt{2}$ en we vinden ΔD uit de formule (1):

$$\Delta D = \frac{0,434 \delta}{AC}.$$

AC geeft hierin de totale hoeveelheid licht aan, die op een der cellen H_1 of H_2 valt, en kan als volgt gemeten worden:

Het negatief F wordt stilgezet in een stand, waarbij op H_1 en H_2 evenveel licht valt, en dus het lichtbeeld O van den versterker den metaalreep P bedekt. Nu wordt tusschen de spiegels T en U een stuk zwart papier gezet, zoodat alleen H_1 nog licht ontvangt.

Het gevolg is, dat O een zeer groote uitwijking krijgt, die echter met de gecalibreerde wig C verkleind kan worden, en zoodanig wordt ingesteld, dat O ongeveer voor de helft op P , voor de helft op Z valt. (Dit laatste is niet essentieel, maar geeft practisch bruikbare aanwijzingen).

De totale hoeveelheid licht AC volgt nu uit het product van den wigfactor C en de uitwijking van O , welke laatste is af te leiden uit de aanwijzing van den galvanometer R .

(De draaiïng van de wig C is af te lezen op een centimeterverdeling. Per c.m. draaiïng is de verzwakking van het licht = 0.118 in de logarithme.)

Uit de wijze van meten, waarbij het verlichte plekje van het negatief in twee gelijke concentrische deelen gesplitst wordt, die onderling vergeleken worden, volgt:

10. Wat we meten, is niet ΔD (de gemiddelde afwijking van de gemiddelde zwarting) maar $\Delta D \sqrt{2}$ zooals ook in hoofdstuk 2, § 1, werd uiteengezet. We moeten de uitkomst dus door $\sqrt{2}$ deelen.

20. Een systematisch verloop der zwarting heeft geen invloed, daar voor het geval dat zij aanwezig is, de beide cellen toch evenveel licht blijven ontvangen.

Daar ΔD een statistische grootheid is, mag men geen groote precisie in de uitkomsten verwachten. De gemiddelde afwijking tusschen de metingen van twee plekjes van de plaat met gelijke zwarting blijkt 10 à 15 % te bedragen. Voor elke zwarting wordt daarom de meting vier keer herhaald, waardoor we een precisie van 5 à 8 % bereiken, die voor practische doeleinden voldoende is.

Een andere moeilijkheid wordt veroorzaakt door de groote zwartingen. Hoewel van de lamp *A* reeds het uiterste gevergd wordt met een stroomsterkte van 6.4 amp., is het niet mogelijk zwartingen, grooter dan 1.5, te meten, daar deze het licht dusdanig verzwakken, dat de stroom, opgewekt in de cellen *H*, te klein wordt voor exacte meting. Een vergrooting van de gevoeligheid zou verkregen kunnen worden door den MOLL-galvanometer, die zoodanig geshunt is, dat hij in den aperiodischen toestand verkeert, periodisch te maken, waarvoor dan een passende correctie in de berekening moet worden aangebracht. (Zie¹⁹.) Echter moet men vreezen, dat hierdoor ook de invloed van uitwendige storingen zal toenemen, zoodat het niet zeker is, dat een dergelijke maatregel voordeel geeft.

Een andere mogelijkheid om de gevoeligheid te vergrooten bestaat in de vervanging van de fotospanningscellen *H*, door vacuum-fotocellen in verbinding met een radioversterker. Een nadeel is echter de niet lineaire versterking van den laatste voor verschillende frequenties, wat de berekening der metingen gecompliceerd zou maken.

Aan den anderen kant vormen de zwartingen tot 1.5 wel de belangrijkste voor de practijk, zoodat het bezwaar, dat geen grootere zwartingen gemeten kunnen worden, niet zoo bijzonder zwaar behoeft te tellen.

Bij de beschrijving van den gekorrelheidsmeter is een aantal onderstellingen gemaakt, die niet zonder meer juist zijn, en dus een nadere beschouwing behoeven.

1^o. De stroomsterkte, in de fotospanningscellen opgewekt, is evenredig ondersteld met de intensiteit van het opvallende licht, wanneer de grootte van het verlichte oppervlak gelijk blijft. Dit is inderdaad het geval.

2^o. Ondersteld werd, dat de MOLL-galvanometer de fluctuaties in de stroomsterkte, veroorzaakt door de verschillen in de zwarting, geheel volgt. Evenals bij den microfotometer (zie hfdst. 2, § 2) is dit ook hier niet het geval.

In § 2 zal de correctie, die hiervoor noodig is, nader besproken worden.

3^o. Van den gelijkrichter-versterker werd aangenomen, dat hij de schommelingen van den MOLL-galvanometer lineair versterkt. Dit is echter niet geheel juist, als gevolg van een geringe onscherpte van de randen van het heen en weer bewegende lichtbeeldje. Deze onscherpte wordt veroorzaakt door buigingsverschijnselen bij de reflectie van het licht tegen het spiegeltje van den galvanometer. Bovendien zal eenige kleurschifting plaats vinden aan de randen van het lichtbeeld, wanneer men voor S geen achromatische lens neemt.

De correctie, die hiervoor aangebracht moet worden, zal in § 3 van dit hoofdstuk besproken worden.

§ 2. Correctie voor de traagheid van den galvanometer.

De correctie, die noodig is voor de traagheid van den primairen galvanometer, is veel gecompliceerder dan die, welke bij den microfotometer moet worden toegepast. (Zie 1^o.) De oorzaak hiervan ligt in het feit, dat bij den gekorrelheidsmeter twee concentrisch gelegen cirkelvormige deelen van de plaat met elkaar vergeleken worden (zie fig. 5), terwijl men bij den microfotometer met een enkelvoudige rechthoekige spleet te doen heeft.

Teneinde de berekening te vereenvoudigen, zijn de concentrische cirkels vervangen door concentrische vierkanten met evenwijdige zijden, een benadering, die slechts weinig aan den werkelijken toestand verandert (zie fig. 9). De galvanometer wordt ook hier aperiodisch ondersteld.

We redeneeren nu als volgt: De differentiaalvergelijking voor den uitslag x van den galvanometer luidt:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 2\nu \frac{dx}{dt} + \nu^2 x = \frac{F(t)}{K} \dots \dots \dots (3)$$

waarin K het traagheidsmoment van de galvanometerspoel is. $\nu = \sqrt{\frac{D}{K}}$ is de galvanometerconstante, waarin D het richtende koppel is. $F(t)$ is het electromotorische koppel, veroorzaakt door de

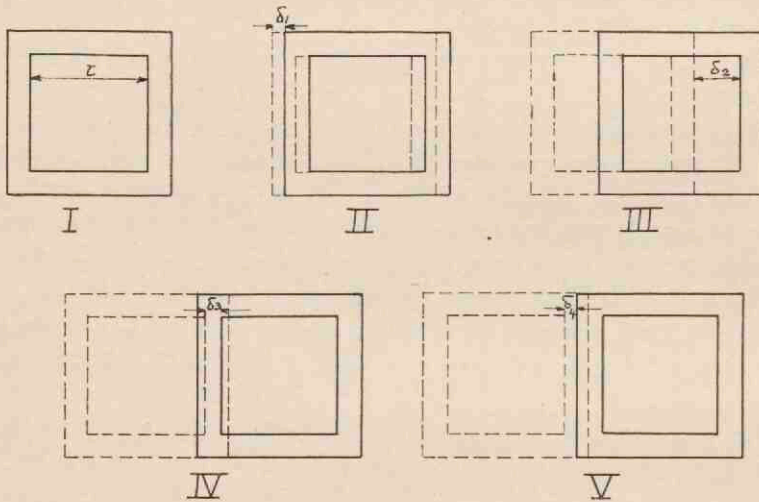


Fig. 9. Verschillende fasen bij de berekening van de correlatie van den gekorreldeidsmeter.

gekorreldeid als functie van den tijd. Daar de uitslagen van den galvanometer additief zijn, kunnen we de gemiddelde waarde van $F(t)$ nul stellen, zonder afbreuk te doen aan de algemeenheid van onze beschouwing, daar deze onderstelling slechts beteekent, dat een constante electromotorische kracht, die de gemiddelde $\overline{F(t)}$ teniet doet, in het circuit is opgenomen. We nemen verder aan, dat ten tijde $-\infty$ de galvanometerspoel een uitwijking en snelheid nul heeft, dus

$$(x)_{t=-\infty} = 0 \quad , \quad \left(\frac{dx}{dt} \right)_{t=-\infty} = 0.$$

De oplossing van vergelijking (3) wordt dan:

$$x = \frac{1}{K} \int_{-\infty}^t (t-\xi) e^{v(\xi-t)} F(\xi) d\xi \quad (4)$$

We zullen nu de gemiddelde waarden van x berekenen. Daar $F(t) = 0$, krijgen we: $\bar{x} = 0$.

Voor het kwadratisch gemiddelde krijgen we:

$$\bar{x}^2 = \frac{1}{K^2} \int_{-\infty}^t \int_{-\infty}^t (t-\xi)(t-\eta) e^{v(\xi+\eta-2t)} \overline{F(\xi) F(\eta)} d\xi d\eta.$$

Of bij invoering van $\delta = \xi - \eta$:

$$\bar{x}^2 = -\frac{1}{K^2} \int_{-\infty}^t \int_{+\infty}^{\xi-t} (t-\xi)(t-\xi+\delta) e^{v(2\xi-2t-\delta)} \overline{F(\xi) F(\xi-\delta)} d\delta d\xi. \quad (5)$$

De waarde van $\overline{F(\xi) F(\xi-\delta)}$ kan berekend worden uit de onderstelling, dat de korrelverdeeling toevallig is.

Zij F_0 de waarde van F ten tijde ξ en stel, dat zich op dat oogenblik in het binnenste vierkant een overschot van p korrels en in den buitenring q korrels boven het gemiddelde bevindt. We kunnen dan F_0 evenredig stellen met $p-q$. Zij verder τ de tijd, waarin de plaat over de breedte van het binnenvierkant verschuift. De tijd van correlatie tusschen de waarden van F is dan $\tau\sqrt{2}$.

We kunnen nu vier fasen onderscheiden (zie fig. 9). Gemakshalve voeren we voor elke fase een andere δ in. Bij verschuiving over den tijd δ_1 (zie fig. 9, II) komen er in het middenvierkant gemiddeld $p + \frac{\delta_1}{\tau}(q-p)$ korrels en in den buitenring

$$q + \frac{\delta_1}{\tau}(p-q) - \frac{\delta_1}{\tau}\sqrt{2} \times q.$$

Voor de eerste fase wordt dan:

$$\begin{aligned} \overline{F(\xi) F(\xi-\delta)} &= (p-q) \left\{ p + \frac{\delta_1}{\tau}(q-p) - q - \frac{\delta_1}{\tau}(p-q) + \frac{\delta_1}{\tau}\sqrt{2} \times q \right\} = \\ &= \bar{p}^2 \left\{ 2 - (4 + \sqrt{2}) \frac{\delta_1}{\tau} \right\} \text{ daar } \bar{p}^2 = \bar{q}^2 \text{ en } \bar{p}q = 0. \end{aligned}$$

Voor de andere fasen gaan we op overeenkomstige wijze te werk en krijgen aldus het volgende overzicht:

$$\text{II. } \overline{p^2} \left\{ 2 - (4 + \sqrt{2}) \frac{\delta_1}{\tau} \right\} \text{ voor } \delta_1 \leq \frac{1}{2} (\sqrt{2} - 1) \tau$$

$$\text{III. } \overline{p^2} \left\{ 3 - \frac{3}{2} \sqrt{2} - \sqrt{2} \frac{\delta_2}{\tau} \right\} \text{ voor } \delta_2 \leq \frac{1}{2} (3 - \sqrt{2}) \tau$$

$$\text{IV. } \overline{p^2} \left\{ 4 - 3\sqrt{2} + (4 - \sqrt{2}) \frac{\delta_3}{\tau} \right\} \text{ voor } \delta_3 \leq \frac{1}{2} (\sqrt{2} - 1) \tau$$

$$\text{V. } \overline{p^2} \left\{ 1 - \frac{1}{2} \sqrt{2} - \sqrt{2} \frac{\delta_4}{\tau} \right\} \text{ voor } \delta_4 \leq \frac{1}{2} (\sqrt{2} - 1) \tau.$$

We vervangen nu weer de partieele δ 's door de totale δ . Geval II blijft hetzelfde. In III wordt $\delta_2 + \frac{1}{2} (\sqrt{2} - 1) \tau = \delta$ enz. We krijgen nu:

$$\text{II. } \overline{F(\xi) F(\xi - \delta)} = \overline{p^2} \left\{ 2 - (4 + \sqrt{2}) \frac{\delta}{\tau} \right\} \\ \text{voor } 0 \leq \delta \leq \frac{1}{2} (\sqrt{2} - 1) \tau$$

$$\text{III. } \quad \quad \quad = \overline{p^2} \left\{ 4 - 2\sqrt{2} - \sqrt{2} \frac{\delta}{\tau} \right\} \\ \text{voor } \frac{1}{2} (\sqrt{2} - 1) \tau \leq \delta \leq \tau$$

$$\text{IV. } \quad \quad \quad = \overline{p^2} \left\{ -2\sqrt{2} + (4 - \sqrt{2}) \frac{\delta}{\tau} \right\} \\ \text{voor } \tau \leq \delta \leq \frac{1}{2} (\sqrt{2} + 1) \tau$$

$$\text{V. } \quad \quad \quad = \overline{p^2} \left\{ 2 - \sqrt{2} \frac{\delta}{\tau} \right\} \\ \text{voor } \frac{1}{2} (\sqrt{2} + 1) \tau \leq \delta \leq \sqrt{2} \tau$$

Voor $\delta = 0$ wordt $\overline{F^2}$ evenredig met $2p^2$. Voor $\overline{F(\xi) F(\xi - \delta)}$ vinden we dus een som van uitdrukkingen van den vorm $\frac{1}{2} \overline{F^2} \left(a - b \frac{\delta}{\tau} \right)$.

Vullen we zulk een uitdrukking in vergelijking (5) in en integreeren we deze naar ξ , dan krijgen we:

$$\frac{\overline{F^2}}{4K^2\nu^3} \int_{\text{ond. gr.}}^{\text{bov. gr.}} (\nu\delta + 1) \left(a - b \frac{\delta}{\tau} \right) e^{-\nu\delta} d\delta \quad \dots \quad (6)$$

De algemeene oplossing hiervan luidt:

$$\frac{\overline{F^2}}{4K^2\nu^5\tau} \left[e^{-\nu\delta} \{ \delta^2 \nu^2 b + (3b\nu - a\tau\nu^2) \delta + 3b - 2a\tau\nu \} \right]. \quad (7)$$

Hierin moeten voor elk der vier fasen de constanten a en b vervangen worden door de waarden, die uit het bovenstaande overzicht volgen. De grenzen zijn voor elk geval gelijk aan de grenzen van δ .

We vinden tenslotte $\overline{x^2}$ als som der vier genoemde integralen. Dit wordt dus:

$$\begin{aligned} \overline{x^2} = & \frac{\overline{F^2}}{4K^2\nu^3} \left[\int_0^{\frac{1}{2}(\sqrt{2}-1)\tau} (\nu\delta + 1) \left\{ 2 - (4 + \sqrt{2}) \frac{\delta}{\tau} \right\} e^{-\nu\delta} d\delta + \right. \\ & + \int_{\frac{1}{2}(\sqrt{2}-1)\tau}^{\tau} (\nu\delta + 1) \left\{ 4 - 2\sqrt{2} - \sqrt{2} \frac{\delta}{\tau} \right\} e^{-\nu\delta} d\delta + \\ & + \int_{\tau}^{\frac{1}{2}(\sqrt{2}+1)\tau} (\nu\delta + 1) \left\{ -2\sqrt{2} + (4 - \sqrt{2}) \frac{\delta}{\tau} \right\} e^{-\nu\delta} d\delta + \\ & \left. + \int_{\frac{1}{2}(\sqrt{2}+1)\tau}^{\tau\sqrt{2}} (\nu\delta + 1) \left\{ 2 - \sqrt{2} \frac{\delta}{\tau} \right\} e^{-\nu\delta} d\delta \right]. \end{aligned}$$

Na uitwerken met form. (7) geeft dit:

$$\overline{x^2} = \frac{\overline{F^2}}{4K^2\nu^5\tau} \left[e^{-\nu\tau\sqrt{2}} (2\nu\tau + 3\sqrt{2}) + \right. \\ + e^{-\frac{1}{2}(\sqrt{2}+1)\nu\tau} \{ -(2\sqrt{2} + 2)\nu\tau - 12 \} + e^{-\nu\tau} (4\nu\tau + 12) + \\ \left. + e^{-\frac{1}{2}(\sqrt{2}-1)\nu\tau} \{ (2\sqrt{2} - 2)\nu\tau + 12 \} + 4\nu\tau - 12 - 3\sqrt{2} \right]. \quad (8)$$

Wanneer nu \bar{n} het gemiddelde aantal korrels of korrelgroepen voorstelt, dat in het binnengedeelte (of den buitenring) is gelegen, Δn het verschil in korrelaantal tusschen binnen- en buitengebied, en C het electromotorische koppel veroorzaakt door een enkele korrel verschil tusschen beide deelen, dan is $\Delta n \times C = F$ en $\overline{\Delta n^2} \times C^2 = \overline{F^2}$. Nu is, een Gaussische verdeling onderstellende: $\overline{\Delta n^2} = (\sqrt{2} \times \sqrt{\bar{n}})^2 = 2\bar{n}$. Dus $2\bar{n} = \frac{\overline{F^2}}{C^2}$.

De uitwijking van den galvanometer, veroorzaakt door het koppel C , bedraagt C/Kv^2 . Aldus krijgen we voor het kwadratisch gemiddelde van x , uitgedrukt als een aantal korrels:

$$2\bar{n}_s = \frac{\overline{x^2}}{\left(\frac{C}{Kv^2}\right)^2}.$$

\bar{n}_s is het schijnbare gemiddelde aantal korrels in binnendeel of buitenring, zooals het uit de aflezingen van den galvanometer zou volgen.

Deelen we beide leden van vergelijking (8) door $(C/Kv^2)^2$, dan krijgen we:

$$\bar{n}_s = \bar{n} \frac{1}{4v\tau} [\dots \dots].$$

En daar ΔD evenredig is met $\sqrt{\bar{n}}$, volgt hieruit:

$$\Delta D_s = \frac{\Delta D}{2} \sqrt{\frac{1}{v\tau} [\dots \dots]} \dots \dots \quad (9)$$

§ 3. Correctie voor den onscherpen beeldrand in den gelijkrichter-versterker.

Bij de aanvankelijke metingen van de gekorreldeheid bleek het, dat deze bij grootere zwartingen zeer snel afnam, hetgeen men a priori niet zou verwachten. De oorzaak van dit verschijnsel bleek gelegen te zijn in de niet-lineariteit van den optischen gelijkrichter bij kleine aflezingen, en deze op haar beurt is weer het gevolg van den onscherpen rand van het heen-en-weer schommelende lichtbeeld.

Deze onscherpte is niet te vermijden, want zij is, zooals reeds in § 1 werd vermeld, een gevolg van de buigingsverschijnselen in het verlichtingssysteem van den eersten galvanometer.

De correctie voor de fout, veroorzaakt door de niet-lineariteit, kan men door de volgende beschouwing vinden:

Indien het lichtbeeld O volkomen scherp begrensd ware en precies even breed als de reep metaal P voor de lens, dan zou tusschen een serie stationnaire uitwijkingen en de bijbehorende uitslagen van den galvanometer R een lineair verband bestaan, dat wordt weergegeven door de rechte lijn a in fig. 10. Zou het beeld

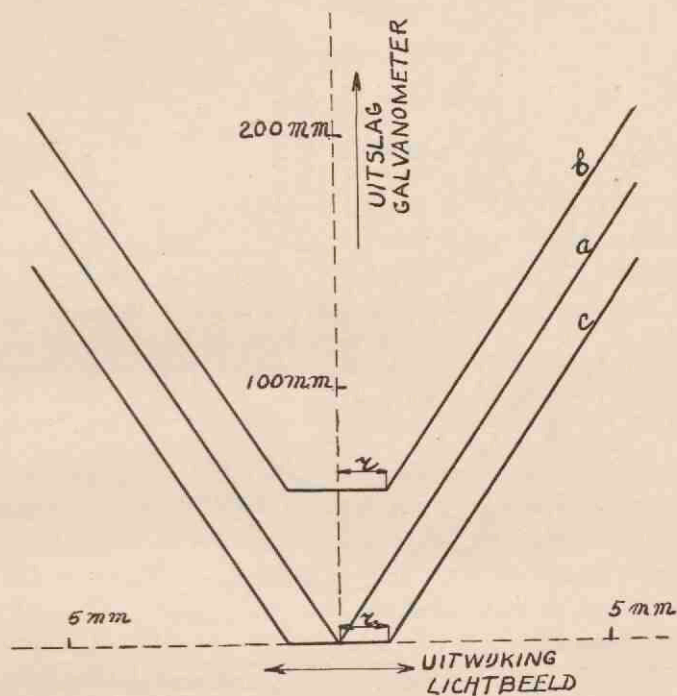


Fig. 10. Karakteristieken van den gelijkrichter-versterker bij scherp begrensd lichtbeeld.

$2r$ m.m. smaller zijn dan P , dan kregen we de gebroken lijn c ; immers, het lichtbeeld zou dan een uitwijking van r m.m. uit zijn nulstand moeten hebben alvorens de galvanometer zou gaan reageeren. Bij grootere uitwijkingen van O is het verband weer

lineair en loopt c verder evenwijdig aan a . Zou het beeld $2r$ m.m. breder zijn dan P , dan kregen we de lijn b , waarvoor hetzelfde geldt als voor c , maar die hooger ligt, omdat in den middenstand van O de galvanometer reeds een uitslag heeft, die overeenkomt met zijn uitslag in geval a bij een uitwijking van $2r$ m.m. van het lichtbeeld. Geval a geeft dus de grootste gevoeligheid van het toestel.

In werkelijkheid zijn de randen van O echter niet scherp. Het gevolg is, dat de lijnen a , b of c uit fig. 10 een afronding aan de punt krijgen en de gedaante a_1 , b_1 en c_1 van fig. 11 aannemen.

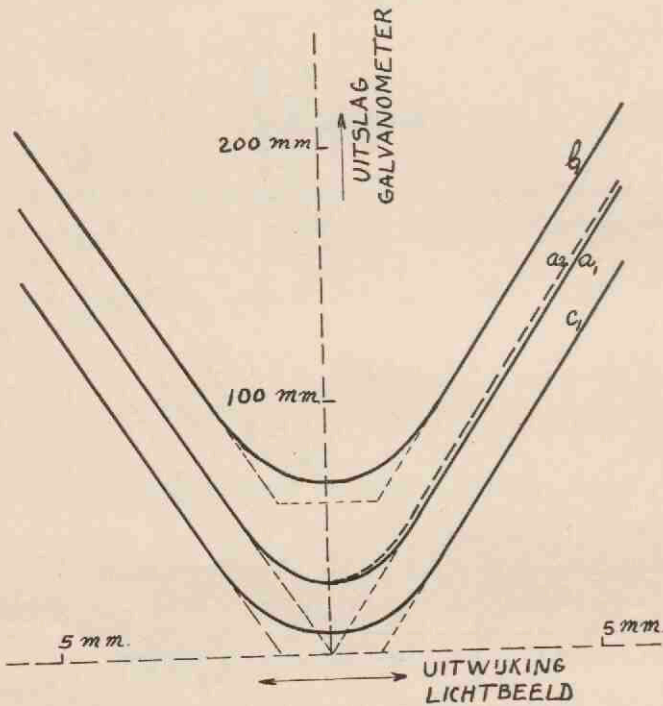


Fig. 11. Werkelijke karakteristieken van den gelijkrichter-versterker.

In fig. 12 is nu het intensiteitsprofiel van het lichtbeeld O voorgesteld; boven van het volkomen scherp begrensde beeld (waarbij BC de breedte van het beeld O en tevens van de metaalstrip P voorstelt), beneden van het beeld met onscherpe randen. Nu is het

duidelijk, dat de gevoeligste werking van den versterker verkregen wordt, indien het lichtbeeld zoodanig door de metaalstrip P (van

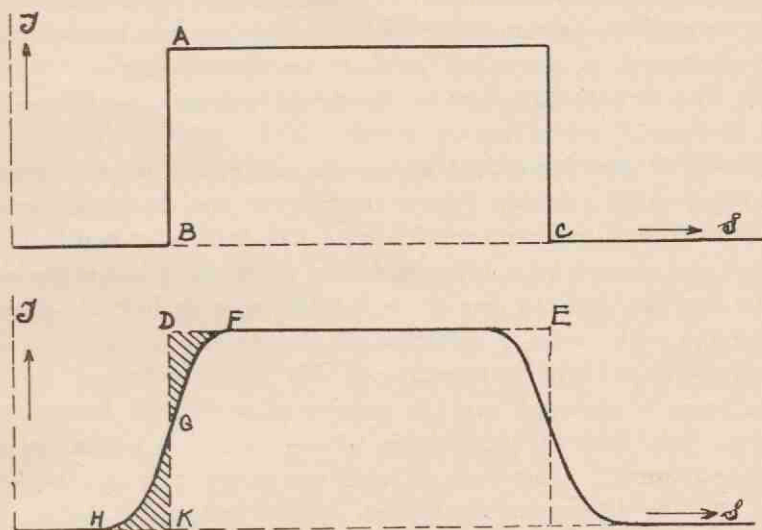


Fig. 12. Intensiteitsprofielen van lichtbeeld O (fig. 8) bij scherp begrens'd beeld (boven) en in werkelijkheid (beneden).

de breedte DE) wordt bedekt, dat de zijde DK de profiellijn FH snijdt in een punt G , waarvoor $\frac{dI}{ds}$ maximaal is. Dan toch zal bij een kleine uitwijking van O de galvanometer een zoo groot mogelijken uitslag geven, of met andere woorden, dan wordt de punt van de karakteristiek van den versterker zoo scherp mogelijk.

Nu is het niet gemakkelijk het profiel FH nauwkeurig te bepalen. Indien we echter zorgen, dat DK zoodanig komt te liggen, dat de gearceerde oppervlakken DFG en KHG aan elkaar gelijk zijn, hebben we een voldoende benadering voor het ideale punt G . Wanneer GF en GH symmetrisch zijn t.o.v. G , is dit punt G zelfs exact juist.

De voorwaarde nu, dat de gearceerde oppervlakken aan elkaar gelijk worden, is gemakkelijk te verwezenlijken. Zij beteekent niets anders dan dat de rechte gedeelten van de karakteristiek door den oorsprong gaan. Dit is het geval bij kromme a_1 in fig. 11, die dus ook hier de grootste gevoeligheid geeft.

Kromme a_1 gaf het verband tusschen een serie vaste uitwijkingen van het lichtbeeld en de uitslagen van den galvanometer R . In werkelijkheid echter schommelt het beeldje voortdurend heen en weer en geeft de galvanometer de gemiddelde waarde aan van den onregelmatigen pulseerenden gelijkstroom. Om hieruit de gemiddelde absolute uitwijking van het lichtbeeld te vinden, mogen we nu *niet* kromme a_1 gebruiken.

Zooals in hoofdstuk 2, § 1, werd uiteengezet, volgen de uitwijkingen van het beeldje (die overeenkomen met de fluctuaties in het registrogram van een microfotometer) de foutenwet van GAUSS. Indien men nu een bepaalde gemiddelde uitwijking van het beeldje in het oog vat, dan kan men uit de tabellen voor de foutenintegraal bepalen in welke mate de verschillende momenteele uitwijkingen tot dat gemiddelde hebben bijgedragen. Uit deze verdeling en de bijbehorende uitslagen van den galvanometer (die uit kromme a_1 volgen) kan dan de gemiddelde uitslag van den galvanometer berekend worden. Doet men dit voor een aantal punten, dan kan men hierdoor de kromme a_2 trekken, die iets hooger ligt dan a_1 en dus het verband aangeeft tusschen de gemiddelde absolute uitwijking van het lichtbeeld en den uitslag van den galvanometer.

Omgekeerd kan nu bij het praktische gebruik, uit den uitslag van den galvanometer, met behulp van a_2 de gemiddelde absolute uitwijking van het lichtbeeld bepaald worden.

Bij de meting van de totale hoeveelheid licht, die op de cel H_1 valt (zooals beschreven in § 1 van dit hoofdstuk), krijgt het lichtbeeld O echter een *vaste* uitwijking. Deze moet nu natuurlijk uit den uitslag van den galvanometer met behulp van a_1 bepaald worden.

Het verloop van de karakteristieken a_1 en a_2 is afhankelijk van de lichtsterkte van de lamp M en de gevoeligheid van de fotospanningscel Q . Deze grootheden veranderen echter na verloop van tijd, en met hen de krommen a_1 en a_2 . Vóór het begin van elke serie metingen zou men dus feitelijk de karakteristieken a_1 en a_2 opnieuw moeten bepalen. Daar dit praktisch ondoenlijk is, gaan we liever als volgt te werk: We bepalen eens voor al de kromme a_1 bij een zekere stroomsterkte van de lamp M , en berekenen hieruit a_2 . Vóór het begin van een serie metingen bepalen we nu enkele punten van de karakteristiek a_1 , die het toestel op dat oogenblik heeft. Hieruit volgt een evenredigheidsfactor, waarmee men de ordinaten van de

nieuwe karakteristiek moet vermenigvuldigen om op de aangenomen kromme a_1 terecht te komen. Alle uitslagen van den galvanometer R worden bij de nu volgende metingen met dezen evenredigheidsfactor vermenigvuldigd, waarna we verder van de aangenomen krommen a_1 en a_2 gebruik maken.

Hierbij kan nog opgemerkt worden, dat een kleine fout in dezen factor geen beteekenis heeft, daar zij zoowel in den teller als in den noemer van de breuk, die de waarde van ΔD aangeeft (form. 1), tot uiting komt.

HOOFDSTUK 4.

De absolute maat voor de gekorreltheid.

§ 1. *Metingen met verschillende diafragma's.*

In het vorige hoofdstuk zijn de correcties besproken, die aangebracht moeten worden om uit de verschillende aflezingen de juiste waarde van ΔD te berekenen.

Deze ΔD nu is nog een functie van de grootte van het verlichte oppervlak van het te meten negatief, d.i. van de projectie van het diafragma. (Bij den microfotometer dus van de geprojecteerde breedte van de begrenzende spleet.) Het ligt dus voor de hand, dat we in de eerste plaats onderzocht hebben op welke wijze ΔD van het gemeten oppervlak afhangt. Hiertoe hebben we een aantal negatieven met een reeks verschillende diafragma's gemeten. De gegevens omtrent de diafragma's zijn weergegeven in tabel 1. Daar de snelheid van het te meten negatief en de plaats van het verlichte oppervlak dezelfde blijven, verandert τ evenredig met den diameter. Het is dus duidelijk, dat ook de correctiefactor voor de traagheid van den primairen galvanometer verandert en voor elk geval afzonderlijk met formule (9) moet worden berekend.

De diameters werden met een comparateur met microscoopaflezing bepaald. Uit de verkleining van het eerste microscoopobjectief E (fig. 4), die 11.7 bleek te zijn, volgt het oppervlak van het verlichte deel van de plaat. Het binnenste deel b (zie fig. 5) is dus de helft hiervan. τ volgt uit de excentriciteit van de ronddraaiende plaat (0.7 m.m.), den omlooptijd (10 sec.) en den diameter van deel b . Daar we hier met een cirkel te doen hebben, is voor τ een gemiddelde waarde genomen, die gevonden werd door b te vervangen door een rechthoek met dezelfde oppervlakte, waarvan de zijde, die loodrecht staat op de bewegingsrichting van de plaat, gelijk is aan den diameter van b . Form. (9) is ook in dit geval zonder meer toepasselijk.

De galvanometerconstante ν , die erin voorkomt, volgt uit de ver-

gelijking $\nu T = 2\pi$, waarin T den slingertijd van den galvanometer bij open keten voorstelt. Deze bleek te zijn 0.428 sec., zoodat $\nu = 14.7$.

TABEL 1. Gegevens omtrent de diafragma's.

No.	Diameter	Oppervlak van deel b van licht- beeld op negatief	$\sqrt{\text{Oppervlak } b}$	τ	Correctiefactor volgens form. (9)
I	2.78 m.m.	22220 μ^2	149 μ	0.295 sec.	1.50
II	2.06 ..	12200 ..	110.5 ..	0.22 ..	1.655
III	1.38 ..	5480 ..	74 ..	0.147 ..	1.92
IV	1.04 ..	3110 ..	55.8 ..	0.11 ..	2.14

Voor de negatieven kozen we een drietal uit de groote serie, die in hoofdstuk 5, § 1, beschreven is en wel, om zoo universeel mogelijk te werk te gaan:

Plaat 1A, Ilford Special Rapid, ontwikkelaar Metol Borax (zie tabel 4).

Plaat 3B, Gevaert Contrast, ontwikkelaar Hydrochinon (zie tabel 4).

Plaat 4D, Gevaert Supercontrast, ontwikkelaar Paraphenyleendiamine (zie tabel 4).

Wij zullen onderzoeken of ΔD omgekeerd evenredig is met den wortel uit het verlichte oppervlak, zooals dat bij een Gaussische verdeling van de zilverkorrels het geval dient te zijn. Immers is in dat geval in de uitdrukking voor ΔD (zie form. 1) de teller evenredig met den wortel uit het aantal korrels dat op het verlichte plekje van de plaat ligt, dus ook evenredig met den wortel uit de oppervlakte van het beschouwde plekje. De noemer daarentegen, die de hoeveelheid doorgelaten licht voorstelt, is rechtevenredig met de grootte van het verlichte oppervlak, en dus is ΔD evenredig met $\sqrt{\text{opp.}/\text{opp.}}$, d.i. omgekeerd evenredig met den wortel uit de oppervlakte.

Wij hebben nu in tabel 2 achter de gevonden waarden ΔD de grootheid $\Delta K = \Delta D \times \sqrt{\text{oppervlak}}$ opgegeven.

De grootheid ΔK is blijkens deze tabel volkomen onafhankelijk

TABEL 2. Gemeten ΔD en hieruit afgeleide ΔK .

N ^o .	Zwarting	ΔD				ΔK				Diafragma
		I	II	III	IV	I	II	III	IV	
1	0.08	0.0019 ⁵	0.0028	0.0042	0.0061	0.29	0.31	0.31	0.34	Plaat 1A
2	0.17	0.0027	0.0042	0.0056 ⁵	0.0079	0.40	0.46 ⁵	0.42	0.44	
3	0.35	0.0036 ⁵	0.0050 ⁵	0.0073	0.0103	0.55	0.56	0.54	0.57 ⁵	
4	0.55	0.0043 ⁵	0.0061	0.0098	0.0128 ⁵	0.65	0.67 ⁵	0.72 ⁵	0.71 ⁵	
5	0.78	0.0047	0.0069 ⁵	0.0102	0.0119	0.70 ⁵	0.77	0.75	0.66 ⁵	
6	1.00	0.0052 ⁵	0.0070 ⁵	0.0092	0.0120	0.78 ⁵	0.78	0.68	0.67	
						3.38	3.56	3.42 ⁵	3.40 ⁵	Som
1	0.07	0.0015 ⁵	0.0020 ⁵	0.0028	0.0040 ⁵	0.23 ⁵	0.23	0.20 ⁵	0.22 ⁵	Plaat 3B
2	0.14	0.0023	0.0029	0.0041	0.0051 ⁵	0.34 ⁵	0.32	0.30 ⁵	0.28 ⁵	
3	0.27	0.0031	0.0039	0.0064	0.0091	0.46	0.43	0.47 ⁵	0.50 ⁵	
4	0.50	0.0040	0.0048	0.0084 ⁵	0.0109	0.59 ⁵	0.53	0.62 ⁵	0.61	
5	0.88	0.0054	0.0071	0.0105 ⁵	0.0145 ⁵	0.80 ⁵	0.78 ⁵	0.78	0.81	
						2.44	2.29 ⁵	2.39	2.43 ⁵	Som
1	0.08	0.0012	0.0015 ⁵	0.0021	0.0029	0.18	0.17 ⁵	0.15 ⁵	0.16	Plaat 4D
2	0.19	0.0016 ⁵	0.0023	0.0031 ⁵	0.0045	0.24 ⁵	0.25 ⁵	0.23 ⁵	0.25	
3	0.35 ⁵	0.0022 ⁵	0.0031 ⁵	0.0046	0.0062	0.33 ⁵	0.35	0.34	0.34 ⁵	
4	0.56	0.0026	0.0035	0.0057 ⁵	0.0070 ⁵	0.39	0.38 ⁵	0.42 ⁵	0.39 ⁵	
5	0.79	0.0028 ⁵	0.0038	0.0050	0.0072 ⁵	0.42 ⁵	0.42	0.37	0.40 ⁵	
6	1.08 ⁵	0.0031 ⁵	0.0041 ⁵	0.0057 ⁵	0.0084 ⁵	0.47	0.46	0.42 ⁵	0.47	
						2.04 ⁵	2.04 ⁵	1.95	2.02 ⁵	Som
						7.865	7.90	7.765	7.865	Som der 3 platen

van de grootte van het diafragma en kan dus met recht een absolute maat voor de gekorreltheid worden genoemd. (Dat de spreidingen in de waarde van ΔK van toevalligen aard zijn, blijkt uit de optelling van de kolommen van de vier diafragma's, welke sommen een fraaie overeenstemming te zien geven.)

ΔK heeft de dimensie van een lengte en wordt daarom voortaan in microns opgegeven.

§ 2. Beteekenis van de grootte ΔK .

In het vervolg van dit proefschrift zullen alle gekorreltheden in eenheden van ΔK worden opgegeven, en het is dus wenschelijk om eerst de praktische beteekenis van deze grootte nader uiteen te zetten. Wij kunnen dit het beste doen door het geven van enkele voorbeelden uit de practijk.

Onderstel, dat de metingen met den gekorreltheidsmeter voor een bepaalde zwarting hebben opgeleverd $\Delta D = 0.0065$, terwijl gebruik werd gemaakt van diafragma II (zie tabel 1). De oppervlakte van elk der deelen a en b van het verlichte plekje op de plaat is dan $12200 \mu^2$, dus

$$\Delta K = 0.0065 \sqrt{12200} = 0.0065 \times 110.5 = 0.72 \mu.$$

Met behulp van de aldus verkregen waarde van ΔK is het nu mogelijk om de gemiddelde zwartingsafwijking voor elke willekeurige grootte van het lichtbeeldje te berekenen, en dus voor alle praktische toepassingen de grootte van ΔD te bepalen.

Voorbeelden.

10. De Geluidsfilm.

De grootte van het op het geluidsspoor geprojecteerde spleetbeeld is ongeveer $2500 \times 10 \mu^2$. Het oppervlak is dus $25000 \mu^2$ en de wortel hieruit is 158.

$$\text{Dus } \Delta D = \frac{0.72}{158} = 0.0045.$$

(De gekorreltheid speelt hier een secundaire rol en heeft alleen eenigen invloed op het grondgeruisch.)

20. De Microfotometer.

Bij het uitmeten van spectrogrammen met den microfotometer van

MOLL is het beeld van de primaire spleet op het negatief veelal van de grootte $400 \times 2 = 800 \mu^2$.

$$\text{Dus } \Delta D = \frac{0,72}{\sqrt{800}} = 0,0254.$$

30. *Het maken van vergrootingen naar kleine negatieven.*

De grootte van het in aanmerking komende oppervlakje wordt hier bepaald door het oplossend vermogen van het vergrooiings-objectief. Zij dit b.v. 0.1 m.m., dan kunnen we het oppervlak gelijk-

$$\text{stellen aan } \frac{\pi}{4} \times 100^2 = 7850 \mu^2.$$

$$\text{Dus } \Delta D = \frac{0,72}{\sqrt{7850}} = 0,0081.$$

Uit het bovenstaande blijkt wel, hoe gemakkelijk en hoe algemeen de praktische gekorreltheid uit ΔK kan worden berekend. Men mag echter de grenzen, waarbinnen een dergelijke berekening geoorloofd is, niet vergeten. Het feit, dat de gekorreltheid omgekeerd evenredig is met den wortel uit het betreffende oppervlak, zal alleen gelden, indien dit oppervlak zeer veel grooter is dan elk der afzonderlijke zilverkorrels, of anders gezegd, indien ΔD klein blijft. In de practijk zal dit steeds het geval zijn, daar de gebruikelijke optische systemen een veel te gering oplossend vermogen hebben om de afzonderlijke zilverkorrels waarneembaar te maken. Als onderste grens kan men een oppervlakte van de orde van $1000 \mu^2$ aannemen.

Doch ook naar den kant van de grootere oppervlakken is onze werkwijze begrensd, daar bij zeer groote oppervlakken — van de orde van vierkante centimeters — de ongelijkmatigheden van de emulsie, welke b.v. door het gieten ontstaan, domineeren boven de gekorreltheidsfluctuaties.

De toepassing van de grootheid ΔK blijft dus beperkt tot het gebied der praktische gekorreltheid, en voor dit doel kan haar beteekenis als volgt worden beschreven:

De gemiddelde zwartingsafwijking van een vierkant veldje met zijden van a micron is $\frac{\Delta K}{a}$ (waarbij ΔK in μ is uitgedrukt).

In analogie met de grootheden $\frac{\Delta D}{\gamma_d}$ en $\frac{\Delta D}{\gamma_t}$ (zie hoofdstuk 2, § 3),

kunnen we nu invoeren de grootheden $\frac{\Delta K}{\gamma_d}$ en $\frac{\Delta K}{\gamma_t}$. Hierin is weer γ_d de helling van de logarithmische zwartingskromme bij een bepaalde zwarting, terwijl γ_t de gemiddelde helling over het bruikbare gedeelte van de zwartingskromme voorstelt. $\frac{\Delta K}{\gamma_d}$ is de fluctuatie $\Delta \log. I$ in de logarithme van de intensiteit voor de eenheid van oppervlakte. $\frac{\Delta K}{\gamma_d}$ is de juiste maat ter beoordeeling van de kwaliteit van een emulsie, wat betreft zijn gekorreldeheid, voor de volgende toepassingen:

1^o. Afstandsbepalingen (van sterren, spectraallijnen e.d.). Hierbij speelt bovendien de verstrooiingsfactor L nog een rol.

2^o. Intensiteitsmetingen.

$\frac{\Delta K}{\gamma_t}$ daarentegen bepaalt de kwaliteit voor het negatief-positief procédé, dus voor het maken van vergrotingen, enz. Uit $\frac{\Delta K}{\gamma_d}$ en $\frac{\Delta K}{\gamma_t}$ kan weer voor elk afzonderlijk geval $\frac{\Delta D}{\gamma_d}$ en $\frac{\Delta D}{\gamma_t}$ berekend worden op de in het bovenstaande aangegeven wijze.

Uit het voorgaande volgt, dat het zeer nuttig zou zijn, indien men voor een bepaalde plaatsoort de waarde van $\frac{\Delta K}{\gamma_d}$ en $\frac{\Delta K}{\gamma_t}$ in een enkel getal zou kunnen uitdrukken, welk getal dan op de verpakking zou kunnen worden aangebracht. Om deze mogelijkheid na te gaan, en tevens om te onderzoeken, welken invloed het gebruik van verschillende ontwikkelaars op de gekorreldeheid van een emulsie heeft, hebben wij een aantal plaatsoorten met een serie verschillende ontwikkelaars behandeld, en vervolgens met den gekorreldeheidsmeter gemeten. Het resultaat van dit onderzoek is weergegeven in de paragrafen 1 en 2 van het volgende hoofdstuk.

HOOFDSTUK 5.

Metingen en conclusies.

§ 1. *Onderzoek van verschillende ontwikkelaars in combinatie met eenige plaatsoorten.*

Om een inzicht te krijgen omtrent den invloed van verschillende omstandigheden op de praktische gekorreldeheid, hebben wij in de eerste plaats den invloed van verschillende ontwikkelaars op grofkorrelige en fijnkorrelige emulsies onderzocht.

De volgende vier plaatsoorten werden hiervoor gebruikt:

TABEL 3. Gebruikte plaatsoorten.

Nº.	Plaatsoort	Nominale gevoeligheid	Belichtingstijd
1	Ilford Special Rapid	400 H en D	1 min.
2	Ilford Ordinary	70 ..	2 ..
3	Gevaert Contrast	500 ..	4 ..
4	Gevaert Supercontrast	100 ..	4 ..

De platen werden met de in tabel 4 gegeven ontwikkelaars behandeld.

Alle negatieven werden verkregen door belichting van een aantal cirkelvormige veldjes van 15 m.m. diameter met een 6 volts autolampje, waarvoor een blauwfilter was geplaatst, dat slechts een smal golflengtegebied bij 4600 Å. doorliet. De verschillende veldjes van een negatief werden achtereenvolgens belicht door variatie van de stroomsterkte van het lampje, dat spectraal was geijkt volgens de Utrechtsche methode²³). Elke plaat bevatte 13 belichte veldjes. De stroomsterkte van de lamp varieerde van 3.8 tot 6.2 amp., overeenkomende met een intensiteitsverhouding van 1 : 153.

De platen werden afzonderlijk, onder voortdurend schudden, bij

TABEL 4. Gebruikte ontwikkelaars.

N ^o .	Naam van den ontwikkelaar	Samenstelling	Ontwikkeltijd
A	Metol-Borax ontwikkelaar ²⁰⁾	Metol 8.6 g. Borax 19 " Natriumcarbonaat 5.3 " Natriumsulfiet (krist.) 75 " Kaliumbromide 0.5 " Water tot 1000 c.c.	6 min.
B	Hydrochinon ontwikkelaar	Hydrochinon 3 g. Kaliummetabisulfiet 3 " Kaliumbromide 3 " Kaliumhydroxyde 12 " Water tot 1000 c.c.	6 min.
C	Ijzeroxalaat ontwikkelaar ²¹⁾	I. Kaliumoxalaat 25 g. Water 100 c.c. II. Ferrosulfaat 30 g. Citroenzuur 1 " Water 100 c.c. III. Kaliumbromide 1 g. Water 10 c.c. Vlak vóór gebruik te nemen: 80 c.c. van I, 20 c.c. van II en 2 druppels van III.	6 min.
D	Paraphenyleendiamine ontwikkelaar ²²⁾	Paraphenyleendiamine 10 g. Natriumsulfiet (watervrij) 60 " Trinatriumfosfaat 2 " Kaliumbromide 1 " Water tot 1000 c.c.	1 uur
E	Metol-Borax	Als A, maar met gelijke hoeve. water verdund	6 min.
F	Hydrochinon	Als B, maar met de halve hoeve. water verdund	6 min.
G	Ijzeroxalaat	Als C, maar met gelijke hoeve. water verdund	6 min.
H	Paraphenyleendiamine	Als D, maar met korteren ontwikkeltijd	30 min.

18° C. ontwikkeld. Vervolgens werden zij gefixeerd in een zuurfixeerbad van de volgende samenstelling:

Natriumthiosulfaat	150 g.
Kaliummetabisulfit	15 „
Water	1000 c.c.

Daarna werden de negatieven een uur gespoeld, nagespoeld met gedestilleerd water en gedroogd in een stofvrije droogkast. De gereede negatieven (alle van het formaat 9×12 c.m.) werden tenslotte door midden gesneden (daar de oorspronkelijke platen te groot waren voor den korrelmeter), en de helften met twee reepjes karton aan de gelatinezijde beplakt. Dit laatste diende om beschadigingen bij het vastklemmen op de draaiende schijf te voorkomen.

Allereerst werden nu de zwartingen van de veldjes gemeten met behulp van den korrelmeter zelf. Dit heeft het voordeel, dat de stralengang bij de zwartingsmeting dezelfde is als bij de korrelmeting. De waarneming verloopt als volgt:

Het negatief *F* (zie fig. 4) wordt op dezelfde wijze als bij de meting van de gekorreldeheid bevestigd op de excentrische schijf, die in dit geval natuurlijk niet behoeft rond te draaien. Om de beschikbare hoeveelheid licht zoo nuttig mogelijk te gebruiken, wordt het spiegeltje *T* verwijderd, zoodat de geheele lichtbundel via *U* op een der fotospanningscellen valt. Hierdoor krijgt het lichtbeeld *O* (zie fig. 8) van den gelijkrichter-versterker een uitslag, die met de wig *C* kan geregeld worden.

We brengen nu eerst een stuk blanke plaat in den lichtbundel en geven het lichtbeeld *O* met behulp van *C* een bepaalden vasten uitslag. Vervolgens meten we den sluier en de gezwarte veldjes, waarbij we *O* steeds denzelfden uitslag geven. Uit de aflezingen van de op *C* aangebrachte schaalverdeeling kunnen we dan de zwarting onmiddellijk bepalen door het verschil in draaiing van *C*, bij meting van een gezwart veld en bij meting van de blanke plaat, te vermenigvuldigen met den wigfactor, die 0.118 per c.m. bedraagt. Op deze wijze meten we dus de zwarting in gericht licht.

Van ieder veldje werd de gekorreldeheid daarna vier maal gemeten. Deze meting verloopt op de volgende wijze (zie fig. 4): Nadat het te meten veldje in den lichtbundel geplaatst is, worden de zilverkorrels scherp afgebeeld op spiegel *T*, hetgeen met een stelschroef

aan microscoopobjectief G geregeld wordt. De scherpe begrenzing van het lichtbeeld wordt daarna ingesteld met objectief E , dat het diafragma op de plaat afbeeldt. Allereerst wordt nu de nulstand van den galvanometer R (zie fig. 8) bij gesloten keten afgelezen. Hiertoe moet het lichtbeeld O den reep metaal P precies bedekken, terwijl de galvanometer J stroomloos is. Dit kan worden ingesteld met een stelknop aan J (grof) en een stelschroef aan het gedeelte $P + Z + Q$, dat in zijn geheel heen en weer kan worden geschoven (fijnregeling).

Nu wordt de te meten plaat aan het draaien gebracht en galvanometer J ingeschakeld. De cellen H_1 en H_2 moeten nu gemiddeld evenveel licht ontvangen, hetgeen kan worden geregeld door den afstand van T en U tot de plaat F te wijzigen. Een fijnregeling wordt hierbij bereikt door een der cellen H met een stelschroef iets te verschuiven, waardoor een klein gedeelte van het licht erbuiten valt.

Door het schommelen van lichtbeeld O krijgt nu R een uitwijking, die wordt afgelezen. Hierbij moet men c.a. twee minuten wachten, daar deze galvanometer zeer traag is.

Hetzelfde wordt nu herhaald voor een drietal andere deelen van de plaat met dezelfde zwarting, waarna nog eens de nulstand van R wordt bepaald. Tenslotte wordt dan de totale hoeveelheid licht, die op een der cellen H valt, gemeten op de in hoofdstuk 3, § 1, beschreven wijze.

Zoowel bij de zwartingsmeting als bij de gekorrelheidsmeting werd gebruik gemaakt van diafragma no. II (2.06 m.m. diam.).

De resultaten zijn weergegeven in de fig. 13—24.

De fig. 13—16 geven de zwartingskrommen (met den sluier).

De fig. 17—20 geven ΔK uitgezet tegen de zwarting (met den sluier).

De fig. 21—24 geven $\frac{\Delta K}{\gamma_d}$ uitgezet tegen de zwarting (met den sluier).

Terwille van de overzichtelijkheid zijn de meetpunten niet in de krommen van fig. 13—24 aangegeven. De krommen, die het verband geven tusschen $\frac{\Delta K}{\gamma_d}$ en de zwarting, zijn afgeleid uit de

zwartingskrommen en de $\Delta K-D$ krommen en hebben dus uit den aard der zaak geen meetpunten.

§ 2. *Bespreking van de resultaten.*

De zwartingskrommen (fig. 13—16) bieden weinig aanknoopingspunten voor algemeene beschouwingen. Wel kan men zeggen, dat

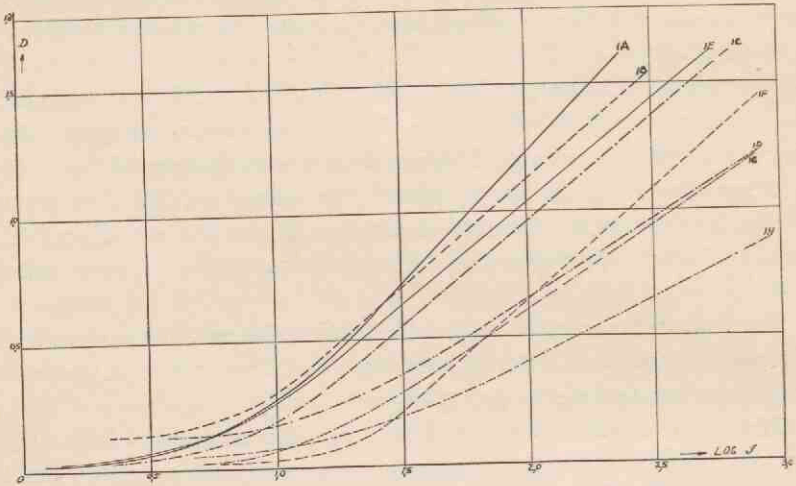


Fig. 13. Zwartingskrommen van Ilford Special Rapid.

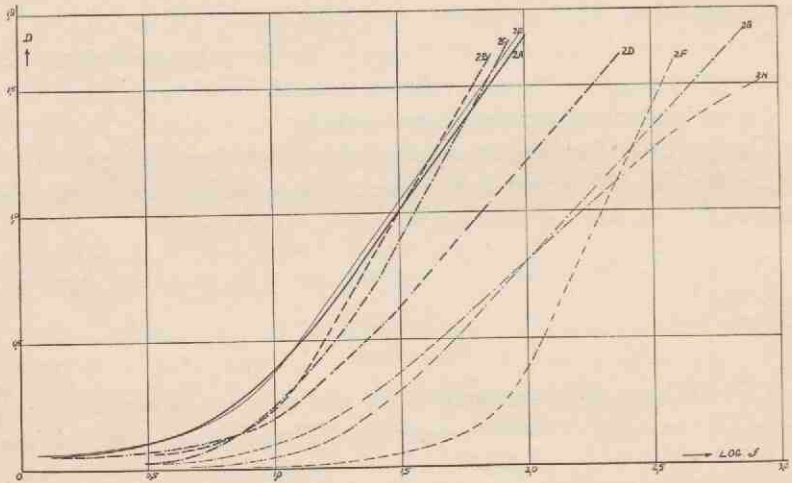


Fig. 14. Zwartingskrommen van Ilford Ordinary.

de door den fabrikant gegeven gevoeligheidscijfers (zie tabel 3), gezien de zwartingskrommen en de gebruikte belichtingstijden, voor de Gevaertplaten blijkbaar aan den optimistischen kant zijn.

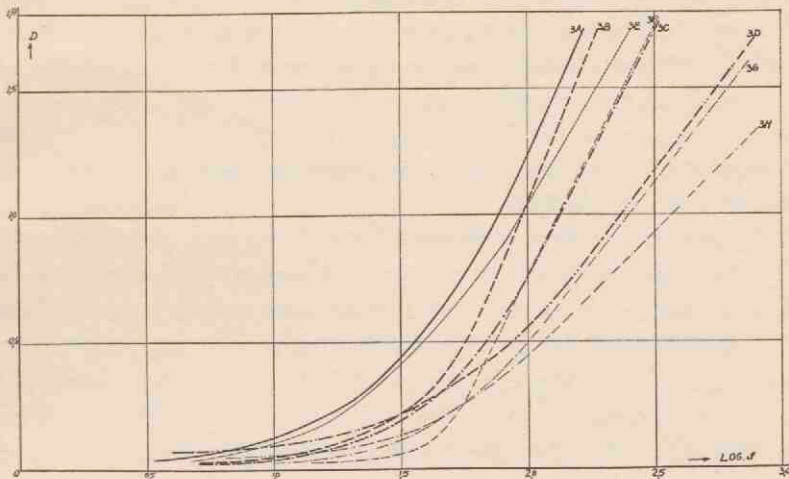


Fig. 15. Zwartingskrommen van Gevaert Contrast.

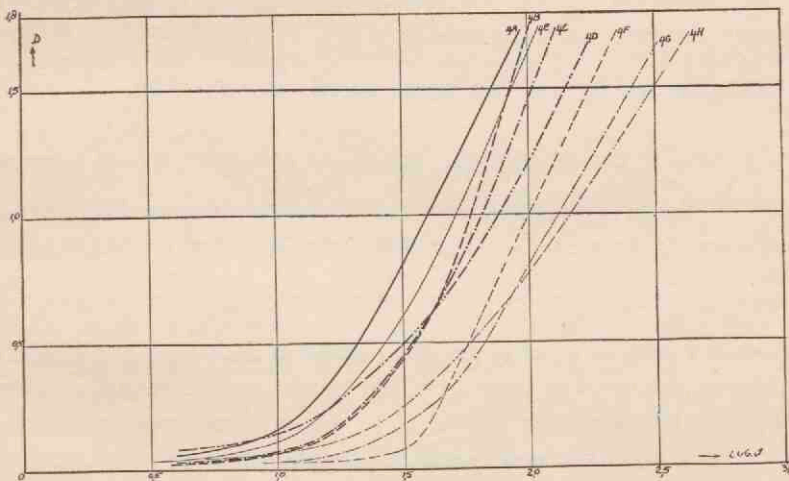


Fig. 16. Zwartingskrommen van Gevaert Supercontrast.

In het algemeen is de gevoeligheid van de verdunde ontwikkelaars geringer dan van de geconcentreerde, terwijl de gradatie ook kleiner

is. Voor den Metol-Borax ontwikkelaar (A en E) is het verschil echter opvallend gering.

De platen, die met Hydrochinon zijn ontwikkeld (B en F), vallen onmiddellijk op door den afwijkenden vorm van hun zwartingskrommen, die na een korten scherpen bocht spoedig een steil lineair verloop krijgen. Hierop werd reeds gewezen door BEUKERS²⁴).

Een geringe verdunning van dezen ontwikkelaar geeft reeds een grooten achteruitgang van de gevoeligheid te zien, vooral bij de Ilfordplaten, welk verschijnsel bij deze laatste gepaard gaat met een toename van de gradatie.

Omtrent den algemeenen vorm van de overige karakteristieken kunnen wij het volgende opmerken: ΔK neemt altijd monotoon met de zwarting toe en bereikt tenslotte een maximum, om daarna langzaam af te nemen. Bij de zwarting 0, dus voor de blanke glasplaat, behoudt ΔK toch nog een zekere, zij het ook geringe, waarde. Dit is een gevolg van stof en krasjes op het glas, en van dikteverschillen en blaasjes in het glas. De invloed van deze verschijnselen op de gezwarte deelen van de plaat is als regel te verwaarloozen, daar hun ΔK als toevallige grootheid kwadratisch moet worden opgeteld bij het kwadraat van de ΔK , die veroorzaakt wordt door de zilverkorrels, die vele malen grooter is.

De vorm van de $\frac{\Delta K}{\gamma_d}$ krommen is veel ingewikkelder.

Bij zeer kleine zwartingen heeft $\frac{\Delta K}{\gamma_d}$ een zeer groote waarde, daar de gekorreldeheid ΔK door de sluierzwarting en krasjes e.d. steeds een zekere eindige behoudt, terwijl γ_d tot 0 nadert. Alle krommen hebben dus de $\frac{\Delta K}{\gamma_d}$ as tot asymptoot. $\frac{\Delta K}{\gamma_d}$ neemt met toenemende zwarting af, doch bereikt daarbij in de meeste gevallen een minimum, daarna een maximum, om tenslotte weer te gaan dalen. Zou men de gekorreldeheid ook bij hogere zwartingen kunnen meten, dan zou men een tweede minimum kunnen verwachten op de plaats waar de zwartingskromme weer begint af te buigen, als gevolg van beginnende solarisatie. Daarna zal $\frac{\Delta K}{\gamma_d}$ weer snel toenemen.

Het eerste minimum en het maximum zijn niet altijd aanwezig (zie b.v. 1H, 3A, 3E, 4A). De ingewikkelde vorm van de $\frac{\Delta K}{\gamma_d}$ kromme heeft geen wezenlijke beteekenis. Zij wordt slechts veroorzaakt doordat men het quotiënt moet nemen van twee functies (n.l. ΔK en γ_d), die elk een maximum bezitten. De toevallige vorm en ligging van deze maxima ten opzichte van elkaar bepalen of de $\frac{\Delta K}{\gamma_d}$ kromme al of niet een minimum, gecombineerd met een maximum, zal bezitten. Hierop is de sluier van grooten invloed. Immers, ΔK als functie van de zwarting is practisch onafhankelijk van den sluier, terwijl γ_d een functie van de zwarting bóven den sluier is. De sluier bepaalt dus de ligging van γ_d t.o.v. ΔK .

In ieder geval zijn de maxima en minima niet zeer uitgesproken (behalve bij de grofkorrelige soort 1), en loopt de $\frac{\Delta K}{\gamma_d}$ kromme over het belangrijkste stuk vrijwel horizontaal. Het valt dan ook niet moeilijk om een gemiddelde $\frac{\Delta K}{\gamma_d}$ voor elke kromme te vinden, welke dan in één getal de gekorreltheid van de combinatie emulsie + ontwikkelaar aangeeft.

In tabel 5 zijn deze gemiddelden aangegeven. Zij zijn genomen over het gedeelte tusschen de zwartingen 0.1 en 1.5 boven den sluier.

TABEL 5. Gemiddelde waarden van $\frac{\Delta K}{\gamma_d}$.

Plaat	A	B	C	D	E	F	G	H	Ontwikkelaar
1	0.71	1.38	0.75	0.55	0.80	1.28	0.68	0.48	
2	0.50	0.51	0.40	0.32	0.42	0.39	0.37	0.29	
3	0.36	0.36	0.34	0.36	0.43	0.35	0.36	0.24	
3	0.31	0.25 ⁵	0.25 ⁵	0.28	0.28	0.29	0.26 ⁵	0.23	

Voor het negatief-positief procédé is niet $\frac{\Delta K}{\gamma_d}$, doch $\frac{\Delta K}{\gamma_t}$ bepalend voor de kwaliteit van het negatief. Het verloop van deze grootheid

met de zwarting is gelijkvormig met dat van ΔK , daar γ_t constant is. De vorm van deze krommen leent zich niet tot het geven van een gemiddelde waarde en daar zij over het algemeen een breed, vlak maximum te zien geven, zullen we liever de maximale waarde van $\frac{\Delta K}{\gamma_t}$ als maat voor de kwaliteit bij deze toepassingen beschouwen.

In tabel 6 zijn deze maximale waarden gegeven. γ_t is genomen over het gedeelte van de zwartingskromme, begrepen tusschen de zwarting 0.1 en 1.5 boven den sluier.

TABEL 6. Waarden van $\frac{\Delta K_{max.}}{\gamma_t}$.

Plaat	A	B	C	D	E	F	G	H	Ontwikkelaar
1	0.85	1.57	0.90	0.68	0.88	1.39	0.77	0.49	
2	0.60	0.60	0.51	0.37	0.53	0.55	0.44	0.37	
3	0.48	0.51	0.53	0.41	0.59	0.40	0.42	0.27	
4	0.39	0.40	0.37	0.34	0.35	0.37	0.34	0.28	

De verschillen in de verhoudingen in de tabellen 5 en 6 zijn gering.

De meetresultaten geven aanleiding tot de volgende opmerkingen:

10. De eenige sterkgerijpte emulsie is Ilford Special Rapid. De andere zijn veel minder gevoelig, contrastrijker en fijner van korrel, en wel in volgorde van de nummering. Onze meetmethode kan echter met voldoende nauwkeurigheid ook op de fijnkorrelige emulsies toegepast worden.

20. Van de ontwikkelaars is niet zonder meer te zeggen, welke het fijnkorreligste werkt. Dit hangt namelijk ook van de emulsie af. Terwijl b.v. de Metol ontwikkelaar A en de Hydrochinon ontwikkelaar B op emulsie 2 ongeveer dezelfde gemiddelde $\frac{\Delta K}{\gamma_d}$ veroorzaken, loopen deze voor emulsie 1 een factor twee uiteen. Dit is echter een exceptioneel geval. In het algemeen zijn de verschillen veel geringer. In hoofdzaak is het verloop zoo, dat de invloed van den ontwikkelaar het grootste is bij grofkorrelige emulsies (no. 1), terwijl bij de fijnkorreligste emulsie no. 4 de invloed van den ont-

wikkelaar praktisch nul is, een resultaat, dat geheel in de lijn der verwachtingen ligt. Wel kan men zeggen, dat de paraphenyleendiamine ontwikkelaar in het algemeen het fijnkorreligste werkt.

30. Een vergelijking van de fig. 17—20 met de fig. 21—24 doet zien, dat de spreiding van de ΔK krommen grooter is dan die van de $\frac{\Delta K}{\gamma_d}$ krommen, vooral voor de fijnkorrelige soorten. Bovendien blijkt voor alle plaatsoorten, dat verdunning van den ontwikkelaar weinig invloed heeft op $\frac{\Delta K}{\gamma_d}$. Op deze verschijnselen komen we nog terug in § 3.

40. Zeer opvallend zijn de resultaten van de platen 1B en 1F. De hydrochinon ontwikkelaar veroorzaakt bij deze snelle emulsie

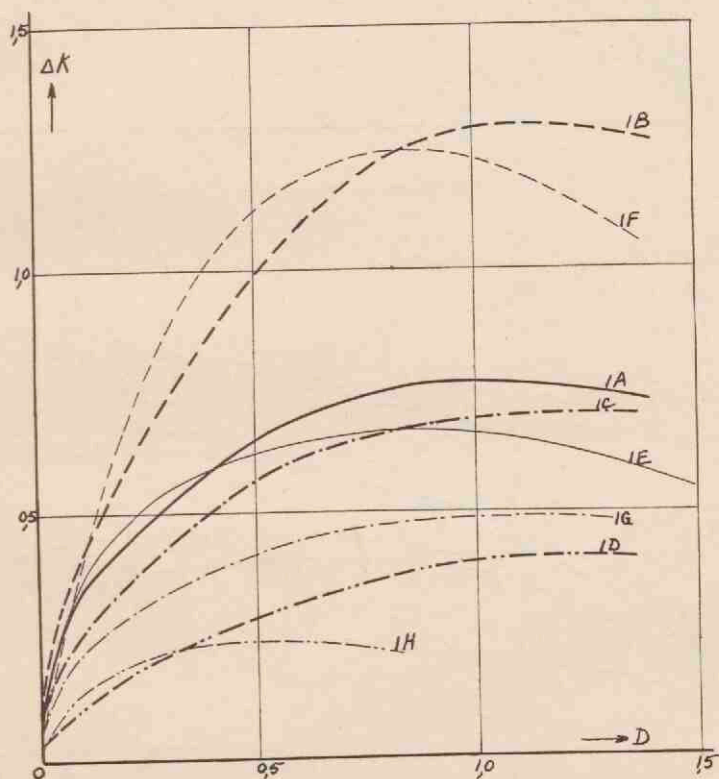


Fig. 17. ΔK krommen van Ilford Special Rapid.

een abnormaal hoge gekorreldeheid, terwijl hij bij de minder snelle emulsies niets bijzonders meer vertoont. Wel is ook bij deze laatste

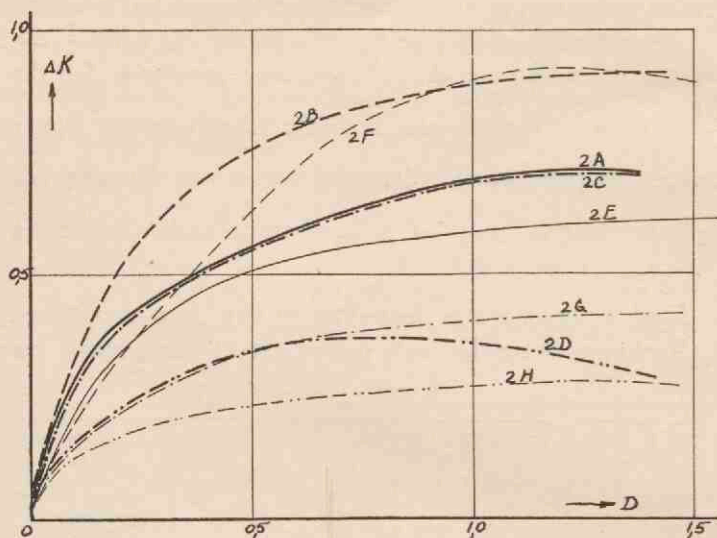


Fig. 18. ΔK krommen van Ilford Ordinary.

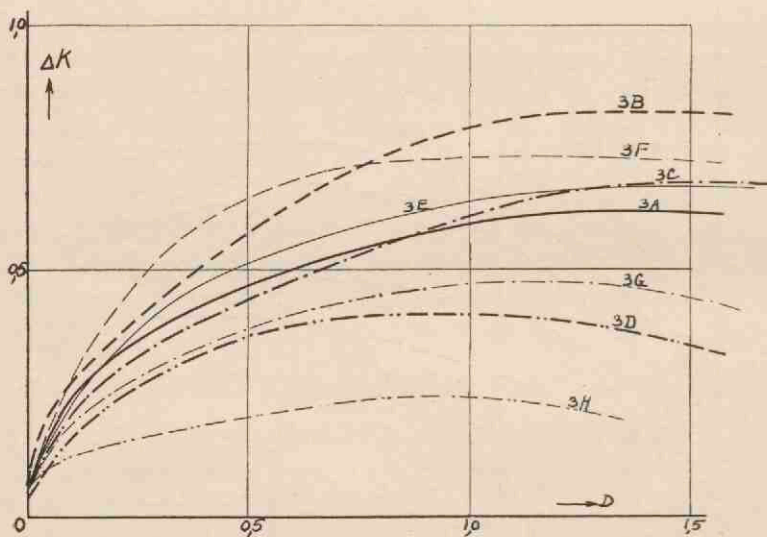


Fig. 19. K krommen van Gevaert Contrast.

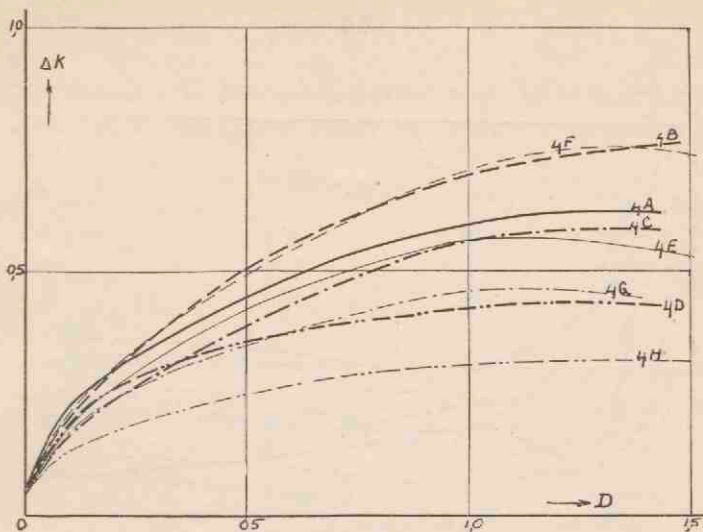


Fig. 20. ΔK krommen van Gevaert Supercontrast.

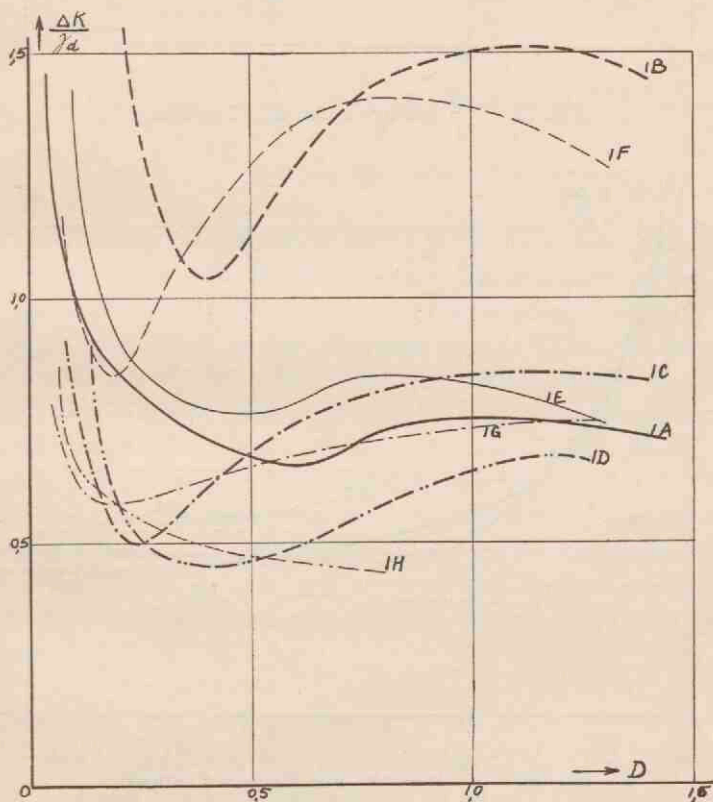


Fig. 21. $\frac{\Delta K}{\gamma_d}$ krommen van Ilford Special Rapid.

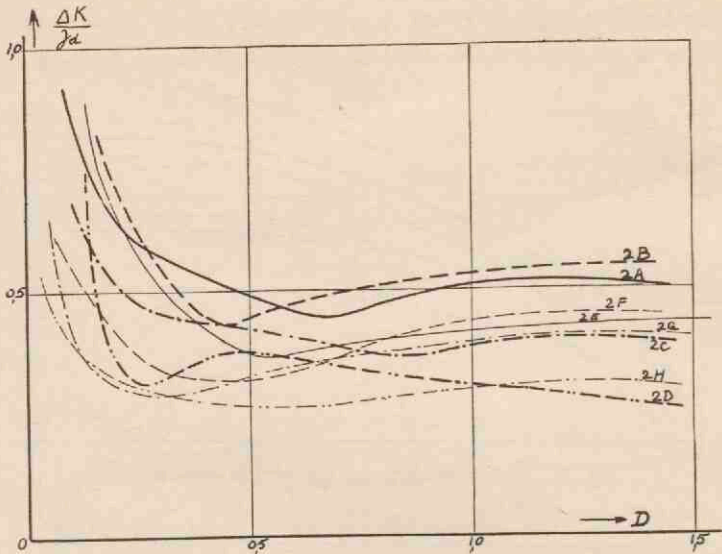


Fig. 22. $\frac{\Delta K}{\gamma d}$ krommen van Ilford ordinary.

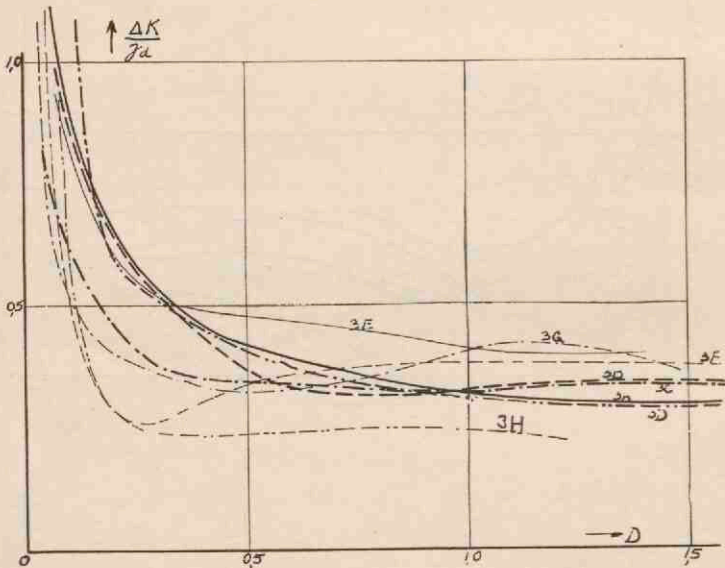


Fig. 23. $\frac{\Delta K}{\gamma d}$ krommen van Gevaert Contrast.

de waarde van ΔK steeds het grootst voor de hydrochinon, doch dit gaat dan steeds gepaard met een groote waarde van γ . Het

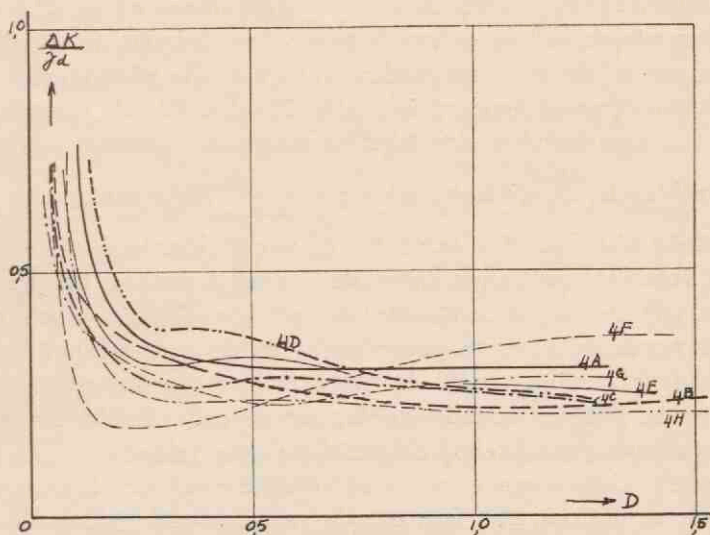


Fig. 24. $\frac{\Delta K}{\gamma d}$ krommen van Gevaert Supercontrast.

microscopbeeld van de platen 1B en 1F vertoont een zekere slietvormige structuur van de zilverkorrels. Dit zou kunnen wijzen op een „infectie” van nog niet ontwikkelde broomzilverkorrels door naburige, reeds tot zilver gereduceerde korrels tijdens de ontwikkeling, een effect dat door BELLACH²⁵⁾ en SCHEFFER²⁶⁾ is waargenomen. Ook is het mogelijk, dat de sterk alkalische ontwikkelaar de gelatine eenigszins aantast, waardoor het verschijnsel als een gelatine-effect zou kunnen worden geïnterpreteerd.

In ieder geval zal het nuttig zijn om te onderzoeken of dit effect, dat bij de genoemde combinatie van plaat en ontwikkelaar reproduceerbaar bleek te zijn, ook optreedt bij andere grofkorrelige emulsies, en of chemisch verwante ontwikkelaars denzelfden invloed hebben.

§ 3. Invloed van den ontwikkeltijd.

Om den invloed van den ontwikkeltijd na te gaan, hebben wij een viertal Ilford Special Rapidplaten op de in § 1 beschreven wijze

belicht en vervolgens met Metol-Borax ontwikkelaar volgens recept A (tabel 4) ontwikkeld. De platen werden tegelijk in een grooten bak ontwikkelaar gelegd en er achtereenvolgens na 1, 2, 4 en 8 minuten uitgehaald om gefixeerd te worden. Behalve de ontwikkeltijden waren de omstandigheden dus voor alle platen gelijk. De resultaten zijn weergegeven in de fig. 25—27. Hieruit zien we, dat ΔK met toenemenden ontwikkeltijd monotoon toeneemt, zooals te verwachten is. Bij de beschouwing van $\frac{\Delta K}{\gamma_d}$ blijkt echter, dat deze grootte niet door den ontwikkeltijd wordt beïnvloed.

Dit beteekent, dat (afgezien van de eigenschappen van het positiefmateriaal) de langste ontwikkeltijd het gunstigst is, want in dit geval wordt de grootste gevoeligheid en de grootste belichtingsruimte bereikt, terwijl de gekorreldeheid van het positief niet grooter is. Dit dus in tegenstelling tot de gebruikelijke opvatting, dat een korte ontwikkeling de geringste gekorreldeheid geeft.

Er valt echter nog een andere belangrijke conclusie uit het bovenstaande te trekken. Het feit, dat de gekorreldeheid ΔK en de gradatie bij voortschrijdende ontwikkeling evenredig aan elkaar toenemen, maakt het waarschijnlijk, *dat de zilverkorrels onafhankelijk van elkaar aangroeien*, en er dus geen, of althans te verwaarloozen

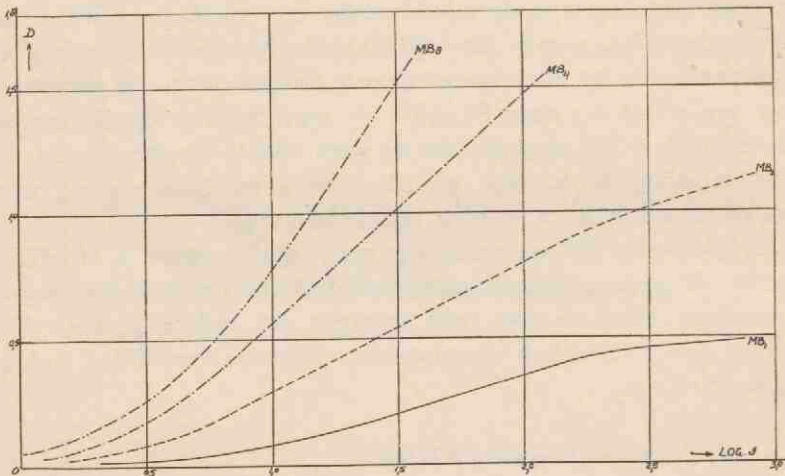


Fig. 25. Zwartingskrommen van Ilford Special Rapid voor verschillende ontwikkeltijden met metol-borax.

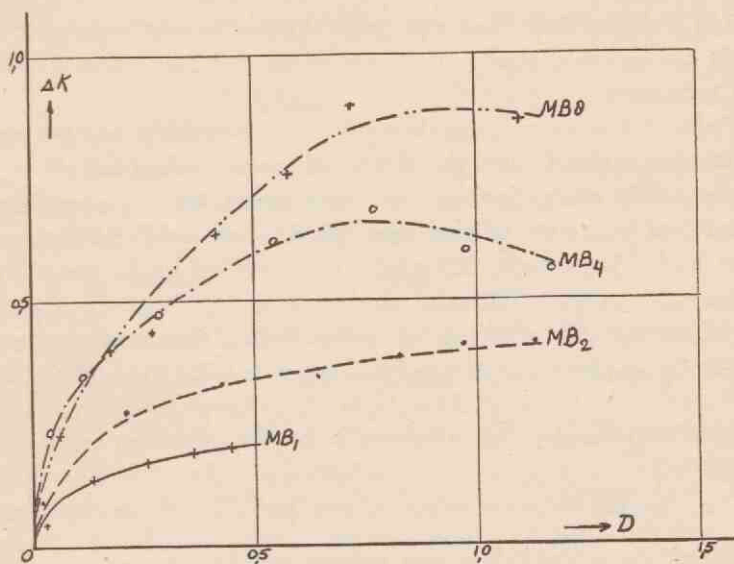


Fig. 26. ΔK krommen van Ilford Special Rapid voor verschillende ontwikkelingstijden met metol-borax.

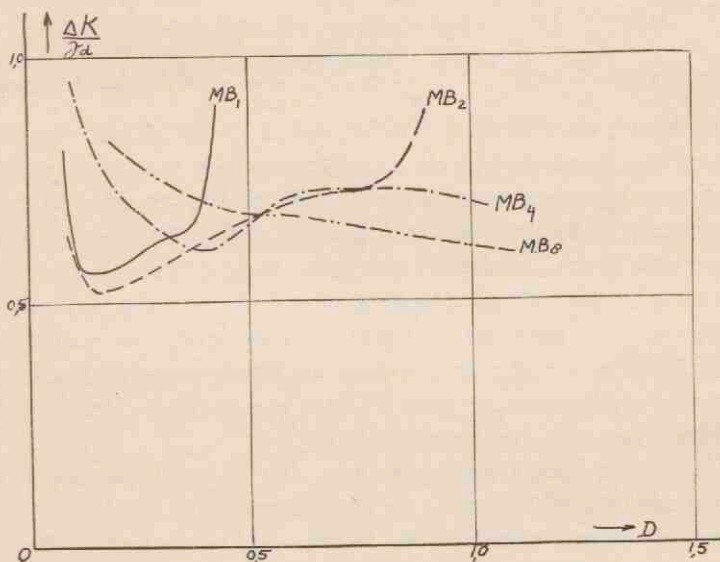


Fig. 27. $\frac{\Delta K}{\gamma_d}$ krommen van Ilford Special Rapid voor verschillende ontwikkelingstijden met metol-borax.

weinig „infectie” van nog niet ontwikkelde broomzilverkorrels door reeds ontwikkelde plaats vindt, waardoor ΔK meer dan evenredig zou toenemen.

Onderstellen we n.l., dat de zwarting evenredig is met het aantal korrels per eenheid van oppervlakte, vermenigvuldigd met de gemiddelde korrelgrootte, dan zal voor twee zwartingen, die zeer weinig verschillen en in het verlichte veld van den gekorreldeheidsmeter resp. a en $a + \Delta a$ korrels vertoonen, de zwarting gelijk aan $C_1 a$ en $C_1(a + \Delta a)$ gesteld kunnen worden, daar in dit geval de gemiddelde korrelgrootte gelijk is. De gekorreldeheid in het eerste geval is evenredig met de gemidd. korrelgrootte $\times \sqrt{a}$ en kan gelijk gesteld worden aan $C_2 \sqrt{a}$. De gradatie is in dat geval $\frac{C_1 \Delta a}{\Delta I}$ en dus is

$$\frac{\Delta K}{\gamma} = \frac{C_2 \sqrt{a} \Delta I}{C_1 \Delta a}.$$

Wordt de ontwikkeling nog eenigen tijd voortgezet, dan zijn de korrels a maal zoo groot geworden, en dus wordt $\Delta K = C_2 a \sqrt{a}$ en $\gamma = \frac{C_1 a \Delta a}{\Delta I}$.

Dus nu is $\frac{\Delta K}{\gamma} = \frac{C_2 a \sqrt{a} \Delta I}{C_1 a \Delta a} = \frac{C_2 \sqrt{a} \Delta I}{C_1 \Delta a}$ dat is dezelfde waarde als bij korter ontwikkeling. Ondersteld is hierbij echter, dat alle in aanmerking komende korrels dadelijk beginnen te ontwikkelen.

De verschijnselen, genoemd in § 2, 30, versterken ons nog in onze overtuiging, dat tijdens de ontwikkeling de korrels geen invloed op elkaar uitoefenen, en dat dit ook voor andere ontwikkelaars geldt. De paraphenyleendiamine ontwikkelaar is ook met verschillende ontwikkeltijden gebruikt en geeft overeenkomstige resultaten te zien, zij het ook niet zoo frappant als bij de metol-borax. Verder blijkt verdunning van een ontwikkelaar een analoog effect te hebben als verkorting van den ontwikkeltijd.

We moeten hierbij nog opmerken, dat de conclusie, dat er geen infectie plaats vindt tusschen de korrels, niet mag worden getrokken uit het feit alleen, dat deze een Gaussische verdeeling hebben; ook bij groepen van korrels kan dit het geval zijn. Slechts door het maken van korrelstatistieken, afgeleid van microfoto's, zou dit probleem volledig kunnen worden opgelost. Pogingen in die richting

zijn echter gestrand op de bezwaren, die reeds in hoofdstuk 1, § 2, werden aangestipt.

§ 4. Verdere metingen.

1^o. Volledigheidshalve zijn in de fig. 28—30 de resultaten weergegeven van de metingen aan een tweetal snelle orthochromatische rolfilms, beide ontwikkeld met metol-borax volgens recept A (tabel 4).

De gekorrelheden blijken van dezelfde orde van grootte te zijn als van grofkorrelige platen, alleen schijnt de nulwaarde (voor de blanke film dus) hooger te zijn. Dit vindt zijn oorzaak in de gevolgde werkwijze, waarbij de sterk krullende film tusschen twee dunne glasplaten geklemd werd en vervolgens gemeten. Hierbij is de kans op stof en ongelijkmatigheden natuurlijk grooter dan bij het meten van een op glas gegoten emulsie. Voor de grootere zwartingen is dit nuleffect echter weer te verwaarloozen.

2^o. Tenslotte hebben wij de werking van een aantal in de literatuur aanbevolen fijnkorrelontwikkelaars onderzocht. Hiervoor werden de volgende plaatsoorten gebruikt:

- 1^o. Ilford Special Rapid (grofkorrelig).
- 2^o. Ilford Empress (fijnkorrelig).

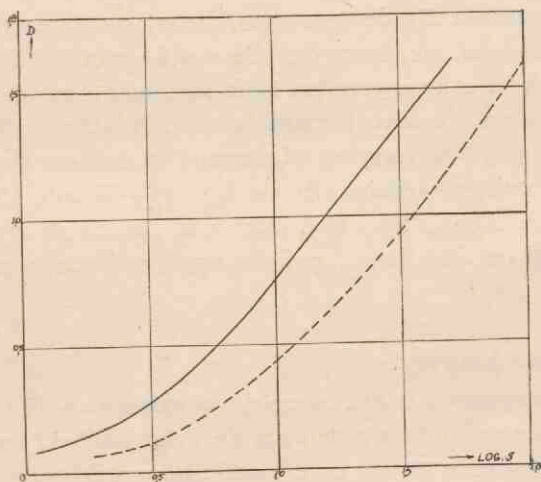


Fig. 28. Zwartingskrommen van twee orthochromatische films met metol-borax-ontwikkelaar.

Beide soorten werden behandeld met de volgende ontwikkelaars:
K. Agfa Atomal ontwikkelaar volgens fabrieksrecept.
L. Physische ontwikkelaar volgens ODELL²⁷⁾.
M. Als *L.*, doch met *KJ* voorbad volgens ODELL²⁷⁾.

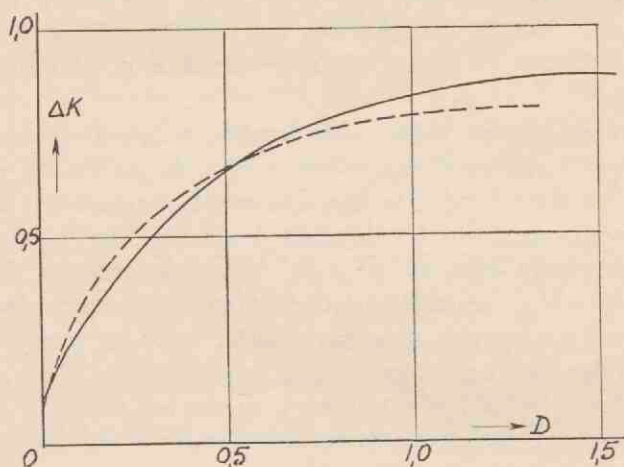


Fig. 29. ΔK krommen van twee orthochromatische films met metol-borax ontwikkelaar.

In het algemeen zijn de resultaten, die we met deze ontwikkelaars hebben verkregen, niet beter dan die met de gebruikelijke ontwikkelaars *A—D*, in enkele gevallen zelfs slechter. Een verklaring voor dit feit hebben we niet kunnen vinden. Wellicht zijn de in de literatuur opgegeven recepten afgestemd op de door de betreffende auteurs gebruikte emulsies. In de fig. 31—33 zijn de resultaten weergegeven. Zoals men ziet, loopen ze zeer sterk uiteen. Vooral de physische ontwikkelaar *L* gaf een opvallend grove gekorreldeheid te zien.

§ 5. Slotbeschouwing.

In het voorgaande is een overzicht gegeven van de verschillende methodes, die gebruikt worden om de gekorreldeheid van een fotografische emulsie te meten, en die ontleend worden aan de verschillende vormen, waarin de gekorreldeheid zich in de practijk voordoet. Hiervan werd een methode nader uitgewerkt, die de meest algemeene

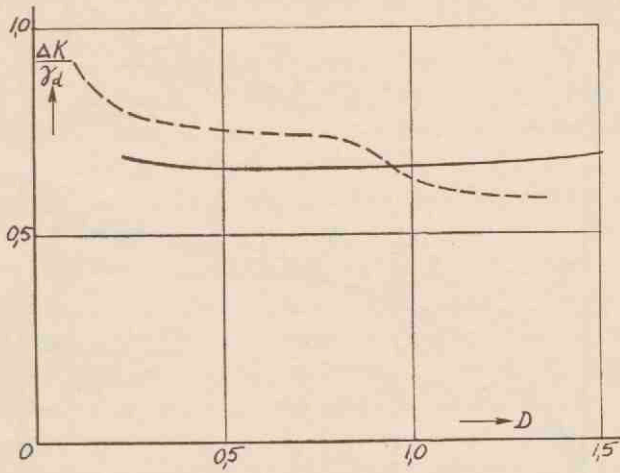


Fig. 30. $\frac{\Delta K}{\gamma_d}$ krommen van twee orthochromatische films met metol-borax ontwikkelaar.

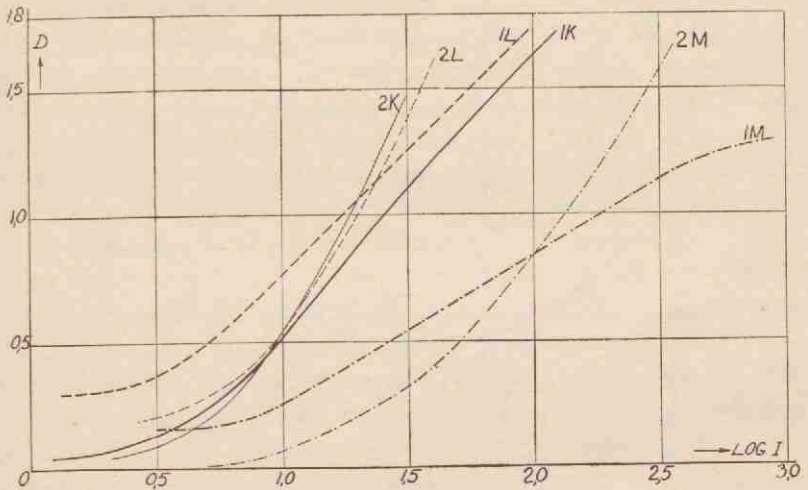


Fig. 31. Zwartingskrommen van de fijnkorrelontwikkelaars.

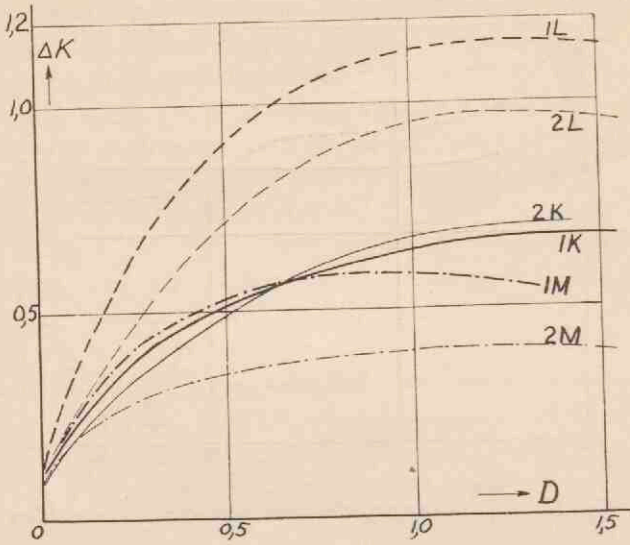


Fig. 32. ΔK krommen van de fijnkorrelontwikkelaars.

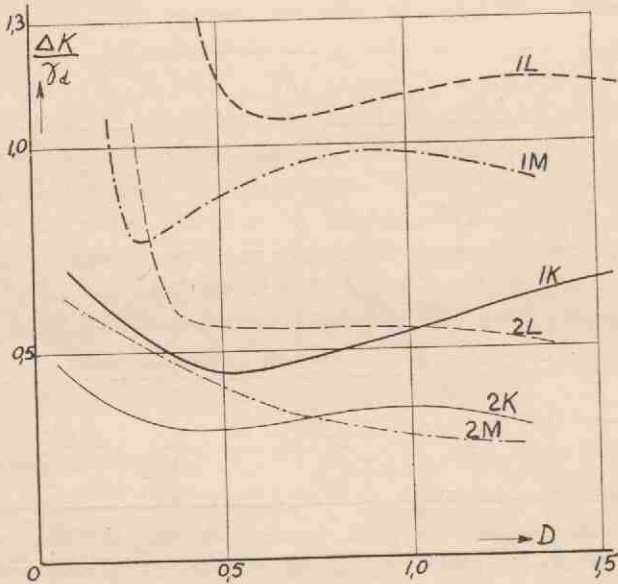


Fig. 33. $\frac{\Delta K}{\gamma_d}$ krommen van de fijnkorrelontwikkelaars.

toepassing in de practijk mogelijk maakt, en bovendien het voordeel heeft geheel objectief te zijn.

Nu kan men in het algemeen de opmerking maken, dat voor elke toepassing, die meetmethode a priori de beste is, die direct op het optreden van de gekorreldeheid bij die betreffende toepassing gebaseerd is. Behalve de methode van EGGERT en KÜSTER, die in het geheel niets met practische gekorreldeheid te maken heeft, zijn echter alle andere subjectief en hangen sterk van de uiterlijke omstandigheden af, zooals b.v. van de verlichting van het te meten negatief. Reeds daardoor is een vergelijking tusschen deze systemen en het door ons ontwikkelde niet goed mogelijk. Teneinde echter een globalen indruk te geven van de onderlinge verhouding, zullen wij enkele resultaten van andere onderzoekers naast de onze stellen.

De uiterlijke vorm van onze ΔK krommen komt vrij goed overeen met de subjectieve gekorreldeheidskarakteristieken van LOWRY¹⁰⁾ bij sterke belichting van het object. Voor kleinere lichtsterkten vinden LOWRY en ook HARDY en JONES¹²⁾ echter een veel opvallender maximum. Laatstgenoemde onderzoekers onderzochten ook den invloed van plaatsoort, ontwikkelaar, enz. Voor gevoelige platen vonden zij een grooter gekorreldeheid dan bij minder gevoelige, wat met onze waarnemingen overeenstemt. Verder vonden zij, dat met enkele uitzonderingen de gekorreldeheid niet afhing van den aard van den ontwikkelaar of van zijn concentratie. Alleen paraphenyleendiamine gaf kleinere waarden. Bij ontwikkeling tot verschillende gradatie vonden zij alleen voor kleine γ een geringe afname van de gekorreldeheid. Dit alles stemt niet in alle opzichten overeen met onze resultaten, waarbij een veel sterkere afhankelijkheid van ΔK van de verschillende omstandigheden werd gevonden.

Ook werd door HARDY en JONES de gekorreldeheid van positief materiaal onderzocht, nadat hierop een afdruk naar een negatief was gemaakt. Zij vonden een toename van de gekorreldeheid t.o.v. het negatief. Dit verschijnsel is ook afhankelijk van de wijze van belichten: bij het maken van contactcopieën vonden ze grooter gekorreldeheid bij de belichting met gericht licht dan wanneer in diffuus licht gecopieëerd werd, hetgeen verklaard werd door de scherpe schaduwen van de korrels van het negatief in gericht licht, tegenover de minder contrastrijke bij diffuse belichting.

Hier ligt ook een gebied voor verder onderzoek met den objec-

tieven gekorrelheidsmeter, waarbij niet alleen contactcopieën onderzocht dienen te worden, doch vooral ook optisch gecopieerde afdrucken zooals die in de filmindustrie vervaardigd worden. Hierbij dient dan vooral ook nagegaan te worden in hoeverre de scherpstelling invloed op de gekorreltheid van het positief heeft.

Hoewel uit het bovenstaande geen eenduidig verband tusschen subjectieve en objectieve gekorreltheid valt op te maken, is het toch niet uitgesloten, dat een meer systematisch onderzoek in die richting ons een beter inzicht daaromtrent zal verschaffen. In ieder geval is de objectieve methode o.i. superieur boven alle andere, omdat zij onafhankelijk van toevallige menschelijke hoedanigheden is, en de meest universeele toepassing op verschillend gebied mogelijk maakt.

LITERATUUR.

1. J. M. EDER—L. CRAMER: Handbuch der photographie, bnd. II, 1, p. 104 (1927).
 2. A. VAN KREVELD: Communication IX, Int. Phot. Congress, Paris, p. 263 (1935).
 3. A. VAN KREVELD: J. O. S. A. 26, p. 170 (1936).
 4. S. D. THREADGOLD: Phot. Journ. 72, p. 348 (1932).
 5. A. KÜSTER: Agfa-Veröff. bnd. III, p. 93 (1933).
 6. J. EGGERT en A. KÜSTER: Kinotechn. 16, p. 127, 291 (1934) en Agfa-Veröff., bnd. IV, p. 49 (1935).
 7. H. BRANDES: Agfa-Veröff., bnd. IV, p. 58 (1935).
 8. K. SCHAUM en V. BELLACH: Phys. Z. 4, p. 4, 177 (1902).
 9. A. NARATH: Kinotechn. 16, p. 255, 274, 287, 293 (1934).
 10. E. M. LOWRY: J. O. S. A. 26, p. 65 (1936).
 11. A. VAN KREVELD: Physica 1, p. 62 (1934).
 12. Zie b.v. ROSS: Physics of the developed phot. image, p. 21 e.v. (1924).
 13. A. C. HARDY en L. A. JONES: Trans. Soc. Mot. Pict. Eng. no. 14, p. 107 (1922). Volgens LOWRY l.c.
 - 13a. E. LAU en J. JOHANNESSON: Phys. Zeitschr. 35, p. 505 (1934).
 14. J. I. CRABTREE: Trans. Soc. Mot. Pict. Eng. 11, p. 77 (1927). Volgens LOWRY l.c.
 15. O. E. CONKLIN: Trans. Soc. Mot. Pict. Eng. 16, p. 159 (1931). Volgens LOWRY l.c.
 16. R. LANDAU: Techn. Ciném. 1—2, p. 8 (1930). Volgens LOWRY l.c.
 17. A. VAN KREVELD: Phot. J. 74, p. 590 (1934).
 18. TH. DUNHAM: Bericht VIII, Int. Phot. Congress, p. 294 (1932).
 19. L. S. ORNSTEIN en A. VAN KREVELD: Physica 3, p. 815 (1936).
 20. W. REINDERS en M. C. F. BEUKERS: Bericht VIII, Int. Phot. Congress, p. 177.
 21. G. EBERHARD: Publ. Potsdam 26, no. 84, H. 1 (1926).
 22. LUMIÈRE—SEYEWETZ, volgens J. M. EDER: Recepte, Tabellen 14—15 Aufl. p. 76.
 23. L. S. ORNSTEIN, E. F. M. VAN DER HELD en D. VERMEULEN: J. O. S. A. 20, p. 573 (1936).
 24. M. C. F. BEUKERS: Diss. Delft 1934.
 25. V. BELLACH: Diss. Marburg, p. 53 (1903). Volgens EDER l.c. p. 382.
 26. W. SCHEFFER: Phot. Rundsch. p. 65 (1907). Volgens EDER l.c. p. 383.
 27. A. F. ODELL: Brit. Journ. of Phot. 80, p. 303—305 (1933).
-

STELLINGEN

I.

De zilverkiemtheorie in haar huidige vorm, welke leidt tot een quantenequivalent van 1, kan de afwijkingen van de reciprociteitswet niet verklaren.

II.

Uit de meest algemeene zwartingswet volgt, dat het door WEBB gevonden lineaire verband tusschen logarithmische zwartingskrommen ook geldt voor zwartingskrommen, die niet bij gelijken tijd zijn opgenomen.

L. S. ORNSTEIN en A. VAN KREVELD, Proc. 39, N^o. 4 (1936).

III.

De door BOUTRY gevonden betrekkingen tusschen bij verschillende aperturen gemeten zwartingen zijn in strijd met het reciprociteitsbeginsel van HELMHOLTZ. Waarschijnlijk is dit een gevolg van valsch licht in zijn opstelling.

BOUTRY, IX Congr. int. de phot. Paris, p. 484 (1935).
H. VON HELMHOLTZ, Vorlesungen über Theorie der Wärme, p. 158.

IV.

Het verdient aanbeveling om de door KRONHAUS gedane proeven omtrent de verbetering van de constantheid van fotospanningscellen in vacuüm voor röntgenstralen, ook voor licht uit te voeren.

A. N. KRONHAUS, Sow. Phys. 9, 461 (1936).

V.

Het verband tusschen helderheid en helderheidsonderscheidingsvermogen zal waarschijnlijk eenvoudiger zijn wanneer het oog zich bij de meting in een constanten adaptatietoestand bevindt, dan wanneer het telkens op het betreffende helderheidsniveau geadapteerd wordt.

P. J. BOUMA, Philips' Techn. Tijdschr. 1, 166 (1936).

VI.

Bij de meting der randverzwakking van de zonneshijf is een nauwkeurige bepaling van de golflengte tenminste even belangrijk als de bepaling van de plaats op de schijf. Het werk van JUŠKA, waarbij niet voldoende met dezen eisch is rekening gehouden, is waardeloos voor onze kennis van de zonnestraling.

A. JUŠKA, Veröff. Sternw. Göttingen 1, 199 (1929).

VII.

De volgens D.I.N. 768 genormaliseerde beitelhoeken zijn op geen enkele beitel-slijpmachine direct in te stellen. Om een beitel volgens de daarin aangegeven hoeken te slijpen, is het gebruik van ingewikkelde transformatieformules noodzakelijk. Een doelmatiger normalisatie van deze materie ware derhalve zeer gewenscht.

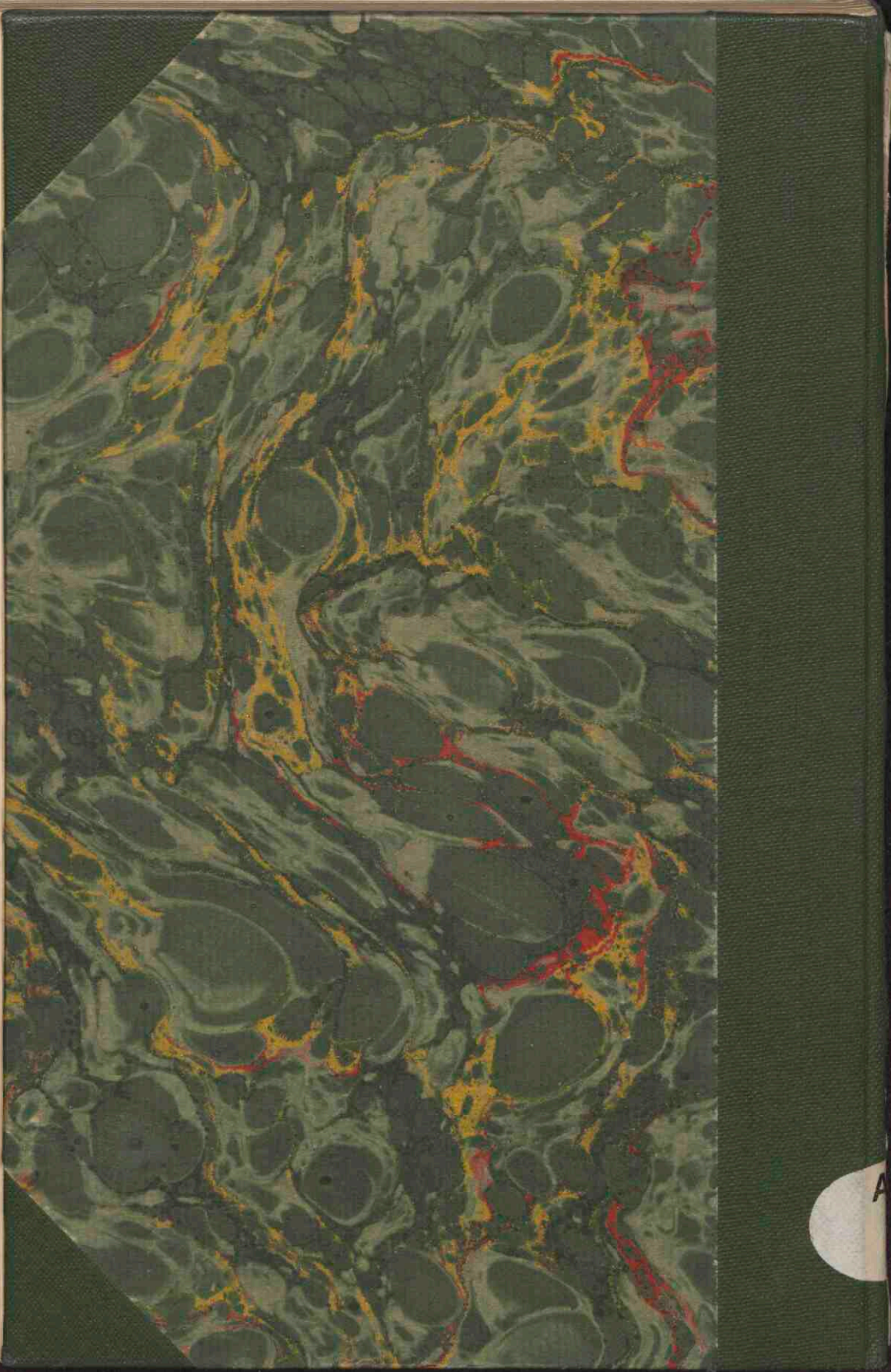
VIII.

Bij de bepaling van de wisselwielen, die voor de benadering van een bepaalde overbrengingsverhouding noodig zijn (zooals bij achterdraaibanken en vooral in de tandwielfabricage veel voorkomt), is de berekening met behulp van naderende breuken verre te verkiezen boven andere benaderingen als b.v. de tabellen van LANCASTER, en verdient door middel van het technische onderwijs tot algemeene bekendheid te geraken.

M. J. VAN DIJK, Metaalbewerking 3, 209 (1936).

IX.

Bij de invoering van de I.S.A. tolerantienormen voor een algemeene machinefabriek verdient het eenheidsgatsysteem de voorkeur boven het eenheidsassysteem. Door hierbij de voor verschillende passingen benodigde series grijpkalibers te vervangen door een enkel stel maatpennen van de nominale diameters plus een aantal micrometers, is een enorme besparing op aanschaffingskosten en magazijnruimte te bereiken, terwijl bovendien nauwkeuriger werk mogelijk wordt.



A