Utrecht University Library
Partner in Science
Universiteit Utrecht

De contrasten in het röntgenbeeld

https://hdl.handle.net/1874/283307

1926

Aqu 192, 1926

DE CONTRASTEN IN HET RÖNTGENBEELD

W. BRONKHORST

1.

A. qu.
192

DE CONTRASTEN IN HET RÖNTGENBEELD

W. BRONKHORST

BIBLIOTHEEK DER
RIJKSUNIVERSITEIT
UTRECHT.

RIJKSUNIVERSITEIT UTRECHT
0714 4714

Agu 192 1926

DE CONTRASTEN IN HET RÖNTGENBEELD

PROEFSCHRIFT TER VERKRIJGING VAN DEN GRAAD VAN DOCTOR IN DE GENEESKUNDE AAN DE RIJKSUNIVERSITEIT TE UTRECHT, OP GEZAG VAN DEN RECTOR-MAGNIFICUS MR. J. PH. SUYLING, HOOGLEERAAR IN DE FACULTEIT DER RECHTSGELEERDHEID, VOLGENS BESLUIT VAN DEN SENAAT DER UNIVERSITEIT TEGEN DE BEDENKINGEN VAN DE FACULTEIT DER GENEESKUNDE, TE VERDEDIGEN OP 6 JULI 1926 DES NAMIDDAGS TE 4 UUR, DOOR

WILLEM BRONKHORST

ARTS, GEBOREN TE AMBON

EIGEN DRUKKERIJ — UTRECHT

De voltooiing van dit proefschrift is voor mij een aangename gelegenheid nogmaals dankbaar al degenen te herdenken, die aan mijn vorming tot geneesheer hebben medegewerkt.

Dat Gij, Hooggeleerde ZWAARDEMAKER, *mijn promotor wilde zijn, stel ik buitengewoon op prijs.*

De vele uren, die ik als student op uw laboratorium mocht doorbrengen, hebben ongetwijfeld een groote waarde voor mij gehad. De eerste aanmoediging tot wetenschappelijk werk heb ik daar van U gehad en juist hierom was het mij zoo aangenaam dit proefschrift in uwe handen te mogen stellen.

Gaarne denk ik terug aan de schoone jaren, die ik bij U, Hooggeleerde VAN DEN BROEK, *als assistent mocht doorbrengen.*

Zeer dankbaar ben ik vooral ook U, Zeergeleerde BOEKELMAN.

Het kostbare jaar, dat ik onder uw voortreffelijke leiding in het St. Antonius-gesticht mocht werken, is voor mijn verdere ontwikkeling van de grootste beteekenis geweest.

Tenslotte een woord van oprechten dank aan allen, die mij op eenigerlei wijze steun hebben verleend bij de samenstelling van dit proefschrift, in het bijzonder aan het Bestuur van HERWONNEN LEVENSKRACHT *dat mij altijd op de meest vlotte wijze de gelegenheid en de middelen verschaft om in haar sanatorium Berg en Bosch wetenschappelijken arbeid te verrichten.*

DE CONTRASTEN IN HET RÖNTGENBEELD

INLEIDING

Het is een opmerkelijk feit, dat na een ruim 25-jarige toepassing van de medische röntgenographie, het onderzoek naar de beginselen van de techniek der methode nog bijna geheel in het stadium der empirie verkeert. In tegenstelling met de röntgen-therapie, die van den beginne af op de basis van het experimenteel physisch onderzoek werd gesteld, is de röntgen-diagnostiek nog steeds van elken deugdelijken experimenteelen grondslag verstoken.

Wel is er in de laatste jaren eenige kentering merkbaar en werden hier en daar problemen uit de röntgenographische techniek proefondervindelijk onderzocht, maar van een principieelen ommekeer, een algemeen prijsgeven van de empirie en een systematisch opbouwen van de röntgenographische techniek op de grondslagen van het physisch experiment is nog geen sprake.

De hoogst onaangename gevolgen van het gemis aan wetenschappelijk vastgestelde grondbegrippen en regels voor het röntgenographische werk kan ieder ondervinden, die dikwijls met vakgenooten over vraagstukken van röntgendiagnostiek van gedachten moet wisselen. De meest tegenstrijdige opvattingen, alle op persoonlijke ondervinding berustend, komen herhaaldelijk voor. Ook de literatuur wemelt van tegenspraken en de oneenigheid, die onder vooraanstaande vakgenooten nog over talrijke vraagstukken heerscht, blijft onopgelost, omdat alles op empirie berust. Ieder houdt vast aan zijn eigen ervaring en inzichten en het is onmogelijk tot wederzijdsch begrijpen, nog minder tot overeenstemming te komen.

Het gemis van een deugdelijke wetenschappelijke basis is ook de oorzaak, dat beginnelingen in het vak geen theoretisch houvast kunnen krijgen voor het aanleeren van de goede techniek. Langs den kronkelweg der empirie moet ieder voor zich, tusschen alle moeilijkheden door, het doel maar zien te bereiken. De een brengt het door noesten ijver wat verder dan de ander, maar zijn vaardigheid berust tenslotte niet op kunde maar op kunst, zoodat hij niet in staat is aan anderen over te dragen, wat hij zich met zooveel moeite heeft eigen gemaakt.

Zoolang ik in de röntgendiagnostiek gewerkt heb, ondervond ik het onbevredigende van onze tegenwoordige empirische kennis der röntgenographische techniek, aanvankelijk door het gemis aan een wetenschappelijke leidraad voor het aanleeren der methode, later, toen ik haar langzamerhand leerde beheerschen, door het gemis aan een theoretischen grondslag voor het onderricht aan anderen

en voor de vruchtbare bespreking van röntgenographische problemen met vakgenooten. Een en ander heeft mij er toe gebracht zelf eenige van de belangrijkste vraagstukken uit de röntgenographische techniek experimenteel te onderzoeken.

Een van de voornaamste eigenschappen van de röntgen-foto is de tegenstelling van licht en donker in het schaduwbeeld van het object. [1]) Zij stelt ons in staat de verschillen in stralen-absorbtie in de deelen van het object te beoordeelen en zoo een inzicht te verkrijgen in zijn bouw en samenstelling. Dat hiervoor nog andere eigenschappen, met name de scherpte en de zuivere projectie, van beteekenis zijn, doet niets af aan de juistheid van de bewering, dat een zuivere interpretatie van het röntgenbeeld alleen mogelijk is, als de absolute en relatieve grootte van de helderheidsverschillen in de deelen van het schaduwbeeld aan zekere eischen beantwoorden.

Ieder röntgenoloog is er zich van bewust, dat deze verschillen in helderheid zeer sterk afhankelijk zijn van allerlei bijkomstige omstandigheden, die met den bouw en de samenstelling van het object niets te maken hebben. Hij weet, dat het van de juiste keuze van deze omstandigheden, als b.v. hardheid van de primaire straling, belichtingsduur, gebruik van folies, van strooistralenfilter, van bepaald film- of plaat-materiaal, van ontwikkeling, afhangt of de opname voor de beantwoording van zekere diagnostische vragen bruikbaar is. Het is een kwestie van techniek of galsteenen al dan niet op de film zichtbaar zijn, of een longproces van verspreide productieve haarden gediagnostiseerd kan worden, of een ontstekingshaard in een wervel duidelijk herkenbaar is.

Het moeilijkste deel van de röntgenographische techniek is ongetwijfeld de regeling van de omstandigheden, die de helderheidsverschillen in het röntgenbeeld beinvloeden, omdat onze kennis van deze factoren nog zeer onvolledig is, daar zij bijna uitsluitend op empirie berust.

Voor de zeer ingewikkelde verhoudingen, die zich voordoen bij de bestudeering van deze factoren, is de empirische methode al zeer ongeschikt. Op geen enkel ander gebied van de röntgenografische techniek heerscht dan ook zooveel tegenspraak als hier. Het sterkste voorbeeld van de verwarring, die hier nog bestaat, is de tegenwoordige strijd over de „hardstraaltechniek".

---

[1]) Het object (in engeren zin) is dat deel van het geröntgenographeerde lichaamsdeel, waarop het onderzoek gericht is. Daarom kan bij de opname van eenzelfde lichaamsdeel het object zeer verschillend zijn. Bij een buikopname b.v. de wervels, de darmen, de buikklieren, de galblaas, het nierbekken en de nieren. De opname moet dit object op een zoodanige wijze weergeven, dat bepaalde diagnostische conclusies daaruit getrokken kunnen worden. De omgeving van het object heeft alleen beteekenis voor zoover het de beeldvorming van het object beinvloedt.

Alleen door systematisch proefondervindelijk onderzoek van alle factoren, die in 't spel kunnen zijn, is het mogelijk het juiste inzicht in de zeer samengestelde verhoudingen te verwerven.

In deze publicatie worden de resultaten van een dergelijk onderzoek medegedeeld voor zoover het betreft de factoren, die niet met de qualiteiten van de gevoelige laag van film of plaat of met de omstandigheden van de ontwikkeling samenhangen. Na talrijke voorloopige proeven ben ik tenslotte tot een methode van onderzoek gekomen, waardoor naar mijn meening, op eenvoudige wijze de problemen, die op dit gebied der techniek bestaan, bevredigend kunnen worden opgelost.

Moge dit onderzoek ertoe bijdragen de beoefenaars van de röntgen-diagnostiek te overtuigen van de nuttigheid van het systematisch physisch-experimenteel onderzoek van de methode, die zij dagelijks toepassen.



HOOFDSTUK I

DE METHODE VAN ONDERZOEK

Dadelijk bij den opzet van dit onderzoek stuit men op de moeilijkheid, dat de helderheidsverschillen, die wij bij de beschouwing van het röntgenbeeld voor de lichtkast waarnemen, en die wij naar het algemeen gebruik *contrasten* zullen noemen, psychophysiologische waarden zijn, die niet direkt in physische maten uitgedrukt kunnen worden. Onze eerste taak is dus na te gaan welke quantitatieve verhouding er bestaat tusschen de lichtgewaarwording en den physischen prikkel, die haar veroorzaakt.

De physiologen zijn het er over eens, dat bij een gegeven prikkelbaarheidstoestand van het oog deze verhouding binnen zekere grenzen en onder bepaalde voorwaarden het best kan worden aangegeven door den regel, dat gelijke verschillen in helderheid aan gelijke verhoudingen van de correlatieve lichtsterkte beantwoorden. [1])

De beperkingen en de complicaties, waarmede bij de toepassing van dezen regel rekening gehouden moet worden, mogen wij echter niet stilzwijgend voorbijgaan.

In de eerste plaats moet worden opgemerkt, dat de regel alleen geldig is voor een begrensd gebied van lichtsterkte. Voor relatief kleine en relatief groote lichtsterkten worden de afwijkingen van den regel zoo groot, dat zij zelfs niet bij benadering de juiste verhoudingen weergeven.

In de tweede plaats is de geldigheid van den regel beperkt door de grootte van de contrasteerende vlakken. Bij zeer kleine vlakken is de onderste grens van lichtsterkte, waarvoor de regel nog opgaat, meer naar boven verschoven. De dagelijksche ervaring leert ons, dat wij bij zwakke verlichting groote vlakken wel en kleine niet duidelijk kunnen onderscheiden, terwijl toch de verhouding van de lichtsterkte tot die der omgeving, waartegen zij moeten afsteken, gelijk is. Bij een verdubbeling van de algemeene verlichting, waarbij dus alle verhoudingen van lichtsterkte gelijk blijven, zal ook het kleine vlak duidelijk te onderscheiden zijn naast het groote. Ten slotte moet rekening gehouden worden met het feit, dat contrasteerende vlakken een invloed op elkaar uit-

---

[1]) *Graefe und Saemisch.* Handbuch der Augenheilk. Teil I. Bnd. III. Grundzüge der Lehre vom Lichtsinne von *E. Hering* 1905 bladz. 199.

Handbuch der physiologischen Optik von *H. v. Hemholts* 3e Aufl. Bnd. II. Die Lehre v. d. Gesichtsempfindungen. Herausgegeben von *W. Nagel* und *J. v. Kries* 1911.

oefenen in dien zin, dat op de grens het contrast wordt vergroot. Wanneer men betrekkelijk kleine vlakken, b.v. van 1 c.M. diameter, die een volkomen gelijke lichtsterkte hebben, omgeeft door velden van verschillende lichtsterkte, dan is het vlak in een lichter veld altijd donkerder dan het vlak in een donkerder veld. Het donkere veld maakt de helderheid van het omsloten lichter vlak grooter en omgekeerd. Zoo zal, als van twee vlakken het lichtere door een donker veld en het donkere door een licht veld omgeven is, het verschil in helderheid grooter zijn, dan wanneer het lichte en het donkere vlak door eenzelfde grauw veld worden omsloten. Als vlakken van ongelijke lichtsterkte direct aan elkaar grenzen, wordt bij de grens het lichtere veld lichter en het donkere donkerder. [1])

Door deze inductieve werking van den lichtindruk van het eene vlak op dien van het andere, zal het verschil in helderheid in den een of anderen zin afwijken van de waarde, die de verhouding van de lichtsterkte aangeeft.

Op grond van het bovenstaande moeten wij dus concludeeren, dat de regel alleen geldig is:

1°. bij niet te kleine vlakken binnen zekere zeer ruime grenzen van lichtprikkelsterkte;

2°. bij gelijke inductieve werking van de omgeving.

Over de beperking sub 1 genoemd zullen wij in het hoofdstuk III uitvoerig spreken. In 't algemeen kan men zeggen, dat het mogelijk is door een regeling van de belichting resp. doorlichting, de gepaste mate van lichtsterkte te bereiken.

Aan de tweede voorwaarde: gelijke inductie, zal maar hoogst zelden worden voldaan; meestal is de inductieve werking bij de beoordeeling van verschillende contrasten zeer varieerend, zoodat de helderheidsverschillen vaak afwijken van de waarden, die door den regel worden aangegeven.

Wanneer wij echter in aanmerking nemen, dat deze afwijkingen door inductie veroorzaakt, zoowel in positieven als in negatieven zin kunnen plaats hebben en dus moeten worden opgevat als variaties, die om een zeker gemiddelde onder bepaalde omstandigheden optreden, zijn wij gerechtigd voor een *algemeene beoordeeling* van de helderheidsverschillen van deze variaties af te zien. Als men bij de toepassing van een op dezen grondslag gevormd oordeel bij een speciaal geval van contrastbeoordeeling met deze verwaarloozing der inductieve werking rekening houdt is er geen bezwaar hiertegen in te brengen.

Wij mogen dus aannemen, dat voor een algemeene beoordeeling, het helderheidsverschil of contrast gemeten wordt door de verhouding

---

[1]) Zie de afbeeldingen in *Graefe-Saemisch* l.c. Kap. XII. Tafel II.

van de lichtsterkte der contrasteerende vlakken logarithmisch genomen of anders gezegd, door het verschil van de logarithme dezer lichtsterkten.

De formule

$$C = \log I_1 - \log I_2 \qquad (1)$$

waarin I_1 en I_2 de lichtsterkten aangeven van de twee vlakken, die het contrast C. geven, kan dus als grondslag voor de algemeene waardeering van contrasten dienen.

In de wetenschappelijke fotographie is een begrip ingevoerd, dat ons in staat stelt op eenvoudige wijze de contrasten in een diapositief in physische grootheden te defineeren. Wij bedoelen het begrip zwarting (Schwarzung) of dichtheid (Density — Dichtigkeit). De zwarting Z. is een maat voor de absorbtie, die het doorvallend licht in de film heeft ondergaan. Zij wordt algemeen gedefinieerd door de formule:

$$Z = \log \frac{I_o}{I_1} = \log I_o - \log I_1 \qquad (2)$$

waarin I_o en I_1 de lichtsterkte voor en na den doorgang van de film voorstellen.

Door Deumens [1]) werd aangetoond, dat deze definitie de zwarting alleen dan ondubbelzinnig bepaalt, wanneer licht van bepaalde samenstelling, wat de energieverdeeling over de golflengte betreft, wordt gebruikt. Bij de uitvoering van het onderzoek is er dan ook op gelet, dat steeds dezelfde soort metaaldraadlamp werd gebezigd bij constante spanning. De straling heeft dan in het gebied, dat de photometer gebruikt steeds dezelfde samenstelling.

Uit deze definitie van de zwarting volgt, dat het contrast van twee vlakken in het bij doorvallend licht beschouwde negatief, kan worden uitgedrukt door het verschil in zwarting van deze vlakken. Immers volgens formule (2) is:

$$Z_1 - Z_2 = (\log I_o - \log I_1) - (\log I_o - \log I_2) = \log I_2 - \log I_1$$

overgebracht in formule (1) krijgen wij dan:

$$C = \log I_1 - \log I_2 = Z_2 - Z_1 \qquad (3)$$

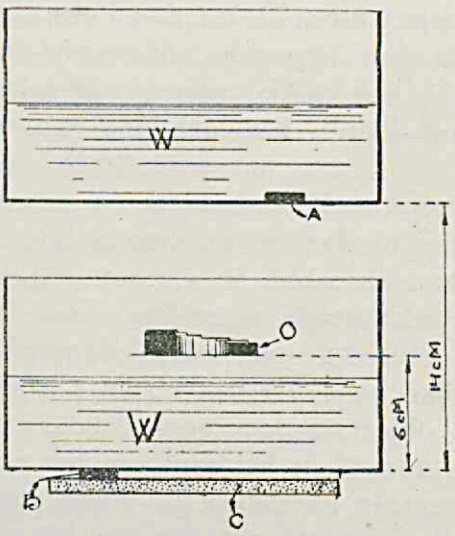
waarin Z_1 en Z_2 de zwartingen voorstellen, die correspondeeren met de doorgelaten lichtsterkte I_1 en I_2.

Het doel van dit onderzoek is, na te gaan, welke verhoudingen er bestaan tusschen de contrasten in het röntgenbeeld van het

[1]) *Verh. Kon. Ak. v. Wetenschappen* 19, 461, 1920 en Extinctie door een gezwarte photographische plaat als functie van golflengte, hoeveelheid zilver en korrelgrootte. Diss. Utrecht 1922.

object en welken invloed verschillende factoren op deze verhoudingen hebben. Ik heb daartoe onder bekende voorwaarden een groot aantal opnamen gemaakt van een bekend object en deze opnamen onderling vergeleken. Als object koos ik een ringvormig aluminium trapje met treden van $^1/_2$, 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 en 12 m.M. dikte. Het ordegetal van het aluminium is ongeveer van dezelfde grootte als dat van de verschillende bestanddeelen van het lichaam, het staat tusschen de koolstof en de kalk in. [1]) Als normaal object voor onze röntgenproeven leek het mij dus wel geschikt. Dit aluminium object is geplaatst tusschen twee

FIG. 1.



Opstelling van object (O) tusschen twee waterbakken W
A en B: Loodplaatjes 4 m.M. dik
C: Cassette

bakken water. (Zie fig. I) De bakken zijn vervaardigd van geparafineerd vurenhout van $^1/_2$ c.M. dikte. Zij hebben een grondvlak van 27 : 22 c.M. Het grondvlak van het bovenste bakje staat altijd 14 c.M. boven het grondvlak van het onderste bakje. Onmiddellijk onder dit laatste ligt de cassette met dubbelzijdig-gevoelige Kodak superspeed film. Het object is op 6 c.M. afstand van de film geplaatst om de inwerking van de strooistralen zoo weinig mogelijk te belemmeren. Toch zal bij de gegeven opstelling een klein deel van de strooistralen, die van het bovenste waterbakje uitgaan, in het object geabsorbeerd worden. Het is echter

[1]) Ordegetallen van: Waterstof 1, Koolstof 6, Stikstof 7, Zuurstof 8, Aluminium 13, Kalk 20.

zeer onwaarschijnlijk, dat deze vermindering van op de film inwerkende strooistralen bij de gegeven mate van nauwkeurigheid der waarneming van beteekenis geacht moet worden.

Bij de keuze van dit fantoom hadden wij allereerst op het oog de verhoudingen bij de longröntgenographie. De waterbakjes stellen de weefsels voor, die het object in engeren zin omgeven. Zij hebben dus alleen beteekenis voor zooverre zij door absorbtie en verstrooiing van röntgenstralen de qualiteiten van het schaduwbeeld van het object beinvloeden. Door vele nauwkeurige onderzoekingen voor röntgen-therapeutische doeleinden werd aangetoond, dat de absorbtie en verstrooiing der röntgenstralen in dierlijke weefsels met name in vet en spierweefsels ongeveer gelijk te stellen zijn met die in water. De mate van absorbtie en verstrooiing in een watermassa van bepaalde afmetingen komt dus practisch overeen met die in een gelijk volume van spier- en vetweefsels. Tusschen de waterbakjes is een luchtlaag, waarin zich het object bevindt.

Ik ben mij er zeer goed van bewust, dat in werkelijkheid andere verhoudingen bestaan, dan in dit eenvoudige fantoom. Zelfs de longen zijn wat hun absorbtie en verstrooiing van röntgenstralen betreft niet met lucht gelijk te stellen. Ook in de buikholte is, naast veel lucht, heel wat weefsel of darminhoud, die röntgenstralen in belangrijke mate verstrooien en absorbeeren. Bovendien is het natuurlijke object in den regel alzijdig omgeven door verstrooiend weefsel, terwijl in het fantoom het water alleen boven en onder het object is aangebracht. Toch zijn deze verschillen voor de beoordeeling van de questies die bij dit onderzoek aan de orde zijn, slechts van bijkomstigen aard. Het niet alzijdig omgeven zijn door verstrooiend weefsel geeft alleen wat geringere strooistraleninwerking op de gevoelige laag, evenals de omstandigheid, dat tusschen de waterlagen alleen lucht is en geen dichtere stoffen.

Anderzijds zijn er wel bezwaren om voor röntgenographische experimenten een fantoom te gebruiken, dat zooveel mogelijk den werkelijken toestand nabij komt of het levende of doode lichaamsdeel zelf te bezigen. De verhoudingen zijn hierbij niet regelmatig en eenvoudig genoeg en laten zich niet systematisch wijzigen. Mijn fantoom benadert de verhoudingen van de practijk in alle *wezenlijke* punten en is daarbij zeer eenvoudig van bouw en samenstelling. De waarnemingen, die uit de röntgen-opnamen ervan kunnen worden gedaan, zijn dan ook zeer bruikbaar voor de bestudeering van den invloed van verschillende factoren op de contrastqualiteiten van het röntgenbeeld van lichaamsdeelen. Wel zal het altijd dienstig zijn, de inzichten, die uit de experimenteele onder-

zoekingen op het eenvoudige model gewonnen zijn, aan het meer samengestelde, de lichaamsdeelen van den levenden mensch, te toetsen.

Onder verschillende omstandigheden, die straks nader zullen worden omschreven, werden op Kodak super-speed films opnamen gemaakt van het aluminium object (zie fig. 2 achterin). Na ontwikkeling onder steeds gelijke voorwaarden werden de foto's uitgemeten met den dichtheidsmeter volgens Dr. F. F. Martens. [1])

Door middel van een polarisatiephotometer wordt de verhouding van de lichtsterkten gemeten vóór en nà het doordringen van de plek in de film, waarvan de zwarting bepaald moet worden. De logarithme dezer verhouding geeft de waarde van de zwarting aan. Met dezen meter kan op zeer eenvoudige, snelle en nauwkeurige wijze de zwarting op elk deel van de film worden bepaald.

De uitmeting van de opname geschiedde nu als volgt. Eerst werd de zwarting van de film bepaald in de centrale opening van het aluminiumobject. Deze zwarting wordt teweeggebracht door de direkte of indirekte [2]) inwerking van de primaire (focale) röntgenstralen, die alleen door de waterlagen heengedrongen zijn en van de strooistraling uit het water; de geringe ontwikkelingssluier, die zich daarbij voegt werd bij de berekening steeds afgetrokken. Deze zwarting noemen wij de *grondzwarting* Z_o, omdat hiertegen de zwartingen van de objectschaduwen contrasteeren.

Vervolgens werd de zwarting bepaald van de schaduwvlekken van 7 trappen van het aluminiumobject en wel van $^1/_2 - 1 - 2$ $4 - 6 - 8 - 12$ m.m.dikte (in de fig. 2 overeenkomende met de nummers I. II. III. IV. VI. VIII en XII). Deze zwartingen zullen worden aangeduid als $Z_{1/2} - Z_1 - Z_2 - Z_4$ enz. Zij worden gevormd door de primaire straling, die het water èn het object heeft doordrongen en door de strooistralen. De zwarting van den ontwikkelingssluier werd ook hierbij steeds afgetrokken van het totaal bedrag der gemeten zwarting.

Met deze zwartingswaarden kan echter voor de beoordeeling der contrastqualiteiten niet worden volstaan. In de eerste plaats is het noodzakelijk te weten, hoe groot de zwarting is, die door de strooistralen alleen wordt veroorzaakt. Deze zwarting noemen wij Z_s. Ook moeten wij nog de zwarting van den ontwikkelingssluier Z_e leeren kennen. Deze laatste bepalen wij door de zwarting te meten op een plaats waar geen röntgenstralen de film hebben

[1]) Uitvoering *Fr. Schmidt und Haensch*, Berlin. Literatuur *F. F. Martens* Arch. Wissenschaftl. Photographie pag. 184 1900. Verh. d. deutschen Physik. Ges. 1, pag. 204. 1900. Physik. Zeitschr. 1 pag. 299.

[2]) Via versterkingsfolie.

kunnen treffen. Dit bereiken wij door onmiddellijk op de cassette een stukje lood van voldoende dikte (3 à 4 m.m.) te plaatsen (fig. 1 b.) Onder dit loodschijfje is de plaats, waar de zwarting alleen ontwikkelingssluier is. [1])

Zooals reeds werd opgemerkt, worden alle gemeten zwartingen verminderd met de waarde van dezen ontwikkelingssluier, omdat zij niet altijd volkomen gelijk is. Zij varieert tusschen 0.100 en 0.175. In verhouding tot de andere zwartingen zijn deze verschillen te groot om verwaarloosd te worden, en is het daarom noodzakelijk bij elke opname den ontwikkelingssluier te bepalen en zijn zwartingswaarde af te trekken van de gemeten zwarting, opdat de verhouding van de zwartingen niet verstoord worde door de bijkomstige verschillen in de zwarting van den ontwikkelingssluier.

De strooistralenzwarting Z s, die van zeer veel belang is voor een goed begrip van de contrasten der röntgenopname kan gemeten worden in de schaduw van een stukje lood, dat op zoodanigen afstand van de film ligt, dat alleen de focale straling, maar niet de strooistralen geabsorbeerd worden. Dit stukje lood zou dus in ons fantoom op het wateroppervlak van het bovenste bakje moeten liggen. Eenvoudigheidshalve ligt het op den bodem ervan (fig. 1a). De uitermate geringe hoeveelheid strooistralen, die hierdoor niet op de film kan inwerken, mag zeker verwaarloosd worden.

De zwarting van deze schaduw kan ook worden opgevat als de minimale objectzwarting of anders uitgedrukt, als de zwarting van een object, dat alle focale stralen absorbeert. Het verschil van deze zwarting en de grondzwarting is dus het *maximale contrast*, dat een object onder de omstandigheden, waarbij de opname vervaardigd werd, kan geven; het is het verschil tusschen de zwarting van een deel van het object, dat alle focale stralen absorbeert en de zwarting naast het object, waar dus alle stralen onverzwakt op de film inwerken, de z.g. grondzwarting. Dit contrast noemen wij de (maximale) *contrastbreedte* van de opname.

De waarde der contrasten van de deelen van dit constante object zijn bij veranderde omstandigheden als b.v. verschil in hoedanigheid der focale röntgenstralen, verschil in dikte van de watermassa's, verschil in belichting e.d. zeer verschillend.

De studie van den invloed van dergelijke omstandigheden op de contrasten van het röntgenbeeld over de volle contrastbreedte, die

---

[1]) De zwarting van een film, die in 't volkomen duister onmiddellijk uit het papier in fixeervloeistof wordt gebracht is practisch nul. De film op zich is dus volkomen helder.

onder bepaalde omstandigheden mogelijk is, wordt zeer vereenvoudigd door de toepassing van de grafische voorstelling, die wij de *contrast-curve* noemen. Achter in dit boekje zijn op de tabellen 1—30 een groot aantal van dergelijke curven weergegeven.

Op de absis is de dikte van de trappen van het aluminiumobject in m.M. afgezet. De ordinaat geeft de contrastwaarde berekend uit het verschil van de zwartingen (zie formule (3)) van het schaduwbeeld der trapjes Z_b en de grondzwarting Z_o. Op de absis worden dus bij $^1/_2$ — 1 — 2 — 4 — 6 — 8 en 12 m.M. Al. de ordinaatwaarden $(Z_o - Z_{1/2})$, $(Z_o - Z_1)$, $(Z_o - Z_2)$, $Z_o - Z_4$ enz. [1] afgezet en zoo de curve van de contrasten ten opzichte van de grondzwarting voor de objectschaduwen van 0 tot 12 m.M. aluminium getrokken.

Strikt genomen zijn deze curven dus *zwartingsverschilcurven*, maar op grond van de overwegingen op bl. 5-6, die ons voerden tot de opstelling van formule (3), waardoor werd uitgedrukt, dat voor een algemeen oordeel over contrasten het zwartingverschil een voldoende nauwkeurige maat is voor de contrasten, meenen wij deze curven contrastcurven te mogen noemen.

Alle contrastcurven zijn bij 12 m.M. Al. afgebroken, omdat in de meeste gevallen het curveverloop voor objecten, die meer absorbeeren dan het 12 m.M. Al. trapje, niet belangwekkend is. Voorbij dit punt is er meestal slechts een zeer geringe stijging van de contrastcurve. Alleen in enkele gevallen en wel bij de harde opnamen met dikke waterlagen is het verloop van de curve boven de 12 m.M. Al. min of meer steil. Uit den vorm van het geteekende deel der kurve kan men zich echter het verdere verloop zeer goed voorstellen. Wel is bij elke curve door een kort horizontaal lijntje de contrastwaarde aangegeven van de schaduw van het loodplaatje a (fig. 1), die het maximale contrast van de betreffende opname voorstelt. Dit is dus het hoogste punt, waartoe de contrastcurve zou kunnen stijgen, omdat dit het contrast is van het object, dat alle focale stralen absorbeert. Dit horizontale lijntje is door een stippellijn verbonden met het eindpunt der contrastcurve bij 12 m.M. Al. Van dit punt stijgt de contrastcurve dus op een wijze, die men zich uit haar verloop in het gebied van 0—12 m.M. Al. in 't algemeen wel kan voorstellen tot de aangegeven hoogte van het maximale contrast. Bij elke contrastcurve staat de waarde van de grondzwarting van de betreffende opname aangegeven. [2]

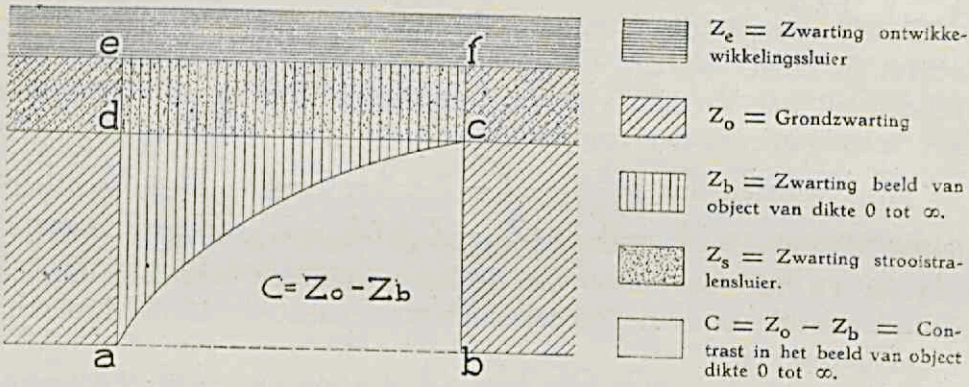
---

[1]) De zwarting 1 wordt bereikt waar het doorvallend licht op $^1/_{10}$ van zijn oorspronkelijke sterkte wordt verzwakt, de zwarting 2 bij een verzwakking op $^1/_{100}$ enz.

[2]) Achter dit grondzwartingscijfer staat soms een *. Dit beteekent, dat deze curve niet door uitmeting van een opname, maar door berekening is (z.o.z.)

Ter verduidelijking van de begrippen omtrent zwarting en contrast diene nog de bijgaande schematische voorstelling van de

FIG. 3.



zwartingen van een röntgenfoto (fig. 3). Op de absissen a b en e f denkt men zich de dikte van een wig van een of andere stof zoodanig afgezet, dat vanaf het nulpunt a en e gelijke afstanden gelijke toename in dikte aangeven tot een zoodanig maximum bij b en f. dat een practisch volkomen absorbtie van de röntgenstralen wordt gewaarborgd. Op de absis e f worden nu naar beneden toe als ordinaten de zwartingswaarden van de röntgenschaduw van de wig afgezet. Op deze wijze ontstaat de zwartingscurve a c van het beeld van de wig. Worden op de absis a b naar boven toe de contrastwaarden van het beeld van de wig als ordinaten afgeteekend, dan ontstaat de contrastcurve van deze wig, die samenvalt met de zwartingscurve. De waarde a e is de grondzwarting Z_o. De waarde c f is de zwarting bij een zoodanige dikte van de wig, dat alle focale stralen worden geabsorbeerd en dus gelijk aan de zwarting van de strooistralensluier. De waarde c b is het maximale contrast in de opname, die contrastbreedte werd genoemd.

Bij alle zwartingen voegt zich de zwarting van den ontwikkelingssluier Z_e.

---

verkregen. Het zou te veel moeite gekost hebben alléén uitgemeten curven te geven, omdat het moeilijk is bij de opname altijd de gewenschte grondzwarting nauwkeurig te bereiken. De berekening van de curven kan zeer nauwkeurig geschieden, door voor de gewenschte grondzwarting het contrast te bepalen van 1-2-4-6-8 en 12 m.M. Al. uit curven. die deze contrasten als funktie van de grondzwarting weergeven. Voor ieder van de genoemde trapjes moet dus uit de bekende, gemeten waarden een dergelijke curve worden opgesteld. Men moet daarvoor over voldoende metingen bij uiteenloopende grondzwartingen beschikken. Wij zorgden er voor, dat altijd eenige opnamen werden uitgemeten, waarvan de grondzwarting zeer dicht tot de gezochte waarde naderde.

Door de contrastcurve is de röntgenfoto ten opzichte van haar contrasteigenschappen op zeer eenvoudige wijze gekarakteriseerd. De hoogte van de curve geeft de grootte van het contrast van een bepaald deel van het object ten opzichte van de grondzwarting weer; de steilte van de curve bepaalt de mate van onderscheidenheid van de contrasten van de deelen van het object. Met één blik kunnen wij op deze wijze de typische contrastverschillen van röntgenfoto's onder verschillende omstandigheden vervaardigd overzien en wel over de volle breedte van alle contrastmogelijkheden.

Iedereen weet, hoe moeilijk het is, om aan te geven, wat het verschil is in de contrasteigenschappen van een weeke en een harde opname, of van een dunne en een dichte foto of van een opname met veel en één met weinig strooistralen. Onze begrippen daaromtrent zijn nog zoo vaag en zoo onvolledig, dat tot nu toe eigenlijk niemand erin geslaagd is een ander duidelijk te maken op welke gronden hij oordeelde over de contrasteigenschappen onder dergelijke omstandigheden. Iedere röntgenoloog moet weer van voren af aan door eigen ervaring, dus zuiver empirisch de typische verschillen leeren „aanvoelen". Met de methode van dit onderzoek zal het mogelijk zijn op zeer eenvoudige wijze een volledig inzicht te krijgen in de typische contrastverschillen, die ontstaan onder invloed van de talrijke factoren, die bij de opname of de ontwikkeling varieeren kunnen.

In zijn artikel over de physische grondslagen van de röntgendiagnostiek wijst Glocker [1]) er reeds op, hoe ingewikkeld het experimenteel röntgenographisch werk is door de menigvuldigheid van de factoren, die de qualiteiten van de röntgenfoto bepalen. Ten opzichte van het vraagstuk der zwarting kunnen wij reeds een negental factoren onderscheiden, die zich ongedwongen in twee groepen laten scheiden.

De eerste groep omvat die omstandigheden, welke direkt of indirekt met de röntgenstralen samenhangen t.w.

1e. Intensiteit der straling of belichtingsduur.

2e. Hardheid der straling.

3e. Dikte van de absorbeerende en verstrooiende weefsels om het object in engeren zin.

4e. Al of niet gebruik van versterkingsfolies.

5e. Al of niet gebruik van een strooistralenfilter. (Buckyfilter).

De tweede groep heeft uitsluitend betrekking op de qualiteiten van de gevoelige laag van de film of plaat en de ontwikkeling t.w.

---

[1]) *R. Glocker,* Experimentelle Untersuchingen über die physikalischen Grundlagen der Röntgendiagnostiek. Fortschr. a.d. Geb. der Röntgenstr. Bd. 29 pag. 100.

1e. Samenstelling van de gevoelige laag (de film- of plaatsoort)
2e. Samenstelling van de ontwikkelaar.
3e. Temperatuur van de ontwikkelaar.
4e. Duur van de ontwikkeling.

Dit onderzoek is beperkt tot de eerste groep van factoren. Er werden vier reeksen van proeven genomen. In elke reeks waren de variabele factoren:

1e. de intensiteit der straling resp. de belichtingsduur.
2e. de hardheid der straling.
3e. de dikte van de absorbeerende en verstrooiende massa om het object, in casu de dikte van de waterfilters boven en onder het aluminiumtrapje.

In de serie A en C werden twee versterkingsfolies gebruikt, in de serie B en D geen. [1])

De serie A en B werden gemaakt in de gewone boven omschreven opstelling, bij de serie C en D werd de toestand op nader te omschrijven wijze zoodanig veranderd, dat het Bucky effect, (filtreering van de strooistralen) werd verkregen. Kort gezegd zijn dus in de serie A en B de proeven met strooistraling, in de serie C en D zonder strooistraling opgenomen, terwijl telkens de eene serie mèt de andere zonder versterkingsfolie werd gemaakt.

De eerste variabele bij onze proevenreeksen is de stralenintensiteit gemeten in MA. van den stroom, die door de buis gaat en den belichtingsduur. Ten opzichte van deze grootheden, zegt de wet van Schwarzschild, dat de zwarting van de gevoelige laag een functie is van het product van de intensiteit der straling en den belichtingstijd, voorzien van den exponent p. Deze betrekking wordt uitgedrukt door de formule:

$$Z = f\,(I\ t^p) \qquad (4)$$

Bij de inwerking van lichtstralen is de exponentswaarde p varieerend tusschen 0.75 en 0.95 naar gelang der plaat- of filmsoort. Bij de inwerking van röntgenstralen is de waarde van p bij benadering gelijk 1. Bouwers [2]) vond waarden tusschen 0.93 en 1.00. Hij meent echter op zeer goede gronden te mogen aannemen, dat het verschil in de p waarde bij de inwerking van lichtstralen en röntgenstralen niet gelegen is in een verschillende inwerking van deze stralen maar in de wijze van belichting. Met alle gebruikelijke röntgendiagnostiek-toestellen wordt een pulseerende röntgenstraling opgewekt. De belichting met röntgenstralen is dus niet continu, maar intermitteerend. Het intermitteerende

---

[1]) Een volledige lijst van alle opnamen treft men achter in dit boekje.

[2]) *Bouwers.* Over het meten der intensiteit van röntgenstralen. Dissertatie Utrecht 1924 bl. 26.

van de belichting is volgens Bouwers de oorzaak van het grooter worden van den factor p, die daardoor nadert tot de waarde 1. Hij meent, dat bij een continu belichting met röntgenstralen de waarde van p gelijk zou worden aan die van de lichtstralenwerking op dezelfde plaatsoort.

Bij het gebruik van versterkingsfolies ontstaat vrijwel een continu belichting met lichtstralen, omdat de folies sterk nalichten. Voor de röntgenographie met versterkingschermen geldt dus de exponentswaarde bij continu belichting.

Uit deze Schwarzschild'sche betrekking volgt, dat het bij een contrastonderzoek, waar het op vergelijking van zwartingen aankomt onverschillig is, welke van de grootheden I en t als variabele wordt gekozen, omdat alleen verschillen in 't product $I\ t^p$ verschillen in zwarting veroorzaken.

Wanneer twee opnamen van hetzelfde object onder volkomen gelijke omstandigheden inclusief gelijken factor $I\ t^p$ vervaardigd zijn, dan zijn alle zwartingen en contrasten gelijk. Het is daarbij volkomen onverschillig of de eene foto met kleine intensiteit en langen belichtingsduur, de andere met groote intensiteit en korten belichtingsduur is gemaakt.

Onze eerste variabele is dus eigenlijk het product $I\ t^p$. Met enkele proeven hebben wij de juistheid van deze opvatting gecontroleerd.

Van het beschreven object werden bij toepassing van twee waterhoogten van 4 c.M. onder volkomen gelijke omstandigheden opnamen gemaakt bij belastingen van 100 MA. en 10 MA. en bij spanningen van 66 en 77 KV. topwaarde. Het bleek, dat bij gelijke grondzwarting (resp. 1.2 en 0.9) de contrastcurven bij gelijke spanning elkaar volkomen dekken. De verhouding van de intensiteit en den tijd is dus op het verloop van de contrastcurve van geen invloed. Alleen de waarde van het product It^p bepaalt de contrastwaarde en dus ook het verloop van de contrastcurve. [1])

---

[1]) Het theoretische bewijs is als volgt te leveren:

De grondzwarting Z_o wordt in het eene geval bepaald door $I_o\ t^p$, in het andere door $i_o\ T^p$. De zwartingen van een objectdeel van de dikte d en een absorbtie-coëfficient α zijn in 't ééne geval

$$Z_d = \left(I_o\, e^{-d\alpha}\right) t^p = Z_o \times e^{-d\alpha}$$

in het andere geval

$$Z'_d = \left(i_o\, e^{-d\alpha}\right) T^p = Z_o \times e^{-d\alpha}$$

waaruit volgt dat

$$Z_d = Z'_d.$$

Bij onze proeven hebben wij eenvoudigheidshalve de belasting laag en constant gehouden en alléén de tijd gevarieerd. Een lage belasting geeft minder spanningsalval en daardoor minder kans op onregelmatigheden in de waarde van de secundaire spanning. Alle proeven werden genomen bij 10 MA.

De tweede variabele is de qualiteit van de primaire röntgenstraling. De juiste bepaling van dezen factor is nog steeds een zeer moeilijk probleem.

De oude methoden vanBenoist, Benoist-Walter en Wehnel die alle het principe van de op selectieve absorbtie van zilver bij een golflengte van 0.56 A^0 berusten, kunnen ons tegenwoordig niet meer bevredigen, omdat metingen op dezen grondslag niet beantwoorden aan de eischen van nauwkeurigheid, die wij bij de tegenwoordige physische ontwikkeling op het gebied der medische röntgenologie aan een methode voor hardheidsmeting meenen te moeten stellen. [1])

De bepaling van de „Halbwertschicht" (Christen) is in principe veel beter, maar geeft toch in sommige gevallen zeer misleidende uitkomsten.

Betrouwbaar en voor de practijk voldoende nauwkeurig wordt de qualitatieve samenstelling van de röntgenstraling aangegeven door de curve van de procentueele verzwakking in aluminium. Het bezwaar tegen deze methode is echter, dat de aanwijzing van de stralenqualiteit niet door een getal maar door een curve geschiedt.

De spectrometrische qualiteitsbepaling is theoretisch de meest redelijke en nauwkeurige. Zij is sinds Bouwers [2]) zijn methode bekend gemaakt heeft, tenminste eenigermate binnen het bereik van den medicus-röntgenoloog gekomen, maar blijft toch in 't algemeen te moeilijk en bewerkelijk om voorloopig als standaardmethode voor hardheidsbepaling te kunnen doorgaan.

De eenvoudigste oplossing, die een voor de praktijk voldoende nauwkeurigheid geeft, is de bepaling van de topspanning aan de buis als maat voor de qualiteit van de straling. In bijlage I wordt een uitvoerige verdediging van deze methode gegeven en daarna een uiteenzetting van de wijze waarop door ons de topspanning aan de buis werd bepaald. Ook worden daarin de andere methoden van qualiteitsbepaling nader besproken. Bij onze proeven werden 4 verschillende stralenqualiteiten gebruikt, overeenkomende met topspanningen van 55, 66, 77 en 88 KV.

De 3e variabele was de dikte van de waterlaag, die als filtreerende en verstrooiende „omgeving" moet dienst doen. De bakjes boven

---

[1]) Zie *J. Wetterer.* Handbuch der Röntgen- und Radium-therapie 4e Aufl. Bd. I blz. 214 e. v.

[2]) *Bouwers* l.c. hoofdstuk III bl. 61.

en onder het object werden steeds tot gelijke hoogte gevuld. Wij kozen dikten van 2 × 2 cM.; 2 × 4 cM. en 2 × 6 cM. Ook hierbij hadden wij wederom in de eerste plaats het oog op de verhoudingen bij de thoraxopnamen. De dikte van de borstwand aan de voor- en achterzijde varieert binnen deze grenzen. De buikwand is vooral aan de achterzijde aanzienlijk dikker dan 6 cM. Ook het bekken gaat in dikte ver boven de gekozen maten. In sommige gevallen met name bij de buik- en bekkenopnamen zal dus de invloed van dezen derden factor grooter zijn, dan in onze proeven wordt gevonden.

Tenslotte nog een en ander over de factoren, die wij bij onze proeven zooveel mogelijk constant hebben gehouden.

Alle opnamen werden gemaakt op Kodak super-speed films en ontwikkeld in een oplossing van de volgende samenstelling: Metol 4 gr.; Sulfis natricus 354 gr. (cryst.) Carbonas natricus 236 gr.; Hydrochinonum 16 gr.; Broomkali 3 gr. op 2 liter water.

De ontwikkeling had plaats bij 65° gedurende 5 minuten. De Kodak-film is een van de gevoeligste in zijn soort en van voldoende constante qualiteit. Het principe van de dubbelzijdig gevoelige film is de superpositie van twee onderbelichte opnamen, die kort en krachtig ontwikkeld zijn. Het juiste gebruik van deze film geeft verschillende voordeelen boven de oude werkwijze met glasplaten, die slechts aan één zijde van een gevoelige laag kunnen worden voorzien. Zoowel bij gebruik van versterkingsfolies, als zonder deze, wordt de beschikbare röntgenenergie beter benut.

Bij de toepassing van twee folies, de meest voorkomende opname-techniek bij filmgebruik, zal de energie, die door de eerste folie en de film wordt doorgelaten, nog in de tweede folie grootendeels geabsorbeerd en in een werkzame lichtstraling worden omgezet.

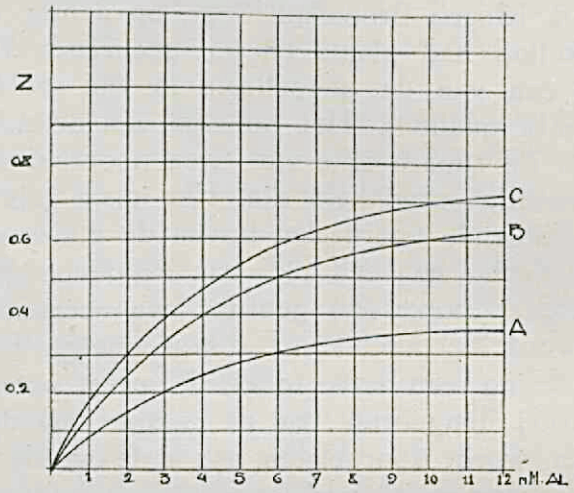
Als geen versterkingsfolies worden gebruikt blijft toch hetzelfde voordeel, hoewel in mindere mate, bestaan door de omstandigheid, dat bij de film de röntgenstralen in twee gevoelige lagen worden geabsorbeerd en bij de oude plaat maar in één. Twee gevoelige lagen geven bij gelijke röntgenbelichting meestal niet dezelfde zwarting als een gevoelige laag van dubbele dikte, omdat de ontwikkelaar maar tot zekere diepte krachtig doorwerkt. Er is dus een grens voor de dikte van de emulsielaag. De dubbelzijdig gevoelige film zal dus bij dezelfde belichting in 't algemeen grooter zwarting geven dan de eenzijdig gevoelige glasplaat, afgezien van verschil in qualiteit van de emulsie.

Ook ten opzichte van de contrastwaarden geeft de dubbelzijdig gevoelige film zekere voordeelen. Bij een film, die dezelfde grondzwarting heeft als een plaat, moet de maximale zwarting aan iedere zijde van de film ongeveer de helft van de grondzwarting

zijn. Het zijn dus als het ware twee onderbelichte opnamen, die te zamen een normale vormen. Nu is de contrastcurve van twee op elkaar geplaatste onderbelichte opnamen, zoowel mèt als zonder foliegebruik steiler dan één normaal belichte opname, die dezelfde grondzwarting heeft als de beide onderbelichte te zamen.

Uit de contrastcurven op de tabellen achter in dit boek is dit feit gemakkelijk te herleiden. Wel zijn wij niet in staat één enkelzijdig gevoelige met twee gesuperponeerde gelijksoortige platen te vergelijken, omdat wij uitsluitend dubbelzijdig gevoelige filmen gebruikten, maar dit is geen essentieel bezwaar. Bij de vergelijking van één dubbelzijdig gevoelige film met twee opeengeplaatste andere, die te zamen dezelfde grondzwarting hebben als die eene, zijn de omstandigheden niet wezenlijk anders en kan dus het verschijnsel worden nagegaan.

FIG. 4.



In fig. 4 is op kleinere schaal dan in de tabellen, de contrastcurve bij 55 KV. topspanning en 2×4 cM. waterdikte 10 MA. belasting 2 folies, geteekend voor de grondzwarting 0.5 (curve a.) en 1.0 (curve b.) De dubbele waarde van de curve a wordt voorgesteld door de curve c. Dit is nu de contrastcurve voor de twee onderbelichte ($Z_o = 0.5$) opnamen, die te zamen dezelfde grondzwarting hebben als de opname voorgesteld door curve b ($Z_o = 1.0$). [1]) Het verschil in hoogte en steilte van curve b en c is de duidelijke uitdrukking van de verbetering van het contrast, die door de toepassing van het principe der gesuperponeerde onderbelichte opnamen bereikt kan worden. Dergelijke vergelijkingen

[1]) Het contrast van twee op elkaar liggende filmen is gelijk aan de som van de contrasten van elk der filmen, omdat de zwarting gelijk is aan de som der zwartingen.

kunnen voor opnamen onder verschillende omstandigheden b.v. verschillende hardheid, dikte der waterfilters gemaakt worden en vallen steeds in denzelfden zin uit.

Over de beteekenis van de andere factoren als daar zijn, verschil in qualiteit van de emulsie, verschil in samenstelling van de ontwikkelaar, verschil in temperatuur en ontwikkelingsduur, op de contrasteigenschappen van de foto, zijn voor zoover mij bekend, geen mededeelingen in de röntgen-literatuur gedaan. Wel kan uit de onderzoekingen van Schlechter [1]) bij benadering worden nagegaan in welken zin enkele dezer factoren het contrast beïnvloeden. Voor de chemische samenstelling van de ontwikkelaar geldt, dat de krachtig werkende (metol-hydrochinon) ontwikkelaar grooter contrast en steiler contrastcurve geeft dan de slapper werkende (glycine) bij gelijke grondzwarting van de opname, en bij gelijke ontwikkelingsduur en temperatuur. Ook wanneer men den ontwikkelingsduur van de zwakke ontwikkelaar zoo lang maakt als de voorschriften eischen, dus langer dan van sterke ontwikkelaar, blijft het verschil bestaan. Voorwaarde is ook hierbij een gelijke ontwikkelingstemperatuur.

De invloed van temperatuur en tijd is, dat in 't algemeen bij hoogere temperaturen en langere tijden de contrasten verbeteren en de curve steiler worden. Men is hier echter gebonden aan een zeker optimum, omdat te hooge temperaturen en te lange tijd een hinderlijken ontwikkelingssluier veroorzaken.

Voor de Kodakfilm is dit optimum bereikt bij een ontwikkelingstemperatuur van 65^0 en een tijd van 5 minuten. De ontwikkeling gedurende een zoo korten tijd mèt de zeer krachtige metol-hydrochinon ontwikkelaar voorkomt het optreden van een hinderlijken ontwikkelingssluier en waarborgt de diepe doorontwikkeling van de gevoelige laag.

Uit een en ander blijkt, dat wij in fotographisch opzicht voor onze proeven de voorwaarden zoo gekozen hebben, dat ten opzichte van de contrasteigenschappen de gunstigste verhoudingen werden bereikt, n.l. dubbelgevoelige film, krachtig ontwikkeld onder optimale omstandigheden van temperatuur en ontwikkelingsduur. Wanneer dus in vele opnamen de contrasten onvoldoende zijn, dan is er zekerheid, dat deze niet belangrijk verbeterd kunnen worden door een thans mogelijke wijziging van de voorwaarden van het fotografische proces.

---

[1]) *Schlechter* Diss. Stuttgart 1922. Zie *Glocker* l. c. bl. 108.

HOOFDSTUK II

DE BEOORDEELING VAN DE CONTRASTEN

De eischen, die in de practische röntgenographie aan de contrast-qualiteiten van een foto gesteld worden, kunnen zeer verschillend zijn.

In vele gevallen wordt gevraagd de deelen van een object, die door verschillen in dikte of dichtheid in verschillende mate stralen absorbeeren, door duidelijk onderscheiden contrasten weer te geven.

De differentiatie in het object ten opzichte van de dikte of dichtheid, moet een overeenkomstige uitdrukking vinden in de differentiatie van de contrasten in het röntgenbeeld.

De contrast-curve geeft op zeer eenvoudige en overzichtelijke wijze de verhouding van deze differentiaties in object en röntgenbeeld weer. Hoe steiler zij verloopt, des te grooter is de onderscheidenheid der contrasten voor dezelfde verschillen in dikte van het object.

Dikwijls wordt de differentiatie in de contrasten van het röntgenbeeld niet geëischt, omdat alleen de silhouette van het object of de objectdeelen ons interresseert, niet de differentiatie ervan. In een dergelijk geval behoeft de foto slechts een enkelvoudig contrast te geven. Absorbeert het object in zijn geheel of in enkele deelen weinig meer dan de omgeving, dan moet, om alles goed zichtbaar te maken, het contrast van de weinig absorbeerende deelen duidelijk zijn, de sterker absorbeerende zijn dan zeker even goed te zien.

De contrast-curve van een opname, die aan deze eischen voldoet, moet dus in 't begin, het gebied der dunne objectdeelen, een flinke hoogte bereikt hebben. Is het object van zoodanige samenstelling, dat het in zijn geheel veel sterker absorbeert dan de omgeving, dan beantwoordt de opname met een flinke hoogte van de contrast-curve op het eind, het gebied der sterk absorbeerende contrast-deelen, aan den eisch.

Met enkele voorbeelden uit de practische röntgenographie zullen wij de onderscheiding van deze contrasteischen verduidelijken.

Bij long-opnamen, waarbij men in 't object deelen met kleine en groote verschillen in absorbtie kan aantreffen, die alle op de foto goed onderscheiden zichtbaar moeten zijn, zal men dus een zoodanige opname-techniek moeten kiezen, dat over een groote breedte de verschillen in stralenabsorbatie in het object door duidelijk gedifferentieerde contrasten worden weergegeven. De contrast-curve van de opname, die aan dezen eisch voldoet, moet dus over een zoo groot mogelijk gebied een min of meer steil verloop hebben.

Ook voor schedel- en bekkenopnamen, waar het om de diagnose van fijne en grove structuurafwijkingen te doen is, zal eenzelfde contrast-eisch aan de foto gesteld moeten worden.

Bij galsteen-opnamen, waarbij het object weinig meer stralen absorbeert dan de omgeving, is het voldoende, als alleen dit contrast van het weinig absorbeerende object tegenover de omgeving duidelijk is. Hier vragen wij dus geen contrast-differentiatie. Als de opname maar zoo is, dat haar contrast-curve een voldoende hoogte heeft in 't begin, het gebied der weinig absorbeerende objectdeelen, voldoet zij aan den eisch van een galsteen-opname.

Bij opnamen van ingewanden gevuld met contrastbrei, wil men, behalve de groote, ook de kleinste depots sterk doen uitkomen. Men zal dus een zoodanige opname-techniek moeten kiezen, dat de dunste contrastbrei-laagjes tegenover de omgeving een duidelijk zichtbaar contrast geven; de dikke depots zijn dan zeker goed te zien. De contrast-curve van een dergelijke opname moet in het begin dus steil zijn, terwijl het verdere verloop er niet veel toe doet, omdat geen differentiatie in de contrasten van dunne en dikkere depots wordt gevraagd.

Een hart-opname heeft ook maar één contrast weer te geven en wel van een object, dat in zijn geheel de röntgenstralen veel sterker absorbeert dan de omgeving (longen). De contrast-curve van de opname, die dit object goed weergeeft, behoeft dus alleen op het eind een flinke hoogte te hebben; het verloop van de curve is van geen beteekenis, omdat ook hier weer geen contrast-differentiatie geëischt wordt.

In 't algemeen kunnen wij dus ten opzichte van den contrast-eisch een tweeledig onderscheid maken:

ten eerste de eisch van duidelijk onderscheiden contrasten van de deelen van een object onderling, dus een duidelijke differentiatie van de contrasten in het objectbeeld;

ten tweede de eisch van een enkelvoudig duidelijk contrast van een object of een objectdeel tegenover de omgeving.

Nu staan wij voor de vraag, hoe groot een contrast moet zijn, om een duidelijken indruk op ons te maken.

De eenige objectieve maatstaf voor contrasten is het zwartingsverschil, bepaald volgens formule (3). We kunnen dus de vraag ook zoo stellen: hoe groot is het verschil in zwarting van een contrast, dat een duidelijken indruk maakt? Het antwoord op deze vraag is niet eenvoudig. In de eerste plaats, omdat het begrip „duidelijk" zeer onbepaald is, maar vooral ook, omdat, zooals wij in 't eerste hoofdstuk reeds uiteen gezet hebben, het contrast niet onvoorwaardelijk bepaald wordt door het zwartingsverschil, maar nog in hooge mate afhankelijk is van verschillende andere factoren.

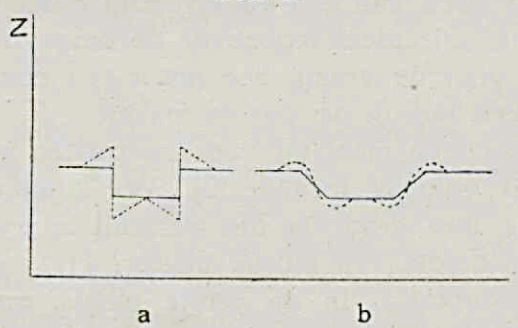
Op enkele van die omstandigheden, welke in de practische röntgenographie bij de beoordeeling van de contrasten een groote rol spelen, moeten wij hier nog even de aandacht vestigen. In de eerste plaats moet er op gewezen worden, dat het contrast van twee vlakken, die een constant zwartingsverschil hebben, het grootst is bij een zekere middelmatige lichtsterkte. Bij zeer groote en zeer kleine lichtsterkte is het contrast minder duidelijk. Bij de beoordeeling van contrasten moeten wij met deze omstandigheid terdege rekening houden en daarom zullen wij haar in een afzonderlijk hoofdstuk bespreken. (Hfdst. III). In het vervolg gaan wij altijd uit van de veronderstelling dat de voor contrast-beoordeeling optimale doorlichting in acht genomen is.

Ook de prikkelbaarheid van het oog speelt een rol. Naarmate deze geringer is, worden in 't algemeen de helderheidsverschillen in verhouding tot de zwartingsverschillen kleiner.

Bij alle volgende beschouwingen zijn wij uitgegaan van de veronderstelling, dat het oog in een zekeren constanten prikkelbaarheidstoestand is, in verband met de practische omstandigheden zoo groot mogelijk. Dit beteekent, dat het oog van den waarnemer zoo min mogelijk door sterk licht getroffen moet worden. Men zorge dus, dat de foto, bij beschouwing voor de lichtkast, langs de randen afgedekt is, zoodat er geen onverzwakt licht naast de foto tot het oog doordringt. De kamerwanden om de lichtkast moeten donker zijn en de algemeene verlichting in het vertrek een zachte diffuse kunstverlichting, waarbij schrijven mogelijk is.

Van veel beteekenis is verder het zeer bekende verschijnsel, dat het contrast van twee aangrenzende vlakken grooter wordt, naarmate de grens scherper is. Het kan dus voorkomen, dat bij gelijk zwartingsverschil ten opzichte van de omgeving een scherp vlekje duidelijk zichtbaar is, terwijl een onscherp vlekje niet op-

FIG. 5.



gemerkt wordt. In fig. 5 a geeft de getrokken lijn door zijn hoogte ten opzichte van de absis de zwarting aan van een vlekje, dat met een scherpe grens afsteekt tegen een iets donkerder

omgeving. Het hoogte-verschil in de getrokken lijn geeft dus het zwartingsverschil aan. Fig. 5 b geeft op dezelfde wijze een even groot vlekje met gelijk zwartingsverschil als in fig. 5 a, maar met geleidelijken overgang van de eene zwarting in de andere, m.a.w. met een onscherpe begrenzing.

De helderheid, die men waarneemt, wordt in beide figuren voorgesteld door de hoogte van de stippellijn ten opzichte van de absis. Het hoogte-verschil in de lijn is dus het contrast. Bij het scherp afstekende vlekje *a* is dit grooter dan bij het onscherp begrensde *b*. Wij kunnen dus zeggen, dat bij een bepaald zwartingsverschil het contrast minder duidelijk wordt, als de overgang van het eene vlak in het andere minder scherp is.

In nog sterkere mate is dit het geval, wanneer de vlakken, waarvan het contrast beoordeeld moet worden, niet aan elkaar grenzen, maar op een afstand van elkaar liggen in een omgeving van gelijkmatige zwarting. Liggen de vlakken in een omgeving van ongelijke zwarting, dan kan de invloed der inductie zoo verschillend zijn, dat het niet mogelijk is een algemeen geldende verhouding van de helderheidsverschillen en de zwartingsverschillen vast te stellen.

Wij komen dus tot de conclusie, dat bij scherp aan elkaar grenzende vlakken, voor een duidelijk contrast, een kleiner zwartingsverschil vereischt wordt dan bij onscherp begrensde en hierbij weer een kleiner dan bij gescheiden vlakken in een gelijkmatig veld.

Uit vele waarnemingen bij onze diapositieven van het aluminium trapje onder de gewone omstandigheden van de praktijk verricht, is ons gebleken, dat het kleinste zwartingsverschil, dat bij scherp begrensde vlakken [1]) een juist waarneembaar contrast geeft, ongeveer 0.025 bedraagt. Dit is dus de practische drempelwaarde van het contrast. [2])

Middelmatig duidelijk is onder deze omstandigheden het contrast

---

[1]) Deze scherpte is niet volkomen, omdat deze in de practische röntgenographie bijna niet voorkomt. Wij hebben hier gerekend met de scherpte, die door een 2 m.M. focus bij 6 c.M. object-film afstand en 80 c.M. focus-film afstand wordt gegeven. Het beeld onder deze omstandigheden gevormd, noemen wij in de practische röntgenographie nog zeer scherp.

[2]) Bij een nauwkeurige bepaling van de verhouding der lichtsterkten, die nog juist een verschil in helderheid vertoonen, blijkt, dat deze onder de gunstigste omstandigheden 100 : 101 is. Een vermeerdering van de lichtsterkte met 1 % is dus al merkbaar. Dat zou dus een zwartingsverschil van ± 0.005 beteekenen. Onze metingen van de zwarting door middel van den dichtheidsmeter van *Martens* hadden ongeveer deze nauwkeurigheid, omdat zij berusten op de instelling op gelijke helderheid van twee onmiddellijk aan elkaar grenzende vlakken. Het bovengenoemde zwartingsverschil van 0.025 komt overeen met een verschil in lichtsterkte van 6 %, van 0.050 met 12 % en van 0.075 met 19 %.

eerst bij een zwartingsverschil van ongeveer 0,050 en zeer duidelijk bij 0,075. Bij onscherpe begrenzing is het kleinste zwartingsverschil, dat een waarneembaar helderheidsverschil geeft, iets meer dan 0.025, n.l. ongeveer 0.035 tot 0.040, terwijl voor een eenigszins duidelijk contrast zwartingsverschillen van 0.075 tot 0.100 worden vereischt. Voor de beoordeeling van het contrast van vlakken, die op eenigen afstand van elkaar liggen, is in 't algemeen minstens een zwartingsverschil van 0.100 tot 0.200 noodig om met zekerheid een helderheidsverschil te kunnen vaststellen.

Waar het in de practijk van de röntgenographie in den regel gaat om de beoordeeling van contrasten van vlakken, die met min of meer scherpe grenzen dicht aan elkaar raken, zal dus als algemeene maat voor een duidelijk contrast een zwartingsverschil van ongeveer 0.075 mogen gelden. Deze duidelijkheid is eerder een minimum dan een maximum; zij is echter zeker zoo groot, dat ieder dit contrast op het eerste gezicht zonder inspanning waarneemt. Het spreekt dus vanzelf, dat het gewenscht is, overal waar zulks mogelijk is, de zwartingsverschillen nog op te voeren om het contrast nog opvallender te maken.

Wanneer de contrast-eisch van een röntgenopname beperkt is tot een enkelvoudig contrast, dan is het dus voldoende als het object minstens een zwartingsverschil van 0.075 bezit. Gewoonlijk zal men echter in dit geval een veel grooter zwartingsverschil trachten te bereiken om de duidelijkheid te vergrooten.

Wanneer in een ander geval een differentiatie van de contrasten wordt geëischt, zal het zwartingsverschil van de schaduwen van die objectdeelen, die duidelijk onderscheiden moeten worden, ongeveer 0.075 moeten bedragen.

Zou men aannemen, dat de differentiatie die men wenscht waar te nemen in de objectdeelen moet overeenkomen met een dikteverschil van 1 m.M. Al., dat dus verschillen in dikte van 1 m.M. door duidelijke contrasten zouden zijn aangeduid en wel voor een gebied van 0—15 m.M. Al., dan zou de contrastcurve van een dergelijke opname een rechte lijn zijn van het 0-punt af tot de absis-waarde van 15 m.M. Al., terwijl de stijging van de lijn een zoodanige zou zijn, dat de ordinaten per m.M. Al. 0.075 verschillen.

Franke [1]) meent, dat een dergelijk verloop van de contrastcurve ideaal is. Ik ben het daarmee niet eens. Als men over een groot gebied een differentiatie wenscht, zal in 't algemeen de voorkeur gegeven worden aan een sterker differentiatie in het gebied van

---

[1]) *Franke H.* Einige Betrachtungen über die photographische Grundlagen des Röntgenbildes. Fortschr. Geb. d. R. Bnd. 33. Heft I. Bladz. 117. 1925.

de dunne objectdeelen dan in dat van de dikkere, resp. dichtere. Als b.v. over een gebied overeenkomende met 0—15 m.M. Al, een differentiatie wordt gevraagd, zal men liefst van 0—5 m.M. een grooter contrast per m.M. Al. hebben dan van 10—15 m.M. Een zeker gering dikte-verschil is bij dunne objecten veel belangrijker dan bij dikke. Ik meen dus, dat de ideale contrast-curve niet een rechtlijnig verloop moet hebben, maar in het begin een iets grooter stijging moet vertoonen dan op het einde.

Wij mogen veilig aannemen, dat de grenzen, waarbinnen in de practische röntgenographie een differentiëering van het object door duidelijke contrasten wordt gevraagd, overeenkomt met een gebied van 10 à 15 m.M. Al. De ideale contrast-curve, die als norm moet dienen voor de beoordeeling van de contrast-curven der verschillende opnamen, zal dus over een object-gebied van 0 tot 10 à 15 m.M. Al. een zoodanig verloop moeten vertoonen, dat in het begin per m.M. Al. het contrast grooter is dan 0.075, in het midden ongeveer gelijk aan deze waarde en op het einde kleiner.

Een dergelijke curve zal dus van het begin tot het eind geleidelijk minder steil verloopen. Zij is de uitdrukking van een *duidelijke* en *harmonische* differentiatie der contrasten.

De differentiatie is *duidelijk*, wanneer de dikte- of dichtheids-verschillen, die in het object goed onderscheiden moeten kunnen worden, ook duidelijke contrasten hebben in het beeld.

De differentiatie is *harmonisch*, als er een juiste verhouding van de contrasten is in het gebied der objectdeelen met kleine en met groote dikte, resp. dichtheid, dat dus de differentiatie van de contrasten op een harmonische wijze geleidelijk afneemt van de geringste tot de grootste dikte, resp. dichtheid.

Wij hebben hiermede naast den eisch van de duidelijkheid ook nog die van harmonie gesteld, waarvoor evenmin een objectieve maatstaf is aan te leggen. De contrastcurven, die aan deze eischen beantwoorden, moeten dan ook als een gemiddelde uit een groot aantal waarnemingen gezocht worden. Juist om het subjectieve in de waardeering van deze eigenschappen der contrastcurven hebben wij uit onze waarnemingen niet alleen het gemiddelde, maar ook de grenswaarden weergegeven in de drie curven, die wij als normen voor de beoordeeling van de contrast-qualiteiten van onze opnamen zullen gebruiken. (Tafel 30)[1]) Deze *normaal-curven* zijn

---

[1]) De curven vallen samen met bepaalde gemeten contrastcurven. Om enkele voorbeelden te noemen:
Curve I met een opname Zo 1.1 Serie C. Groep b. hardheid 88 KV. (niet geteek.)
Curve II met een opname Zo 1.0 Serie D. Groep b. hardheid 88 KV. (niet geteek.)
Curve III met een opname Zo 1.2 Serie A. Groep b. hardheid 66 KV. tafel 6.
Het zijn dus geen „fantaisie"-curven. Zij komen in werkelijkheid voor.

op dezelfde wijze en op gelijke schaal geteekend als de uitgemeten contrastcurven.

De curve I beantwoordt aan hooge eischen van duidelijke differentiatie; curve III geeft het minimum, dat nog een bevredigenden indruk maakt; daartusschen ligt curve II, als een goed gemiddelde. Alle curven voldoen gelijkelijk aan de eischen van een harmonische differentiatie. In het begindeel bedragen de contrasten van deze curven ongeveer 0.100 tot 0.150 per mM. A1.; in het midden 0.050 - 0.075 per mM. A1.; op het eind bij 12 mM. A1. 0.025 tot 0.050 per mM. A1.

Wij zijn ons goed bewust van de betrekkelijke waarde van deze normaal-curven, maar meenen eenerzijds, dat een dergelijke maatstaf noodig is voor een vlotte beoordeeling van de contrast-qualiteiten van de verschillende opnamen; anderzijds, dat onze bepaling uit een zoo groote verscheidenheid van waarnemingen, waarbij alle practisch mogelijke contrastcurven beoordeeld konden worden, voldoende waarborg geeft, dat de door ons opgestelde normen voor het doel bruikbaar zijn.

HOOFDSTUK III

DE CONTRASTEN VAN DICHTE EN DUNNE OPNAMEN

De eerste variabele bij onze proeven was de *„belichting"*, het produkt I. $t.^{p}$, in casu dus de factor t, d. i. de belichtingsduur, omdat de factoren I. en p. constant gehouden werden. Verschil in belichting geeft, bij overigens gelijke omstandigheden, verschil in grondzwarting. In het dagelijksch leven spreken wij gewoonlijk van dichte en dunne foto's, doelende op een groote of kleine grondzwarting. Over het algemeen wordt veel te weinig rekening gehouden met het verband tusschen deze algemeene dichtheid, deze grondzwarting en de contrasten, zeer ten nadeele van de röntgenographische techniek.

Aan de hand van de contrastcurven zullen wij dit verband nagaan en aantoonen, welke voordeelen dichte opnamen voor de contrastqualiteiten hebben.

Een vluchtige blik op de tafels is reeds voldoende om te zien, dat onder alle omstandigheden de dunne opname geringer contrasten heeft dan de dichte. Bij toenemende grondzwarting wordt de differentiatie der contrasten in alle gebieden beter, de contrastcurve verloopt steeds steiler. Vooral in het gebied der sterk absorbeerende objectdeelen is bij de dunne opnamen de differentiatie uiterst gering.

Door de grondzwarting op te voeren kan men echter niet alleen de onderscheidenheid der contrasten in het gebied der dunne objectdeelen nog aanmerkelijk verbeteren, maar ook de schaduwen van de sterk absorbeerende deelen behoorlijk gedifferentiëerd op de film krijgen. Men vergelijke de contrastcurven van de dunne en dichte opnamen bij 2 × 2 c.M. water en 2 × 4 c.M. water met 2 folies (Tafel 1, 2, 3, 4 en 5, 6, 7, 8). Bij een grondzwarting van 0.5 of 0.7 is het curve-verloop boven de 6 m.M. Al. zeer weinig stijgend, bij een grondzwarting van 1.2 daarentegen veel meer.

Ook bij alle opnamen, waar de inwerking der strooistraling is voorkomen, Serie C en D, verloopt de contrastcurve van de dunne opnamen in het gebied boven de 6 m.M. Al. zeer vlak.

Bij toenemende grondzwarting neemt in 't algemeen de stijging toe en bereikt men in het gebied boven de 6 m.M. Al. ten slotte ook een zeer goede differentiatie.

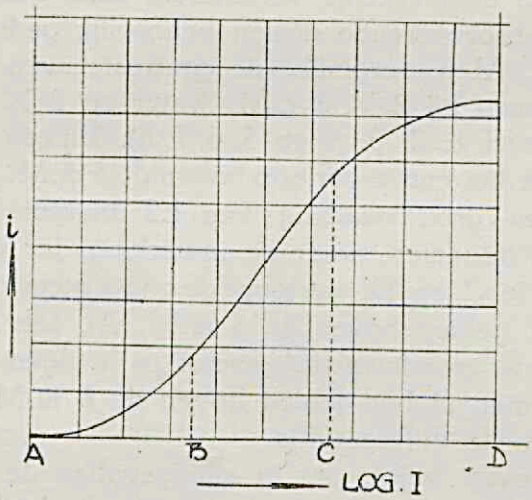
Uit alle proeven blijkt, dat in alle gevallen de dichtere foto's de voorkeur moeten verdienen boven de dunne, want een vergrooting van de contrasten over het geheele object-gebied kan nooit een nadeel zijn.

De dichte foto eischt echter langere belichting. Er zijn vele gevallen in de röntgenographische techniek, waarbij het van belang is den belichtingsduur zooveel mogelijk te bekorten. Men zal in die gevallen eerst moeten uitmaken, bij welke minimum grondzwarting voor het bepaalde geval voldoende contrast wordt bereikt. Hierdoor wordt dan de kortste belichtingstijd bepaald.

Er zijn echter nog andere omstandigheden, die ons dwingen de grondzwarting niet te hoog op te voeren. De grens wordt bepaald door een verschijnsel, dat wij thans nader zullen beschouwen.

Zooals reeds werd opgemerkt, geldt de regel, die wij aangenomen hebben om de verhouding van licht-intensiteit tot licht-gewaarwording te bepalen, slechts voor prikkels van middelmatige sterkte. Hoe groot deze „middelmatige" prikkelsterkte mag zijn, hangt tot zekere hoogte af van den prikkelbaarheidstoestand van het oog, maar de breedte van dit gebied van „middelmatige" prikkelsterkte is binnen zekere grenzen onafhankelijk daarvan en juist deze waarde is een van de factoren, die de maximale grondzwarting bepalen. Wanneer men voor een sterke lichtkast een film beschouwt, die over een groote breedte fijn gegradueerde zwartingsverschillen heeft, dan zal men waarnemen, dat eenerzijds de differentiatie van de schaduwen met groote zwarting, anderzijds die van de schaduwen met geringe zwarting, niet zoo duidelijk is, als zij kan wezen bij een andere belichting. Bij een grootere lichtsterkte van de lichtkast komt de differentiatie in de vlekken met groote zwarting veel beter uit, bij verzwakking van de lichtkast wordt in het gebied der dunne schaduwen de onderscheidenheid duidelijker.

FIG. 6.



Wij kunnen dit aan de graphische voorstelling van fig. 6 duidelijk maken. Op de absis is de logarithme van de licht-

intensiteit I afgezet; op de ordinaat de grootte van de lichtgewaarwording (helderheid) i. De curve geeft de verhouding van deze beide grootheden weer. In het begindeel ab. neemt de stijging geleidelijk toe, in het einddeel cd. weder af; in het middenstuk bc. is dus de differentiatie van de lichtindrukken het best en tevens gelijkmatig, want alleen over dit gebied zijn voor gelijke verschillen in de logarithmische waarde van de lichtsterkte ook de verschillen in de helderheid gelijk.

Overgebracht op ons geval van diapositieven bij één gelijkmatige sterkte van de lichtkast beschouwd, beteekent dit dus, dat alleen over dit gebied (bc.) bij gelijke verschillen van zwarting ook de grootste, en tevens gelijke verschillen in de helderheid bestaan; in andere woorden: over dit gebied zien wij de zwartingsverschillen het best en tegelijk evenredig.

De breedte van dit gebied kan alleen bij benadering worden bepaald, omdat het op een schatting van de grootte der lichtindrukken berust. Bovendien is de overgang van dit gebied in de aangrenzende (zie curve fig. 6) zoo geleidelijk, dat van een scherpe grens in geen geval sprake kan zijn.

Uit een groot aantal waarnemingen van mijn opnamen, heb ik getracht het verschil vast te stellen tusschen de grootste en de kleinste zwarting, die het gebied begrenzen, waarbinnen gelijke verschillen van zwarting duidelijk en gelijkmatig gezien worden. Dit verschil bedroeg gemiddeld 1.0 tot 1.2. Dat wil dus zeggen, dat bij de voor een bepaalden prikkelbaarheidstoestand van het oog optimale belichting een contrast-breedte van ongeveer 1.2 het maximum bedraagt, waarvoor gelijke zwartingsverschillen ook ongeveer gelijke contrasten geven.

Ook volgens onderzoekingen van Hering [1]) is het gebied waarvoor de contrasten zoo groot mogelijk en tevens evenredig met de logarithmische waarde der lichtintensiteiten zijn, begrensd door een verhouding van de lichtsterkte van ongeveer 1 : 16. Voor ons geval beteekent dit een zwartingsverschil van 1.2 als uiterste begrenzing van de boven bedoelde maximale contrastbreedte met de grootste en gelijkmatigste contrasten.

Volgens Franke [2]) zou uit de onderzoekingen van Goldberg [3]) volgen, dat deze contrastbreedte zou overeenkomen met een zwartingsverschil van 1.5 (verhouding van de lichtsterkte 1 : 30). Deze conclusie van Franke is echter niet geheel juist.

---

[1]) *Hering* l.c. bl. 98 fig. 17.

[2]) *H. Franke* l.c.

[3]) *E. Goldberg.* Der Aufbau des photographischen Bildes. Enzyklopedie der Photographie. Heft 99. Bl. 12.

Het onderzoek van Goldberg heeft alleen betrekking op de eischen van het gewone licht-photographische beeld en in 't bijzonder op de vraag, onder welke voorwaarde het beeld de werkelijk waargenomen helderheidsverschillen „natuurgetrouw" weergeeft. De röntgenographie stelt geheel andere eischen voor de contrasten dan de gewone photographie, omdat de verhouding tusschen beeld en object hierbij geheel anders is. De contrastbreedte, die Goldberg bedoelt, als hij spreekt van een waarde van 1.5, is dan ook een andere dan die welke wij bedoelen, want hij verlangt niet, dat over deze breedte de verschillen in helderheid evenredig blijven met de logarithme der lichtsterkte. Zijn getal is daarom iets hooger dan het onze.

Wanneer wij nu dit beginsel gaan toepassen op de röntgenopnamen, dan komen wij tot de gevolgtrekking, dat in 't algemeen de contrastbreedte, waarvoor een goede differentiatie vereischt wordt, hoogstens 1.2 mag bedragen. Hoe groot nu de algemeene dichtheid, de grondzwarting, van de film mag zijn, hangt van den aard van de opname af.

Alleen bij de opnamen met zeer weinig strooistralensluier, dus lichaamsdeelen van geringe dikte of bij gebruik van strooistralenfilters (Potter-Bucky-diaphragma), is de helderste vlek van het beeld ongeveer van een zwarting nul, zoodat het zwartingsverschil tusschen de dichtste en de dunste vlek d.i. de contrastbreedte, ook ongeveer gelijk is aan de waarde van de grondzwarting.

De maximale zwarting van zoo'n film moet dus in het beeld van het object [1]) ongeveer 1.2 zijn, wanneer over een zoo groot mogelijk gebied de differentiatie van de schaduwvlekken zoo duidelijk en zoo gelijkmatig mogelijk moet zijn.

Bij alle opnamen, waarbij de strooistralen min of meer sterk inwerken, zijn de helderste schaduwen min of meer gesluierd. De grondzwarting is dus grooter dan het grootste verschil in zwarting in het beeld van het object. Wanneer wij dit verschil, d.i. dus de contrastbreedte, willen opvoeren tot de waarde 1.2, zou de grondzwarting hooger moeten zijn en wel meer naarmate de strooistralensluier dichter is.

Bezien wij de tafels van de serie A (2 folies, strooistraling door

---

[1]) Wij bedoelen hier altijd de grondzwarting in 't beeld van het object, dus bij een longfoto, in 't longveld; bij een schedel, in 't schedelbeeld. De zwarting buiten het objectbeeld is ons onverschillig. Zij zal meestal aanzienlijk hooger zijn. Zoo zal bij een foto van de borstwervels, die in het wervelbeeld een voldoende contrast-differentiatie heeft, de zwarting in de longvelden zoo groot zijn, dat geen enkel detail daarin zichtbaar is, tenzij bij uitermate krachtige doorlichting. De longvelden liggen hier buiten het object in engeren zin en daarom wordt hun zwarting verwaarloosd.

2 × 2; 2 × 4 en 2 × 6 cM. water) dan blijkt, dat bij 2 × 2 cM. water, dus bij geringe inwerking van de strooistralen en bij weeke stralen, (Tafel 1) een grondzwarting van 1.2 reeds een contrastbreedte van ongeveer 1.1 geeft. Bij de iets hardere opnamen van deze reeks (66 KV. 77 KV. max. sp. resp. Tafel 2 en 3) is ook nog bij een grondzwarting van ongeveer 1.2 een contrastbreedte van 1.0 - 0.9 te bereiken, bij de hardste opname met 2 × 2 water (88 KV. max. sp. Tafel 4) is dit reeds minder dan 0.9.

In de volgende groep (2 × 4 cM. water) wordt de inwerking der strooistraling reeds beduidend. De helderste schaduwvlek is daardoor reeds min of meer sterk gesluierd en zelfs bij de grondzwarting 1.5 bereikt men met de weekste straling (55 KV. max. sp. Tafel 5) nog niet een contrastbreedte van 0.9. Bij de hardste straling in deze reeks (88 KV. max. sp. Tafel 8) heeft een film met 1.5 grondzwarting ongeveer 0.7 contrastbreedte.

In de 3e groep (2 × 6 cM. water) is de inwerking der strooistralen nog sterker en daalt daardoor de waarde der contrastbreedte nog meer in verhouding tot de grondzwarting. Filmen met een grondzwarting van 1.5 hebben een contrastbreedte tusschen 0.8 (bij 55 KV. max. sp.) en 0.6 (bij 88 KV. max. sp.) Voor de opnamen van de serie B. (zonder folie, strooistraling door 2 × 2, 2 × 4 en 2 × 6 cM. water) zijn in alle gevallen de verhoudingen tusschen grondzwarting en contrastbreedte aanmerkelijk ongunstiger dan in de overeenkomstige gevallen van serie A., vooral bij de opnamen met 2 × 4 en 2 × 6 cM. water. Bij de eerste geeft een grondzwarting van 1.5 contrastbreedten tusschen 0.7 en 0.5 voor de weekste en de hardste straling; bij de laatste is bij een grondzwarting van 1.5 met weeke straling juist een maximaal contrast van 0.55, bij de harde straling van 0.45 te bereiken.

In serie C. en D. (voorkoming van strooistralen-inwerking) is, zooals reeds gezegd werd, het grootste contrast gelijk aan de waarde van de grondzwarting; een opname met een grondzwarting van 1,2 heeft dus een contrastbreedte van 1.2, omdat hier alle strooistralen-inwerking is voorkomen.

In de praktijk, waar de voorkoming van de strooistralen-inwerking geschiedt door een Bucky-Potter diaphragma, is het effect nooit 100 %. Er blijft altijd een geringe strooistralensluier, zoodat er steeds eenig verschil bestaat tusschen de contrastbreedte en de grondzwarting. Practisch is dit verschil echter onbeteekenend.

Wij komen nu op de vraag, welke contrastbreedte bij een goed gedifferentiëerde opname vereischt wordt. Onze normaalcurven (Tafel 30) geven waarden van 0.7 tot 1.1 met een gemiddelde van 0.9 (curve II). Wij blijven hiermede dus nog beneden het bereikbare maximum van 1.2.

Uit de tafels zien wij, dat deze gemiddelde waarde van 0.9 in de serie A. bij alle opnamen met strooistralen-inwerking door 2 × 2 cM. water te bereiken is zonder dat de grondzwarting hooger dan tot 1.2 behoeft te worden opgevoerd.

Bij de groep opnamen met 2 × 4 cM. water is zelfs met de weekste straling (55 KV. max. sp.) de contrastbreedte van 1.0 nog niet bij 1.5 grondzwarting te bereiken, terwijl bij de harde opnamen (88 KV. max. sp.) bij deze grondzwarting het grootste contrast slechts 0.7 bedraagt.

Onder de omstandigheden van deze groep is dus bij 55 KV., 66 KV. en 77 KV. max. sp. en een grondzwarting van ongeveer 1.5, hoogstens een contrastbreedte van ongeveer 0.9 tot 0.8 te bereiken, welke waarde in 't algemeen voldoende geacht kan worden. Alleen met de harde straling van 88 KV. max. sp. zou de grondzwarting iets hooger opgevoerd moeten worden dan 1.5 om tot dergelijke waarden te komen.

In de groep opnamen met de sterkste filtering en strooistralen-inwerking (2 × 6 cM. water) is de verhouding van grondzwarting en contrastbreedte reeds zoo ongunstig, dat alleen met de weeke straling (55 KV. max. sp.) de waarde van 0.8 voor het maximale contrast bereikt wordt bij een grondzwarting van 1.5. In alle andere opnamen zou deze laatste min of meer aanzienlijk moeten worden opgevoerd om tot een contrastbreedte van 0.8 te geraken.

Wanneer geen folies worden gebruikt (serie B.) is bij 2 × 2 cM. water de contrastbreedte van 0.9 bij een grondzwarting van ongeveer 1.5 zelfs met de harde stralen te bereiken. Is het waterfilter dikker (2 × 4 en 2 × 6 cM. water) dan wordt de verhouding van grondzwarting en contrastbreedte weder zoo ongunstig, dat in alle gevallen, zelfs met een weeke straling en grondzwarting van 1.5, een contrastbreedte van 0.8 niet kan bereikt worden.

Uit het bovenstaande volgt, dat in een groot aantal gevallen een grondzwarting van 1.5 meer of minder voldoende is om een flinke contrastbreedte (1.0 tot 0.8) te bereiken en wel in de serie A. in de geheele groep a. (2 × 2 c.M. water); in de groep b (2 × 4 c.M. water) bij 3 hardheden (55 KV., 66 KV., 77 KV. max. sp.) en in de groep c. (2 × 6 c.M. water) bij de weeke 55 KV. max. sp. opname. In de serie B. in alle gevallen van de groep a. (2 × 2 c.M. water).

Daarentegen is bij de opname in serie A. groep b., hardheid 88 KV. max. sp. groep c., hardheid 66, 77 en 88 KV. max. sp. en Serie B. de heele groep b. en c. bij een grondzwarting van 1.5 nog geen contrastbreedte van ongeveer 0.9 bereikt.

De vraag rijst nu, of het mogelijk is in deze gevallen door opvoering van de grondzwarting, een betere contrastbreedte te be-

reiken en het antwoord luidt: slechts in zeer beperkte mate. Om dit aan te toonen, moeten wij uitgaan van het bekende feit, dat de kromme, die de zwarting als functie van de „belichting" (dus b v. van den belichtingsduur bij gelijke intensiteit) zoowel voor licht als voor röntgenstralen in het begin sterker stijgt dan in het verdere verloop. Bij een zwarting van ongeveer 1.2 vertoont de curve voor beide soorten stralen een geleidelijke verandering die daarin bestaat, dat beneden deze waarde de zwarting bij benadering evenredig met den belichtingsduur toeneemt, terwijl daarboven de toename evenredig met de logarithme van den belichtingsduur geschiedt. [1]) Dat wil dus zeggen, dat boven de waarde 1.2 de zwarting veel langzamer toeneemt dan daaronder. Voor de verhouding van contrastbreedte en grondzwarting heeft dit de volgende beteekenis. De contrastbreedte is het verschil van grondzwarting en strooistralenzwarting. (Z_o en Z_s). Wanneer de grondzwarting laag is, nemen Z_o en Z_s ongeveer evenredig toe. Wordt de waarde van Z_o grooter, dan gaat deze evenredigheid steeds meer verloren, omdat Z_s veel kleiner is dan Z_o, en de kleine zwartingen sneller toenemen dan de grootere. Bij gelijke toename van de grondzwarting, wordt de relatieve toename van Z_s dus steeds grooter, de relatieve toename van de contrastbreedte steeds kleiner. De overgang is een geleidelijke, maar in 't algemeen kunnen wij wel zeggen, dat juist in de gevallen, waar het wenschelijk zou zijn de grondzwarting zoo hoog mogelijk op te voeren om een betere contrastbreedte te krijgen (dikke weefsellaag om het object, — in onze proeven dikke waterlaag), de toename van de contrastbreedte zeer gering wordt, als de grondzwarting boven de 1.5 stijgt.

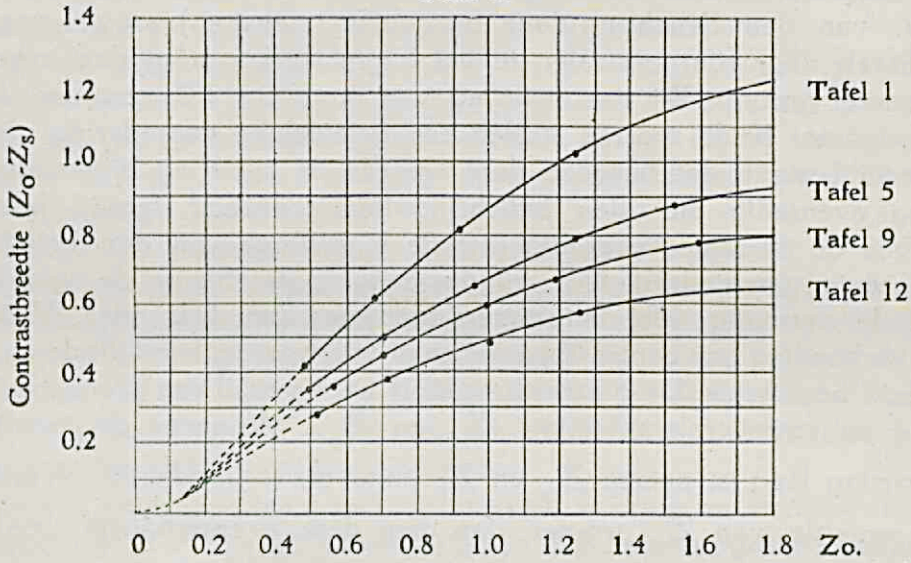
De juistheid van deze conclusie wordt aangetoond door de curven van fig. 7, die de contrastbreedten als functie van de grondzwarting aangeven voor de opnamen van: Tafel 1 (2 folies, 2 × 2 cM. water, 55 KV.) Tafel 5 (2 folies, 2 × 4 cM. water, 55 KV.) Tafel 9 (2 folies 2 × 6 cM. water, 55 KV.) en Tafel 12 (2 folies 2 × 6 cM. water, 88 KV.) Wij zien, dat bij alle curven de toename van de contrastbreedte tot ongeveer $Z_o = 1.2$ evenredig met de grondzwarting geschiedt. Boven deze waarde worden de curven vlakker, en wel steeds meer, naarmate de dikte van de waterlaag toeneemt of de primaire straling harder wordt.

Uit de curven van figuur 7 blijkt, dat in de gevallen waar, bij een grondzwarting van 1.5, reeds een zeer voldoende contrastbreedte bereikt is en waar dus een opvoering van de grondzwarting

[1]) *Glocker* l. c. bladz. 104 e. v.

niet noodig is, hierdoor nog wel een flinke vergrooting van de contrastbreedte te bereiken zou zijn (curve Tafel 1, fig. 7, heeft

FIG. 7.



ook voorbij $Z_o = 1.5$ nog een goede stijging). In de gevallen echter, die bij $Z_o = 1.5$ een onvoldoende contrastbreedte hebben, geeft de opvoering van de grondzwarting in 't algemeen relatief te weinig verbetering van de contrastbreedte en wel des te minder, naarmate het meer gewenscht is.

De eenvoudige conclusie uit deze beschouwing is dan, dat in 't algemeen een grondzwarting van 1.2 tot hoogstens 1.5 de optimale waarde is.

De sterkte van de lichtkast om filmen van deze grondzwarting zoodanig te doorlichten, dat in de schaduwvlekken met groote zwarting (dus van dunne objectdeelen) reeds dezelfde differentiatie te zien is als in de schaduwen van geringe zwarting m.a.w. dat de log. der lichtsterkte, die van de zwartste schaduwvlekjes het oog bereikt, minstens de waarde ab. heeft van de graphische voorstelling der fig. 6 is reeds zoo groot, dat bij een adaptatietoestand van het oog voor zwakke kunstverlichting, waarbij lezen goed mogelijk is, d.i. de normale verlichting van de kamer, waarin de beoordeeling van de röntgenopnamen geschiedt, het onverzwakte licht van de kast reeds eenigermate hinderlijk is. [1])

Met een film van een grondzwarting van hoogstens 1.5 zijn wij dus ook in dit opzicht aan de grens van het goede. Neemt men hooger waarde van de grondzwarting, dan is bij die lichtkaststerkte

[1]) Ik gebruik lichtkasten type Kodak met een Philips-argentalamp van 150 W. en melkglas lichtvlak van 30 × 40 c.M. Dit licht is juist voldoende sterk voor filmen met een grondzwarting van ongeveer 1.3 tot 1.4.

de differentiatie in het gebied der groote zwartingen (schaduwen van dunne objectdeelen) onvoldoende door onvoldoende doorlichting.

Als men dus op deze wijze beperkt is in de waarde van de grondzwarting, dan beteekent dit, dat men ook beperkt is in de contrastbreedte al naar gelang de omstandigheden van de opname. Bij onze objecten zal men dan bij 2 × 6 c.M. water 55 KV. max. sp. 2 folies (Tafel 9) hoogstens een contrastbreedte van 0.8 en bij 88 KV. max. sp. (Tafel 12) van 0.6 kunnen bereiken. Als geen folies worden gebruikt, zijn deze waarden zoo belangrijk ongunstiger, dat zij ver beneden den minimum eisch voor een goede contrastbreedte vallen.

Een lichtkast, die opnamen met een grondzwarting van 1.5 nog tot in de dichtste schaduwen doorlicht, behoort al tot de zeer sterke lichtkasten.

De gebruikelijke exemplaren, die in den handel verkrijgbaar zijn. worden gewoonlijk niet voor zulke groote lichtsterkten geconstrueerd. Een zwakkere lichtkast vraagt dunnere opnamen. Verschillende typen, die regelmatig in Röntgen-instituten gebruikt worden, laten geen hoogere grondzwarting toe dan 0.7 tot 0.9. Men moet zich dan tot gewoonte maken dunne opnamen te vervaardigen, wat steeds een aanmerkelijk verlies aan contrast-qualiteiten beteekent.

Opvallend is, dat men daarbij ook zeer gemakkelijk overgaat tot een steeds grootere hardheid van straling. Immers bij dunne foto's is het verschil in de contrast-curve van weeke en harde opnamen niet groot.

Vergelijkt men bijv. de curve van Tafel 5 (2 × 4 c.M. water, 2 folies 55 K.V. max. sp.) met die van Tafel 6 en 7 (resp. 66 en 77 K.V. max. sp.) dan is duidelijk waar te nemen, dat in het gebied der dunne opnamen met grondzwarting 0.5 tot 0.7, het curve-verloop weinig verschilt, terwijl bij de dichte foto's met grondzwartingen van 1.0 tot 1.5 de verschillen in het verloop der contrastcurve zeer groot worden.

Wie dus gewoon is dunne opnamen te maken, zal de belangrijke contrast-verschillen van een harde en een weeke opname niet beseffen en dus geneigd zijn zeer ver naar de „hardstraal-techniek" over te hellen. Hij zal om een dubbele reden (weinig zwarting en harde straling) zeer korte tijden kunnen maken; wel tot 10 maal korter dan de collega, die van hetzelfde object weeke opnamen met groote grondzwarting vervaardigt. Deze laatste heeft echter, dank zij zijn gewoonte om foto's met groote grondzwarting te maken, die voor een sterke lichtkast bij goede adaptatie worden bekeken, altijd de gelegenheid de groote verschillen tusschen weeke en harde foto's te zien. Zelfs zeer geringe verschillen in hardheid vallen hem onmiddellijk op, omdat deze bij dichte filmen betrekkelijk sterk

uitkomen. (Vergelijk bijv. Tafel 5 en 6 verschil in hardheid 11 KV. max. sp.)

Met een enkel woord willen wij er hier reeds op wijzen, dat hierin gedeeltelijk de verklaring gezocht kan worden van het zeer zonderlinge feit, dat in den laatsten tijd door zeer vele röntgenologen de z.g. hardstraal-techniek naar voren wordt gedrongen. Wij komen hierop in het volgende hoofdstuk terug.



HOOFDSTUK IV

DE INVLOED VAN DE HARDHEID OP DE CONTRASTEN

De invloed van de hardheid der primaire röntgenstraling op de contrasten laat zich gemakkelijk beoordeelen door vergelijking der contrastcurven.

In alle series van onze proeven is het verschil tusschen de weeke en harde opname principieel gelijk. De weeke foto heeft een grootere differentiatie voor de schaduwen der dunne objectdeelen dan voor die der dikkere, terwijl bij toenemende hardheid dit verschil kleiner wordt. De weeke contrastcurve is dus in 't begindeel steiler dan op 't eind, de harde nadert tot de rechte lijn.

Wil men in bijzonderheden den invloed van de hardheid op de contrastqualiteiten bepalen, dan zal men rekening moeten houden met het feit, dat deze invloed afhankelijk is van verschillende andere factoren, vooral van de dikte van het filtreerend en verstrooiend weefsel om het object, van de toepassing van versterkingsfolies en van het al of niet gebruik van een strooistralenfilter.

Wij zullen ons in dit hoofdstuk beperken tot de beschouwing van den invloed van de hardheid op het contrast in verband met de beide eerst genoemde factoren. In een afzonderlijk hoofdstuk zullen wij de gevolgen van de toepassing van het strooistralenfilter bespreken. Het gaat hier dus om een vergelijking van de opnamen uit de series A. en B.

Elke röntgenstraling, ook de hardste, is een mengsel van stralen van verschillende golflengte. Door een verhooging van de spanning verschuift de kortste golflengte en het intensiteitsmaximum in het röntgenspectrum zich in de richting van de kortere golflengte. Door deze verschuiving wordt de verhouding van de weeke stralen tot de harde wel gewijzigd maar ook de hardste diagnostiekstraling, die wij gebruikten (88 KV. max. sp.) blijft nog veel weeke stralencomponenten behouden.

Dit verklaart de bekende waarneming, dat zelfs de hardste diagnostiekstraling in staat is van zeer dunne objecten duidelijk contrasteerende schaduwen te geven, wanneer zij ongefiltreerd op de film kan inwerken. Het is gemakkelijk van dunne bladeren fraaie beelden op een film te krijgen met een straling van de hardheid van 90 KV. max. sp.

Geheel anders wordt dit, wanneer, zooals in de practische röntgenographie steeds het geval is, de straling min of meer gefiltreerd wordt, voordat zij de film bereikt. De weeke componenten

worden dan relatief meer geabsorbeerd dan de harde, zoodat bij toenemende dikte en dichtheid van het object en zijn omgeving meer harde en minder weeke stralen op de gevoelige laag inwerken, waardoor de contrasten aanzienlijk verminderen. Wanneer wij dezelfde dunne bladeren in een bak met 10 cM. water leggen en dan daarvan een opname bij 90 KV. max. sp. maken, is er van een beeld niets te zien.

Door de proeven kunnen wij dit verschijnsel demonstreeren met de vergelijking van de opnamen, die bij gelijke maximale spanning maar verschillende dikte van watermassa's vervaardigd zijn. De contrastcurven van serie A. groep a Tafel 1 (2 × 2 cM. water bij 55 KV. max. sp.) en serie A. groep c Tafel 9 (2 × 6 cM. water bij 55 KV. max. sp.) vertoonen een zeer typisch verschil in verloop. Vooral in het gebied van 0—12 mM. Al. naderen de curven van Tafel 9 tot de rechte lijn, terwijl die van tafel 1 een vrij sterke kromming vertoonen, dus in 't begindeel steiler verloopen dan op 't einde. Dit verschil ontstaat door het verschil n filtreering (2 × 2 en 2 × 6 cM. water) met de daaruit voortvloeiende verandering in de verhouding van de weeke en harde stralencomponenten.

De invloed van de filtreering op de contrastcurve gelijkt op die, welke door toename van de hardheid optreedt, maar wijkt toch in een enkel opzicht typisch daarvan af. Om dit duidelijk te maken. vergelijken wij de opnamen, die met een weeke straling en een dik waterfilter (2 × 6 c.M. water) gemaakt zijn (serie A, groep c, Tafel 9) met die welke met een harde straling en zeer weinig water vervaardigd werden. In het eene geval werkt dus een sterk gefiltreerde weeke straling, in 't andere een weinig gefiltreerde harde straling op de film in. Tot ongeveer 12 m.M. Al. is de differentiatie afgezien van de ongelijke grondzwarting, zeer overeenstemmend, maar daarna komt het verschil. Terwijl de weeke, sterk gefiltreerde straling na de 12 m.M.Al. slechts weinig differentiatie meer geeft, is bij de weinig gefiltreerde harde straling nog een belangrijke stijging in het deel van de contrastcurve voorbij de 12 m.M.Al., waar te nemen.

De verklaring van dit karakteristiek verschil ligt voor de hand. De hardste componenten uit het mengsel van de weeke straling zijn niet hard genoeg, om nog door objecten dikker dan 12 m.M.Al. heen te dringen; er kan dus geen differentiatie komen boven de 12 m.M. Al., terwijl de harde straling niet alleen veel hardere stralencomponenten bezit maar bovendien minder gefiltreerd wordt, zoodat gemakkelijk ook van de objectsdeelen dikker dan 12 m.M.Al. een gedifferentieerd beeld verkregen kan worden.

Niet alleen de filtreerende, maar ook de verstrooiende werking

van de doorstraalde weefsels moet beschouwd worden in verband met de hardheid der primaire straling. In het 6e hoofdstuk zal dit in bijzonderheden worden nagegaan; nu bepalen wij ons tot de meer algemeene beschouwing van den invloed van de filtreering en verstrooiing samen op de contrastqualiteiten van het beeld in verband met de hardheid van de primaire straling en wel eerst voor de opnamen vervaardigd met twee versterkingsfolies (serie A) en daarna voor de reeks, waarbij deze zijn weggelaten (serie B).

In de groep a van deze reeks (2 × 2 c.M. water) is het curveverloop, d.i. de differentiatie der contrasten, voor opnamen van voldoende grondzwarting over het algemeen gunstig. De weeke opname van 55 K.V. max. sp., (Tafel 1) vertoont bij een grondzwarting van 1.2 vooral in 't begindeel der curve zeer gunstige verhoudingen; tot ongeveer 8 m.m.Al. zijn de contrasten zelfs beter dan de normaal curve I aangeeft, daarna komen zij meer overeen met die van de normaal curve II. Bij een geringere grondzwarting wordt nog een zeer voldoende differentiatie bereikt vooral in 't gebied der dunne objecten. Zelfs een opname met een grondzwarting van 0.7 is tot de 8 m.m.Al. nog beter gedifferentieerd, dan de minimum normaal-curve III eischt.

Bij toenemende hardheid wordt het curveverloop langzamerhand gewijzigd. Bij een hardheid van 66 K.V. max. sp. is de lijn van een opname van 1.2 grondzwarting bijna geheel samenvallend met de normaal-curve I (Tafel 2). Zij is dus in het deel beneden de 6 m.m.Al. minder steil dan de overeenkomstige curve bij 55 K.V. max. sp., maar in 't gebied daarboven is de differentiatie beter.

Uit het feit, dat deze opname bijna volkomen aan de eischen van de grootste duidelijkheid en beste harmonie der contrasten, uitgedrukt in normaal-curve I, voldoet, moeten wij besluiten, dat bij de röntgenographie van lichaamsdeelen, die een geringe filtreerende en verstrooiende werking hebben, een zeker optimum van stralenhardheid bestaat, waarbij de meest harmonische en tegelijk duidelijke differentiatie der contrasten wordt verkregen. Opnamen met weekere straling (55 KV. max. sp.) geven minder harmonische contrasten, de differentiatie in het gebied der dunne objectdeelen wordt zeer groot, in dat der dikkere kleiner. Als de röntgenoloog in bepaalde gevallen dezen contrast-eisch stelt, is deze weeke straling dus aangewezen; in het „normale" geval, aangegeven door onze normaal-curven zal echter een iets hardere straling (b.v. 66 K.V. max. sp.) de voorkeur verdienen boven de weeke.

Vergelijken wij nu de opnamen, die bij een hardheid van 77 KV. max. sp. gemaakt zijn met de weekste opnamen van deze groep en met de normaal-curven, dan blijkt allereerst, dat de curven bij 77 KV. max. sp. reeds vrij sterk afwijken van die bij

55 KV. max. sp. in den zin, die voor toename der stralenhardheid karakteristiek is. De differentiatie in het gebied der dunne objectdeelen neemt af, in het gebied der dikkere toe; de curve wordt rechter. Duidelijk blijkt dit bij vergelijking van de Tafels 1 en 3. Ten opzichte van de normaal-curven is ook bij deze hardheid de differentiatie der contrasten zeer voldoende. De opname met grondzwarting 1.2 is in het gebied tot 12 m.M. Al. maar weinig minder steil dan de normaal-curve I, daarboven is zij zelfs iets steiler. De dunnere opname van de grondzwarting 1.0 is nog goed; zij komt grootendeels overeen met normaal-curve II, bij een grondzwarting 0.7 is de differentiatie echter reeds beneden den minimumeisch van normaal-curve III.

Wij zien dus, dat ook bij deze vrij groote hardheid, een opname van behoorlijke grondzwarting (1.2 — 1.0) nog zeer duidelijke en harmonische contrasten kan geven.

Tenslotte de hardste opnamen van deze groep weergegeven op Tafel 4. Ook hier weer dezelfde afwijking in het curve-verloop ten opzichte van de minder harde foto's; alle curven naderen meer tot de rechte lijn. Ten opzichte van de normaal-curven blijkt de opname bij een grondzwarting 1.2 alleen in 't gebied van 6—12 m.M. Al. iets minder steil dan de normaal-curve II te verloopen, overigens is het verloop overeenkomstig deze curve. De opname met een grondzwarting 1.0 valt vrijwel samen met die van de minimum normaal-curve III. De dunnere opname van 0.7 grondzwarting blijft daar ver beneden.

De proeven wijzen dus uit, dat zelfs bij deze harde straling (88 KV. max. sp.) van een lichaamsdeel met weinig filtreerend en verstrooiend weefsel nog opnamen te maken zijn, die bij voldoende zwarting, aan redelijke eischen van contrast voldoen.

Over het algemeen is er uit technische overwegingen zeer weinig reden om bij de röntgenographie van dergelijke weinig absorbeerende lichaamsdeelen een harde straling te gebruiken, omdat zelfs de weeke opname een geringe belichting eischt. Het voordeel van gebruik van harde straling, bestaande uit een verkorting van den belichtingsduur resp. verlaging van de intensiteit, heeft hier slechts een beperkte beteekenis. In 't algemeen zal het dus niet noodig zijn de harde straling te gebruiken. Het is echter van belang, dat wij weten, dat een middelmatige hardheid (b.v. 66 KV. max. sp.) bij deze lichaamsdeelen foto's geeft, die ten opzichte van de eisch van een harmonische differentiatie beter zijn dan opnamen met zeer weeke stralen. In gevallen waar 't er op aankomt de belichtingstijden zooveel mogelijk te bekorten kunnen wij dus de hardheid gerust iets opvoeren zonder de contrastqualiteiten te bederven.

In de groep b (2 × 4 cM. water) serie A is de invloed van de hardheid op het verloop van de contrastcurve grooter dan in de vorige groep (2 × 2 cM. water).

Reeds bij de weekste opname (55 KV. max. sp.) is de curve van 1.2 grondzwarting (Tafel 5) zelfs in het begindeel iets minder steil dan de beste normaal-curve I; in 't einddeel, d.i. voorbij de 6 m.M. Al. wijkt zij zeer sterk van deze curve af en verloopt tenslotte nog vlakker dan de normaal-curve III. Wanneer de grondzwarting wordt opgevoerd tot 1.5 is de differentiatie tot 6 m.M. Al. nog zooveel te verbeteren, dat de curve iets steiler verloopt dan de normaal-curve I, maar na de 6 m.M. Al. nadert zij vrij snel tot een bijna horizontaal verloop (Tafel 5).

De dunnere opname, grondzwarting 1.0 heeft een contrast-differentiatie die tusschen normaal-curve II en III in ligt. Bij de straling van de volgende hardheidsgraad (66 KV. max. sp,) is de contrastcurve van de dichtste film, grondzwarting 1.5, vrijwel samenvallend met de normaal curve II, die van grondzwarting 1.2 loopt tusschen normaal-curve II en III in en die van een grondzwarting 1.0 valt weer geheel samen met normaal-curve III. Zelfs de dichtste opname blijft dus beneden de hoogste normaal-curve.

Ten opzichte van de weekere opnamen is er een verbetering in dien zin, dat de differentiatie over de geheele contrastbreedte harmonischer is, de curven vallen samen met de ontworpen normaal-curven of verloopen gelijkmatig tusschen deze in.

Wanneer dus een harmonische en duidelijke differentiatie over een groot objectgebied gevraagd wordt dan is de hardere opname van 66 KV. max. sp. te verkiezen boven de zachtere van 55 KV. max. sp. Met deze weeke straling kan men echter een grooter onderscheidenheid in het gebied der dunne objectdeelen (beneden 6 m.M.Al.) verkrijgen, maar ten koste van de differentiatie van de dikkere objectdeelen.

Door verandering van de hardheid is echter nooit een zoo duidelijke differentiatie te bereiken, als door de normaal-curve I wordt uitgedrukt. Om aan dezen eisch te voldoen, zou men twee opnamen moeten maken, een weeke, waarop de dunne objectdeelen sterk onderscheiden zijn en een harde met groote differentiatie in de dikkere objectdeelen.

Nog een andere, betere oplossing is althans theoretisch mogelijk en wel door de toepassing van een strooistralenfilter. Zooals wij later zullen zien, kunnen daarmee op zeer eenvoudige wijze uitmuntende contrastqualiteiten bereikt worden. (Bij 2 × 4 c.M. water zal met 88 K.V. max. sp. en gebruik van 2 folies een opname van een grondzwarting 1.1de contrastqualiteiten van normaalcurve I vertoonen.)

Tafel 7 geeft de curven van de opnamen, die bij de hardheid

77 KV. max. spanning gemaakt zijn. Zij wijken juist in tegengestelden zin af van de normaal-curven als die van de weekste foto's (55 KV. max. sp.). In 't begindeel zijn zij minder steil, in 't einddeel steiler.

Het is niet mogelijk bij een normale grondzwarting ($Z_o = 1.2$) met deze hardheid de minimum contrast-differentiatie uitgedrukt in normaal-curve III te bereiken; curve $Z_o = 1.2$ Tafel 7 blijft over 't algemeen daaronder.

Bij 88 KV. max. sp. blijft de contrastcurve van een grondzwarting 1.2 (Tafel 8) ver beneden den laagsten eisch dien wij aan een contrastcurve stelden. Zelfs de dichte opname ($Z_o = 1.5$) bereikt nergens de hoogte van de normaal-curve III.

Uit een en ander mogen wij dus besluiten, dat onder deze omstandigheden van filtreering en verstrooiïng (2×4 c.M. water) het opvoeren van de hardheid boven de 66 KV. max. sp. resultaten geeft, die zelfs aan zeer lage eischen niet kunnen beantwoorden.

De opnamen van groep c (2×6 c.M. water) serie A zijn weder van een eenigszins ander karakter dan die van de vorige groepen; de differentiatie is in 't algemeen geringer, de strooistralensluier is reeds belangrijk. Bij een grondzwarting 1.2 is de zwarting door de strooistralen voor de weekste straling 0.5, voor de hardste 0.7. De foto's hebben dus het typische grauwe aspect.

Zelfs met de weekste straling (55 KV. max. sp. tafel 10) is, bij een grondzwarting van 1.2, de minimum normaal-curve nog niet te bereiken; wel bij een grondzwarting 1.5. In 't gebied boven de 6 m.M. Al. gaat zij zelfs nog iets boven deze curve uit. Hier is weer de mate van differentiatie anders dan in de normaal-curven, het harmonische van de differentiatie wordt niet bereikt; de dunne objectdeelen zijn minder gedifferentieerd, de dikkere meer; de curven verloopen minder gebogen dan de normaal-curven.

Naarmate de hardheid wordt opgevoerd, worden de contrast-curven rechter, dus in 't begindeel minder steil. Zoowel in hoogte als in vorm wijken zij steeds meer van de normaal-curve af. Bij de opnamen met de straling van 66 KV. max. sp. (Tafel 10) vervaardigd, is het contrast in het gebied van 2 — 6 m.M. Al. voor de grondzwarting 1.2 ongeveer 70 % van de waarde, die de minimum normaal-curve III aangeeft. Bij de hardheid 77 KV. max. sp. (Tafel 11) is dit ongeveer 60 % en bij de hardste straling van 88 KV. max. sp. 50 %. In het gebied boven de 6 m.M. Al. is de differentiatie over het algemeen goed.

Bij 2×6 c.M. water, dus bij vrij sterke filtreering en verstrooiïng van de primaire straling, is derhalve bij normale grond-

zwarting ($Z_o = 1.2$) zelfs de zeer lage contrasteisch van onze normaal-curve III niet te bereiken, niet met de weekste straling en nog veel minder met de harde. Bij 88 KV. max. sp. is de hoogte der contrastcurve in 't voornaamste deel (tot 6 m.M. Al.) nauwelijks de helft van de hoogte der minimum normaal-curve III en een derde der maximum normaal-curve I.

Hier zijn wij eerst met recht op het terrein waar het strooistralenfilter zijn triomfen viert. Zelfs bij het gebruik van de harde 88 KV. max. sp. straling krijgt men bij toepassing van een goed strooistralenfilter zeer goede contrastcurven (Tafel 26) zonder dat de grondzwarting grooter behoeft te zijn dan 1.2. Het strooistralenfilter maakt gemakkelijk bereikbaar wat onder deze omstandigheden op geen enkele andere wijze verkregen kan worden.

Om den invloed van de hardheid der primaire straling op het contrast nog eens in meer overzichtelijken vorm aan te geven, is hieronder in een tabellarisch overzicht de procentueele verbetering van het contrast bij vergelijking van de opnamen van 88 KV. en 55 KV. max. sp. en de grondzwarting 1.2 opgeteekend.

TABEL I.

Procentueele verbetering van het contrast bij vermindering van de hardheid van 88 KV. tot 55 KV. max. sp.; grondzwarting 1.2.

Plaats in de curve	Groep a. 2×2 c.M. water	Groep b. 2×4 c.M. water	Groep c. 2×6 c.M. water
2 m.m.Al.	50 %	100 %	125 %
4 „ „ „	56 %	100 %	100 %
6 „ „ „	45 %	85 %	100 %
8 „ „ „	35 %	60 %	65 %
12 „ „ „	30 %	35 %	40 %
4 „ „ Pb.	22 %	24 %	26 %

De relatieve verbetering van het contrast is dus in de verschillende groepen niet gelijkmatig. Vooral in de groep b en c (resp. 2×4 en 2×6 c.M. water) is de verbetering in het gebied beneden 6 m.M. Al. aanzienlijk. Waar in de praktische röntgenographie in vele gevallen juist in dit gebied een groote duidelijkheid van het contrast wordt vereischt, zal daarvoor de toepassing van de weekere straling de voorkeur verdienen. Dat zelfs een geringe vermindering van de hardheid al beduidende verbetering van de contrasten geeft, moge de volgende tabel duidelijk maken.

TABEL II.

Procentueele verbetering van de contrasten van opnamen bij 66 en 55 K.V. max. sp. vervaardigd; grondzwarting 1.2.

Plaats in de contrastcurve	Groep a. 2×2 c.M. water	Groep b. 2×4 c.M. water	Groep c. 2×6 c.M. water
2 m.m.Al.	15 %	25 %	25 %
4 „ „ „	15 %	23 %	23 %
6 „ „ „	11 %	20 %	20 %
8 „ „ „	8 %	12 %	15 %
12 „ „ „	4 %	7 %	10 %

Een verbetering van 25 % in het gebied tot 5 m.M. Al. is zeker belangrijk, wanneer de contrastwaarden toch al beneden het ideale blijven, zooals in de opnamen van groep b en c in 't algemeen 't geval is.

Uit de cijfers blijkt overtuigend, dat zelfs de opname bij 66 KV. max. sp. die gewoonlijk nog week genoemd wordt niet onbelangrijk verbeterd kan worden door een nog weekere straling toe te passen.

Thans gaan wij over tot de beschouwing van de opnamen van serie B, de opnamen die zonder versterkingsfolies vervaardigd zijn.

De invloed van de hardheid op de contrasten is hierbij anders dan bij de opnamen met folies van de vorige serie. Wij zullen in het volgende hoofdstuk het verschil nader analyseeren en ons thans ertoe bepalen op de feiten te wijzen en daaruit conclusie te trekken voor de techniek der röntgenographie.

Het meest opvallend blijkt het verschil als men de contrastcurve van een weeke opname uit de serie B vergelijkt met de overeenkomstige harde opname uit de serie A. De curven van de tafels 13 (55 KV. max. sp., 2×2 M. water zonder folies) en 4 (88 KV. max. sp. 2×2 cM. water mèt folies) dekken elkaar tot 12 m.M. Al. merkwaardig goed; boven deze aluminiumdikte is de differentiatie der harde opnamen (Tafel 4) beter dan die der weeke (Tafel 13). Dit wil dus zeggen, dat de opnamen onder deze omstandigheden van filtreering en verstrooiïng genomen (2×2 cM. water) grootendeels gelijkwaardig zijn, ondanks het groote verschil in de hardheid der gebruikte straling, uitsluitend ten gevolge van het al of niet toepassen van versterkingsfolies.

Vergeleken met de normaal-curven beantwoorden de opnamen van groep a serie B (2×2 cM. water zonder folies) vervaardigd bij 55 tot 88 KV. max. sp. nog min of meer aan de gestelde eischen. De weeke foto van 55 KV. max. sp. en een grondzwarting van 1.2 (Tafel 13) is tot 6 m.M. Al. zoo goed als de nor-

maal-curve I eischt; daarna wijkt zij geleidelijk hiervan af en boven de 12 m.M. Al. is het verschil groot. De differentiatie blijft hier ver beneden den minimum-eisch. De hardste opname uit deze groep (Tafel 14) heeft bij dezelfde grondzwarting een contrastcurve, die volkomen overeenstemt met de minimum-contrast-curve III. Hier is dus de differentiatie over de geheele contrastbreedte zoo harmonisch als in de normaal-curve is uitgedrukt, de duidelijkheid is echter niet meer dan het minimum.

Wij besluiten hieruit, dat onder deze omstandigheden van filtreering en verstrooiïng (2 × 2 cM. water) bij weglating van de versterkingsfolies over het algemeen nog een voldoende duidelijkheid in de differentiatie der contrasten te bereiken is. Zelfs met de hardste straling door ons gebruikt, komen wij nog aan het minimum. De beste resultaten bij deze opname-techniek blijven ver beneden die, welke verkregen worden bij toepassing van versterkingsfolies. Men vergelijke b.v. de contrastcurven van Tafel 1 en 13 of van 4 en 14, die met dezelfde hardheid bij 2 × 2 c.M. water vervaardigd zijn.

Dezelfde resultaten ten opzichte van de contrasten bereikt men als men de hardheid van de straling bij opname mèt folies veel hooger neemt dan die zonder folies, maar dat beteekent, dat men in het eerste geval ongeveer 1 : 16 van de belichting noodig heeft, die in het tweede geval vereischt wordt om gelijke contrasten bij gelijke grondzwarting te verkrijgen (zie belichtingstabel serie A groep a, 55 max. sp. en serie B groep a, 55 KV. max sp.)

De opnamen van groep b uit deze serie (2 × 4 cM. water zonder folies) vertoonen ongeveer dezelfde eigenaardige verschillen ten opzichte van de overeenkomstige opnamen van groep b uit de serie mèt folies als wij bij de vorige groep bespraken. De weekste opnamen zonder folies (55 KV. max. sp. Tafel 15) zijn in hun contrast-curven maar heel weinig beter dan de hardste (88 KV. max. sp.) opnamen van gelijke grondzwarting bij gelijke waterdikten mèt folies genomen, tenminste voor het belangrijkste deel van de curve beneden de 6 m.M. Al. Ten opzichte van de iets minder harde opnamen (77 KV. max. sp.) met folies zijn zij echter in alle deelen minderwaardig. Men vergelijke de tafel 15 met de Tafels 7 en 8.

Ook hier dus weer hetzelfde verschijnsel, dat wij reeds in de vorige groep aantroffen. De weeke opnamen zonder folies geven contrasten, die ongeveer overeenkomen met die van de harde opnamen met folies. Onder deze omstandigheden van absorbtie en verstrooiïng (2 × 4 cM. water) komt de 55 K.V. max. sp. opname zonder folies ongeveer overeen met een 82 KV. max. sp. opname met folies.

Vergeleken met de normaal-curve zijn zelfs bij de weekste straling de contrastqualiteiten ook bij de maximale grondzwarting 1.5 onvoldoende. De contrast-curve blijft beneden de minimum normaal-curve III en ver beneden de curven van de overeenkomstige opnamen mèt folies. Deze laatste hebben bij een grondzwarting 1.2 bij 6 m.M. Al. zelfs 65 % beter contrast. De vergelijking van Tafel 15 en 5 is zeer instructief. Naarmate de straling harder wordt, dalen de contrast-qualiteiten steeds meer onder het minimum. Bij de harde opname met 88 KV. max. sp. is het contrast in 't gebied van 4-8 m.M. Al. bij een grondzwarting van 1.2 nog geen 40 % van dat der beste normaal-curve en nog geen 60 % van dat der slechtste.

Wij kunnen dus de conclusie trekken, dat bij weglating der versterkingsfolies de opnamen van lichaamsdeelen, die ongeveer dezelfde mate van filtreering en verstrooiïng hebben als de bij onze proeven gebruikte waterbakjes met 2 × 4 cM. water, onvoldoende contrasten vertoonen zelfs bij gebruik van een zeer weeke straling.

Ook hier zou men althans theoretisch dit tekort kunnen wegwerken door toepassing van een strooistralenfilter als men tenminste het eenvoudiger middel van de versterkingsfolies verwerpt. Met harde stralen (88 KV. max. sp.) kan men bij 2 × 4 cM. water ook zonder folies mèt een strooistralenfilter de fraaiste contrasten verkrijgen bij normale grondzwarting. Men stuit hier echter op het bezwaar, dat voor de vervaardiging van dergelijke opnamen zeer hooge belastingen (KWsec.) van de buis noodig zijn, waardoor de methode praktisch onuitvoerbaar is.

In de groep c serie B (2 × 6 c.M. water zonder folies) zijn de contrast-curven van de hardste zoowel als van de weekste straling (Tafel 19 en 20) zoo vèr onvoldoende, dat ze nauwelijks eenige aandacht verdienen. Het is duidelijk, dat weglating van de folies bij de opname van lichaamsdeelen met zooveel absorbtie en verstrooiïng bedroevende resultaten ten opzichte van het contrast moet opleveren. Ook hier overigens weer hetzelfde verschijnsel, dat de curve van de harde opname mèt folies even goed is of in dit geval even slecht is als de curve van de weeke zonder folies. De toepassing van een strooistralenfilter komt hier practisch nog minder in aanmerking dan bij de vorige groep, omdat de belastingen, die noodig zouden zijn, door geen buis verdragen worden tenzij bij gefractionneerde belichtingen. Dat gaat wel bij proeven met doode objecten maar in de practische röntgenographie is dit zeer bezwaarlijk, zoo niet ondoenlijk. Bij de röntgenographie van lichaamsdeelen, die sterk absorbeeren en verstrooien kan men dus de folies niet missen.

Het is hier de plaats om zeer in 't kort in te gaan op het

„vraagstuk" van z.g. „Hartstrahltechnik", dat in den laatsten tijd van Duitsche zijde herhaaldelijk aan de orde is gesteld. [1])

De ontdekking van de hardstraaltechniek is een van de meest treffende bewijzen van de verwarring, die nog op het gebied der experimenteele röntgenographie heerscht.

Als wij de questie nader willen beschouwen, stuiten wij dadelijk op de vraag: wat hebben de „ontdekkers" van de hardstraaltechniek eigenlijk ontdekt, en het antwoord is tevens de oplossing van het vraagstuk. Zij beweren dan, dat men met veel hardere stralen dan tot nu toe gebruikelijk was, beelden kan verkrijgen, die voor bepaalde diagnostische beoordeelingen „voldoende" contrast bezitten.

Wie de voorgaande uiteenzettingen heeft gevolgd zal begrijpen, dat deze bewering onmogelijk tegen te spreken is, maar dat hiermede allerminst een nieuwe ontdekking is geformuleerd. Het zwakke punt is het subjectieve element in de waardeering van wat een „voldoende" contrast is voor het een of ander diagnostisch oordeel.

Uit ervaring weet ik, dat in dit opzicht de smaken zeer veel verschillen. De diagnostische duiding van het röntgenbeeld is nog altijd een heel groote kunst, waarin de eene het heel wat verder gebracht heeft dan de andere en dit is de verklaring van het zonderlinge feit, dat de eene röntgenoloog een foto zeer onvoldoende noemt, die de ander tot zijn beste producten rekent. Daarover valt niet te redetwisten, alleen door veel te leeren kan een van beiden van ongelijk overtuigd worden.

Als men gewend is geweest opnamen te maken op gewone röntgenplaten zonder gebruikmaking van folies en men gaat dan over tot de toepassing van de Kodakfilm met twee versterkingsfolies kan men de hardstraaltechniek ontdekken d.w.z. men zal bemerken, dat men dezelfde slechte contrastqualiteiten met aanzienlijke hardere straling kan bereiken, maar men kan ook de weekstraaltechniek in eere houden en opmerken, dat men met dezelfde weeke straling, die men bij de röntgenplaten zonder folies gebruikte, bij Kodakfilms en twee folies aanzienlijk fraaier contrasten krijgt. Wanneer men gewoon is dunne foto's te vervaardigen (te zwakke lichtkast!) is het verschil tusschen weeke en harde

---

[1]) *Gortan.* Zur Technik der Moment- und Schnellaufnahmen. Verhandl. D. Röntgen-gesellschaft 14. Kongress Berlin 1924 bl. 13.

E. Weber. Ueber Aufnahmen mit harten Strahlen. Fortschritte a. d. Geb. der R.-Strahlen Bd. XXXII bl. 585.

F. Zacher. Röntgenaufnahmen mit harter Strahlung. Fortschritte a. d. Geb. der R. Strahlen Bd. XXXIII bl. 251.

Chantraine. Hartstrahl oder Weichstrahlverfahren bei Lungenaufnahmen. Fortschr. a. d. Geb. der R. Strahlen Bd. XXXIII bl. 723.

opname gering (zie blz. 36) en kan men dus op een goeden dag tot de ontdekking komen, dat men met harde stralen nog „voldoende" contrasten verkrijgt. Zoo concludeerde Weber: Dasz eine grosze Reihe von Objecten, welche bis jetzt grundsätzlich mit weichen Röhren dargestellt wurden mit einen für die Mehrzahl der Fälle genügenden Kontrastreichtum mit viel härteren Röhren bis 100 KV. erfolgreich photographiert werden können. [1]) Het blijkt dat hij inderdaad gewoon is zeer dunne opnamen te maken. In een later gepubliceerde voordracht [2]) spreekt hij van een optimale grondzwarting van 0.4-0.8 terwijl ik deze waarde vaststelde op 1.2-1.5 (Hoofdstuk III).

Het is opmerkelijk, dat alle geroutineerde röntgenologen a priori overtuigd zijn, dat deze hardstraaltechniek-ontdekking een vergissing moet zijn. De jarenlange ervaring van goede waarnemers is niet zoo maar omver te gooien. Onze proeven toonen aan, dat dit inderdaad zoo is; de oude ervaring heeft nog altijd gelijk.

Het interesseert ons tenslotte heel weinig of de heer A. oordeelt, dat hij voldoende overweg kan met opnamen, die met veel harder stralen gemaakt zijn dan die welke de heer B. meent noodig te hebben, want dit beteekent alleen, dat de heer A. andere en wel geringere eischen aan de contrasten van zijn foto's stelt dan de heer B. Wat ons wel zou interesseeren is of de heer A. op een of andere wijze dezelfde of betere contrasten krijgt met een hardere straling dan ieder ander röntgenoloog, maar dit heeft niemand aangetoond en zal ook wel niet aantoonbaar zijn.

De invloed van de hardheid op het contrast is zoo samengesteld en van zoo verschillende factoren afhankelijk, dat het een dwaasheid is één uniforme hardheid als standaard in te voeren. Elke röntgenographische opgave heeft haar eigen eischen, de omstandigheden zijn telkens verschillend en daaraan moet in elk bepaald geval de techniek zich aanpassen. In het eene geval zal men liever een weeke straling, in het andere een harde gebruiken. Het is dus principieel onjuist de tegenstelling „Hartstrahl-Weichstrahltechnik" te maken.

Het systematisch objectief onderzoek naar den invloed der hardheid op de contrastqualiteiten van het röntgenbeeld, dat in dit hoofdstuk is uiteengezet, zal tenminste eenigermate er toe bijgedragen hebben om de verklaring te geven van vele bekende ervaringsfeiten en nieuwe inzichten te helpen vormen.

---

[1]) *E. Weber* l. c.

[2]) *E. Weber:* Zur Frage der optimalen Darstelling minimaler Kontraste in Röntgenbilde. Fortsch. Geb. d. R. XXXIV bl. 370.

HOOFDSTUK V

DE INVLOED VAN DE VERSTERKINGSFOLIES OP DE CONTRASTEN

Het gebruik van versterkingsfolies geeft een groote besparing aan energie en het is vooral deze eigenschap, die de oorzaak is geweest van een steeds algemeener toepassing van dit hulpmiddel. De verhooging van het „nuttig effect" van de röntgenstraling is een gevolg van de eigenschap van de kristallen van wolfraamzure-kalk om de geabsorbeerde röntgenenergie om te zetten in een z.g. fluorescentiestraling, die volgens de overeenstemmende onderzoekingen van Stumpf [1]) en Hodgson [2]) een continu spectrum vertoont van ongeveer 3500 tot 5100 Å eenheden met een maximum in het blauw bij 4600 Å. [3])

De verhooging van het photographisch effect van de röntgenstralen door toepassing van de folie beteekent in de practische röntgenographie een verkorting van de belichtingstijden, resp. een vermindering van de intensiteiten, noodig voor het bereiken van een zekere zwarting. Als maat voor de „versterking" der röntgenstralen-werking kan dus deze verkorting van den belichtingstijd gebruikt worden. Naar het voorbeeld van Priwin en Glocker aanvaarden wij deze maat als de meest rationeele. De *versterkingsfactor* van een folie wordt dan bepaald door de verhouding van de belichtingstijden noodig om bij onveranderde straling (MA. en K.V.), zonder en met folie dezelfde zwarting te verkrijgen.

De aldus gedefinieerde versterkingsfactor is echter geen absolute maat voor de waarde der folie als versterker van het photographisch effect der röntgenstralen, want deze factor is niet alleen van de qualiteit van de folie, maar nog van vele andere omstandigheden afhankelijk.

---

[1]) *Stumpf.* Spectraluntersuchungen gebräuchlicher Leuchtschirme. Fortschritte a. d. Geb. der Röntgenstr. Bd. XXXIII bl. 731.

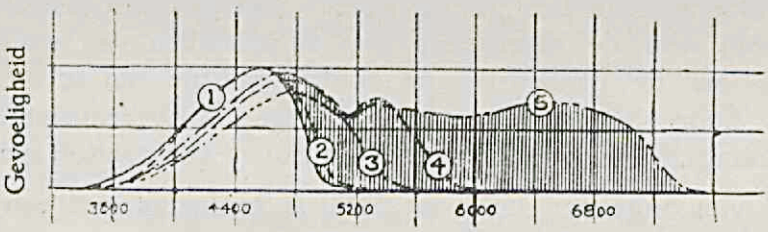
[2]) *Millard B. Hodgson.* The physical characteristics of Roentgenray-intensifying screens. American Journal of Roentgenologie. Vol. V. bl. 595. (1920).

[3]) Ter verduidelijking diene dat het zichtbare spectrum zich van ongeveer 3600 (grens violet) tot 7600 Å (grens rood) uitstrekt. Bij 6800 Å is het optimum van rood, bij 5800 van geel, bij 5200 van groen, bij 4500 van blauw. De fluorescentiestraling van wolfraam-zure-kalk loopt dus van het uiterst violet tot het midden van het groen.

In de eerste plaats bestaat er sterke afhankelijkheid van de qualiteit van de plaat of film.

Zooals wij zagen, geeft de folie een fluorescentiestraling van heel beperkte golflengte; het photografisch effect van deze straling hangt zeer veel af van de gevoeligheid van de emulsie der plaat of film. Hodgson vestigt in zijn verhandeling hierop bijzonder de aandacht en verduidelijkt het vraagstuk van de verhouding van de qualitatieve samenstelling van de fluorescentiestraling en de gevoeligheid van de plaat of film voor stralen uit dit deel van het spectrum door onderstaande figuur 8.

FIG. 8.



Golflengte in Å E.

1. Spectrum van foliestraling.
2. Gevoeligheid van röntgenplaat.
3. Gevoeligheid van gewone photographische plaat.
4. Gevoeligheid van ortho-chromatische plaat.
5. Gevoeligheid van pan-chromatische plaat.

De getrokken lijn geeft de intensiteitsverdeeling van het spectrum van de straling van de wolfraam-zure-kalk folie, de gestippelde lijnen de gevoeligheid van verschillende plaatsoorten voor de stralen van verschillende golflengte. [1])

Het is duidelijk, dat de versterkende werking van de folie het grootst is, wanneer de emulsie het gevoeligst is voor een lichtstraling van dezelfde qualiteit, als de fluorescentiestraling van de folie; in dit geval dus bij gebruik van de röntgenplaat (lijn 2) en het kleinst bij gebruik van de panchromatische plaat (lijn 5). Behalve deze qualitatieve verschillen in de gevoeligheid voor lichtstralen van bepaalde golflengte, kunnen er ook nog quantitatieve verschillen in de gevoeligheid der emulsie van onderscheiden herkomst bestaan voor röntgen- en lichtstralen.

Uit een en ander volgt, dat er tenslotte groote verschillen gevonden kunnen worden in de verhouding van de gevoeligheid voor röntgenstralen en voor foliestralen bij gebruik van verschillende platen of films.

Een tweede omstandigheid, die op de waarde van den verster-

[1]) *Hodgson* l. c. bl. 599.

kingsfactor invloed heeft, is de ontwikkeling, om de eenvoudige reden, dat verschil in ontwikkeling verschil in de verhouding van de zwarting door röntgenstralen en door foliestralen kan geven.

Ten slotte is van grooten invloed op de waarde van den versterkingsfactor de totale hoeveelheid opvallende röntgenenergie en de verhouding van de intensiteit en den tijd der belichting. Dezen invloed zullen wij aanstonds nader uiteenzetten.

Met dat al blijkt, dat er van een bepaling van de absolute waarde van den versterkingsfactor van een zekere folie geen sprake is, als niet met alle genoemde omstandigheden rekening gehouden wordt. Dit is dan ook de verklaring van het feit, dat in de literatuur zeer groote afwijkingen voorkomen in de gevonden waarde van den versterkingsfactor van de gebruikelijke folies.

Haeger [1]) vindt voor een 9-tal verschillende Duitsche folies getallen tusschen 15 en 7; Schlechter vond waarden van 6-9 en ik bracht het niet verder dan tot een 5 à 6-voudige versterking voor dezelfde folie, waarvoor Haeger ongeveer 12 vond. (Gehler-folie). Het zijn dus verschillen van 100 %, die hier gevonden kunnen worden.

Voor een goed begrip van de folie-werking is het voor alles noodig, dat men rekening houdt met het feit, dat de zwarting van de opname, die mét versterkingsfolies vervaardigd is, voor meer dan 90 % door de fluorescentie-straling, dus door stralen van de golflengte van blauw-violet licht wordt veroorzaakt (ten minste bij de door ons gebruikte techniek: folie-film-folie), terwijl de opname zonder folie alléén door de röntgenstralen wordt gezwart. De zwarting wordt dus in het eerste geval beheerscht door den zwartingsregel van lichtstralen, in het tweede geval door dien van röntgenstralen. De verschillen in het photographisch effect bij al of niet gebruik van folies kan grootendeels hieruit worden verklaard.

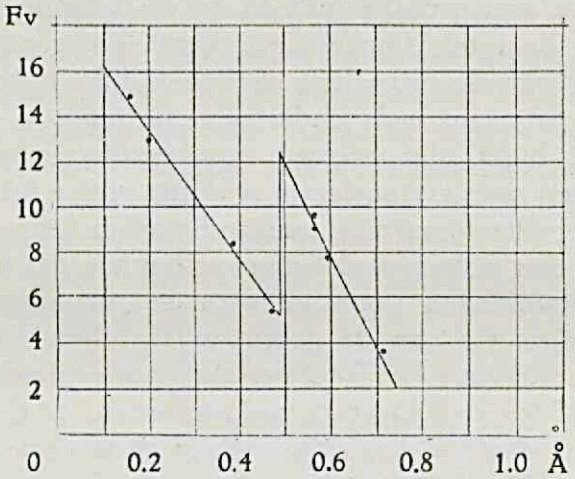
Bij dit onderzoek hebben wij ons bepaald den invloed van de folies op de contrasten na te gaan. Wij hebben geen proeven genomen om de werking van de folie in 't algemeen te onderzoeken. Toch is het dienstig hier in 't kort op enkele vragen, die voor de practische röntgenographie van belang zijn, te antwoorden.

Vooreerst interesseert ons de invloed van de hardheid en van de dikte van het absorbeerend en verstrooiend weefsel op den versterkingsfactor. Schlechter bepaalde voor verschillende monochromatische röntgenstralen den versterkingsfactor. De resultaten voor den Heyden-folie bij een zwarting van 0.4 en stralen-richting folie-plaat. (Hauff-plaat, adurol-ontwikkeling) zijn in onderstaande figuur 9, weergegeven, waarin de versterkingsfactor Fv. als functie van de golflengte is weergegeven.

[1]) *Haeger.* Die Verstärkungsschirme. Fortschritte a.d. Geb. der Röntgenstr. Bd. XXIX. Heft 5. Bl. 609.

Uit deze figuur blijkt, dat de versterkende werking vanaf de weekste stralen (langste golflengte) toeneemt tot een golflengte

FIG. 9.



van 0.49 A om dan plotseling tot ongeveer de helft terug te zinken en dan weer snel te stijgen. De toename is evenredig met de golflengte. De plotselinge val in de curve houdt volgens Glocker verband met de selectieve absorbtie van het zilver uit de gevoelige laag. Uit deze waarnemingen zijn enkele belangrijke conclusies te trekken.

Eerstens mag men verwachten, dat in 't gebied der diagnostiek-straling, die een kortste golflengte van ongeveer 0.225 tot 0.140 Å (KV. max. 55-88) heeft, geen belangrijke verschillen in den versterkingsfactor zullen optreden bij verandering van de hardheid binnen de grenzen van 55 tot 88 Kv. max. sp., wanneer geen sterke filtering der primair straling plaats heeft.

Volgens de onderzoekingen van Haeger was een verschil bij opvoering van de max. spanning van 64 à 72 KV. tot 80 à 85 KV. met filtering van de primair straling door een 6 c.M. dikke parafine-waslaag en afscherming van de strooistralen bij eenige folies niet merkbaar, bij enkele andere hoogstens 5 %.

Ook uit onze proeven kan de conclusie worden getrokken, dat een opvallende invloed van de hardheid der primair straling op de grootte van den versterkingsfactor binnen de grenzen van 55 KV. en 88 KV. max. spanning niet optreedt bij de water-dikten 2 × 2 en 2 × 4 c.M. De cijfers van onze belichtingstabel wijzen uit, dat in de groep a (2 × 2 c.M. water) en de groep b (2 × 4 c.M. water) de versterkingsfactor ongeveer 5 blijft bij de opvoering van de spanning. In de groep c (2 × 6 c.M. water) echter is de factor in 't algemeen duidelijk hooger dan bij de vorige groepen, terwijl hier ook een verschil tusschen de weeke en harde

straling merkbaar wordt. Bij 2 × 6 cM. water en 55 KV. max. sp. is de factor ongeveer 5.5, terwijl de harde 88 KV. straling een factor 6 aangeeft, dus een verschil van 20% met den factor bij 2×4 cM. water.

Wij komen hiermee op de tweede conclusie, die uit de waarnemingen van Schlechter volgt. Bij toenemende absorbtie in de weefsels neemt de versterkingsfactor wèl duidelijk toe. Bij 2 × 6 cM. water is zij reeds belangrijk hooger dan bij 2 × 4 cM. water. De lange golven beneden de 0.49 Å worden bij 2 × 6 cM. water in zoo sterke mate geabsorbeerd, dat zij in aanzienlijk geringere hoeveelheid tot de folie doordringen. De gelijkmakende invloed van den diepen val van den versterkingsfactor bij 0.49 Å komt daardoor niet tot uiting en de evenredige toename van den versterkingsfactor met de toename der hardheid treedt op den voorgrond.

Terloops zij hier op een verschijnsel gewezen, dat reeds tot verkeerde gevolgtrekkingen heeft aanleiding gegeven. Wilsey vond, dat een stukje papier veel beter te zien was, dus veel beter contrast gaf, op de foto zonder folies dan op die met folies en trekt daaruit de conclusie, dat zeer dunne objectdeelen beter zichtbaar zijn bij opnamen zonder folies.

Uit de waarnemingen van Schlechter met monochromatische stralen bleek, dat röntgenstralen van een golflengte van ongeveer 1.0 Å een versterkingsfactor kleiner dan 1 hebben, d.wz., dat de zwarting grooter is zonder folie dan met folie. Deze weekste stralen worden blijkbaar in de folies voor een groot deel geabsorbeerd zonder een werkzame fluorescentie-straling op te wekken. Wanneer men nu van een dun stukje papier een foto maakt, dan wordt het contrast van dit zeer dunne object bijna uitsluitend door de absorbtie, die zeer weeke stralen ondergaan, veroorzaakt. Bij gebruik van folies hebben deze stralen echter geen uitwerking en zal er dus ook minder contrast ontstaan.

Voor de praktijk heeft deze proef echter geen beteekenis, omdat elk lichaamsdeel minstens zoo dik is, dat deze weekste straling wordt geabsorbeerd. Wij mogen dus geenszins met Wilsey uit deze proef concludeeren, dat onder de gewone omstandigheid van de praktijk de dunste objectdeelen beter zichtbaar worden bij opname zonder dan bij die met folies.

Een ander punt van practisch belang is het feit, dat de versterkingsfactor niet gelijk blijft, als het product tijd maal intensiteit (It.) gelijk blijft. Het blijkt, dat er een zekere afhankelijkheid bestaat tusschen de verhouding tijd en intensiteit en de grootte van den versterkingsfactor in dien zin, dat bij gelijke waarde van het product tijd maal intensiteit, de versterkingsfactor toeneemt bij toename der intensiteit, resp. afname van den tijd.

Volgens de overeenstemmende bevindingen van vele onderzoekers, als Friedrich en Koch, Glocker en Traube, Wilsey, Bouwers e.a., is de zwarting door röntgenstralen veroorzaakt, met groote benadering als een functie van het product tijd maal intensiteit, op te vatten. Dat beteekent, dat in de algemeene zwartingsformule

$$Z = f.\ (It.^{p})$$

de exponent p. voor röntgenstralen tot de waarde 1 nadert.

Voor de zwarting door lichtstralen wordt de waarde van de exponent p. steeds kleiner dan 1 bevonden. Met de qualiteit van de emulsie varieert zij tusschen 0.75 en 0.95, ten minste bij continu belichting (zie Hoofdst. I bl. 15).

De folies geven door hun eigenschap van nalichten, onder invloed van de intermitteerende röntgen-belichting, een min of meer continue lichtstraling.

Wij mogen dus verwachten, dat bij gebruik van folies de factor p kleiner wordt dan 1, zoodat de zwarting niet meer evenredig is aan het product It, maar aan It^{p}.

Hieruit volgt, dat de verhouding van de belichtingstijden noodig om met röntgenstralen en licht- resp. foliestralen, eenzelfde zwarting te krijgen, afhankelijk wordt van de verhouding van de waarde der factoren I en t, m. a. w. dat de versterkingsfactor hiervan afhankelijk is.

Met een voorbeeld zullen wij dit toelichten. Wanneer door de inwerking van de röntgenstralen op een bepaalde film of plaat, bij de intensiteit i in 40 sec. een zwarting 1.0 wordt bereikt, dan zal bij een intensiteit $I = 20\,i$, de belichtingstijd $^{1}/_{20} \times 40$ sec. $= 2$ sec. moeten bedragen om dezelfde zwarting te krijgen. Bij toepassing van folies is dit anders. Wordt hier bij een intensiteit i_1 in 40 seconden een zwarting 1.0 bereikt, dan zal bij een intensiteit $I_1 = 20\,i_1$, de belichting niet 2 seconden, maar b.v. 1.4 sec. bedragen als $p = 0.9$. Wanneer dus de intensiteit 20 $\times$ grooter wordt, is de belichtingstijd bij folie-gebruik niet 20 $\times$ kleiner, maar nog geringer, afhankelijk van de waarde van p.

Nemen wij nu aan, dat voor een opname met röntgenstralen bij een intensiteit i en een tijd $t_1 = 40$ sec., een zekere zwarting wordt bereikt, die met foliestralen en dezelfde i-waarde in den tijd t_2 optreedt, dan is de versterkingsfactor $\frac{t_1}{t_2}$. Wanneer wij echter de opnamen bij $I = 20\,i$ gaan maken, dan is de verhouding van de belichtingstijden, noodig om dezelfde zwarting te bereiken, niet meer $\frac{t_1}{t_2}$, maar $^{2}/_{1.4} \times {}^{t_1}/_{t_2} = 1.43 \times {}^{t_1}/_{t_2}$.

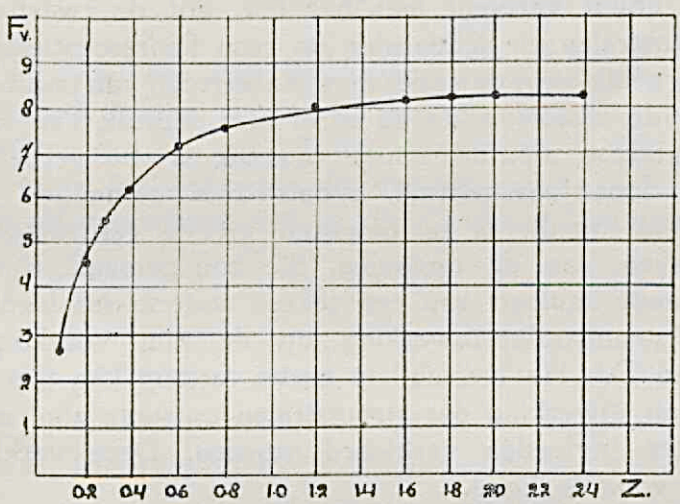
Voor een p-waarde van 0.93 die Schlechter bij Hauff röntgenplaten vaststelde, vond hij een vergrooting van den versterkingsfactor bij 5, 10, 20 en 30-voudige verhooging van de intensiteit van resp. 1.13, 1.19, 1.25, 1.3. Voor een waarde van p = 0.9, zouden deze vergrootingen bedragen, resp.: 1.2, 1.29, 1.41, 1.5.

Wij zien uit deze getallen, dat de verandering van den versterkingsfactor door verandering van de verhouding van tijd en intensiteit vrij belangrijk kan worden, in dien zin, dat bij hooge belastingen de versterkingsfactor grooter wordt.

Practisch heeft dit deze beteekenis, dat de verkorting van den belichtingsduur door opvoeren van de intensiteit bij gebruik van folies relatief grooter is dan bij weglating ervan.

Nog op een derde punt moet hier even de aandacht gevestigd worden, omdat het niet zonder practische beteekenis is. Schlechter stelde vast, dat de versterkingsfactor afhankelijk is van de zwartingswaarde, waarvoor zij wordt vastgesteld. Bij toenemende zwarting neemt de waarde van den versterkingsfactor tot een zeker maximum toe. Dit maximum wordt bereikt bij een zwarting van ongeveer 1.2.

FIG. 10.



In de figuur 10 is de versterkingsfactor (Fv.) als functie van de zwarting geteekend naar de gegevens van Schlechter. Op de verklaring van dit verschijnsel komen wij straks terug.

Uit deze waarneming volgt dat bij opnamen met een grondzwarting kleiner dan 0.8 de versterkingsfactor aanmerkelijk kleiner wordt. Ook in dit opzicht is de door ons als meest gunstige aangenomen waarde van grondzwarting tusschen 1.0 en 1.5 met een gemiddelde bij 1.2 goed, omdat bij deze zwartingen de maximale waarde van den versterkingsfactor bereikt wordt.

Na deze inleidende beschouwingen zullen wij thans meer in 't bijzonder den invloed van de versterkingsfolies op het contrast nagaan.

Het is reeds bekend, dat in 't algemeen de folie een verbetering van de contrasten teweeg brengt. Tot nu toe zijn echter nog zeer weinig onderzoekingen over dit punt gepubliceerd.

Wilsey [1]) is naar mijn weten de eenige, die den invloed van de folie op het contrast proefondervindelijk naging. Hij bepaalde zich er echter toe de contrast-verbetering na te gaan van een object van bepaalde dikte een stuk been en vond bij gebruik van tweezijdig-gevoelige Kodak-filmen en Kodak-standaard-ontwikkeling, onder een waterfilter van 6 inch dikte, een verbetering van het contrast van 60 %, bij toepassing van twee versterkingsschermen. De vergelijking van de contrasten over de geheele breedte die met mijn proeven mogelijk is geeft een veel ruimer en dieper kijk op de beteekenis van de folies voor de contrastvorming.

De vrij belangrijke verschillen in de contrast-curven tusschen opnamen met en zonder folies, onder de gewone omstandigheden (met inwerking van strooistralen) vervaardigd, zijn het gevolg van de samenwerking van twee gelijkgerichte invloeden.

De een houdt verband met het feit, dat de zwartingswetten van röntgenstralen en lichtstralen (in casu fluorescentiestraling van folies) niet gelijk zijn; de ander met een verschil van photographisch effect van de strooistraling bij al of niet gebruik van folies. Dat de laatste factor niet de eenige oorzaak is van verbetering der contrasten door folie-gebruik, zooals door sommigen wel eens verondersteld wordt, is te bewijzen uit de vergelijking van de contrastcurven van de opnamen, die zoo gemaakt zijn, dat wel de filtreerende invloed van een zekere watermassa bleef bestaan, maar de strooistralen-inwerking op de film voorkomen werd (serie C. en D.). Het verschil in curve-verloop kan hier niet door verschil van inwerking der strooistralen ontstaan zijn, maar moet door andere invloeden verklaard worden. Deze verklaring ligt inderdaad voor de hand.

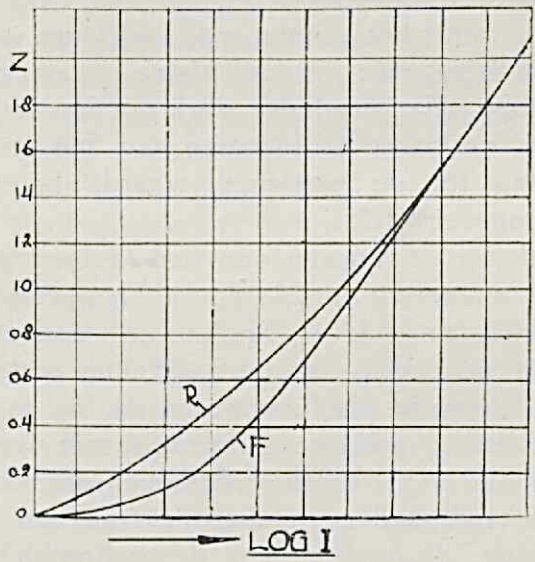
Zooals door Glocker en Haeger werd aangetoond, is er een typisch verschil in de zwartingskrommen van röntgenstralen en van lichtstralen. Wanneer wij deze krommen zoo teekenen, dat op de ordinaat de zwartingen worden aangegeven en op de absissen de log. van de intensiteiten of van de belichtingstijden, en wij kiezen de schaal van de absissen zoo, dat de curven zooveel mogelijk samenvallen, dan hebben wij ongeveer het verloop van

---

[1]) *R. B. Wilsey.* The effect of scattered X-Rays in Radiography, American Journal of Roentgenology, Vol. VII Oct. 1921. No. 10.

de lijnen R. (röntgenstralenzwarting) en F. (folie + röntgenstralenzwarting) van de figuur 11. Van de zwarting 1.2 af hebben beide curven een rechtlijnig verloop; de zwarting neemt dan evenredig

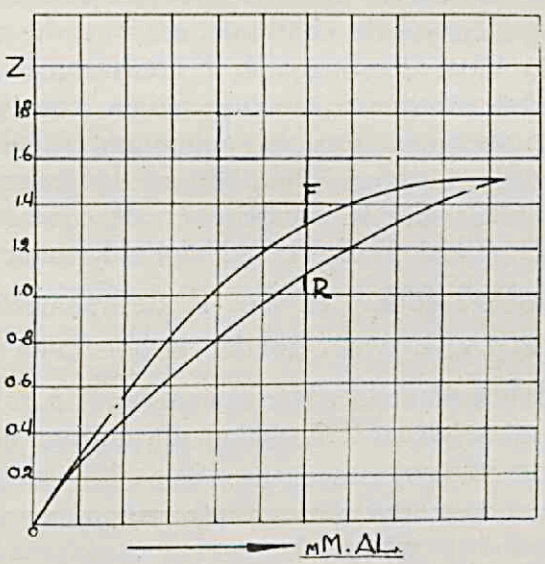
FIG. 11.



toe met de log. van den tijd, resp. intensiteit. Beneden deze zwartingswaarde wijken de curven van elkaar af in dien zin, dat in 't begindeel, dus bij zeer geringe zwartingen, de röntgenstralenzwarting sterker toeneemt dan die der foliestralen.

Terloops zij opgemerkt, dat uit dit curven-onderscheid het zoo

FIG. 12.



juist gesignaleerde verschijnsel van de toename van den versterkingsfactor met de zwarting verklaard kan worden.

Deze toename is het grootst bij de zeer geringe zwartingen (zie fig. 10) en wordt steeds geringer bij een nadering van zwartingswaarden 1.0, 1.2, 1.4. In het gebied van deze zwartingen bestaat immers een gelijk curvenverloop (zie fig. 11). Voor geringe zwartingen is het verschil het grootst, om langzaam steeds kleiner te worden. Dat wil zeggen: bij de kleine zwartingen neemt de foliestralenzwarting relatief minder sterk toe dan de röntgenstralenzwarting en dit verklaart de toename van den versterkingsfactor met de zwarting tot de maximum waarde bereikt is bij een zwarting van ongeveer 1.2.

Terugkomend op de questie van den invloed van de folie op het contrast, kunnen wij uit de fig. 11 het verschijnsel van de contrastverbetering door foliegebruik, voor zoover dit niet door de verschillende inwerking der strooistraling ontstaat, verklaren.

De zwartingskrommen als functie van de log. intensiteit (fig. 11) kunnen bij benadering gelijk gesteld worden met zwartingskrommen van een aluminium wig,[1]) omdat wij mogen aannemen, dat onder de gegeven omstandigheden van hardheid en van filtreering door 8 à 12 cM. water, de qualiteit van de straling bij het doordringen van de aluminium-wig, betrekkelijk weinig verandert, d.i. dus practisch homogeen is in den zin van Dessauer. De fig. 11 kan dus opgevat worden als bij benadering weer te geven de zwartingskrommen van röntgenstralen, resp. van röntgen- + foliestralen voor absiswaarden van een gelijkmatig in dikte toenemende aluminiumwig, zoodat gelijke absiswaarden gelijke dikte-toenamen van de wig voorstellen.

Volgens onze vroegere definitie van het contrast is de omgekeerde zwartingskromme de contrastcurve van dit object. De omgekeerde fig. 11 moet dus ongeveer de contrastcurven van röntgenstralen en folie- + röntgenstralen weergeven, zooals wij die hebben vastgesteld bij opnamen van het allumium trapje, bij uitsluiting van de strooistralenwerking. Dit blijkt nu inderdaad het geval te zijn. In figuur 12 is met R. aangegeven de contrastcurve van de opname serie D, Tafel 27 Z_o 1.5 (2 × 4 cM. water 55 KV. zonder strooistralen, zonder folies) en met F. de opname serie C, Tafel 21 Z_o 1.5 (2 × 4 cM. water zonder strooistralen mèt 2 folies). In het gebied tusschen de contrastwaarden 1.5 tot 0.3, dus over een breedte van ongeveer 1.2, wijken de curven van elkaar af om verder samen te vallen.

---

[1]) Op de absis de dikte van het aluminium.

De volkomen overeenstemming van de fig. 11 en 12 bewijzen de juistheid van de opgestelde verklaring, dat de oorzaak van de contrastverbetering bij folie-gebruik niet uitsluitend verband houdt met verschillen in strooistralenwerking, maar ook met verschillen in de zwartingsregels van röntgenstralen en licht-, resp. foliestralen.

De waarde van de hierdoor ontstane contrastverbetering bedraagt voor een opname van een grondzwarting 1.2 in het gebied van 2-8 mM. Al., ongeveer 30-20 %. Zij is dus niet onbelangrijk (vergelijk serie D. Tafel 27 curve Z_o 1.2 met serie C. Tafel 21 curve Z_o 1.2).

In geval de strooistralen vrij kunnen inwerken op de film, resp. op folie en film, wordt de verbetering van het contrast niet alleen veroorzaakt door het verschil in de zwartingen van röntgenstralen en foliestralen, maar ook door een relatief verschil in de werking der strooistralen, in dien zin, dat de verhouding van de zwartingen door strooistralen en door directe stralen bij gelijke totaal zwarting, bij gebruik van folies, meer ten gunste van de directe stralen uitvalt dan bij weglating daarvan. De strooistralenzwarting is dus bij toepassing van folies relatief verminderd ten opzichte van de zwarting door direkte straling.

Deze waarneming uit onze proeven kan als volgt worden verklaard: de directe röntgenstralen treffen de film of folie in richtingen, die slechts weinig van de loodrechte afwijken; de strooistralen daarentegen vallen voor een zeer groot deel in schuine richting in. Hoe schuiner de röntgenstralen door de film heengaan, hoe meer zwartingseffect zij veroorzaken. De grootendeels schuin invallende strooistralen hebben dus een relatief grooter inwerking op de gevoelige laag dan de bijna loodrecht invallende directe straling.

Bij toepassing van folies wordt dit anders. De fluorescentie, die in haar wordt opgewekt door de opvallende straling, zal veel minder afhankelijk zijn van de richting, waarin de stralen vallen, want zoowel de recht invallende als de schuin invallende straling wordt grootendeels geabsorbeerd, veel meer dan in de gevoelige lagen van de film, zoodat hun uitwerking weinig kan verschillen. Uit deze overweging vloeit voort, dat de verhouding van de uitwerking der strooistraling tot die der directe stralen, bij weglating der folies, anders is dan bij toepassing ervan en wel in dien zin, dat zonder folies de strooistralen relatief meer inwerken dan de directe stralen en met folies dit verschil vermindert en wel des te meer, naar mate de strooistraling weeker is. Dat zou dus tot gevolg moeten hebben, dat de verbetering van het contrast door folie-gebruik grooter wordt naarmate de hoeveelheid strooistraling toeneemt en de hardheid vermindert.

Dit blijkt inderdaad het geval te zijn en daarmee wordt de

juistheid van de hier ontwikkelde opvatting van het verband tusschen strooistraling, folie en contrast bewezen. In onderstaande tabel is dit verschijnsel duidelijk uitgedrukt. Voor opnamen bij 55 en 88 KV. max. sp. hebben wij, bij alle gebruikte waterdikten, de contrastverbetering bepaald, die door het gebruik van folies optrad bij foto's van een grondzwarting 1.2. Deze verbetering hebben wij uitgedrukt in procenten van de contrastwaarde van de opnamen zonder folie voor de aluminium dikten van 2 tot 12 mM. Al.

TABEL III.

Hardheid in KV. max. sp.	Dikte water	Contrastverbetering in het gebied van 2—12 m.m. Al.	Vergeleken contrastcurven		
55	2 × 2 cM.	40—50 %	Serie A	groep a	tafel 1
			„ B		„ 13
88	2 × 2 cM.	20—25 %	Serie A	groep a	tafel 4
			„ B		„ 14
55	2 × 4 cM.	55—65 %	Serie A	groep b	tafel 5
			„ B		„ 15
88	2 × 4 cM.	25—35 %	Serie A	groep b	tafel 8
			„ B		„ 18
55	2 × 6 cM.	65—90 %	Serie A	groep c	tafel 9
			„ B		„ 19
88	2 × 6 cM.	30—50 %	Serie A	groep c	tafel 12
			„ B		„ 20

Uit deze cijfers blijkt, dat bij constante hardheid de contrastverbetering toeneemt naarmate de absorbeerende en verstrooiende weefsellaag om het object (in casu de waterlaag) dikker wordt, d.w.z. de hoeveelheid strooistraling toeneemt. Is deze factor constant, dan wordt de contrastverbetering grooter met de vermindering van de stralen-hardheid. Daarom is de contrastverbetering het grootst bij de weeke opnamen bij 2 × 6 cM. water, en het kleinst bij de harde opnamen bij 2 × 2 cM. water. Hier is blijkbaar de contrastverbetering door verschil van inwerking van de strooistraling zoo klein, dat zij bijna wegvalt. Immers de verbetering van 20—25 % is uitsluitend te verklaren door de verschillen in de zwartingsregels van röntgenstralen en van foliestralen.

Het hier aangeduide verschijnsel is voor de practische röntgenographie van veel beteekenis, omdat de toename van de contrastverbetering juist in den gewenschten zin plaats heeft. Zij is

immers het meest noodig bij de weeke opname van de sterkst absorbeerende en verstrooiende lichaamsdeelen en het minst onder de tegenovergestelde omstandigheden.

Het blijkt ook hier wederom, dat bij de opname van een lichaamsdeel, dat een sterk filtreerenden en verstrooienden invloed heeft, de combinatie van foliegebruik en weeke straling de grootste contrastverbetering geeft. Dat de op deze wijze verkregen verbetering zeer beduidend is, moge blijken uit de cijfers van bovenstaande tabel, waar, bij 2 × 4 cM. water, verbeteringen van 55—65 %, bij 2 × 6 cM. water, zelfs van 65—90 % geconstateerd werden. Tot welke verschillen in contrast-qualiteit een onoordeelkundige techniek kan voeren, leert men uit een vergelijking van de contrastcurven van een harde opname zonder folie en een weeke opname met folie van hetzelfde object onder dezelfde omstandigheden vervaardigd. Bij 2 × 4 cM. water bedraagt de contrastverbetering tusschen opnamen van 1.2 grondzwarting, bij 88 KV. max. sp. zonder folies en 55 KV. max. sp. mèt folies, van 100 tot 150 %. Een overeenkomstige vergelijking bij 2 × 6 cM. water toont een verbetering aan van 100—120 %. [1])

Er moeten dus wel zeer gewichtige redenen bestaan om van folie-gebruik af te zien, als juist in gevallen waar contrastverbetering het meest wenschelijk is, de folies een zoo gunstigen invloed blijken uit te oefenen.

Deze gewichtige redenen bestaan volgens sommigen inderdaad. Telkens weer wordt in de literatuur het gebruik van folies afgeraden, omdat deze een vermindering van de scherpte van het beeld zouden veroorzaken. Door talrijke proeven heb ik dit onderzocht, maar kon nimmer een scherpte-verschil van beteekenis waarnemen. [2]) Ik vermoed, dat de vermindering van de scherpte, die sommigen aan de folie meenen te mogen toeschrijven, niet anders is dan de typische doezelige vervaging, die men ziet, als de folie niet vlak tegen de film aanligt. Als men niet over cassettes beschikt, waarbij een volkomen aansluiting van film en folie gewaarborgd is, zal men bij folie-gebruik vaak onscherpe gebieden in het beeld aantreffen, maar deze fout is te vermijden door het gebruik van goede film-cassettes, die tegenwoordig door verschillende firma's geleverd worden. [3])

Naar mijn meening is er dan ook geen enkele reden om het zoo voordeelige folie-gebruik te beperken.

Het typische verschil in het verloop der zwartingscurve, resp.

---

[1]) Vergelijk Serie A. en B. groep b. Tafel 5 en 18 en groep c. Tafel 9 en 20.

[2]) Deze proeven vormen een deel van het onderzoek over de scherpte in het röntgenbeeld, dat later zal worden gepubliceerd.

[3]) Aluminium cassettes.

der contrastcurve, zooals dit in fig. 11, resp. 12, voor röntgenstralen en folie plus röntgenstralen is aangegeven en de vermindering van de inwerking der strooistralen door de folies, verklaren tevens het eigenaardige verschijnsel, dat wij in het vorige hoofdstuk, bij de beschouwing van de opnamen van serie B. telkens weer hebben vastgesteld en dat hierin bestaat, dat de contrastcurve van een weeke opname zonder folies samenvalt met, of ten minste zeer dicht nadert tot de contrastcurve van een harde opname met folies.

Zoo hebben wij vastgesteld, dat bij 2 × 2 c.M. water de folie-looze opname bij 55 KV. max. sp. tot 12 m.M. Al. dezelfde contrastcurve heeft als de 88 KV. max. sp. opname mèt folie. Boven de 12 m.M. Al. is de differentiatie van de laatste nog beter dan van de eerste. Bij 2 × 4 c.M. water vonden wij, dat de 55 KV. max. sp. opname zonder folie ongeveer dezelfde differentiatie van de contrasten vertoont als de 88 KV. max. sp. opname mèt folies.

Ten slotte moeten wij nog nadrukkelijk er op wijzen, dat al deze conclusies slechts gelden voor de Gehlerfolie. Met andere folies zullen waarschijnlijk geringe quantitatieve verschillen optreden. Het is zeer onwaarschijnlijk, dat ook qualitatief een verschil merkbaar zal zijn, omdat alle folies in wezen gelijk zijn en zelfs ook in het bijkomstige van bouw en samenstelling zeer veel overeenkomst met elkaar vertoonen. Wij mogen dus aannemen, dat de conclusies over den invloed van de folies op de zwarting en het contrast, voor andere folies gelijkelijk geldig zijn.

HOOFDSTUK VI

DE INVLOED VAN DE STROOISTRALING EN HET STROOISTRALENFILTER OP DE CONTRASTEN

Het is in de röntgenographie reeds een oud ervaringsfeit dat de strooistralen een ongunstigen invloed hebben op de contrast-qualiteiten. Elk middel om de inwerking van de strooistralen op de gevoelige laag te verminderen wordt dan ook steeds gaarne toegepast. Men bereikt daardoor een verbetering van de contrasten, die vooral bij de opname-techniek van dikke lichaamsdeelen zeer gewenscht is.

Aanvankelijk verkreeg men de vermindering van de strooistralen-werking uitsluitend door toepassing van de compressietubus met diaphragma. Men kan op deze wijze echter alleen een zeer klein gebied van het lichaam röntgenographeeren; voor overzicht foto's is dit middel uiteraard ongeschikt. De compressie is bovendien voor den patiënt onaangenaam en veelal slechts in beperkte mate mogelijk.

Bucky's ontdekking van een strooistralenfilter bleek aanvankelijk voor de praktijk van weinig beteekenis, omdat het oorspronkelijke Bucky-diaphragma, door de firma Siemens en Halske in den handel gebracht, in de praktijk niet voldeed. De Amerikaan Potter heeft het Bucky principe van strooistralenfiltering geschikt gemaakt voor de praktijk door er een gewijzigde toepassing van te maken, waardoor de bruikbaarheid aanmerkelijk won. Zijn bewegende, vereenvoudigde Bucky-diaphragma heeft een zeer groot filtereffect voor strooistralen en geeft geen hinderlijke lijnschaduwen als men zorgt voor zuivere instelling van de buis en niet te korte belichtingstijden.

Het Potter-Bucky diaphragma is thans een zeer belangrijk röntgenographisch hulpmiddel geworden, dat ons een groot aantal nieuwe mogelijkheden heeft doen ontdekken. Nog zijn wij slechts aan het begin van de practische toepassing van dit strooistralen-filter. Het toestel zelf kan waarschijnlijk nog verbeterd worden, zoodat de storende streepvorming, die bij kortdurende opnamen vaak optreedt, vermindert en het gebruik ervan kan een grooter effect geven resp. tot nieuwe gebieden worden uitgebreid, wanneer de functie van het filter beter begrepen wordt.

In dit onderzoek is getracht een begin te maken met de be-

paling van den invloed van het strooistralenfilter op het contrast om hiermede den grondslag te leggen voor een meer doelbewuste ontwikkeling van deze nieuwe methode van röntgenographie.

In de literatuur is over dit belangrijke vraagstuk van de moderne opname-techniek nog zeer weinig verschenen. Wilsey [1]) heeft in een tweetal artikelen onderzoekingen over de röntgenographische beteekenis van de strooistralen gepubliceerd. In de eerste studie gaf hij de resultaten van zijn onderzoek naar de verhouding van de intensiteiten van de strooistraling en de direkte straling, die op de film inwerkt.

In de eerste plaats bepaalde hij de waarde van deze verhouding bij verschillende dikte van een watermassa, die onmiddellijk op de film geplaatst was.

In de tweede plaats gaf hij een overzicht van den invloed, dien de hardheid van de primaire straling op de verhouding tusschen strooistralen-intensiteit en directe stralen-intensiteit heeft.

Boven de film is een waterbak tot een hoogte van 6 inch gevuld. Tusschen deze bak en de film is een diaphragma. Bij deze opstelling vond hij de waarden die in onderstaande tabel zijn weergegeven.

TABEL IV.

Vonklengte Inch.	Vonklengte cM.	Verhouding strooistr. intens. tot totaal intens. in % van de laatste.	Verhouding stro istr. intens. tot focale stralenintens. in % van de laatste.
3	7.5	81 %	430 %
4	10.—	82 %	460 %
5	12.6	83 %	490 %
5½	14.—	85 %	570 %
6	15.1	85 %	570 %
7	17.7	85 %	570 %
9	22.7	87 %	670 %

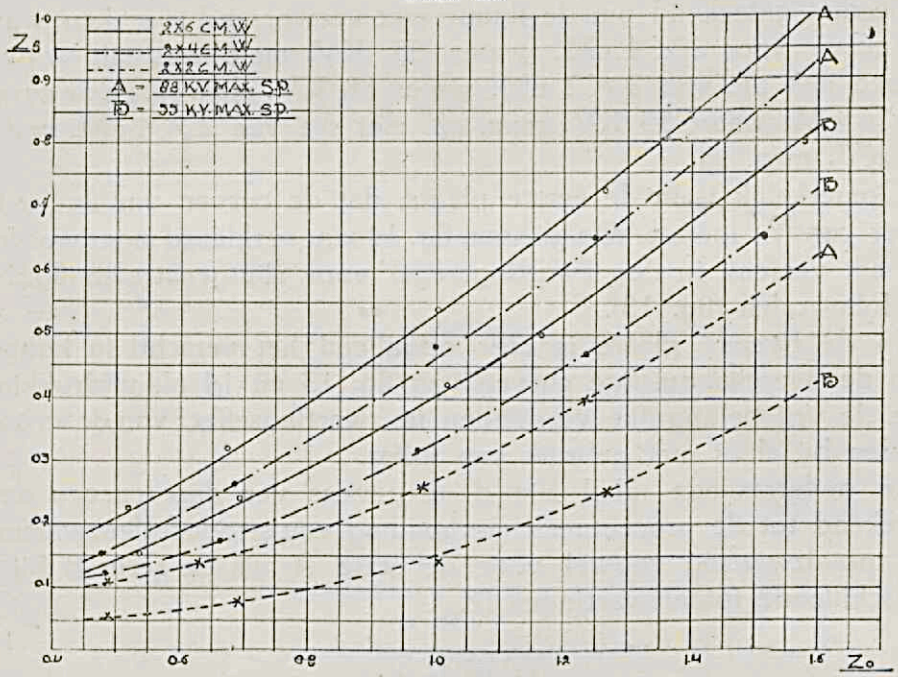
De cijfers geven wel een zeer sprekenden indruk van de groote intensiteit van de strooistraling, die op de film inwerkt. Toch zeggen ons deze getallen nog niet genoeg. Röntgenographisch interesseeren ons meer de zwartingen dan de intensiteiten.

Om over de beteekenis van de strooistraling voor de zwarting van de film gemakkelijk een oordeel te kunnen vormen is in figuur 13 en 14 de strooistralenzwarting als funktie van de totaalzwarting (grondzwarting), Z_s als functie van Z_o, opgeteekend.

[1]) Amerc. Journal of roentgenology Vol. VI en The effect of scattered X Rays in Radiography. Amer. Journal of Roentgenology Vol. VII 10 Oct. 1921.

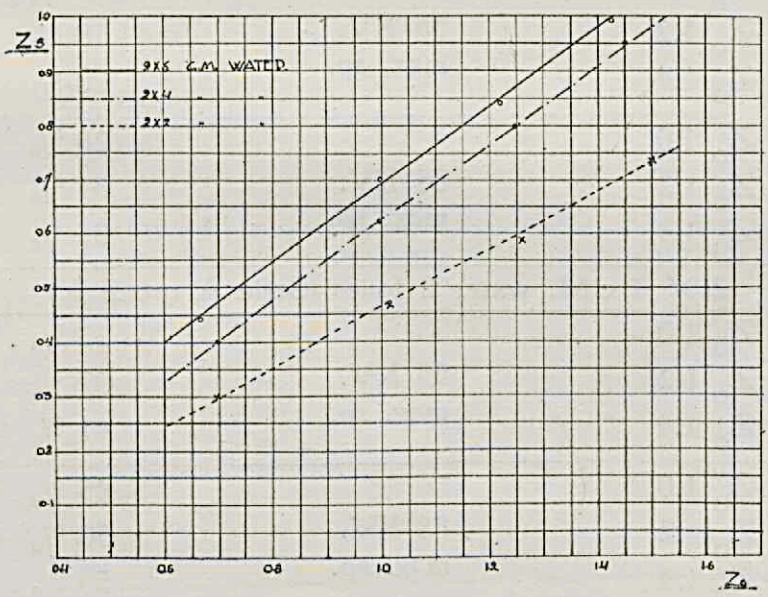
Wij kunnen uit deze curven aflezen, hoe groot de strooistralenzwarting is bij elke totaalzwarting, die in de practische röntgenographie kan voorkomen en de procentueele verhouding berekenen. De curven zijn samengesteld uit bepalingen van Z_s en Z_o van

FIG. 13.



mijn proevenreeksen. Fig. 13 geeft de verhouding weer van de strooistralenzwartingen tot de totaalzwartingen van de opnamen

FIG. 14.



van serie A (met folies) resp. bij 2 × 2, 2 × 4 en 2 × 6 cM. water voor stralingen van een hardheidsgraad van 55 en 88 KV. max. sp. De fig. 14 geeft dezelfde verhouding voor opnamen van serie B (zonder folies) resp. bij 2 × 2, 2 × 4 en 2 × 6 cM. water en bij 88 KV. max. sp. De curven voor 55 KV. max. sp. zijn voor deze serie niet geteekend om de figuur niet verwarrend te maken, want de curve voor 2 × 4 cM. water 55 KV. max. sp. valt vrijwel samen met die van 2 × 2 cM. water 88 KV. max. sp. en de curve 2 × 6 cM. water 55 KV. max. sp. met die van 2 × 4 cM. water 88 KV. max. sp.

Opmerkelijk is in de eerste plaats, dat de curven van figuur 13 meer convex loopen dan die van fig. 14 wat verklaard moet worden uit het verschil in den zwartingsregel voor röntgenstralen (fig. 14) en foliestralen (fig. 13).

In de tweede plaats is zeer opvallend het verschil in hoogte van de overeenkomstige curven van fig. 13 en 14 als uitdrukking van de vrij belangrijke verschillen in zwartingseffect van de strooistralen bij al of niet gebruik van folies.

In onderstaande tabel zijn de gegevens van deze curven omgerekend tot de procentueele verhouding van strooistralenzwarting en totaalzwarting zoowel voor de serie A als de serie B bij 3 verschillende totaalzwartingen (Z_o).

TABEL V.

Procentueele verhouding van strooistralenzwarting tot totaalzwarting (Z_s in % van Z_o)

2 × 2 c.M. water 2 folies (Serie A groep a.)		
Z_o 1.0		15 %
Z_o 1.2	55 KV. max. sp.	19 %
Z_o 1.4		20 %
Z_o 1.0		26 %
Z_o 1.2	88 KV. max. sp.	31 %
Z_o 1.4		34 %
2 × 4 c.M. water 2 folies (Serie A groep b.)		
Z_o 1.0		33 %
Z_o 1.2	55 KV. max. sp.	37 %
Z_o 1.4		41 %
Z_o 1.0		45 %
Z_o 1.2	88 KV. max. sp.	50 %
Z_o 1.4		53 %

2 × 6 c.M. water 2 folies (Serie A groep c.)		
Z_o 1.0	55 KV. max. sp.	40 %
Z_o 1.2		43 %
Z_o 1.4		48 %
Z_o 1.0	88 KV. max. sp.	52 %
Z_o 1.2		56 %
Z_o 1.4		59 %
2 × 2 c.M. water geen folies (Serie B groep a.)		
Z_o 1.0	55 KV. max. sp.	35 %
Z_o 1.2		
Z_o 1.4		
Z_o 1.0	88 KV. max. sp.	48 %
Z_o 1.2		
Z_o 1.4		
2 × 4 c.M. water geen folies (Serie B groep b.)		
Z_o 1.0	55 KV. max. sp.	50 %
Z_o 1.2		
Z_o 1.4		
Z_o 1.0	88 KV. max. sp.	62 %
Z_o 1.2		
Z_o 1.4		
2 × 6 c.M. water geen folies (Serie B groep c.)		
Z_o 1.0	55 KV. max. sp.	58 %
Z_o 1.2		
Z_o 1.4		
Z_o 1.0	88 KV. max. sp.	70 %
Z_o 1.2		
Z_o 1.4		

Het verschil in curve-verloop komt in deze tabel duidelijk tot uitdrukking. In serie B is de toename van de strooistralenzwarting bij benadering evenredig aan de toename van de totaal-zwarting; de verhouding van de beide waarden blijft gelijk. In de serie A is dit niet het geval, daarbij neemt de strooistralenzwarting in verhouding tot de totaalzwarting sterker toe. Het verschil is nog vrij aanzienlijk en bedraagt in de meeste gevallen wel 8 %.

De tabel geeft een duidelijk overzicht van de beteekenis van de strooistraling voor de zwarting bij de proefopstellingen, die wij gekozen hebben. In de praktische röntgenographie komen dergelijke verhoudingen en nog veel ongunstiger, zeer dikwijls voor. Wij zien dus welke groote beteekenis de strooistraling in de practische röntgenographie voor de beeldvorming heeft. In de meeste gevallen is minstens de helft van de zwarting door strooistralen veroorzaakt en het is zeer goed mogelijk, dat bij de opname van gedeelten van het abdomen voor maag-, darm-, galblaas-, nier-, urineblaas- of bekkendiagnostiek tot 85 % van de zwarting door strooistralen wordt veroorzaakt als wij zien, dat bij 2×6 c.M. water reeds waarden van 59 en 70 % bereikt worden.

Welken grooten invloed op de beeldvorming de toepassing van het strooistralenfilter dan wel moet hebben, kan men zich hieruit reeds voorstellen. De tabel toont ons nog een merkwaardig feit aan, dat even onze aandacht verdient; dat is de overeenstemming van de getallen voor 88 KV. max. sp. opnamen mèt folies en de 55 KV. max. sp. opnamen zonder folies. Deze waarneming past weer bij het vroeger reeds vastgestelde feit, dat de harde opname met folies ongeveer dezelfde contrastqualiteiten vertoont als de weeke opname zonder folies.

Na deze inleidende beschouwing over de beteekenis van de strooistralen voor de zwarting gaan wij onze aandacht geven aan het vraagstuk van den invloed dezer stralen op de contrasten, of wat hetzelfde is van de verandering van de contrastcurve door de voorkoming van de strooistralenwerking.

Voor ons experimenteel onderzoek was de toepassing van een strooistralenfilter als het origineele Bucky-diaphragma of het moderne Potter-Bucky filter niet geschikt, omdat in beide gevallen de schaduwen van de filterlamellen een juiste bepaling van de contrastwaarden zou bemoeilijken resp. onmogelijk maken. Wij kozen daarom een ander zeer ouderwetsch middel om ons doel te bereiken en wel de diaphragmeering.

Wij plaatsten een geparafineerd houten bakje (wanddikte $^1/_2$ cM., grondvlak 22×27 cM. hoogte 20 cM.) op 60 cM. afstand van de film (fig. 15). Op het deksel en den bodem van het bakje is een loodscherm met een zoodanige opening, dat van het focus der

röntgenbuis die op een meter van de film staat, een stralenbundel kan doorgaan, die juist zoo groot is, dat de geheele oppervlakte van de film (13 × 18) wordt belicht. De hoeveelheid strooistralen, die dan de film bereiken kan, is zoo klein, dat zij praktisch verwaarloosd kan worden. Dit bleek ook uit onze metingen die aanwezen, dat geen meetbare strooistralenzwarting aanwezig was.

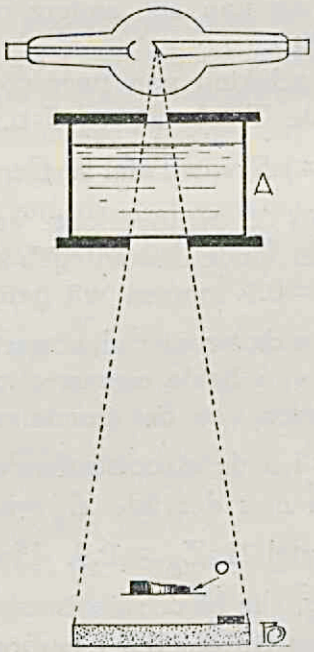


FIG. 15.

A = waterbak met loodscherm op bodem en deksel waarvan de rechthoekige opening juist de gewenschte stralenbundel doorlaat.
B = Cassette waarop een klein stukje lood.
O = Aluminiumtrapje.

In de schaduw van het stukje lood dat op de cassette (B) ligt, wordt de zwarting van den ontwikkelingssluier gemeten. Door het bakje met 8 resp. 12 cM. water te vullen krijgen wij dezelfde verzwakking van de straling als bij onze vroegere opstelling met 2 × 4 cM. water en 2 × 6 cM. water. De opnamen worden daardoor vergelijkbaar. Een vulling met 4 cM. water ter vergelijking met de 2 × 2 cM. water opnamen van de vorige series hebben wij niet noodig geoordeeld, omdat hierbij de strooistraleninwerking te gering is. De curven van de series proeven, waarbij de strooistraleninwerking is voorkomen (serie C en D) zijn wederom alle op dezelfde schaal geteekend als die van serie A en B.

De vergelijkende beschouwing van de contrastcurven van deze series met die der beide vorige en met de normaal curven geeft veel verrassende resultaten.

Eerst vestigen wij onze aandacht op de serie opnamen met versterkingsfolies (serie C.).

De weeke 55 KV. max. sp. opnamen van groep b (8 cM. water) Tafel 21, vertoonen ten opzichte van de foto's van serie A groep b Tafel 5 (2 folies 2×4 cM. water 55 KV. max. sp.) in de contrastcurven de typische verschillen in hoogte en vorm, die men in 't algemeen bij vergelijking van alle andere overeenkomstige curven uit deze series opmerkt.

Leerzaam is de vergelijking van twee contrastcurven met gelijke contrastbreedte van de Tafels 21 en 5 b.v. de curven $Z_o = 0.9$ van Tafel 21 en $Z_o = 1.5$ van Tafel 5. De eerste, de strooistralenvrije opname, heeft in 't beginverloop een veel sneller stijging dan de laatste, aan het einde daarentegen is de eerste veel vlakker. De foto Tafel 21 $Z_o = 0.9$ kunnen wij gelijk stellen aan de foto Tafel 5 $Zo = 1.5$ minus de strooistralenzwarting. Toch zijn blijkbaar de contrastqualiteiten van beide opnamen niet gelijk, want als men van de zwartingswaarden van de aluminiumtrapjes (Z_b) van de opname Tafel 5 $Zo = 1.5$ de strooistralenzwarting ter waarde van 0.6 aftrekt, krijgt men niet dezelfde Z_b waarden als van de strooistralenvrije opname Tafel 21 $Z_o = 0.9$. Hoewel dus de intensiteit van de röntgenstraling, die bij de strooistralenvrije opname de zwartingen van de aluminium trapjes (Z_b) veroorzaakt, gelijk is aan de intensiteit van de röntgenstralen die bij de opname met strooistralen-inwerking deze zwartingen veroorzaakt minus de intensiteit van de strooistraling, zijn de zwartingen Z_b van de eene opname niet gelijk aan de zwartingen Z_b van de andere minus de strooistralenzwarting.

De verbetering van het contrast van de strooistralenvrije opname ten opzichte van de gewone, onder overigens gelijke omstandigheden genomen, is groot, hoewel bij deze weeke straling niet zoo belangrijk als bij de hardere. Opnamen met een grondzwarting $Z_o = 1.2$ vertoonen voor de objectsdeelen 2 — 4 — 6 — 8 en 12 m.m. Al. contrastverbeteringen van resp. 83 — 70 — 68 — 65 en 65 %. Ten opzichte van de normaal-curven merken wij zeer duidelijk het onharmonische karakter van de differentiatie op. Zij is in het gebied der dunne objectdeelen zeer sterk, bij de dikke zeer gering.

Indien men dus in een bepaald geval de grootst mogelijke differentiatie in het gebied der zeer dunne objecten zou verlangen, dan zou deze opname-techniek met weeke stralen en strooistralenfiltreering het gewenschte resultaat geven. In onze proeven werd in het gebied van 2 en 4 m.m. Al. nog 60 en 50 % beter contrast

bereikt dan onze hoogste normaal-curve in dit gebied aangeeft. Wij kunnen dus op deze wijze voor dit gebied een contrastdifferentiatie krijgen, die ver boven deze eischen uitgaat.

De curven van de strooistralenvrije opnamen bij 88 KV. max. sp. (Tafel 22) zijn uit een praktisch oogpunt nog belangwekkender dan die van de weeke foto's van Tafel 21.

In de eerste plaats zien wij bij de vergelijking van de overeenkomstige opnamen mèt strooistralensluier weer het typisch verschil in curvenverloop, dat wij reeds bij de weekere foto's opmerkten. De opnamen met gelijke contrastbreedten hebben niet dezelfde differentiatie in de verschillende deelen der curve. De curve van de strooistralenvrije opname is in 't begin meer, op het eind minder steil dan die van de overeenkomstige gewone foto van dezelfde contrastbreedte. Vergelijk curve $Z_o = 0.6$ Tafel 22 met $Z_o = 1.2$ Tafel 8.

De contrastverbetering door het strooistralenfilter is hier veel grooter dan bij de weeke straling. Bij 2 — 4 — 6 — 8 en 12 m.m. Al. bedraagt zij resp. 165 — 135 — 120 — 110 en 100 % voor opnamen met een zwarting van ongeveer 1.2 (vergelijk Tafel 8 en 22). Dat zijn dus wel zeer belangrijke verbeteringen, die groote praktische beteekenis moeten hebben.

Bij de vergelijking met de normaal-curven merken wij dadelijk het harmonische karakter van de differentiatie op. De curve van een grondzwarting $Z_o = 1.1$ (niet geteekend, wel uitgemeten) valt zelfs volkomen met de hoogste normaal-curve samen; die van $Z_o = 1.2$ heeft denzelfden harmonischen vorm, maar verloopt in 't algemeen iets steiler. Zeer opmerkelijk is het telkens terugkeerende verschijnsel, dat de fraaiste contrastcurven bij de strooistralenvrije opname niet met een weeke, maar met een tamelijk harde straling wordt verkregen. Wij wezen er reeds op, dat de weeke opnamen van Tafel 21 sterk afwijken van de in de normaalcurve uitgedrukte harmonie der differentiatie. Bij de dunne objecten is zij overmatig groot, bij de dikke veel te klein. Bij de hardste opname, die wij gemaakt hebben (88 KV. max. sp. Tafel 22) daarentegen blijkt de differentiatie over de geheele contrastbreedte. bij een normale grondzwarting ($Z_o = 1.2$) veel beter in overeenstemming met de eischen van onze beste normaal-curve.

Door de hardheid van de primair straling nog hooger op te voeren zal de curve nog meer naderen tot de rechte lijn. De differentiatie zal in 't begindeel dus relatief kleiner, op het einde grooter worden. Voor een lichaamsdeel dat de röntgenstralen ongeveer in gelijke mate absorbeert en verstrooit, als in deze

proeven de 2 × 4 c.M. water, zal dus de strooistralenvrije opname de volgens onze norm meest harmonische differentiatie over de geheele contrastbreedte vertoonen bij een hardheid van de primairstraling van ongeveer 88 KV. max. sp.

Is het de bedoeling een zeer sterke onderscheidenheid der contrasten te verkrijgen voor het gebied der dunne objectdeelen, dan zal, zooals reeds opgemerkt werd, een weekere straling (niet lager dan 55 KV. max. sp.) gebruikt moeten worden.

Wil men maximale differentiatie in de sterk absorbeerende objectdeelen dan zal men een hoogere spanning dan 88 KV. moeten aanleggen b.v. 110 of 120 KV. max. sp.

De belichting, die noodig is om tot een zekere grondzwarting te komen, is bij de strooistralenvrije opname veel grooter dan bij de overeenkomstige gewone opname, omdat de zwarting van deze laatste voor een groot deel door de strooistralen wordt veroorzaakt. De belichtingstabel achter in dit boekje geeft dit duidelijk aan. Door het wegfiltreeren der strooistralen wordt de belichtingstijd in deze groep ongeveer eens zoo lang. [1])

Men moet hierbij echter opmerken, dat bij een veel hardere straling betere contrastqualiteiten bereikt kunnen worden. Bij 88 KV. max. sp. zonder strooistraling heeft men zooals wij zagen een veel fraaier contrastcurve, dan bij 55 KV. max. sp. mèt strooistraling; in het eerste geval is de belichtingsduur bij gelijke belasting geringer dan in het tweede. Theoretisch kan men dus door toepassing van een strooistralenfilter bij hetzelfde object in korten tijd betere contrastqualiteiten bereiken dan op de gewone wijze.

Wij zullen dit aan de hand van de belichtingstabel nader uitwerken. De gewone opname bij 55 KV. max. sp. = 39 KV. eff. sp. 2 × 4 cM. water twee folies heeft bij 10 MA. een relatieven belichtingsduur van 25 eenheden noodig voor een grondzwarting van ongeveer 1.2; de strooistralenvrije opname bij 88 KV. max. sp. = 62.5 KV. eff. sp. 8 cM. water twee folies moet bij 10 MA. gedurende 8 tijdseenheden belicht worden om dezelfde grondzwarting te bereiken. De belasting (KW) per tijdseenheid is echter bij de tweede opname 62.5 : 39 = 1.6 × grooter dan bij de eerste. Om dus tot gelijke belasting per tijdseenheid te komen moeten wij de MA. verlagen tot ongeveer 6 MA. en daardoor den tijd verhoogen tot ongeveer 14 eenheden om de gewenschte zwarting te bereiken.

---

[1]) De practici zullen opmerken, dat de opname met het Potter-Bucky diaphragma vervaardigd gewoonlijk veel meer dan dubbel zoo lang belicht moet worden dan de gewone onder gelijke omstandigheden vervaardigd. Dit moet verklaard worden uit het feit, dat meestal het te röntgenographeeren lichaamsdeel veel dikker is dan bij deze proef en de lamellen van het Potter-Bucky diaphragma nog een niet onbelangrijk deel der primaire stralen wegnemen.

Het blijkt dus, dat de belichtingsduur onder deze omstandigheden toch nog van 25 op 14 d.i. met 45 % kan worden verkort.[1]) Men kan dus door harde straling met strooistralenfiltreering te combineeren bij gelijke belasting (KW) van de buis in ongeveer de helft van den tijd betere contrastqualiteiten verkrijgen. Dit proefondervindelijke resultaat zal in de praktijk niet in dezelfde mate bereikt kunnen worden wegens de onvolmaaktheid van het tegenwoordige strooistralenfilter, maar in principe blijft het voordeel bestaan.

Tot nu toe wordt in de practische röntgenographie zelden van het Potter-Bucky filter gebruik gemaakt bij voorwerpen met zoo weinig strooistraling als van deze groep (2 × 4 cM. water). Wij zagen vroeger reeds, dat men hier ook zonder strooistralenfilter voldoende contrasten kon verkrijgen al werd toen reeds de wenschelijkheid van toepassing van een filter bepleit voor het bereiken van hoogere eischen. Wanneer nu daarbij de mogelijkheid nog komt van een niet-verlengen, misschien een verkorten van den belichtingstijd dan zal bij sommige röntgenographische opgaven de techniek met strooistralenfilter ook bij deze weinig dikke lichaamsdeelen met voordeel kunnen worden toegepast.

Meer noodzakelijk wordt echter de filtreering der strooistralen bij de röntgenographie van zwaardere lichaamsdeelen, die met onze proefopstelling van 2 × 6 cM. water overeenkomen. De waarnemingen in deze groep c van de serie C (met folies) zijn dan ook uit een practisch oogpunt het meest belangwekkend. Wij hebben daarom van deze groep het onderzoek uitgebreid over de 4 verschillende hardheidsgraden, die wij ook in serie A gebruikten. In het algemeen treffen wij bij deze groep opnamen dezelfde verschijnselen, die bij de vorige groep beschreven werden.

In de eerste plaats zien wij ook hier den vorm van de contrastcurve geleidelijk veranderen met de hardheid. De weekste opnamen zijn bij de dunne objectsdeelen veel meer gedifferentieerd dan bij de dikkere, de curve stijgt aanvankelijk snel om later bijna horizontaal te verloopen. Bij toenemende hardheid wordt de bocht flauwer het groote verschil in differentiatie van dunne en dikke objectdeelen neemt af; bij de hardste straling (88 KV. max. sp.) nadert de curve tot de rechte lijn (vergelijk de tafels 23 - 24 - 25 - 26). Het verschil in curveverloop tusschen de weekste en de hardste opnamen (Tafel 23 en 26) is beduidend. De contrasten van de eerste zijn bij een grondzwarting van 1.2 voor 2 - 6 m.m. Al. ongeveer 50 - 60 % hooger dan bij de laatste. Wanneer wij Tafel 23 vergelijken met de normaal-curve dan blijkt ook hier weer, dat de mate van onder-

[1]) Wij merken op, dat deze cijfers slechts bij ruwe benadering juist zijn, omdat de getallen van de belichtingstabel geen groote nauwkeurigheid hebben.

scheidenheid der contrasten in 't gebied der dunne objectdeelen bij de gewone grondzwarting $Z_o = 1.2$ veel grooter is dan de normaal-curve I eischt, terwijl de differentiatie in het verdere gebied vèr daar beneden blijft.

Wanneer dus bij een bepaalde röntgenographische opgave een flinke differentiatie over de geheele contrastbreedte geen strikte vereischte is, daarentegen de grootst mogelijke onderscheidenheid in 't gebied der dunne objectdeelen gevraagd wordt, dan zou er aanleiding zijn een weeke straling met strooistralen-filtreering toe te passen. Practisch zal men daarbij op het bezwaar stuiten van zeer lange tijden of zeer zware belastingen en dus moeten zoeken naar de weekste straling, die in deze opzichten bruikbaar is.

Een meer harmonische differentiatie verkrijgt men ook nu weer met hardere stralen.

In de vorige groep (8 c.M. water) gaf de straling van 88 KV. max. sp. een differentiatie die bij de gewone grondzwarting volkomen aan den eisch van de beste normaal-curve beantwoordde. In deze groep (12 c.M. water) zal men dus moeten verwachten, dat bij de hardheid van 88 KV. max. sp. de curve van een grondzwarting 1.2 iets rechter verloopt, dus in 't begindeel wat minder steil en op het einde steiler is dan de normaal-curve I. Bij een hoogere grondzwarting kan men wel de differentiatie in 't begindeel der curve opvoeren, en daarmede op de waarde van de normaal-curve brengen, maar dan wijkt zij ook verder des te meer daarvan af (zie Tafel 26).

De iets weekere opnamen b.v. van 77 KV. max. sp. moeten dus dichter tot de eischen van de normaal-curve I naderen. Inderdaad blijkt deze hardheid de juiste voor het bereiken van die mate van onderscheidenheid, die in onze normaal-curve I werd uitgedrukt.

De tafel 25 geeft de curven van deze opnamen. Zij vallen bijna geheel samen met de overeenkomstige curven van de vorige groep bij 88 KV. max. sp. (Tafel 22) en hebben dus evenals deze hetzelfde harmonische verloop als de normaal-curven. De opnamen bij 66 KV. max. sp. (Tafel 24) naderen weer meer tot die van het weekste type (55 KV. max. sp.) en voldoen dus niet geheel aan den eisch van de contrastharmonie, die in de normaal-curve werd uitgedrukt.

Wij zijn ons steeds zeer goed ervan bewust, dat niet ieder het eens zal zijn met dezen door ons vastgestelden eisch van contrastharmonie, maar dat doet aan de waarde van deze beschouwingen niets af. De bedoeling van deze vergelijkingen is alleen om aan de hand van zekere, betrekkelijk willekeurige normen aan te toonen, dat door variatie van verschillende factoren de verhouding van

de contrasten d. i. het verloop van de contrastcurve binnen zekere grenzen zeer nauwkeurig te regelen is.

Wanneer dus een andere norm van harmonische differentiatie werd gekozen, zou dit alleen ten gevolge hebben, dat eenigszins andere voorwaarden van hardheid en grondzwarting gekozen moeten worden om deze norm te bereiken, maar de algemeene conclusie blijft bestaan, dat door de keuze van de juiste omstandigheden de vorm van de contrastcurve zeer fijn beheerscht kan worden.

Nog willen wij in 't kort de aandacht vestigen op de zeer belangrijke verbetering van de contrasten, die door het wegnemen van de inwerking der strooistraling bij deze groep opnamen te bereiken is.

Vergelijken wij daartoe de opnamen uit de serie A en C (mèt en zonder strooistraleninwerking), die onder gelijke omstandigheden vervaardigd zijn en wel eerst die welke bij 55 KV. max. sp. zijn opgenomen en een grondzwarting van 1.2 hebben (Tafel 9 en 23). Het blijkt, dat de contrastverbetering bij de strooistralen-vrije-opname bij 2 - 4 - 6 - 8 en 12 m.m. Al. resp. bedraagt 165 - 140 - 130 - 105 en 85 %. Bij de 88 KV. max. sp. opnamen van dezelfde grondzwarting (Tafel 12 en 26) zijn deze waarden resp. 190 - 170 - 160 - 145 en 110 %.

Dergelijke cijfers toonen overtuigend aan, dat de invloed van het strooistralenfilter op de contrasten inderdaad buitengewoon groot is. Het ligt voor de hand, dat deze invloed grooter is naarmate de strooistraling intensiever is dus bij hardere straling en dikkere watermassa's. Duidelijk blijkt dit uit onderstaande tabel, die de procentueele verbetering van de contrastwaarden van een strooistralenvrije ten opzichte van een gewone opname bij een grondzwarting van 1.2 bij 2 × 4 cM. resp. 2 × 6 c.M. water en 55 KV. max. sp. resp. 88 KV. max. sp. aangeeft.

TABEL VI.

	2 × 4 cM. water.		2 × 6 cM. water.	
Dikte Al.	55 KV. max. sp.	88 KV. max. sp.	55 KV. max. sp.	88 KV. max. sp.
2 m.m.	83 %	165 %	165 %	190 %
4 m.m.	70 %	135 %	140 %	170 %
6 m.m.	68 %	120 %	130 %	155 %
8 m.m.	65 %	110 %	105 %	135 %
12 m.m.	65 %	100 %	85 %	110 %

Waar in de praktische röntgenographie vaak nog veel ongunstiger omstandigheden ten opzichte van de relatieve intensiteiten

der strooistralen voorkomen kan men zich denken, hoe groot de invloed van het strooistralenfilter op het contrast zal zijn.

Ook wanneer men de gunstigste gewone opnamen die bij 2 × 6 cM. water gemaakt werden door toepassing van de weekste straling (55 KV. max. sp.) vergelijkt met de hardste strooistralenvrije opname dan blijft de contrastverbetering nog aanzienlijk. Voor een foto van grondzwarting 1.2 is deze verbetering bij 2 — 4 — 6—8 en 12 m.m. Al. resp. 62 — 60 — 56 — 53 — 50 %.

Dit is een feit, dat praktisch van groote beteekenis is, want hieruit blijkt de mogelijkheid met het strooistralenfilter met harde stralen in korten tijd een betere foto te maken dan met weeke stralen zonder dit filter. Volgens dezelfde berekening, die wij zoo even bij de opnamen van groep b gemaakt hebben, zouden hier volgens de gegevens van onze belichtingstabel de relatieve belichtingstijden bij gelijke KW. belasting per sec. voor de 88 KV. opname zonder strooistralen en 55 KV. opname mèt strooistralen resp. bedragen 24 en 62 eenheden voor een grondzwarting van ongeveer 1.2. Er zou dus in ongeveer $^2/_5$ van den tijd bij gelijke belasting een aanmerkelijk beter resultaat te bereiken zijn.

In de praktijk zal ook hier weder door de onvolmaaktheid van het strooistralenfilter, dit voordeel belangrijk beperkt worden, maar zoo ongunstig zijn de verhoudingen daarbij toch niet, dat alle winst van tijd en contrast, die op deze wijze te bereiken zou zijn, verloren zou gaan.

Tenslotte zullen wij nog onze aandacht moeten geven aan de serie opnamen zonder strooistralen en zonder folies genomen (serie D), die meer uit een theoretisch dan uit een practisch oogpunt van belang zijn.

Op het typisch verschil in het verloop der contrastcurve tusschen de overeenkomstige opname van serie C en D (mèt en zonder folies) hadden wij reeds in het vorige hoofdstuk gelegenheid te wijzen. De vergelijking van Tafel 21 en 27; 22 en 28; 26 en 29 brengt ons telkens weer tot dezelfde waarneming, dat de folieopnamen in 't begindeel van de curven een steiler, later een vlakker verloop hebben dan de overeenkomstige opnamen zonder folies. De verschillen zijn over het algemeen niet bijzonder groot, zoodat de contrastqualiteiten van de opnamen van deze serie niet veel achterstaan bij die van de vorige serie. Bij deze opnametechniek met strooistralenfilters is dus, in tegenstelling met de gewone methode van röntgenographie, het gebruik van folies voor de contrastverbetering van veel minder belang. De noodzakelijkheid van foliegebruik is hier uitsluitend gelegen in de vergrooting van het nuttig effect der röntgenstraling. Zonder folies is bij toepassing van een strooistralenfilter een enorme belasting

van de buis noodig om tot een behoorlijke grondzwarting te geraken. Deze zijn zoo hoog, dat wij zelfs in de proeven met 12 cM. water geen weeke opname (55 KV. max. sp.) zonder folie hebben genomen en slechts tot enkele opnamen met 88 KV. max. sp. ons beperkt hebben. Op de belichtingstabel kan men zien, welke enorme tijden men noodig heeft bij deze methode van werken.

Dit is de eenige reden waarom de toepassing van folies bij gebruik van een strooistralenfilter praktisch noodzakelijk geacht moet worden.

De contrastqualiteiten kunnen gemakkelijk aan de hoogste eischen van de normaal-curve beantwoorden. Bij 8 c.M. water is de weeke opname (55 KV. max. sp.) weer in denzelfden zin afwijkend van de normaal-curve als bij de overeenkomstige opname mèt folies. De differentiatie is in 't begindeel der curve weer grooter, op 't einddeel veel minder dan de normaal-curve verlangt (Tafel 27). De harde opname 88 KV. max. sp. bij deze waterdikte (Tafel 28) heeft echter bij een grondzwarting van 1.2 contrastqualiteiten, die vrijwel volkomen beantwoorden aan de eischen van duidelijkheid en harmonie, die in de normaal-curve I tot uitdrukking werd gebracht.

Bij 12 c.M. water moet een iets minder harde straling b.v. 70 KV. max. sp. gekozen worden om dergelijke contrastqualiteiten te bereiken.

Het blijkt dus, dat in 't algemeen de mogelijkheid om in dit opzicht aan hooge eischen te voldoen, ook zonder folie-gebruik bestaat. De verbetering van de contrasten ten opzichte van de overeenkomstige opname mèt strooistraleninwerking is ook hier weer belangrijk. (Vergelijk Serie D en Serie B) Bij 8 c.M. water is de toename van het contrast in procenten bij opnamen met een grondzwarting van 1.2 voor de aluminiumdikte 2 — 4 — 6 — 8 en 12 m.m. Al. bij 55 KV. steeds ongeveer 130—120 % bij 88 KV. resp. 150 — 150 — 150 — 150 — 125 %.

Deze verbetering is dus niet gelijkwaardig aan die van de opnamen met folies, vooral het verschil bij de weeke foto's is groot en moet verklaard worden uit den invloed der folies op de strooistralenzwarting (zie vorig hoofdstuk.)

De algemeene conclusie uit deze beschouwingen over den invloed van de strooistraling op het contrast is, dat zij in vele gevallen (opnamen van dikke lichaamsdeelen) het bereiken van goede contrastqualiteiten onmogelijk maakt. Anderzijds blijkt, dat een uitschakeling van haar inwerking op de gevoelige laag door toepassing van een strooistralenfilter ons in staat stelt met behulp van versterkingsfolies in alle gevallen de prachtigste contrasten in elke gewenschte differentiatie te verkrijgen, zonder dat de röntgenbuis overmatig belast moet worden.

De verbetering van de strooistralenvrije opname-techniek zal dan ook in de toekomst onze bijzondere aandacht verdienen.

BESLUIT

De hier ontwikkelde methode om door middel van de zwartingsverschil-curve de contrast-qualiteiten van röntgenfoto's te beoordeelen, heeft ons in staat gesteld op zeer eenvoudige wijze den invloed van verschillende factoren, zooals de belichting, de hardheid, de strooistraling en de versterkingsfolie te bepalen.

Wij hebben vastgesteld, dat onder omstandigheden, die in de practische röntgenographie voorkomen, zeer groote verschillen in de contrast-qualiteiten kunnen optreden. Verscheidene belangrijke technische vragen, die zich ten opzichte van dit punt voordoen, konden aan de hand van de curven worden onderzocht en beantwoord.

Vele andere ondergeschikte vragen, die hier niet werden behandeld, kan ieder voor zich met behulp van de curven oplossen.

Bovendien bleek, hoe door wijziging van een of meer factoren, de contrast-qualiteiten met groote nauwkeurigheid in zeer verschillenden zin veranderd kunnen worden. Op grond van deze kennis zal het mogelijk zijn in de practische röntgenographie door doelbewuste regeling van verschillende omstandigheden, de voor elke opname meest gewenschte contrast-qualiteiten zoo dicht mogelijk te benaderen.

Ten slotte kan de methode veel bijdragen tot een verbetering en vereenvoudiging van de foto-technische critiek in de practijk.

De grondslag van een zuivere medische interpretatie van het röntgenbeeld is de juiste beoordeeling van de technische qualiteiten van de opname.

De onzekerheid, die b.v. bij de interpretatie van de longfoto's nog heerscht, is voor een goed deel te wijten aan onvoldoende kennis van de criteria voor de beoordeeling van de technische fotoqualiteiten, met name ten opzichte van de scherpte en het contrast.

Het is a priori duidelijk, dat, wat het contrast betreft, een goed inzicht in de verhouding van de contrastwaarden tot de dikte, resp. dichtheid van de objectdeelen de voorwaarde is voor een juiste interpretatie.

Deze verhouding wordt door onze contrast-curve direct weergegeven; met één lijn is alles over deze verhouding gezegd.

Het is daarom zeer aanbevelenswaardig bij de foto-technische beoordeeling den indruk, dien men zich vormt van de contrast-qualiteiten in curve-vorm aan te geven.

De ervaring leert, dat hierdoor de juiste technische beoordeeling van de opname ten opzichte van dit punt sneller en zekerder kan

geschieden, terwijl de gedachtewisseling over den invloed van verschillende factoren op de contrasten van bepaalde soort opnamen met veel meer vrucht kan geschieden.

Moge deze publicatie ertoe bijdragen de belangstelling voor het proefondervindelijk onderzoek van röntgenographische problemen te doen toenemen, opdat zich in de toekomst dit thans reeds zoo belangrijke hulpmiddel voor medische diagnostiek op een beteren grondslag zal kunnen ontwikkelen.



BIJLAGE I

DE BEPALING VAN DE HARDHEID DER RÖNTGENSTRALING

De grondslag voor een zuivere röntgenographische techniek is de juiste beoordeeling van de talrijke factoren, die de technische qualiteiten van het röntgenbeeld bepalen. Een van de belangrijkste is de stralenqualiteit, kortweg: de *hardheid.*

Nu in bijna alle röntgen-instituten uitsluitend Coolidgebuizen worden gebruikt, gaat men steeds meer ertoe over de hardheid aan te geven door de spanning in KV. aan de buis.

Op de schakeltafel van alle moderne toestellen bevindt zich een spanningsmeter voor den stroom, die door de auto-transformator aan de primaire spoel van de hoogspanningstransformator wordt toegevoerd. Op grond van het vaste omzettingsgetal van dezen transformator is de uitslag van dezen laagspanningsmeter een maat voor de effectief resp. max. spanning aan de klemmen van den transformator, dus ook voor de spanning aan de buis. Deze meter kan dus als KV. meter dienst doen; de schaal kan op KV. max. aan de buis geijkt worden.

Naar mijn meening is van alle practisch bruikbare methoden om de qualiteit van de straling aan te geven de bepaling door de max. spanning aan de buis de beste.

Het bewijs voor deze opvatting steunt op de thans algemeen aanvaarde stelling, dat de spectrale samenstelling van een röntgenstraling volkomen bepaald is door de waarde van de spanning aan de polen van de buis en het ordegetal van het materiaal der antikathode. [1])

De invloed van dezen laatsten factor op het continu-spectrum wordt met toenemende spanning kleiner. Voor de waarden die in de practische röntgenographie voorkomen, kan zij zelfs gevoeglijk verwaarloosd worden. Met den invloed op het lijnen-spectrum, dat door de karakteristieke eigenstraling van de antikathode wordt veroorzaakt, is uiteraard altijd rekening te houden, omdat de plaats van de lijnen in het spectrum door het ordegetal van het antikathode-materiaal wordt bepaald. De intensiteiten van de spectraallijnen zijn, evenals de intensiteiten van het geheele continuspectrum, geheel afhankelijk van de spanning. Waar tegenwoordig voor alle Coolidge-buizen wolfram-antikathoden worden gebruikt,

[1]) *A. March.* Bericht über die Gesetze des kontinuierlichen Röntgen-spectrums. Fortschr. a.d. Geb d. Röntgenstr. Band XXXII. Bladz. 105, 1924.

is de invloed van het ordegetal van de antikathode bij alle buizen gelijk en worden de verschillen dus uitsluitend bepaald door de verschillen in de spanning.

Bij toepassing van gelijkspanning, zooals in moderne therapie-installaties, mag dus a priori verwacht worden, dat de stralen-qualiteit met voldoende nauwkeurigheid bepaald is door de spanning, die aan de buis ligt.

Voor röntgenographisch werk wordt nog geen gelijkstroom gebruikt; de diagnostiek-toestellen leveren alle hoogspannings-wisselstroom, waarvan de verkeerd gerichte golf of wel in de röntgenbuis zelf wordt tegengehouden of gelijk gericht door een mechanischen gelijkrichter of door gloeiventielbuizen. De spanning aan de buis verandert dus voortdurend. De curve van de spanning als functie van den tijd, zou, in 't ideale geval, den sinusvorm moeten hebben; practisch wijkt zij daar steeds min of meer van af, vooral bij toepassing van den mechanischen gelijkrichter.

Men kan a priori verwachten, dat de qualitatieve samenstelling van de röntgenstraling bij de uiteenloopende spanningscurve-vormen verschillend moet zijn. De vraag is echter, of deze verschillen practische beteekenis hebben. Het antwoord op deze vraag kan langs theoretischen en experimenteelen weg worden gegeven.

Door verschillende onderzoekers (Behnke, [1]) March [2])) is op grond van theoretische overwegingen een formule voor de energieverdeeling in het continu-röntgenspectrum bij constante spanning en stroom opgesteld, welke proefondervindelijk werd gecontroleerd. Max Müller [3]) gebruikte die van Behnke voor de berekening van de spectrale energie-verdeeling bij verschillende spanningscurven.

Spectra van gelijkspanning zijn in fig. 16 door een getrokken lijn weergegeven, die bij sinus-vormige spanning van dezelfde max. waarde als de gelijkspanning door stippellijnen. [4]) Er is een groot verschil in de hoogte van de curven, omdat de totale energie bij gelijkstroom $\sqrt{2}\times$ zoo groot is als bij sinus-vormigen veranderlijken stroom van gelijke max. waarde.

Voor een gemakkelijke vergelijking van de relatieve intensiteiten, is het gewenscht de lagere curve tot dezelfde hoogte om te rekenen als de hoogere. Deze vergelijkingscurven zijn door streep-stippellijnen weergegeven. Wij zien, dat de verschillen, die a priori verwacht mochten worden, in beide gevallen betrekkelijk gering

---

[1]) *Zeitschr. f. Phys.* 4 Bladz. 241 1921.

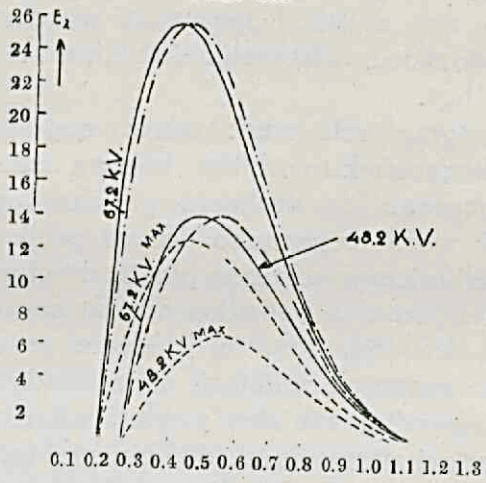
[2]) *A. March* l.c. bl. 114 en 115.

[3]) *Max. Müller.* Ueber die Abhängigkeit der Röntgenstrahlen-ausbeute von der Entladungsform. Zeitschr. f. Phys. Bd. 28. bl. 146. 1924.

[4]) De absis geeft de golflengte in Angstromeenheden, de ordinaat de röntgen-energie in willekeurige eenheid.

zijn. Des te meer zal dit het geval zijn, wanneer men stralingen bij veranderlijke spanning met meer of minder gedeformeerde sinusvormige curve en met zuiveren sinusvorm gaat vergelijken.

FIG. 16.



Müller nam spannings- en intensiteits-oscillogrammen op van den stroom, die door een hoogspanningstransformator gevoed door wisselstroom uit het Frankforter stadsnet aan een coolidgebuis geleverd werd.

De verkeerd gerichte golf werd dus door de röntgenbuis zelf tegengehouden.

Met de gegevens van de oscillogrammen construeerde hij de spanningscurve, die hem in staat stelde nauwkeurig de spectrale energie-verdeeling met de Behnke'sche formule te berekenen. In

FIG. 17.

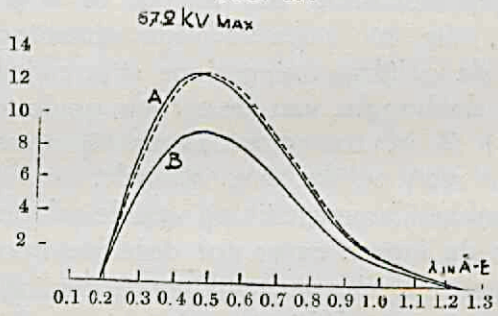


fig. 17 geeft de curve A op dezelfde wijze als in fig. 16 de spectrale energie-verdeeling weer, voor zuivere sinusvormige spanning, de curve B. voor de oscillographisch vastgestelde spanning. Het spannings-oscillogram voor deze curve is gereproduceerd in fig. 18 (zie achterin).

Brengt men de curve B. door omrekening van de ordinaten op de hoogte van curve A. (gestippelde lijn) dan is gemakkelijk te

zien, dat de relatieve waarde van de spectrale energieën bijna niet verschilt, dat er dus geen onderscheid van eenige practische beteekenis blijkt te bestaan tusschen de straling, die bij zuiver sinusvormig spanningsverloop en bij het vrij sterk daarvan afwijkende verloop dat Müller aan zijn toestel bepaalde, worden opgewekt.

Deze conclusie van het theoretisch onderzoek is volkomen in overeenstemming met de resultaten van Bouwers.[1])

Uit talrijke nauwkeurige analyses van de spectrale samenstelling van röntgenstralingen bij verschillende max. spanning vervaardigd met zeer verschillende stroom- en spanningstypen t.w. inductorstroom, wisselstroom zonder gelijkrichter en met een mechanischen gelijkrichter, bleek hem, dat de verhouding van λ max. (golflengte met de maximale energie) tot λ_o (kortste golflengte) niet merkbaar verschilde. Hierin ligt opgesloten, dat ook de spectrale samenstelling van de verschillende stralingen niet aanmerkelijk kan verschillen.

Uit deze overeenstemmende resultaten van theorie en experiment mag dus de gevolgtrekking gemaakt worden, dat bij de gebruikelijke diagnogstiektoestellen de qualiteit van de straling met een voor de praktijk zeer voldoende nauwkeurigheid wordt bepaald door de max. spanning aan de buis.

In den laatsten tijd is voor de stralen-qualiteit-bepaling vooral door Küstner [2]) nog eens een lans gebroken voor de „Halbwertschicht". (H.W.S.)

De instrumenten, die vervaardigd zijn om de H.W.S. direkt vast te stellen, zijn verre van nauwkeurig. De eenige methode, die aan wetenschappelijke eischen voldoet, is de ionimetrische bepaling van de intensiteit van de röntgenstraling vóór en nà het doordringen van de stof, waarvan de H.W.S. gemeten moet worden. Nadat de intensiteit van de ongefilterde straling is bepaald, meet men de verzwakking in filters van geleidelijk toenemende dikte. Als men nu een curve teekent van de procentueele verzwakking in verhouding tot de filterdikte, dan kan men op deze curve het punt bepalen, waar 50 $^0/_0$ verzwakking optreedt; de bijbehoorende absiswaarde (filterdikte) geeft dan de H.W.S. aan.

Een bezwaar tegen deze methode, dat gemakkelijk ondervangen kan worden, dient hier eerst even besproken. De verzwakking van de röntgenstraling is gedeeltelijk absorbtie en gedeeltelijk verstrooiing. Nu is alleen de absorbtie afhankelijk van de stralenqualiteit (evenredig met de 3e macht van de golflengte), de strooiing daarentegen is onafhankelijk van de hardheid. De verzwakking,

---

[1]) *Bouwers* Diss. l.c. bl. 73.

[2]) *Küstner*. Die Standardisierung der Röntgendosismessung. Strahlenther. Bd. 17 Heft 1.

die als maat voor de bepaling van de H.W.S., dus als maat voor de stralen-qualiteit moet dienen, is dus de som van twee factoren, waarvan één wèl en één niet afhankelijk is van de hardheid.

Deze moeilijkheid kan men practisch ontgaan door voor de bepaling van de H.W.S een stof te kiezen, die voor de in aanmerking komende straling een zoo groote absorbtie-coefficient heeft, dat de verstrooiing daarbij geheel in 't niet valt. Voor de zeer harde therapie-stralingen zal men daarom liefst koper, voor diagnostiek-stralingen aluminium gebruiken.

Er is echter een ander bezwaar tegen de methode, dat niet ondervangen kan worden en dat wij aan de hand van eenige door ons verrichte metingen zullen onderzoeken. In onderstaande tabel is voor verschillende röntgenbuizen de procentueele verzwakking van de straling bij filtering door $^1/_2$, 1, 2 en 3 m.M. Al. aangegeven.

Uit deze gegevens is voor elke serie bepalingen volgens de boven aangegeven methode de H.W.S. berekend en onder aan de kolom aangegeven. Buis I is een weinig gebruikte S. en H.-buis met liniair focus; II een S. en H.-buis, type D. 13 K. ruim een jaar dagelijks gebruikt; III en IV zijn weinig gebruikte Philips metallixbuizen type B.; V is een AEG therapiebuis, sinds een jaar geregeld in bedrijf. De stroom werd geleverd door een Polidor-toestel (gloeiventielgelijkrichter) van S. en H. Bij dit toestel kan de spanning aan de primaire spoel van den transformator niet alleen trapsgewijze, maar ook continu veranderd worden, zoodat een volkomen zuivere instelling op spanning en intensiteit tijdens de metingen mogelijk was. De spanning is geijkt met de bollenvonkenbaan (25 c.M. diameter.)

TABEL.

mM. Al.	Buis I	Buis II	Buis III	Buis IV	Buis V	Buis V	Buis V
	55 KV. max.	55 KV. max.	55 KV. max.	55 KV. max.	55 KV. max.	60 KV. max.	84 KV. max.
$^1/_2$	46	56	39	39	48	42	39
1	64	78	57	61	66	60	56
2	80	85	75	77	81	76	72
3	86	91	84	85	87	83	80
H.W.S. in mM. Al.	0.575	0.425	0.775	0.770	0.535	0.660	0.780

Uit de tabel blijkt duidelijk, dat bij gelijke spanning aan de buis belangrijke verschillen in de waarde van de H. W. S. optreden en wel in die mate, dat Buis III en IV bij 55 KV. max. sp. dezelfde H.W.S., hebben als buis V bij 84 KV. max. Toch beteekent dit geenszins, dat de qualiteit van deze stralingen gelijk is, Dit blijkt al uit de cijfers van bovenstaande tabel, die voor de procentueele verzwakking bij de verschillende dikten ongelijke getallen geeft, waar toch de H. W. S. gelijk is.

Nog op een andere wijze kunnen wij aantoonen, dat de qualiteitsbepaling door de H. W. S. misleidend is. Berekent men de procentueele verzwakking ten opzichte van de door 1 m.M. Al, gefilterde straling in filters van 1 en 2 m.M. Al., dan blijkt, dat deze waarden vrij goed overeenstemmen bij stralingen van gelijke KV. max. evenals de H. W. S. voor deze gefilterde straling. In onderstaande tabel zijn de getallen weergegeven.

	I	II	III	IV	V	V	V
	55 KV. max.	55 KV. max.	55 KV. max.	55 KV. max.	55 KV. max.	70 KV. max.	84 KV. max.
1 mM. Al.	100	100	100	100	100	100	100
2 mM. Al.	56	56	58	60	57	60	66
3 mM. Al.	38	35	37	39	38	42	46.5
H. W. S. in mM. Al.	2.31	2.25	2.30	2.42	2.31	2.52	2.81

Hieruit volgt, dat de groote verschillen bij de bepaling van de H. W. S. ten opzichte van de ongefilterde straling, voortkomen uit verschillen in de relatieve intensiteiten van de zeer weeke stralen, die na filtering door 1 mM. Al. reeds zoo goed als geheel verdwenen zijn. De buizen III en IV hebben minder weeke stralen dan I en V en deze weer minder dan II. Voor de practische röntgenographie hebben deze verschillen in de samenstelling van de weeke componenten van de straling geen beteekenis.

Uit de metingen kan dus de gevolgtrekking gemaakt worden, dat de H. W. S. op de gewone wijze, ten opzichte van de ongefilterde straling bepaald, geen bruikbare aanwijzingen geeft over de stralen-qualiteit.

Wel blijkt, dat de bepaling van de procentueele verzwakking in Al. filters van verschillende dikte volgens de boven omschreven methode een zeer goed inzicht geeft in de spectrale samenstelling

van de straling. Voor het dagelijksch gebruik is echter een dergelijke qualiteits-aanduiding door een reeks getallen ongeschikt, zoodat tenslotte alleen de aanduiding door de KV. max. als voor de praktijk voldoende nauwkeurig en meest bruikbaar overblijft.

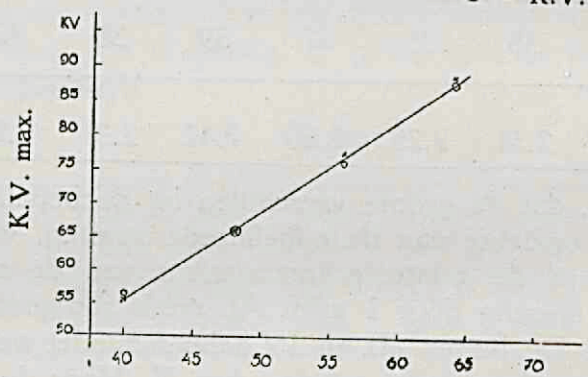
De door ons gebruikte max. spanningen hebben wij bepaald met de bollenvonkenbaan met 25 cM. bol-diameter en door middel van het spectogram. Uit de waarde van de kortste golflengte is, met de formule van Duane en Hunt λ V. = 12.3, waarin λ de kortste golflengte in Ångstrom-eenheden en V. de max. spanning in KV. beteekent, deze laatste te berekenen.

Over de mogelijkheid om met de spectrographen, die een röntgenoloog ten dienste staan, de kortste golflengte met voldoende nauwkeurigheid te bepalen, bestaat nog geen overeenstemming. Küstner [1]) heeft daarover een zeer ongunstige ervaring. Den Hoed en Koopman [2]) toonden door vergelijkende metingen aan, dat bij goede techniek een groote mate van nauwkeurigheid te bereiken is. Ook mijn resultaten schijnen dit te bevestigen.

De spectrogrammen werden vervaardigd met een Seemann spectrograaf [3]). De uitkomsten van onze metingen zijn in onderstaande curve weergegeven (fig. 19).

FIG. 19.

× = K.V. Bollenvonkenbaan.
○ = K.V. Spectrum λ °.



Schaal K.V. Meter.

Op de absis is de uitslag van de z.g. K.V.-meter in willekeurige schaaldeelen afgezet; de ordinaten geven de gemeten max. spanning

---

[1]) *Küstner.* Die Standardisierung der Röntgendosismessung. Strahlenther. Bd. 17 Heft 1.

[2]) *Dr. den Hoed* en *Ing. L. J. Koopman.* Bleibt die Röntgenenergie constant enz. Strahlenther. Bd. XIX. 1925.

[3]) In samenwerking met den Heer Koopman volgens de techniek door den Hoed en hem beschreven.

weer en wel van de waarden berekend uit de vonkenbaan met x, voor die uit de kortste golflengte met o. De overeenstemming is zeer goed.

Uit deze metingen bleek dus, dat de door ons gebezigde stralingen gekarakteriseerd werden door de max. spanningen van 55, 66, 77 en 88 KV.



BIJLAGE II

BELICHTINGSTABEL

aangevende de relatieve waarden van de belichtingstijden noodig om bij constante MA. en constante focus-film-afstand een grondzwarting van 1.2 te bereiken.

Serie A (2 folies)	55 KV. max.sp.	66 KV. max.sp.	77 KV. max.sp.	88 KV. max.sp.
Groep a (2 × 2 cM. water)	10	7	5	3
Groep b (2 × 4 cM. water)	25	14	8	5
Groep c (2 × 6 cM. water)	62	31	15	7.5
Serie B (geen folies)				
Groep a (2 × 2 cM. water)	50	—	—	15
Groep b (2 × 4 cM. water)	125	70	40	25
Groep c (2 × 6 cM. water)	340	—	—	45
Serie C (2 folies geen strooistraling)				
Groeb b (8 cM. water)	51	—	—	8
Groep c (12 cM. water)	140	65	30	16
Serie D (geen folies geen strooistraling)				
Groep b (8 cM. water)	250	—	—	36
Groep c (12 cM. water)	(770)[1])	—	—	96

De getallen van deze tabel hebben geen groote nauwkeurigheid, omdat bij de vervaardiging van de opnamen geen bijzondere maatregelen zijn genomen om een juiste vergelijking van de belichtingstijden mogelijk te maken. Alleen wanneer steeds bij volkomen gelijke sec. spanning, volkomen gelijke M.A., volkomen gelijke samenstelling, temp. en duur van de ontwikkeling en volkomen gelijke filmqualiteit gewerkt was, zou een nauwkeurige belichtingsduur-vergelijking mogelijk geweest zijn. Kleine afwijkingen in al deze factoren zijn zeker voorgekomen, zoodat een zekere onnauwkeurigheid van deze waarden onvermijdelijk was.

[1]) Berekende waarde.

LIJST DER OPNAMEN

Alle opnamen zijn vervaardigd op Kodak super-speed film en ontwikkeld met metol-hydrochinon ontwikkelaar van constante samenstelling bij 65° F. gedurende 5 minuten. De opnamen zijn gemaakt met S. en H. fijn focusbuis. De serie's A. en B. op 80 cM. film-focus afstand, de serie's C en D op 100 cM. focus-film-afstand.

Serie A. (2 Gehler folies).

	55 KV. max. sp.	66 KV. max. sp.	77 KV. max. sp.	88 KV. max. sp.
Groep a (2 × 2 cM. water)	Tafel 1 $Z_o = 0.5, 0.7, 1.0, 1.2$	Tafel 2 $Z_o = 0.5, 0.7, 1.0, 1.2$	Tafel 3 $Z_o = 0.5, 0.7, 1.0, 1.2$	Tafel 4 $Z_o = 0.5, 0.7, 1.0, 1.2$
Groep b (2 × 4 cM. water)	Tafel 5 $Z_o = 0.5, 0.7, 1.0, 1.2, 1.5$	Tafel 6 $Z_o = 0.5, 0.7, 1.0, 1.2, 1.5$	Tafel 7 $Z_o = 0.5, 0.7, 1.0, 1.2, 1.5$	Tafel 8 $Z_o = 0.5, 0.7, 1.0, 1.2, 1.5$
Groep c (2 × 6 cM. water)	Tafel 9 $Z_o = 0.5, 0.7, 1.0, 1.2, 1.5$	Tafel 10 $Z_o = 0.5, 0.7, 1.0, 1.2, 1.5$	Tafel 11 $Z_o = 0.5, 0.7, 1.0, 1.2, 1.5$	Tafel 12 $Z_o = 0.5, 0.7, 1.0, 1.2, 1.5$

Serie B. (zonder folies).

	55 KV. max. sp.	66 KV. max. sp.	77 KV. max. sp.	88 KV. max. sp.
Groep a (2 × 2 cM. water)	Tafel 13 $Z_o = 0.7, 1.0, 1.2, 1.5$	–	–	Tafel 14 $Z_o = 0.7, 1.0, 1.2, 1.5$
Groep b (2 × 4 cM. water)	Tafel 15 $Z_o = 0.7, 1.0, 1.2, 1.5$	Tafel 16 $Z_o = 0.7, 1.0, 1.2, 1.5$	Tafel 17 $Z_o = 0.7, 1.0, 1.2, 1.5$	Tafel 18 $Z_o = 0.7, 1.0, 1.2, 1.5$
Groep c (2 × 6 cM. water)	Tafel 19 $Z_o = 0.7, 1.0, 1.2, 1.5$	–	–	Tafel 20 $Z_o = 0.7, 1.0, 1.2, 1.5$

Serie C. (2 Gehler folies zonder strooistraling).

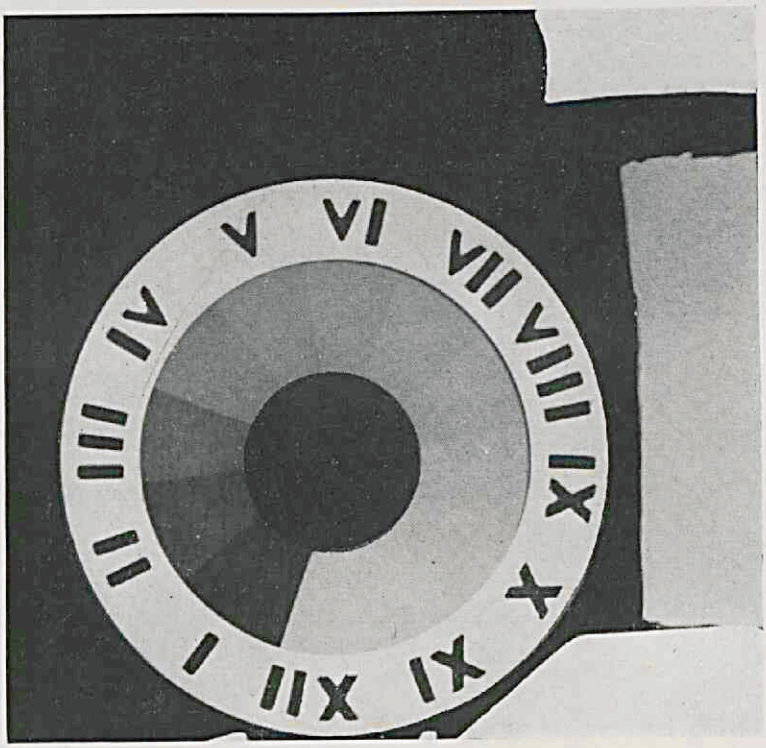
	55 KV. max. sp.	66 KV. max. sp.	77 KV. max. sp.	88 KV. max. sp.
Groep b (8 cM. water)	Tafel 21 $Z_o = 0.4, 0.6, 0.9, 1.2, 1.5$	—	—	Tafel 22 $Z_o = 0.4, 0.6, 0.9, 1.2, 1.5$
Groep c (12 cM. water)	Tafel 23 $Z_o = 0.4, 0.6, 0.9, 1.2, 1.5$	Tafel 24 $Z_o = 0.6, 0.9, 1.2$	Tafel 25 $Z_o = 0.6, 0.9, 1.2$	Tafel 26 $Z_o = 0.4, 0.6, 0.9, 1.2, 1.5$

Serie D. (zonder folies, zonder strooistraling).

	55 KV. max. sp.	66 KV. max. sp.	77 KV. max. sp.	88 KV. max. sp.
Groep b (8 cM. water)	Tafel 27 $Z_o = 0.4, 0.6, 0.9, 1.2, 1.5$	—	—	Tafel 28 $Z_o = 0.4, 0.6, 0.9, 1.2, 1.5$
Groep c (12 cM. water)	—	—	—	Tafel 29 $Z_o = 0.6, 0.9$

h. 6023

FIG. 2.



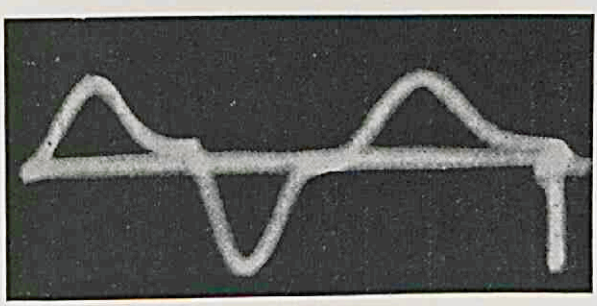
Afbeelding van een gedeelte van de röntgenopname vervaardigd bij de opstelling van fig. 1.

O = beeld van het object, aluminiumtrapje met treden van $^1/_2$, 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 m.m. dikte.

A = schaduw van het loodplaatje A op den bodem van het bovenste waterbakje.

B = schaduw van het loodplaatje op de casette.

FIG. 18.



INHOUDSOPGAVE

bladz.

INLEIDING 1

HOOFDSTUK I.

De methode van onderzoek 4

HOOFDSTUK II.

De beoordeeling van de contrasten 20

HOOFDSTUK III.

De contrasten van dichte en dunne opnamen 27

HOOFDSTUK IV.

De invloed van de hardheid op de contrasten 37

HOOFDSTUK V.

De invloed van de versterkingsfolie op de contrasten . . 49

HOOFDSTUK VI.

De invloed van de strooistraling en het strooistralenfilter op de contrasten 63

BESLUIT 78

BIJLAGE I.

De bepaling van de hardheid der röntgenstraling 80

BIJLAGE II.

Belichtingstabel 88

LIJST DER OPNAMEN WEERGEGEVEN OP DE TAFELS 1—29 91

STELLINGEN

1.

Voor de diagnostiek der longtuberculose is een röntgenfoto, die aan de eischen van contrast en scherpte beantwoordt, aanzienlijk meer waard dan de gegevens van percussie en auscultatie.

2.

Het vervaardigen van een afzonderlijke opname der longtoppen is voor de röntgendiagnostiek der longtuberculose overbodig.

3.

De bepaling van de bezinkingssnelheid der roode bloedcellen is van veel beteekenis voor de beoordeeling van den ziektetoestand van den tuberculose-lijder.

4.

De complementbindingsreacties met tuberculose-antigenen (Besredka-Wasserman) hebben geen practische waarde voor de diagnostiek en prognostiek der menschelijke tuberculose.

5.

Grave's opvatting van de scapula scaphoidea als degeneratiekenmerk is onvoldoende gefundeerd.

6.

De percutorische en auscultatorische verschijnselen van bronchiaalkliertuberculose zijn onbetrouwbaar.

7.

De door de Deutsche Röntgengesellschaft aangenomen eenheid van röntgen-stralendosis (R) voor röntgentherapeutische bestralingen is de meest rationeele maat voor een betrouwbare doseering.

8.

De tuberculeuze processen in de menschelijke long ontstaan meerendeels door haematogene uitzaaiïngen en niet door exogene reïnfectie.

9.

De postoperatieve röntgenbestraling van het mamma-carcinoom vermindert de kans op recidief.

10.

Nadeelige invloed op de nakomelingschap van een vóór de bevruchting toegepaste röntgenbestraling der menschelijke genitaliën is niet bewezen.

11.

Het erythema nodosum moet worden opgevat als een zelfstandige infectieziekte die bij voorkeur op den bodem van een tuberculose ontstaat.

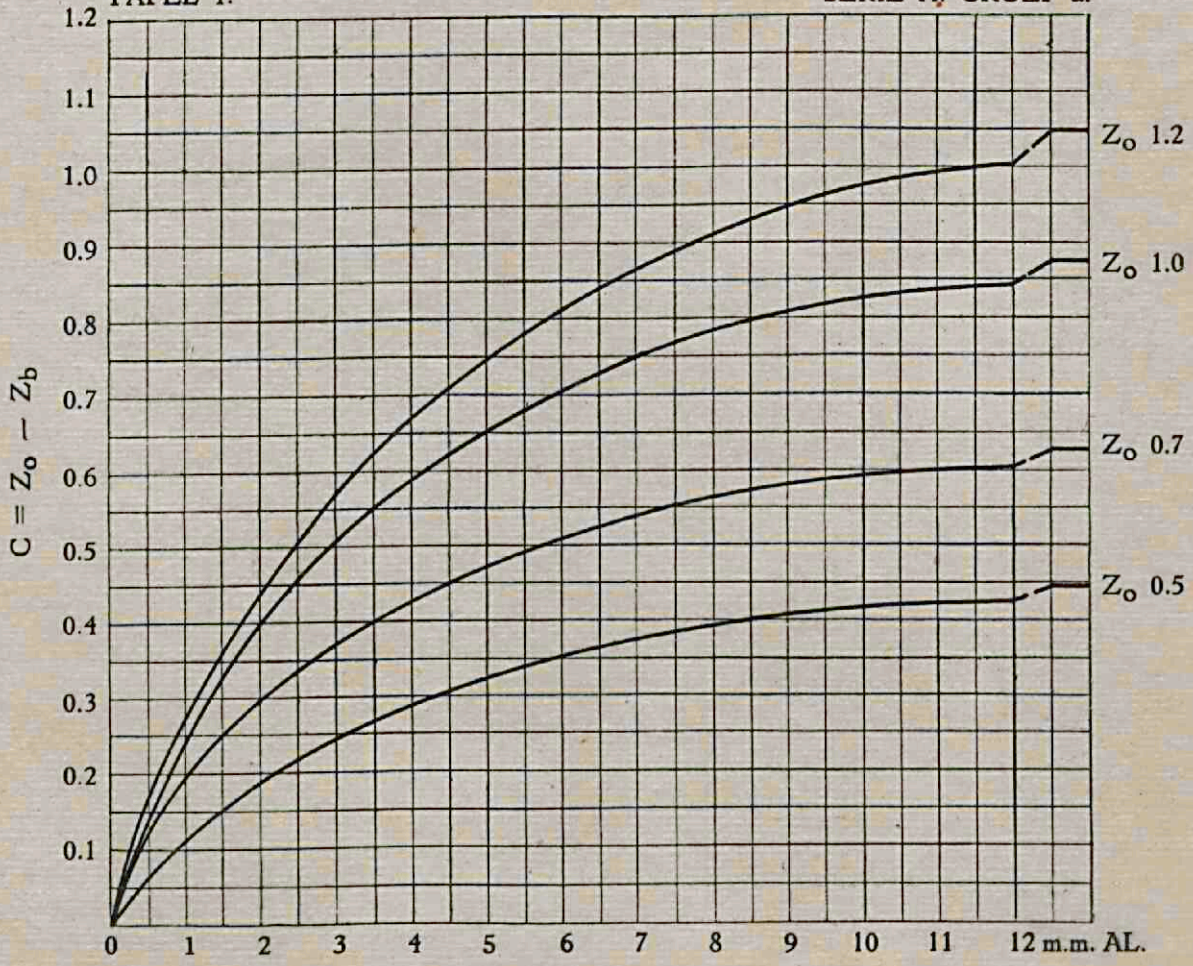
12.

De oplossing van het nazorg-probleem voor tuberculose-lijders moet in de eerste plaats gezocht worden in een juiste reclasseering in de vrije maatschappij; in de tweede plaats in de stichting van kolonies in den zin van Papworth en in de derde plaats in de oprichting van stedelijke werkplaatsen.



TAFEL 1.

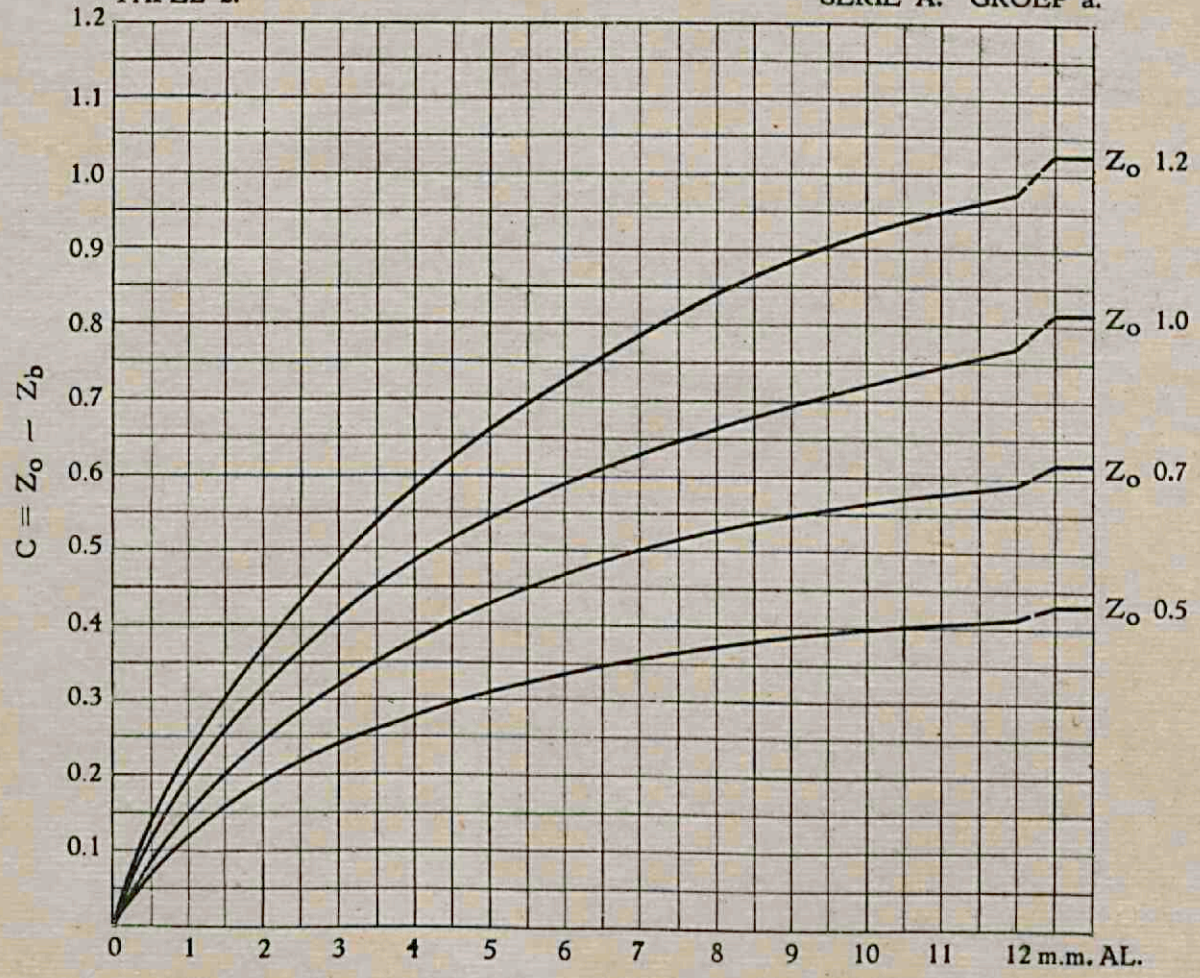
SERIE A, GROEP a.



2×2 c.M. water; 2 Gehler folies; strooistraleninwerking; 55 KV. max. sp.
Grondzwartingen: Z_o = 0.5; 0.7; 1.0; 1.2.

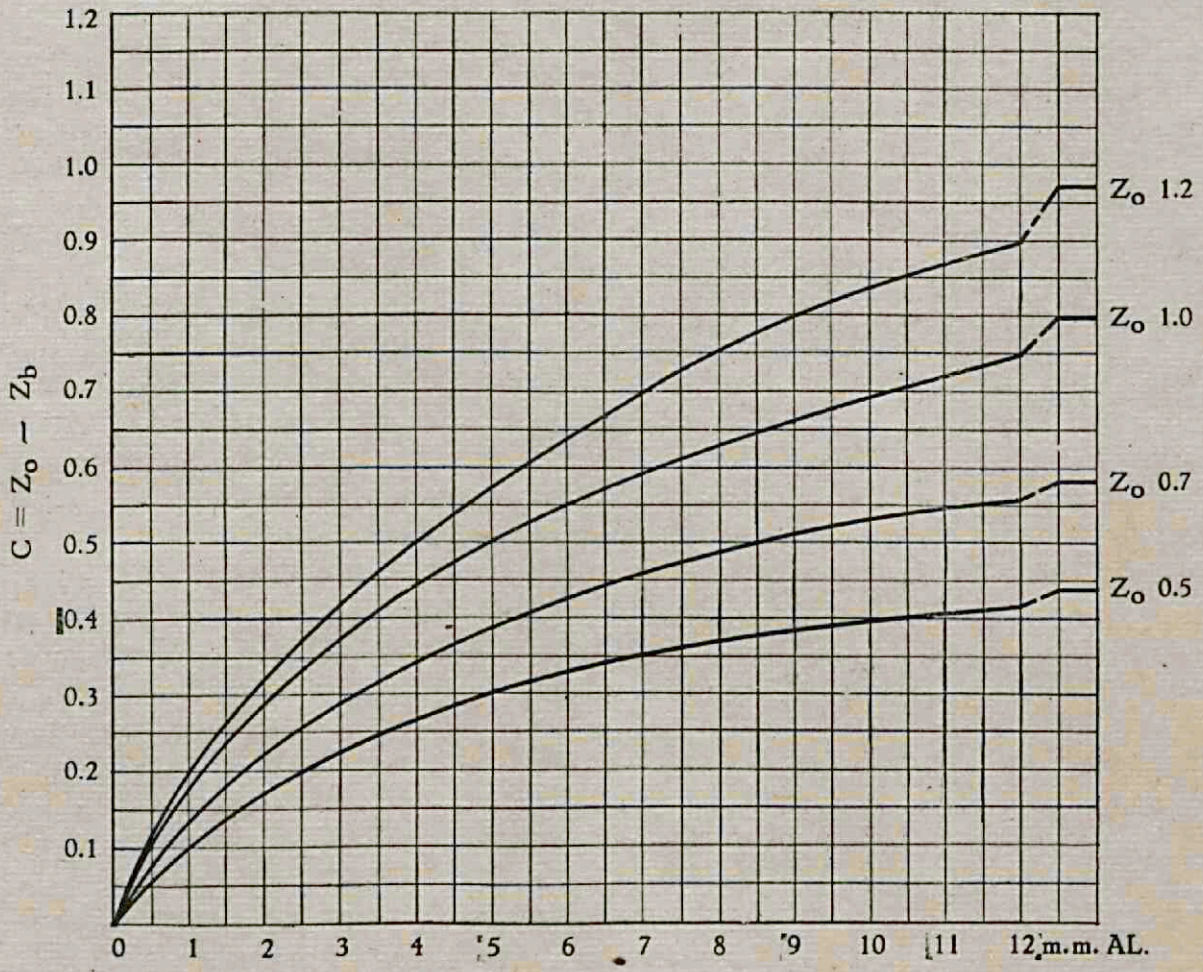
TAFEL 2.

SERIE A. GROEP a.



2×2 c.M. water; 2 Gehler folies; strooistraleninwerking; 66 KV. max. sp.
Grondzwartingen; Z_o = 0.5; 0.7; 1.0; 1.2.

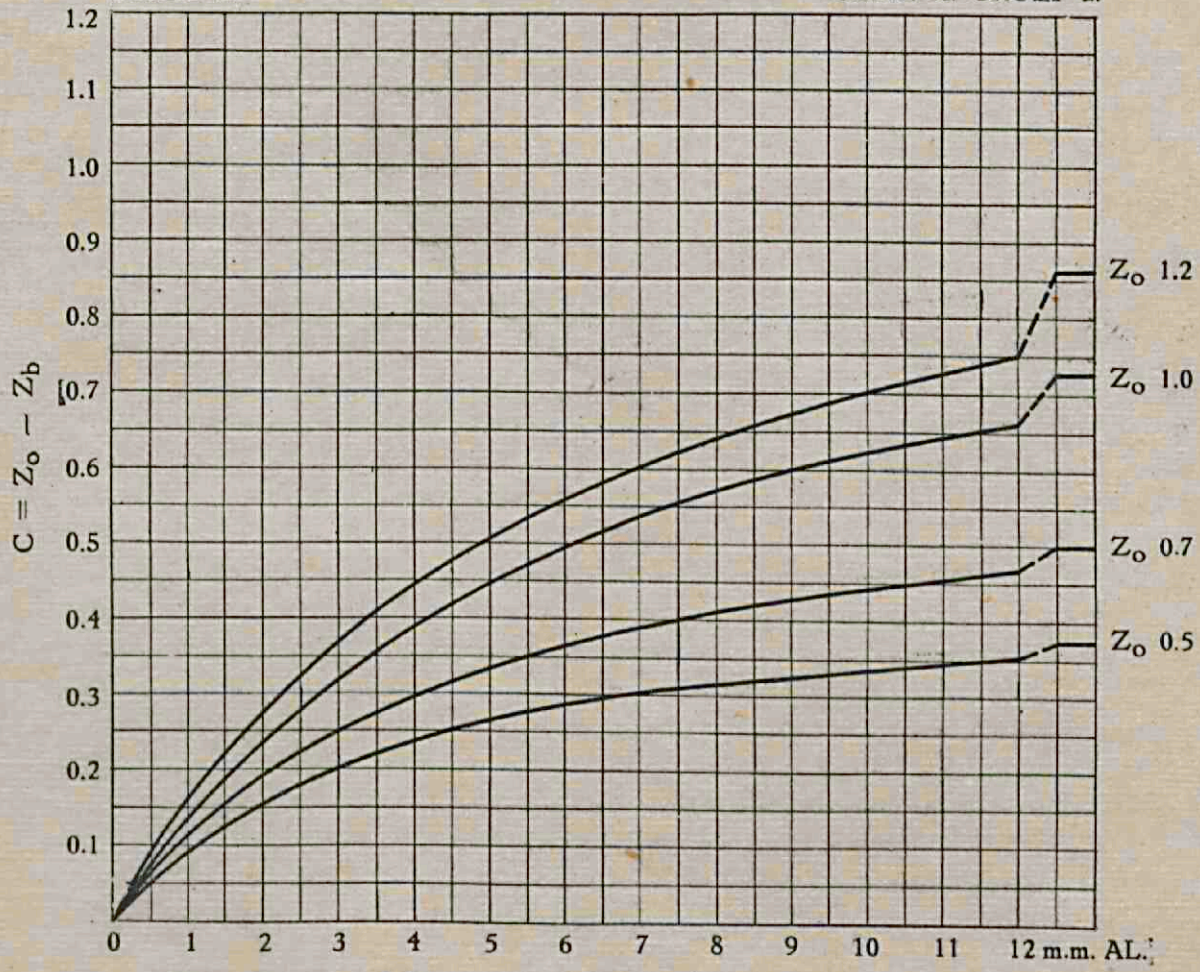
TAFEL 3. SERIE A. GROEP a.



2 × 2 c.M. water; 2 Gehler folies; strooistraleninwerking; 77 KV. max. sp.
Grondzwartingen: Z_o = 0.5; 0.7 1.0; 1.2.

TAFEL 4.

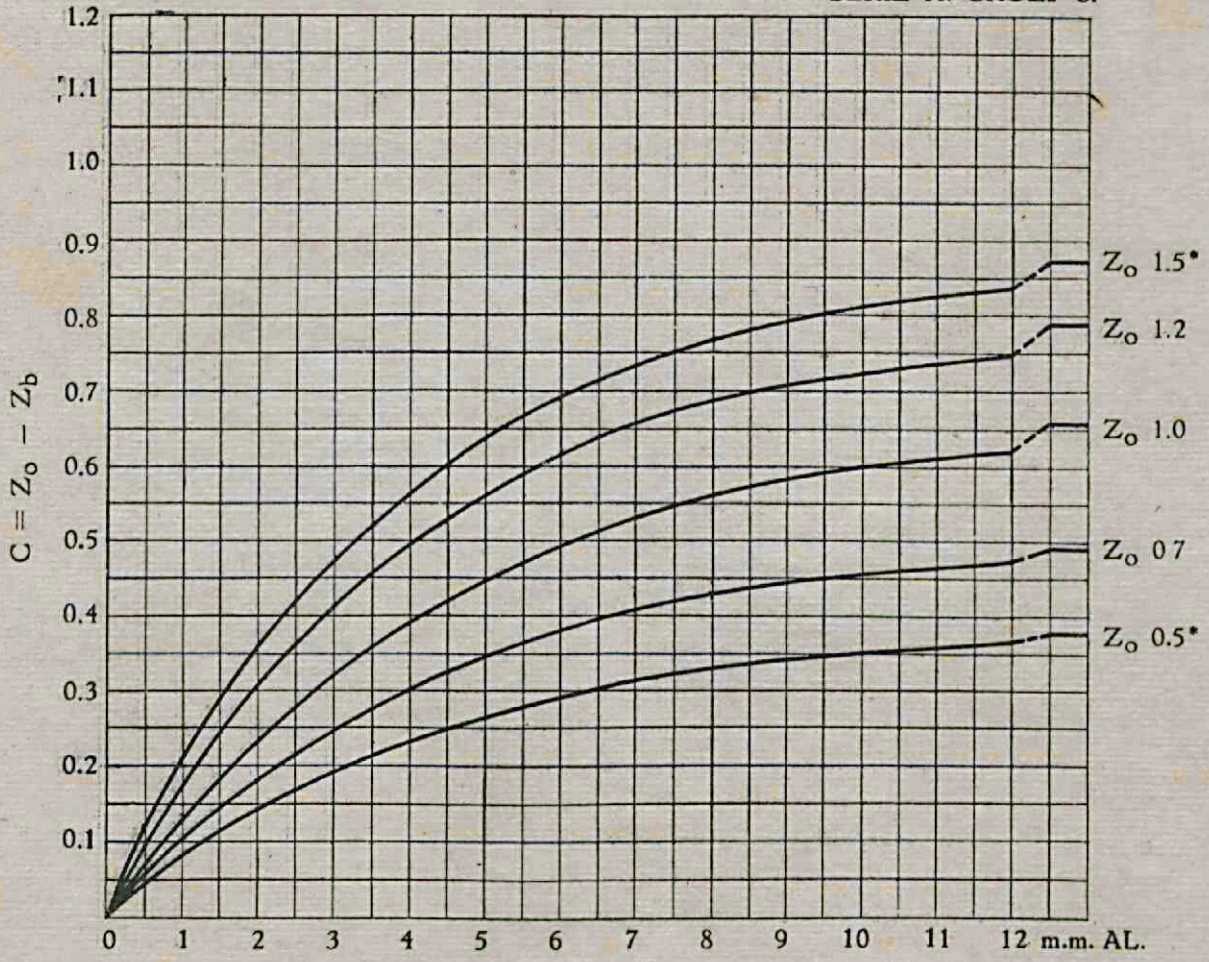
SERIE A. GROEP a.



2×2 c.M. water: 2 Gehler folies: strooistraleninwerking: 88 KV. max. sp.
Grondzwartingen: Z_o = 0.5; 0.7; 1.0; 1.2.

TAFEL 5.

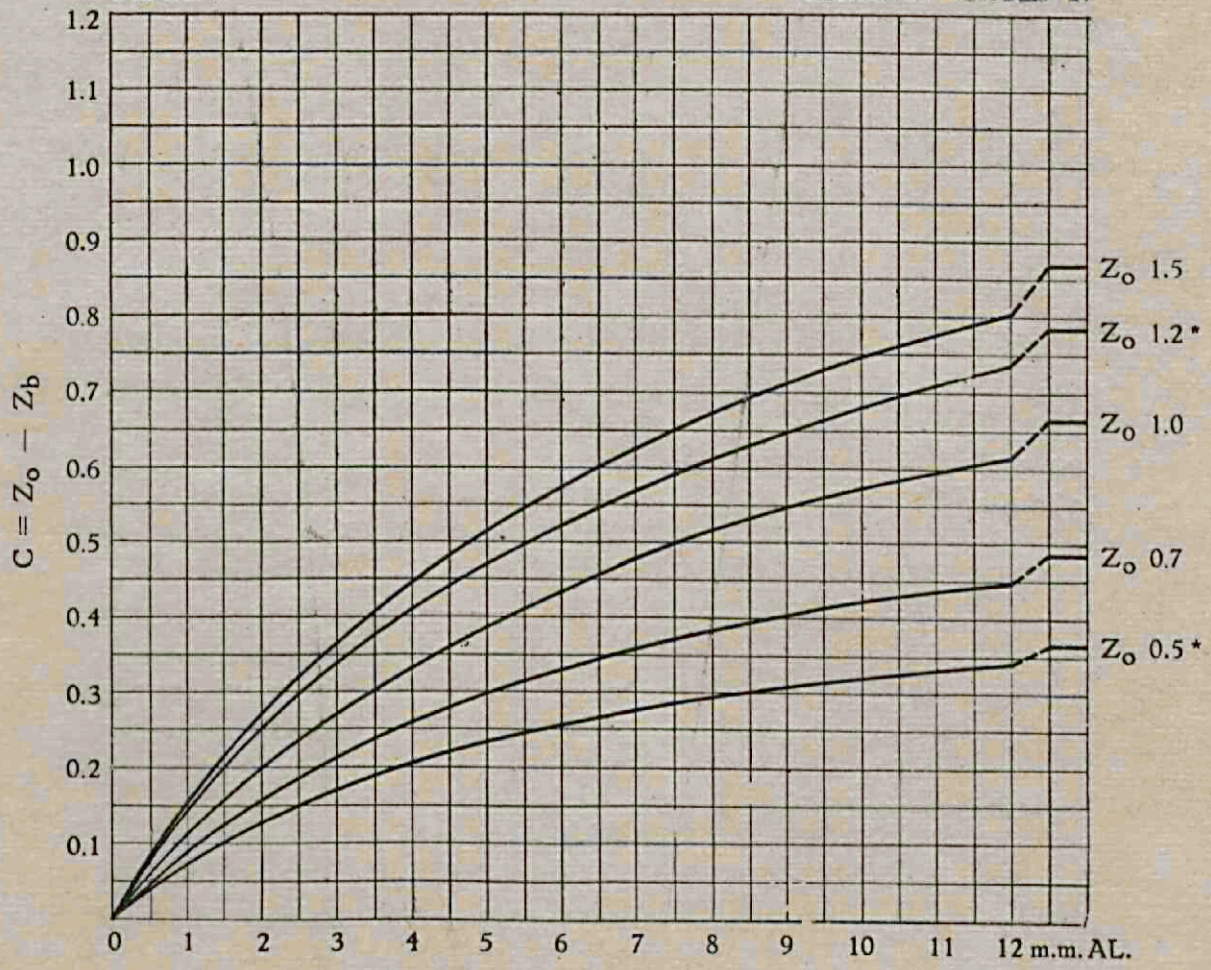
SERIE A. GROEP b.



2×4 c.M. water: 2 Gehler folies: strooistraleninwerking: 55 KV. max. sp.
Grondzwartingen: Z_o = 0.5; 0.7; 1.0; 1.2; 1.5.

TAFEL 6

SERIE A. GROEP b.



2×4 c.M. water: 2 Gehler folies: strooistraleninwerking; 66 KV. max. sp.
Grondzwartingen: Z_o = 0.5; 0.7; 1.0; 1.2; 1.5.

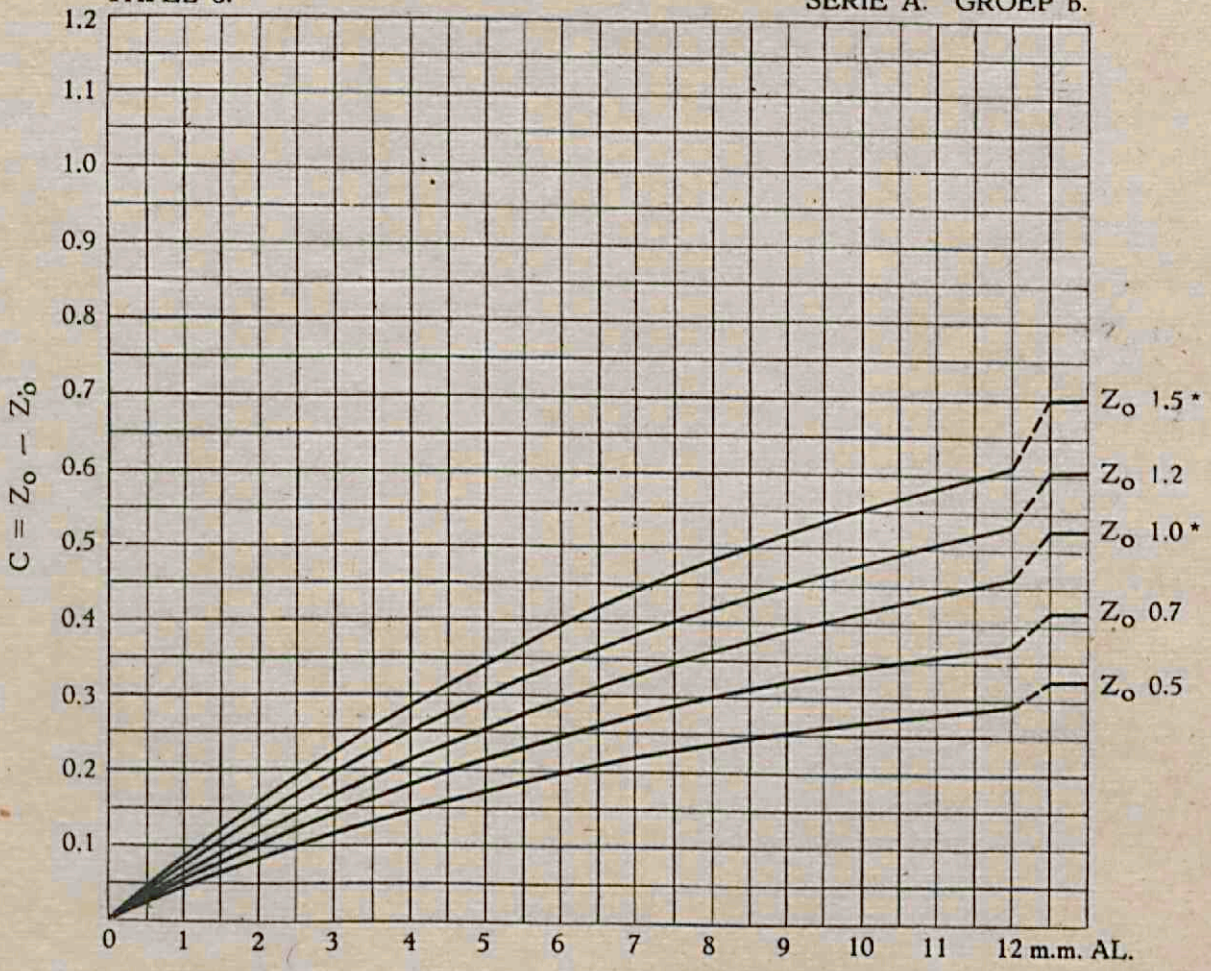
TAFEL 7. SERIE A. GROEP b.



2×4 c.M. water; 2 Gehler folies; strooistraleninwerking; 77 KV. max. sp.
Grondzwartingen; Z_o = 0.5; 0.7; 1.0; 1,2; 1.5.

TAFEL 8.

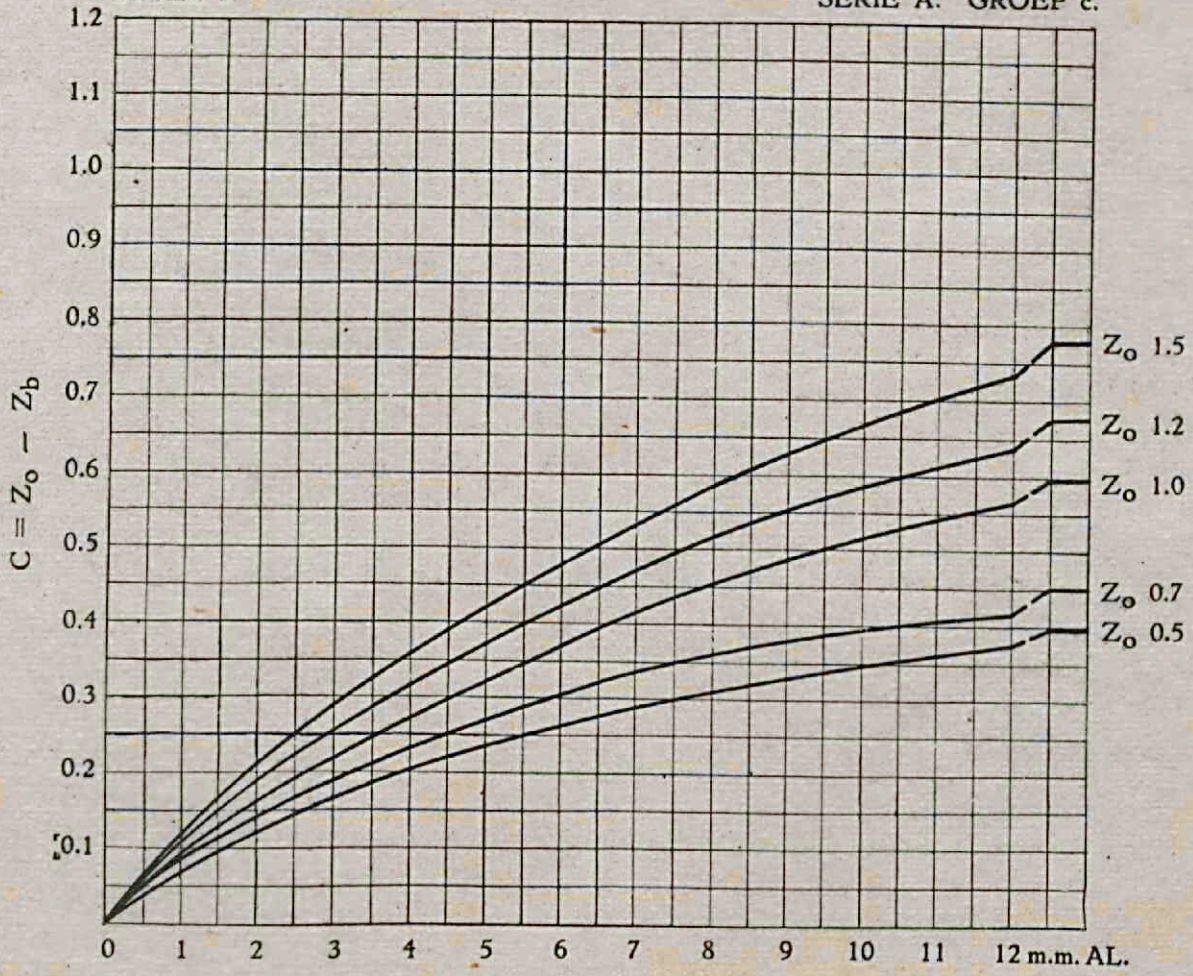
SERIE A. GROEP b.



2×4 c.M. water; 2 Gehler folies; strooistraleninwerking; 88 KV. max. sp.
Grondzwartingen: Z_o = 0.5; 0.7; 1.0; 1.2; 1.5.

TAFEL 9.

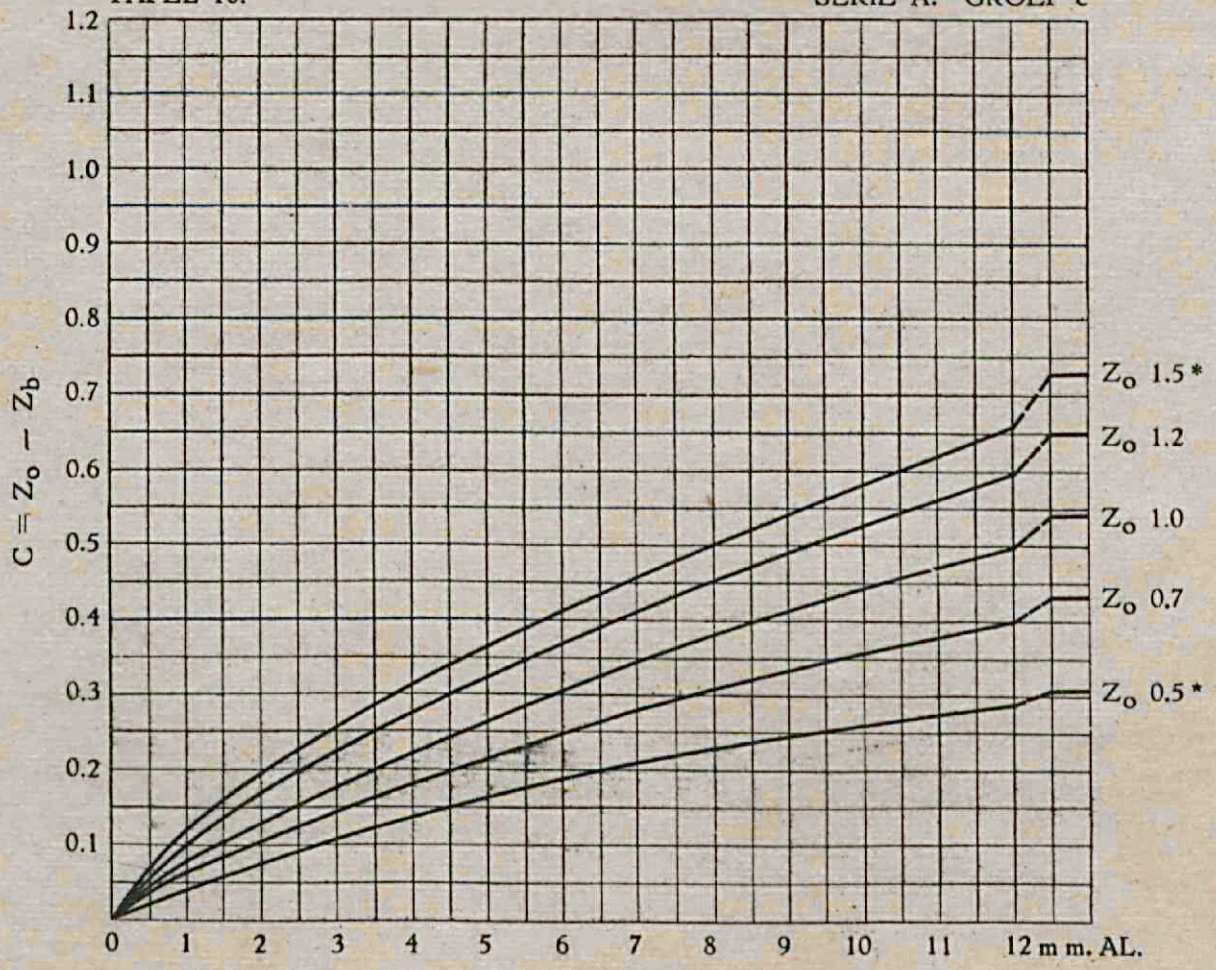
SERIE A. GROEP c.



2×6 c.M. water; 2 Gehler folies; strooistraleninwerking: 55 KV. max. sp.
Grondzwartingen: Z_o = 0.5; 0.7; 1.0; 1.2; 1.5.

TAFEL 10.

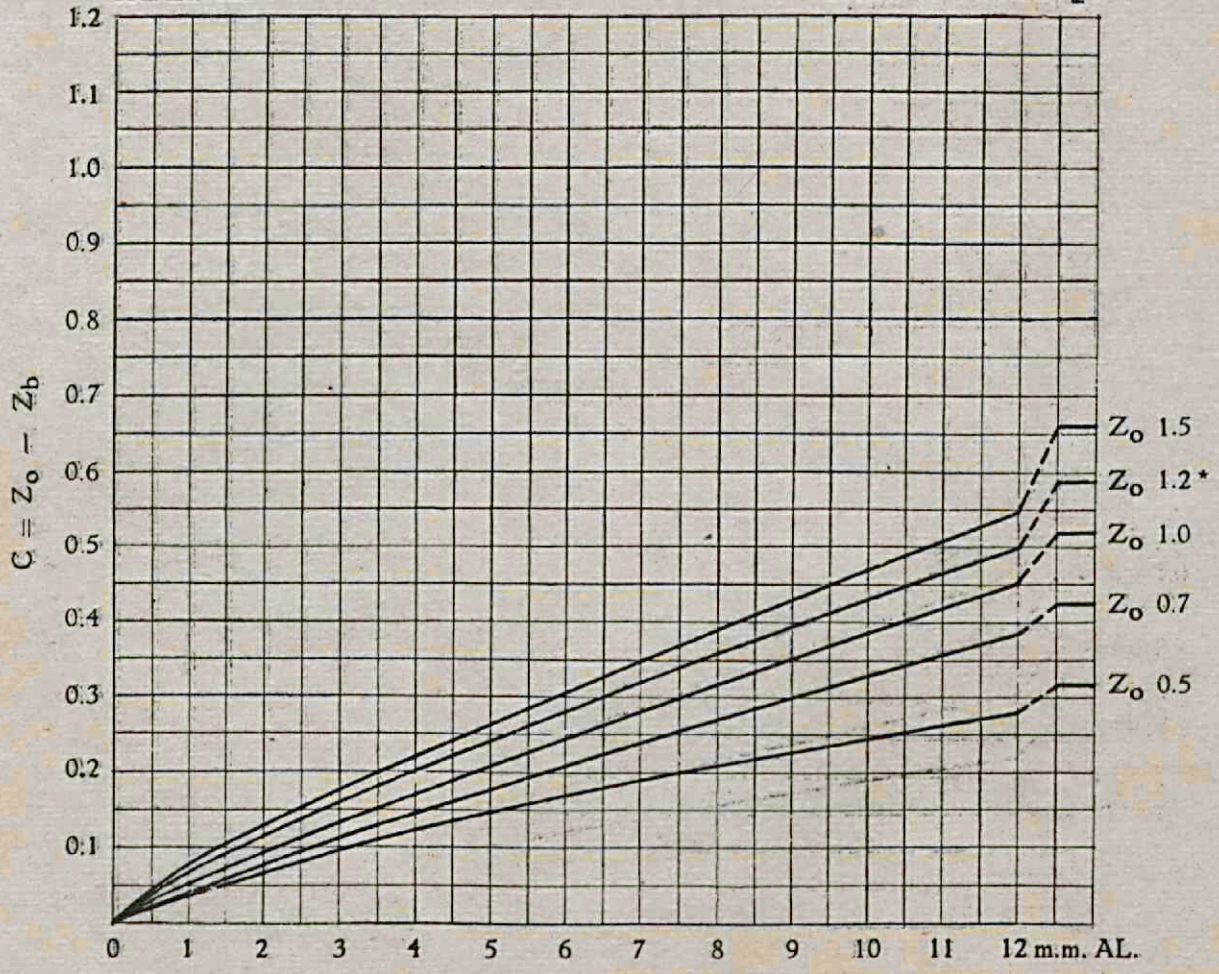
SERIE A. GROEP c



2 × 6 c.M. water; 2 Gehler folies; strooistraleninwerking; 66 KV. max. sp.

Grondzwartingen: Z_o = 0.5; 0.7; 1.0; 1.2; 1.5.

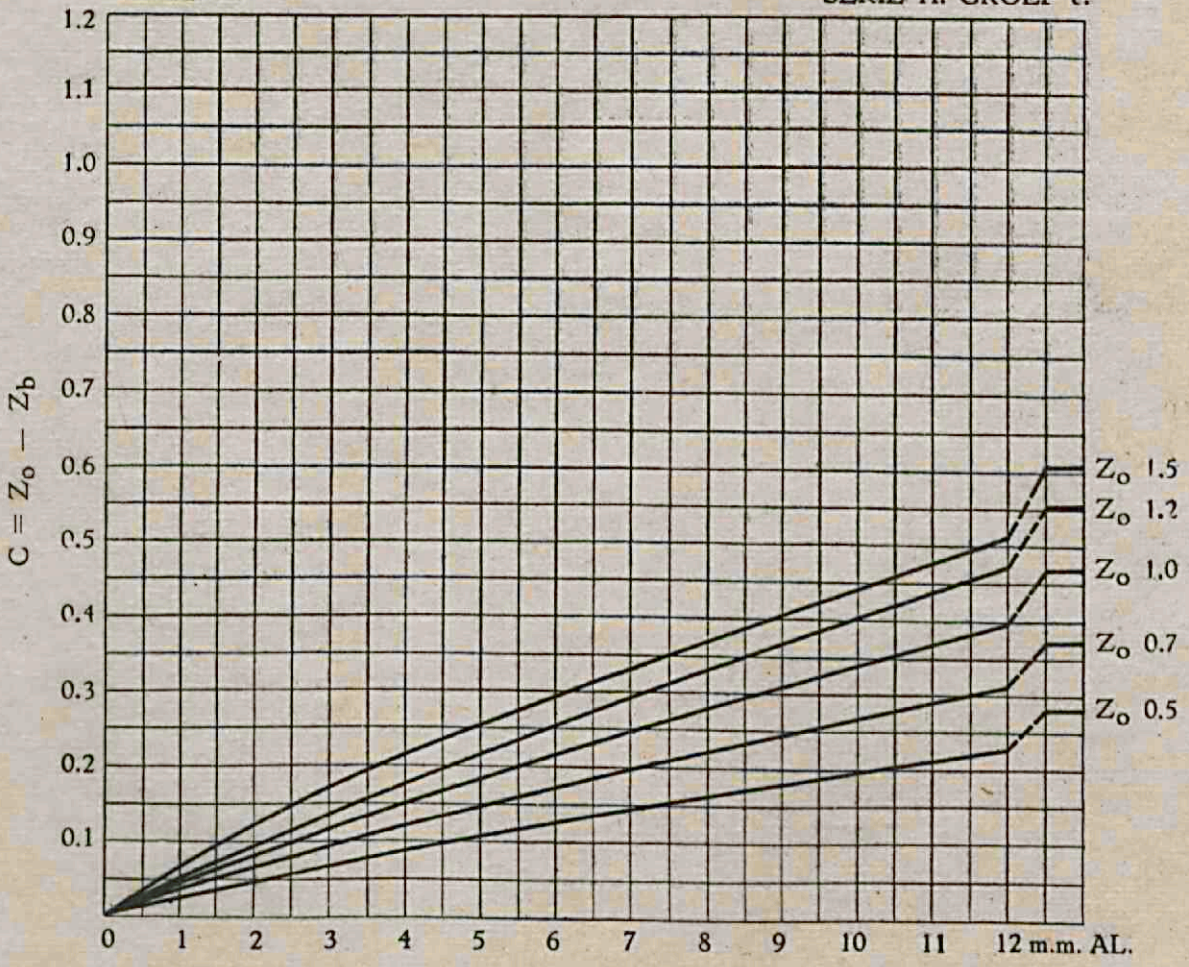
TAFEL II. SERIE A. GROEP c.



2×6 c.M. water; 2 Gehler folies; strooistraleninwerking; 77 KV. max. sp.
Grondzwartingen: Z_o = 0.5; 0.7; 1.0; 1.5; 1.2.

TAFEL 12.

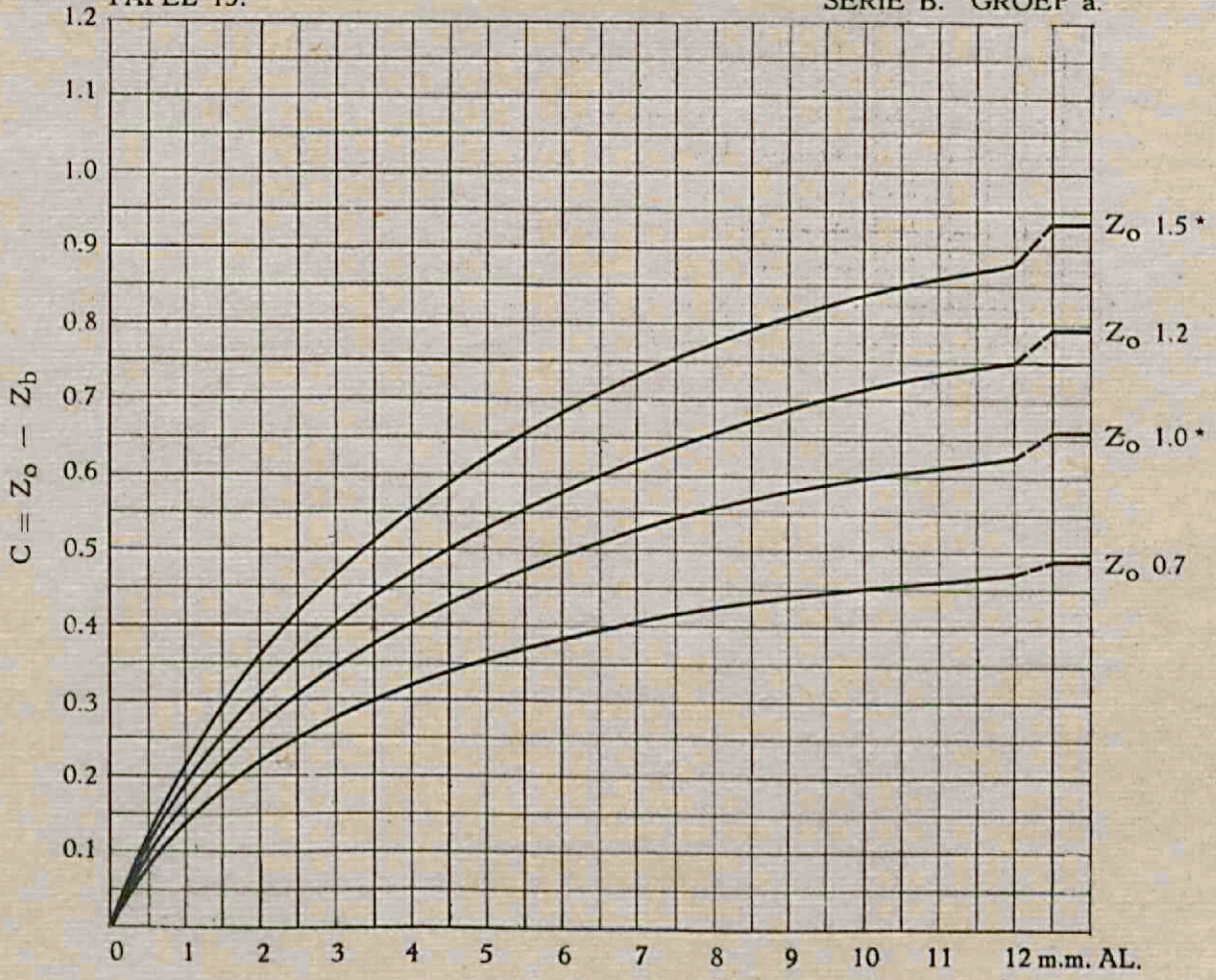
SERIE A. GROEP c.



2×6 c.M. water; 2 Gehler folies; strooistraleninwerking; 88 KV. max. sp.
Grondzwartingen; Z_o = 0.5; 0.7; 1.0; 1.2; 1.5.

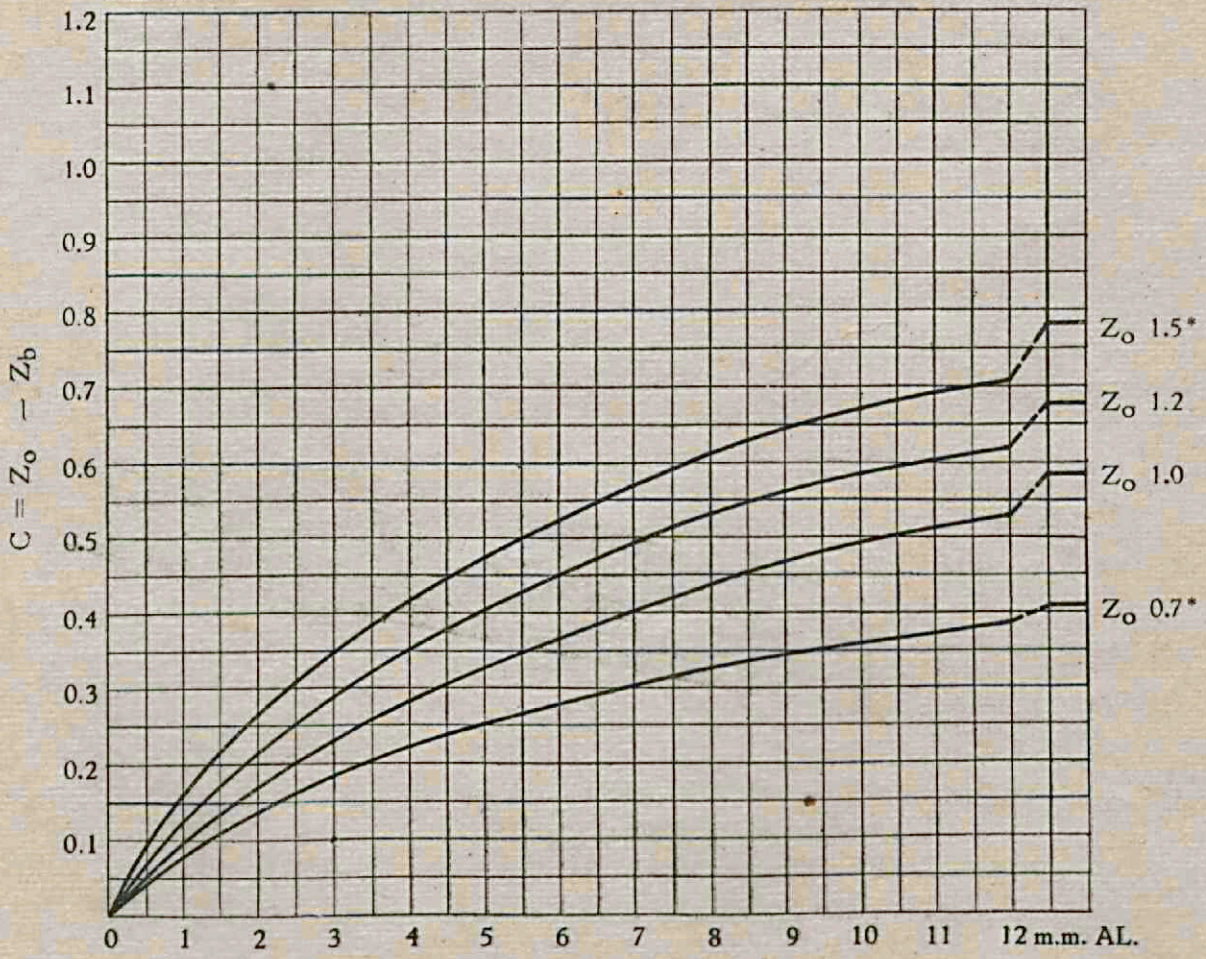
TAFEL 13.

SERIE B. GROEP a.



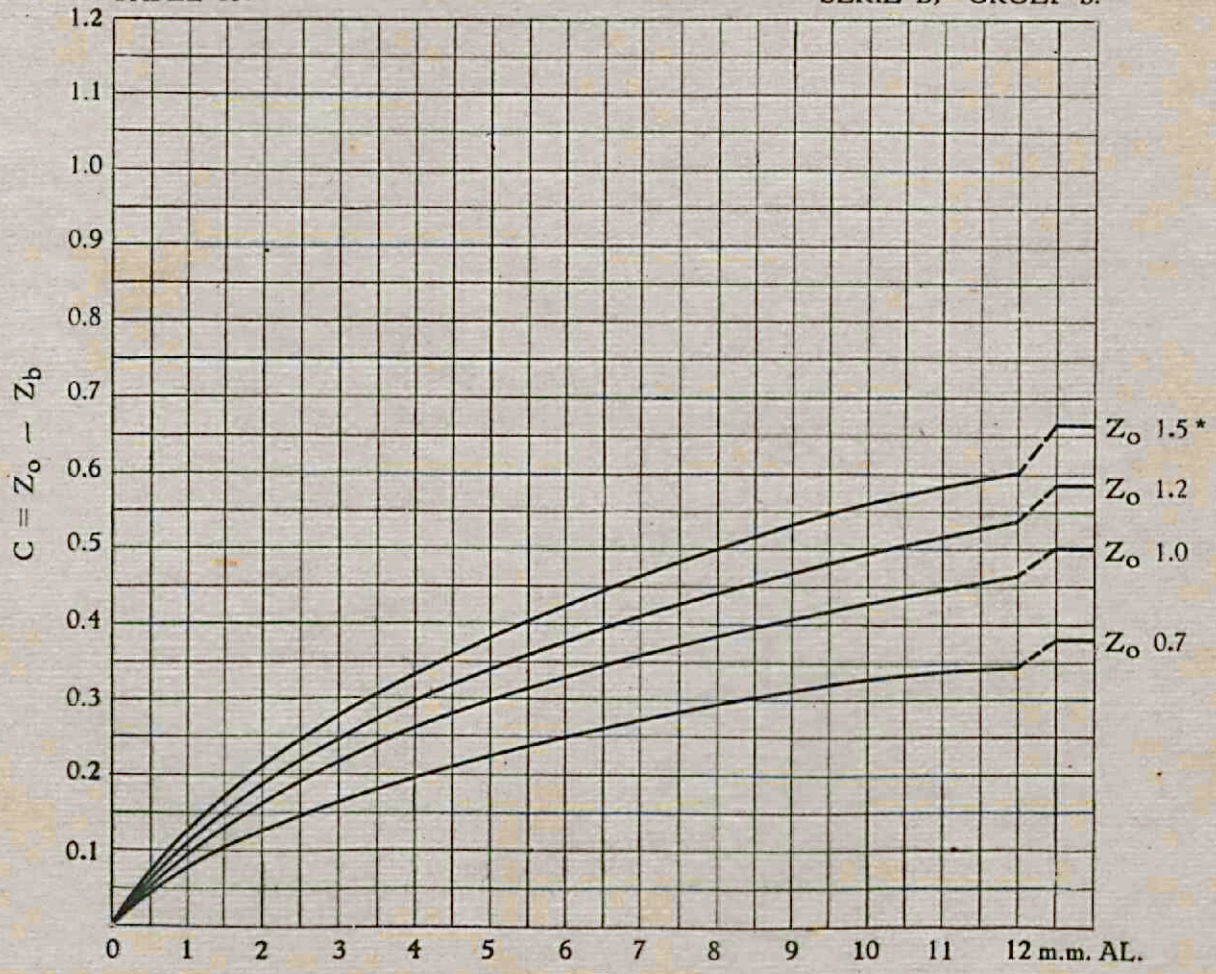
2×2 c.M. water; zonder folies; stroolstraleninwerking; 55 KV. max. sp.
Grondzwartingen: Z_o = 0.7; 1.0; 1.2; 1.5.

TAFEL 14. SERIE B. GROEP a.



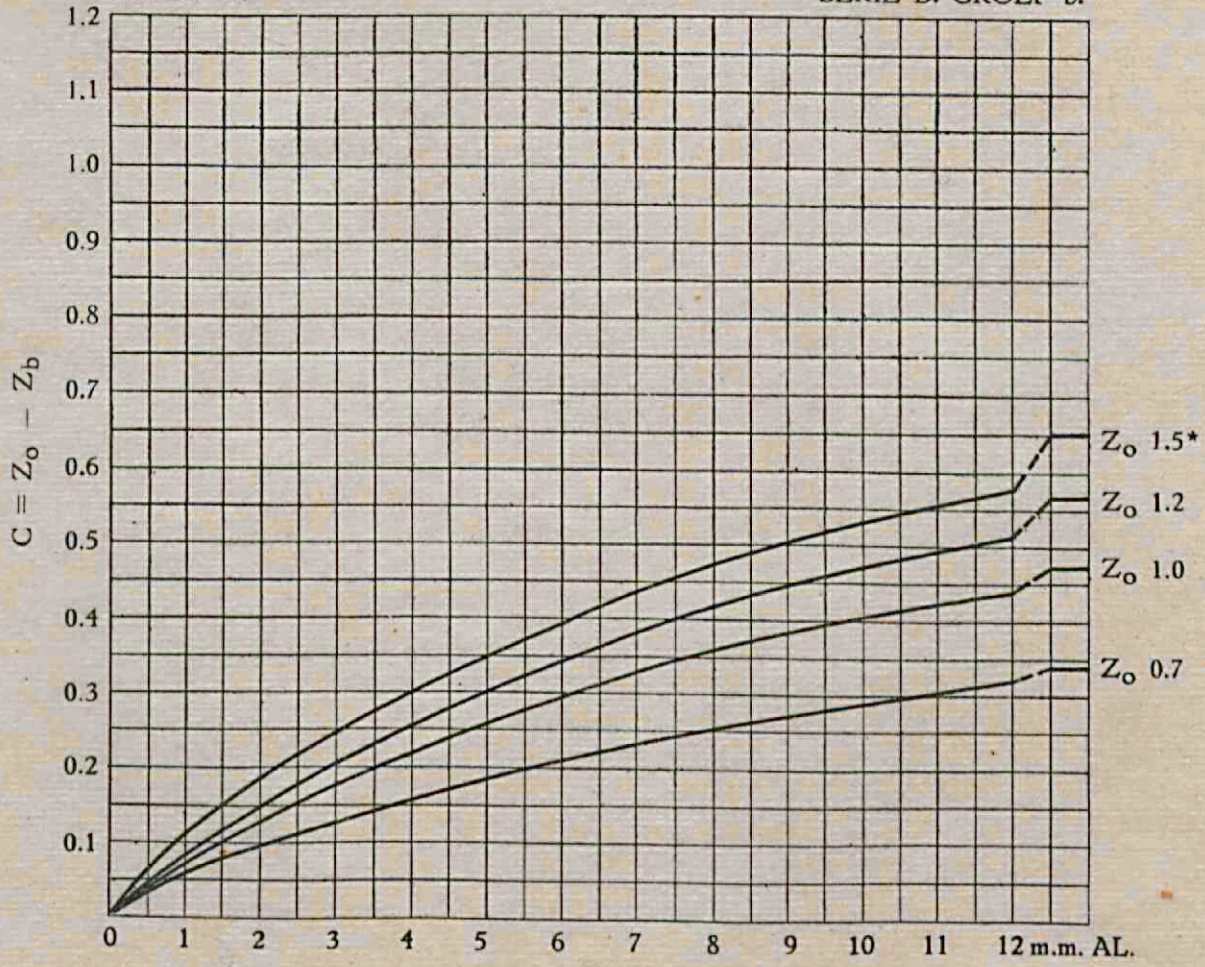
2×2 c.M. water; zonder folies; strooistraleninwerking: 88 KV. max. sp.
Grondzwartingen: Z_o = 0.7; 1.0; 1,2; 1.5.

TAFEL 15. SERIE B, GROEP b.



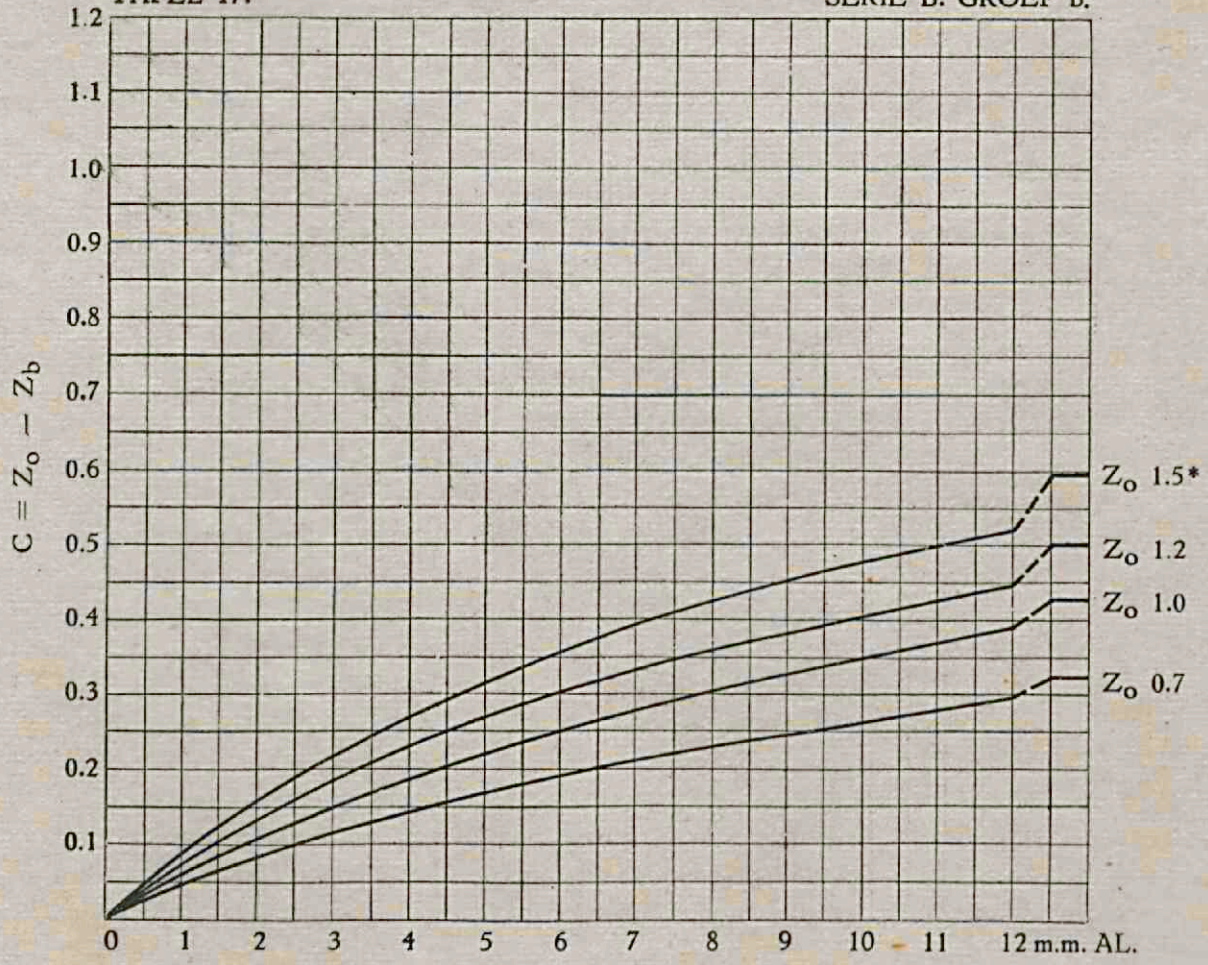
2×4 c.M. water; zonder folies; strooistraleninwerking; 55 KV. max. sp.
Grondzwartingen: Z_o = 0.7; 1.0; 1.2; 1,5.

TAFEL 16. SERIE B. GROEP b.



2×4 c.M. water; zonder folies; strooistraleninwerking; 66 KV. max. sp.
Grondzwartingen: Z_o = 0.7; 1.0; 1.2; 1.5.

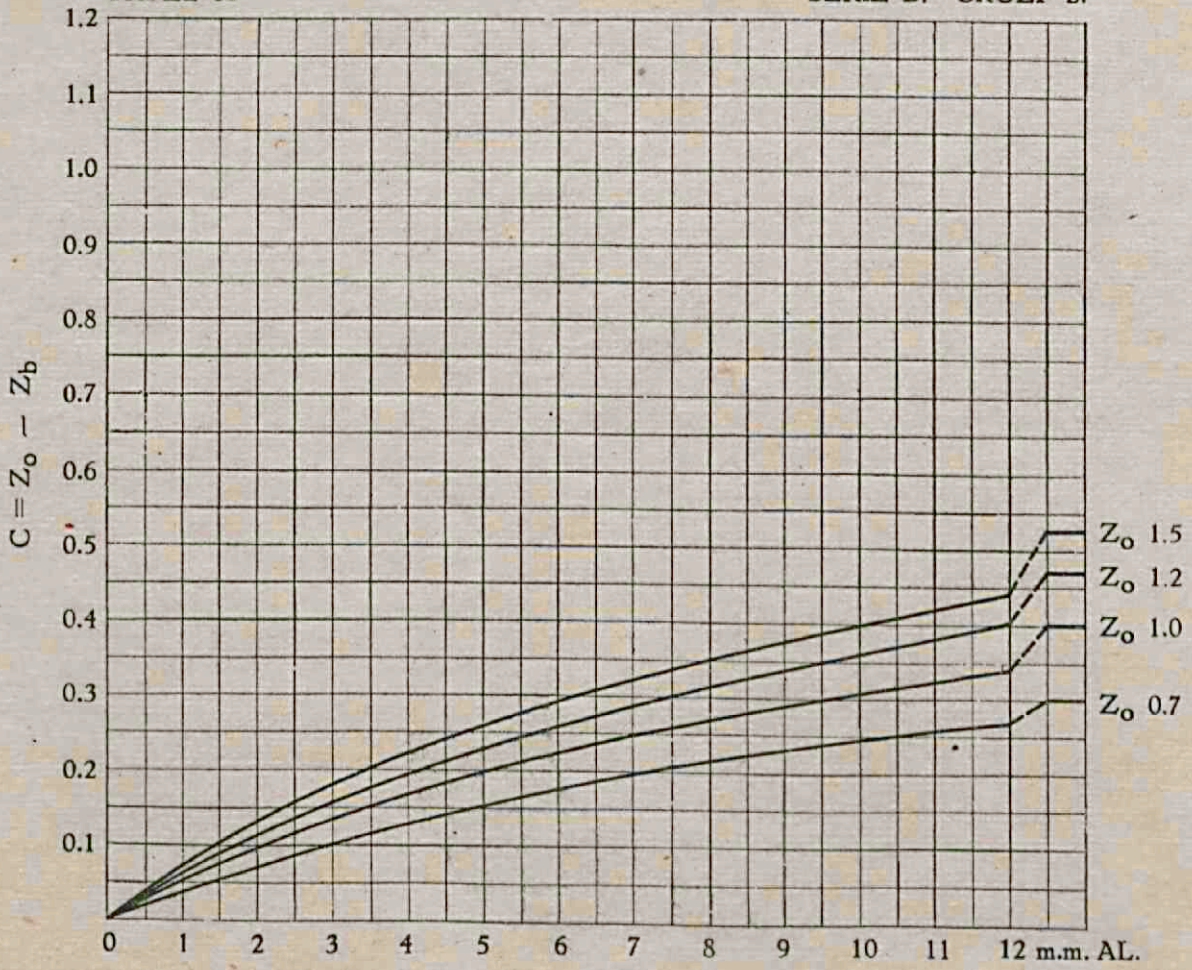
TAFEL 17. SERIE B. GROEP b.



2×4 c.M. water; zonder folies; strooistraleninwerking: 77 KV. max. sp.
Grondzwartingen: Z_o = 0.7; 1.0; 1.2; 1.5.

TAFEL 18

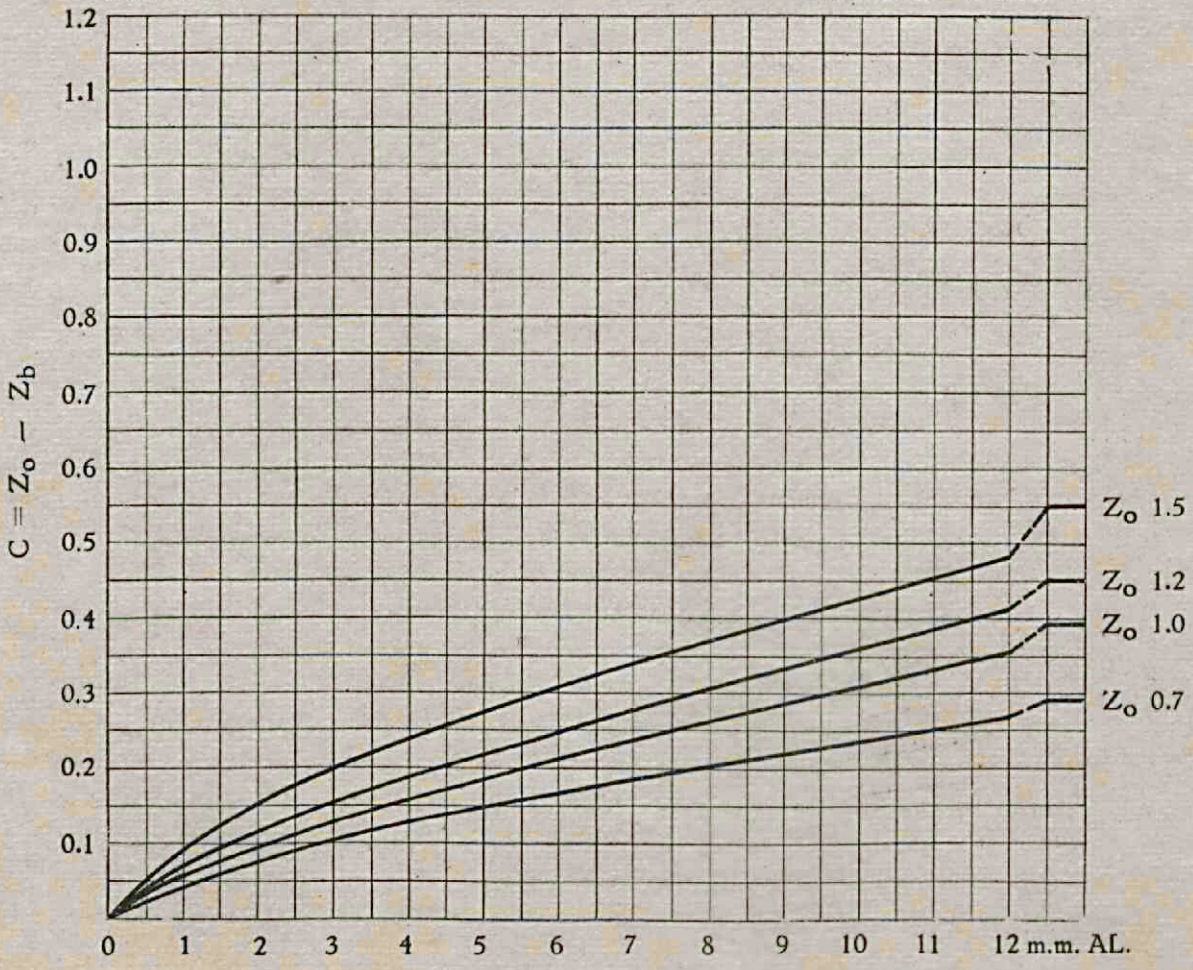
SERIE B. GROEP b.



2×4 c.M. water; zonder folies; strooistraleninwerking; 88 KV. max. sp.

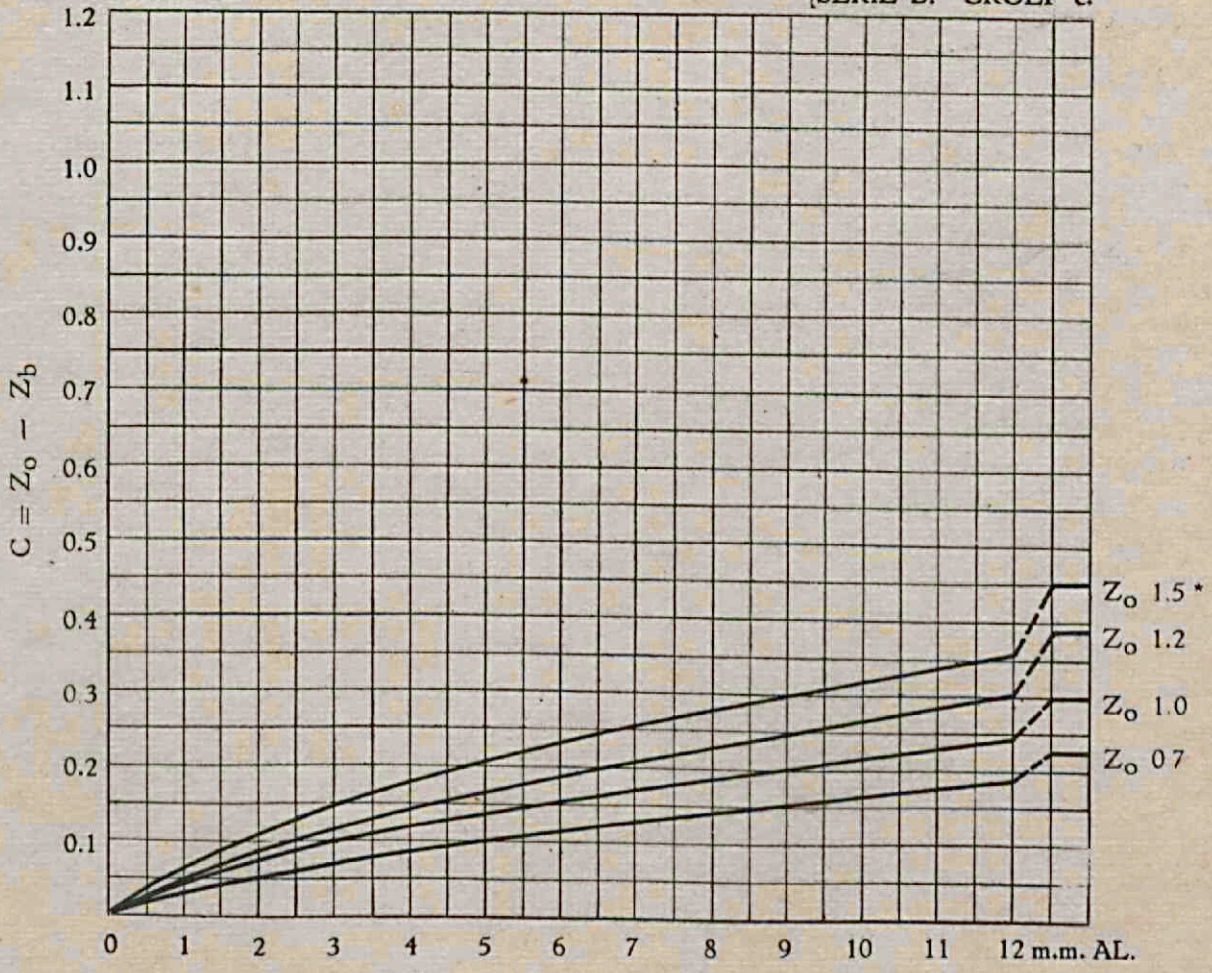
Grondzwartingen: Z_o = 0.7; 1.0; 1,2: 1.5.

TAFEL 19. SERIE B. GROEP c.



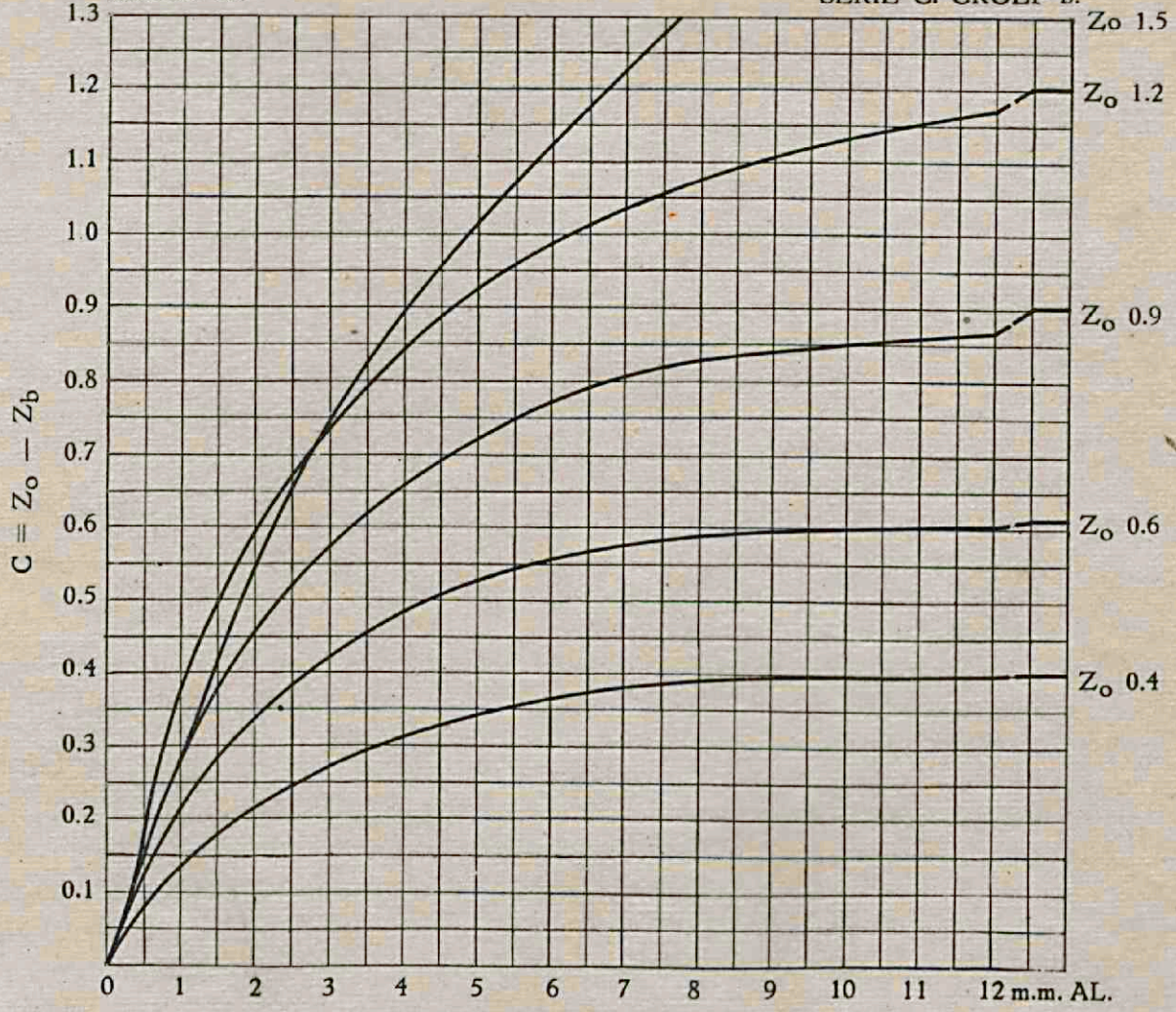
2×6 c.M. water; zonder folies; strooistraleninwerking; 55 KV. max. sp.
Grondzwartingen: Z_o = 0.7; 1.0; 1.2; 1.5.

TAFEL 20. [SERIE B. GROEP c.



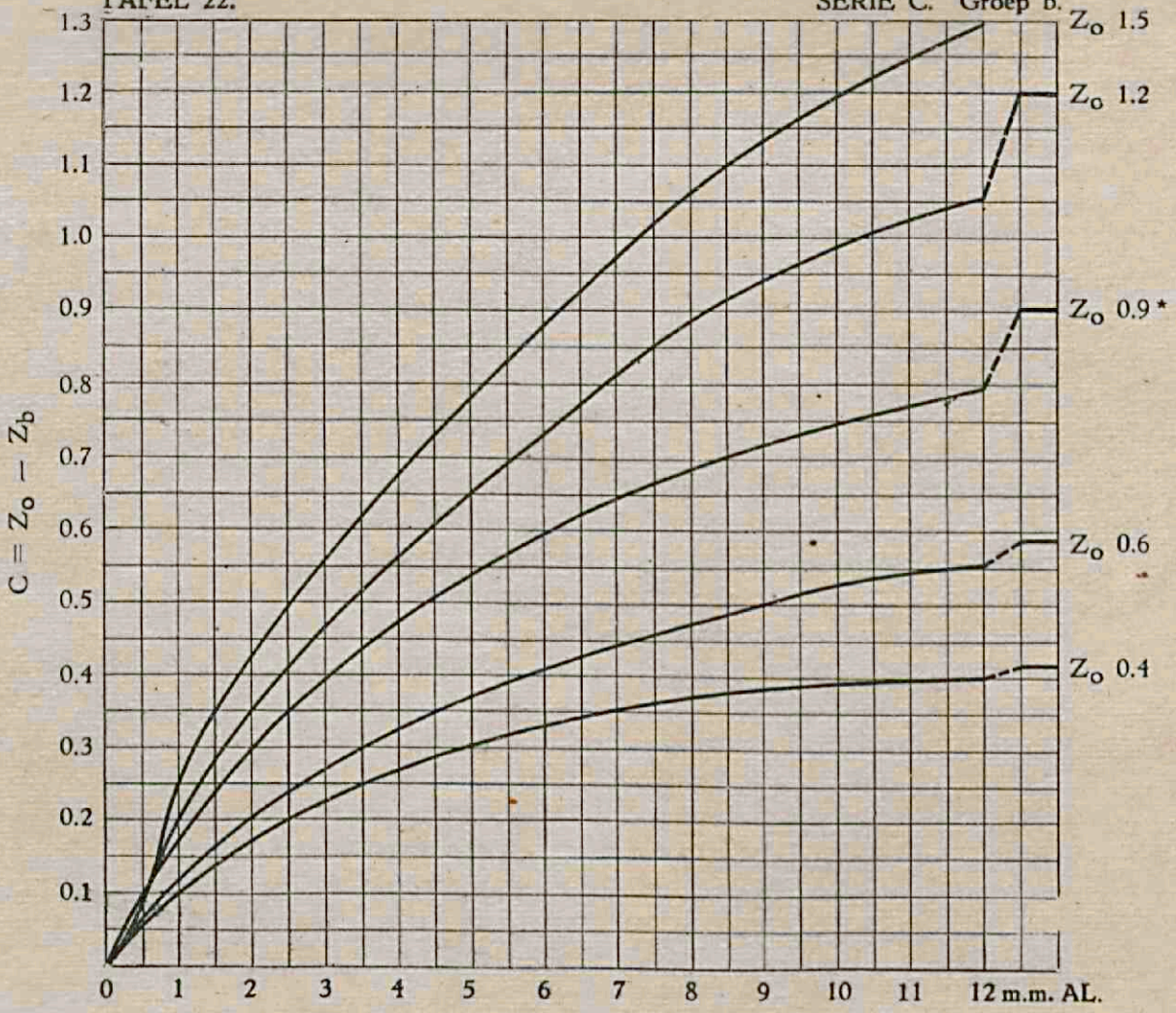
2×6 c.M. water; zonder folies; strooistraleninwerking: 88 KV. max. sp.
Grondzwartingen: Z_o = 0.7; 1.0; 1.2; 1.5.

TAFEL 21. SERIE C. GROEP b.



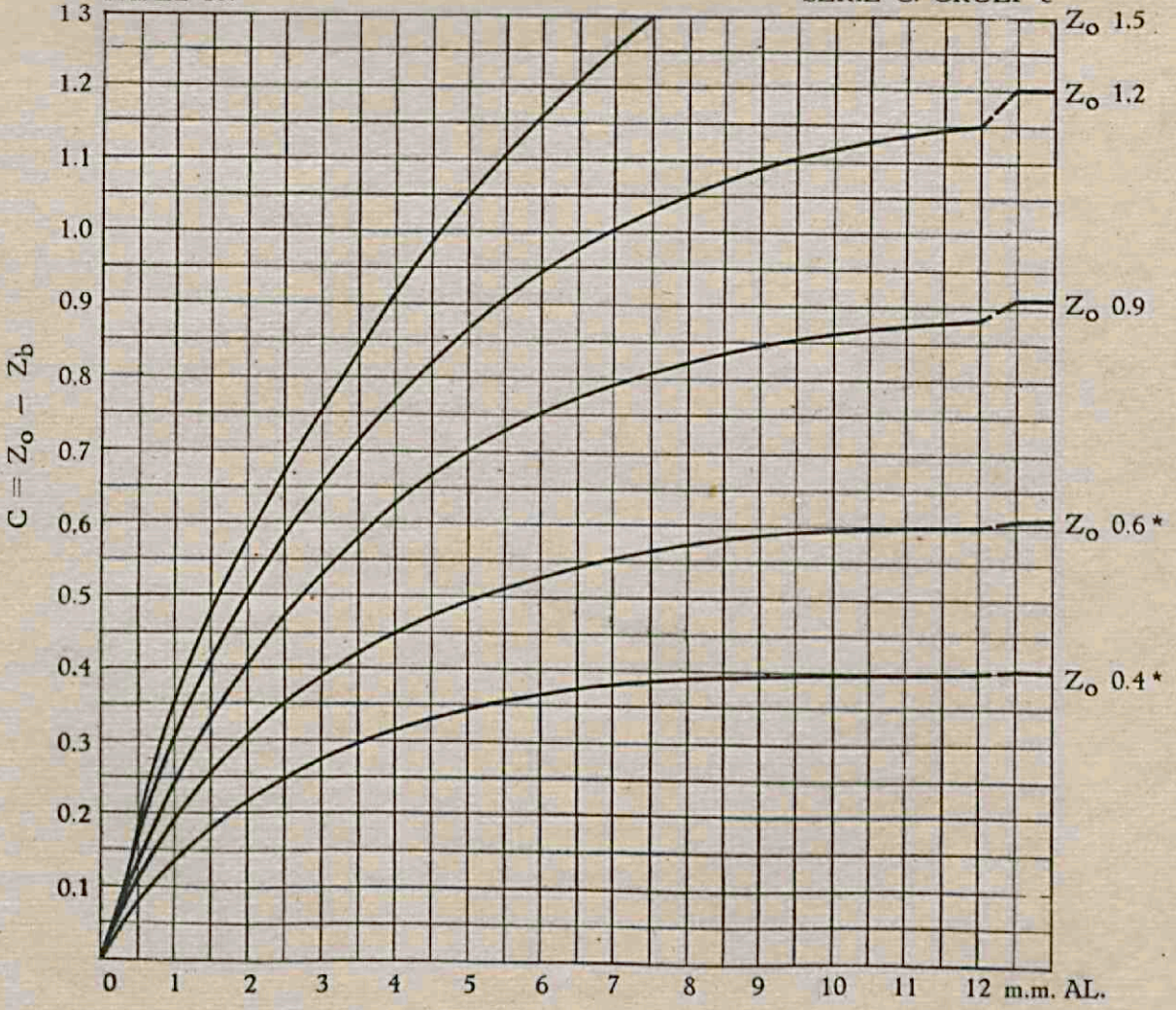
8 c.M. water; 2 Gehler folies, zonder strooistraleninwerking; 55 KV. max. sp.
Grondzwartingen: Z_o = 0.4; 0.6; 0.9; 1.2; 1.5.

TAFEL 22. SERIE C. Groep b.



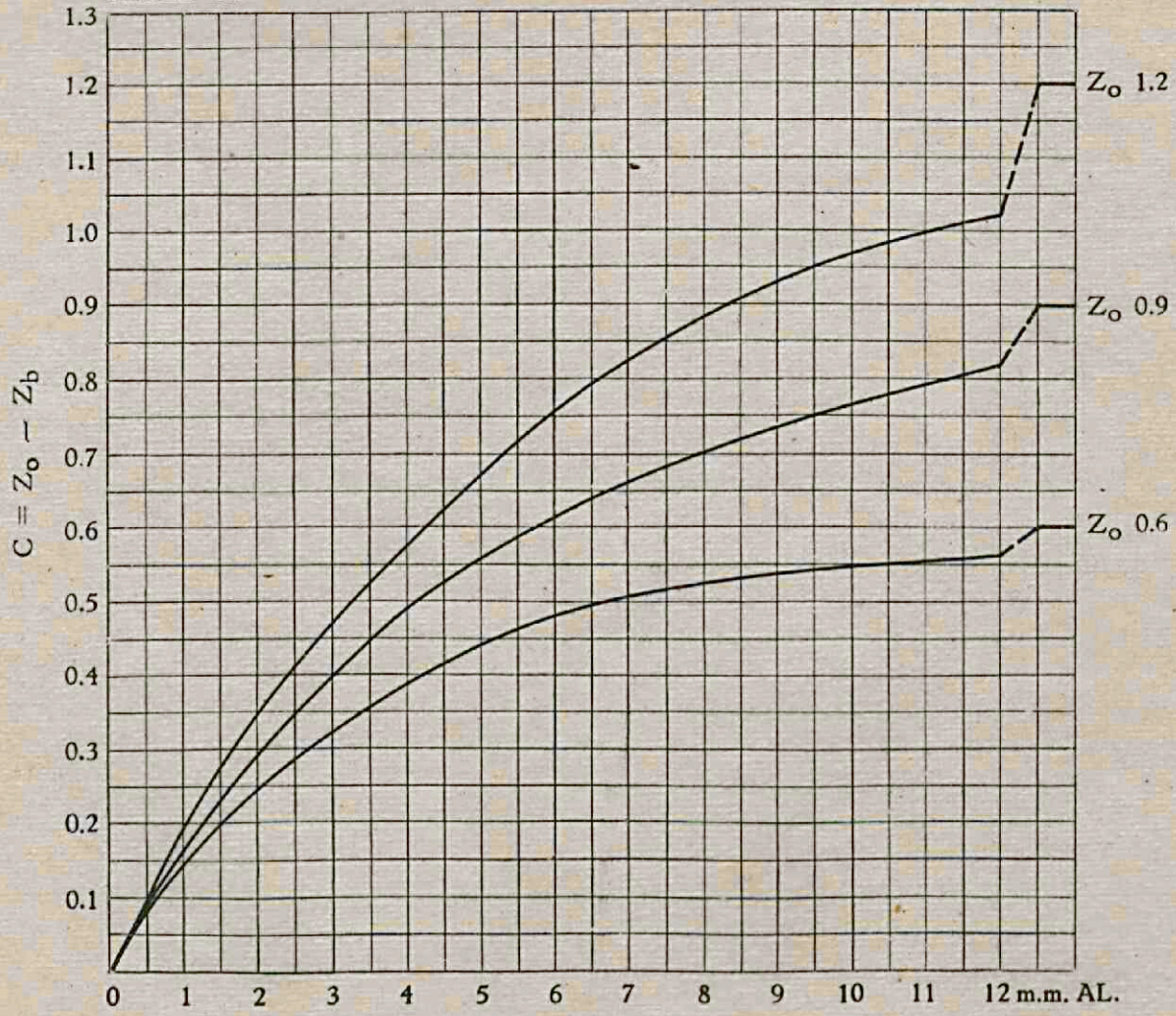
8 c.M. water; 2 Gehler folies, zonder strooistraleninwerking; 88 KV. max. sp.
Grondzwartingen: Z_o = 0.4; 0.6; 0.9; 1.2; 1.5.

TAFEL 23. SERIE C. GROEP c



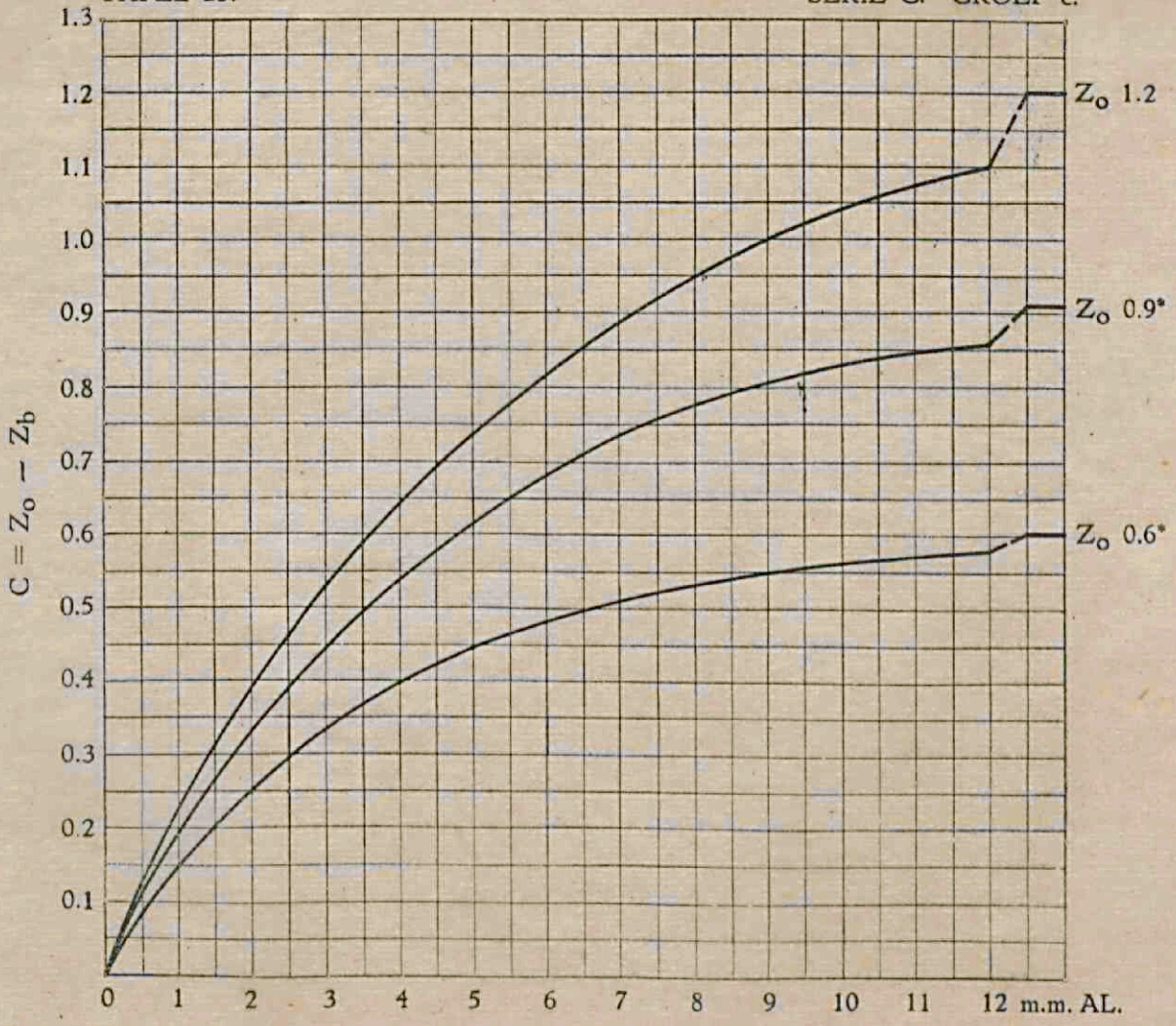
12 c.M. water; 2 Gehler folies, zonder strooistraleninwerking: 55 KV. max. sp.
Grondzwartingen: Z_o = 0.4; 0.6; 0.9; 1.2; 1.5.

TAFEL 24. SERIE C. GROEP c.



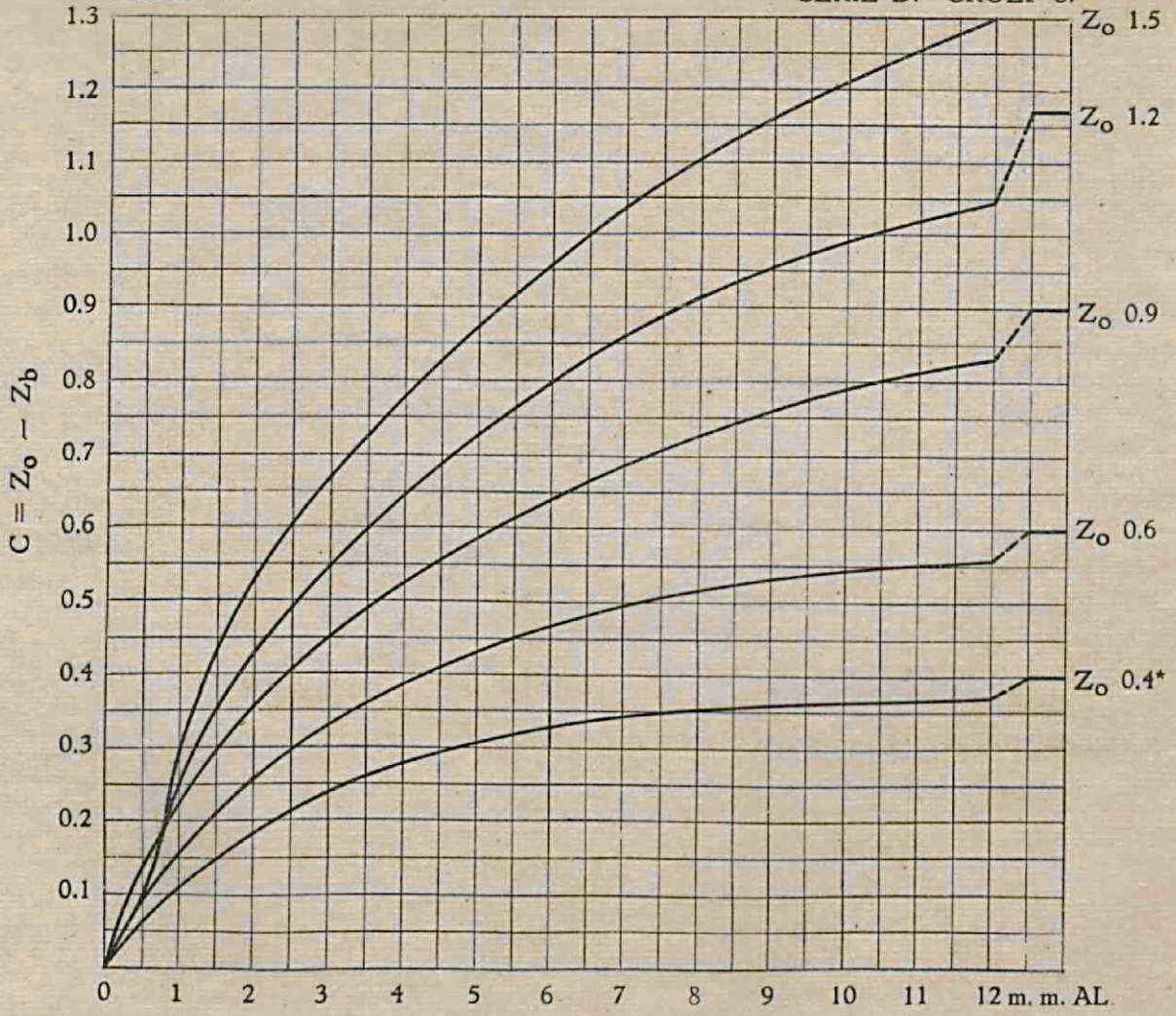
12 c.M. water; 2 Gehler folies; zonder strooistraleninwerking; 66 KV. max. sp.
Grondzwartingen: Z_o = 0.6; 0.9; 1.2.

TAFEL 25. SERIE C. GROEP c.



12 c.M. water: 2 Gehler folies: zonder strooistraleninwerking: 77 KV. max. sp.
Grondzwartingen: Z_o = 0.6; 0.9; 1.2.

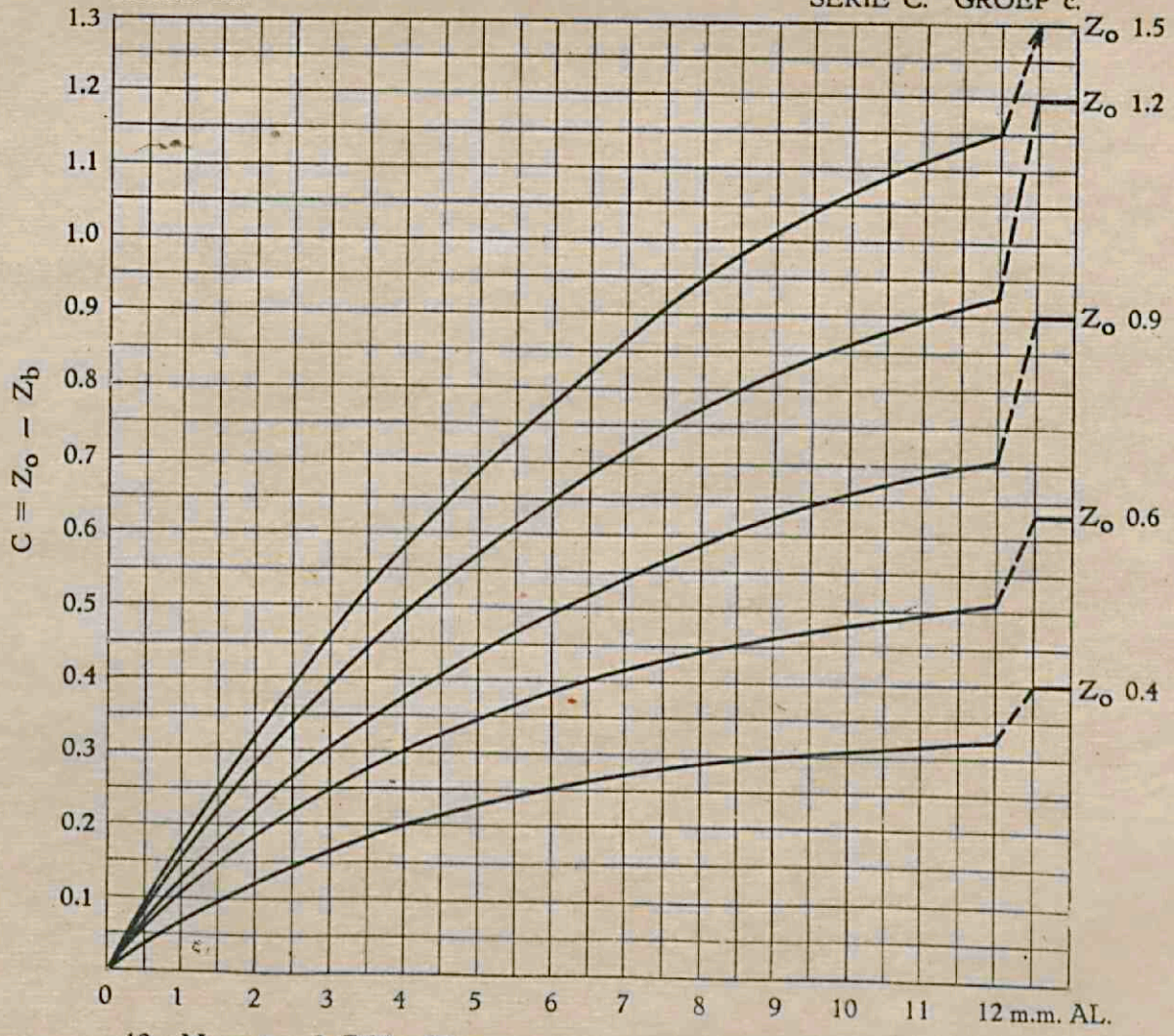
TAFEL 27. SERIE D. GROEP b.



8 c.M. water; zonder folies; zonder strooistraleninwerking; 55 KV. max. sp.
Grondzwartingen: Z_o = 0.4; 0.6; 0.9; 1.2; 1.5.

TAFEL 26.

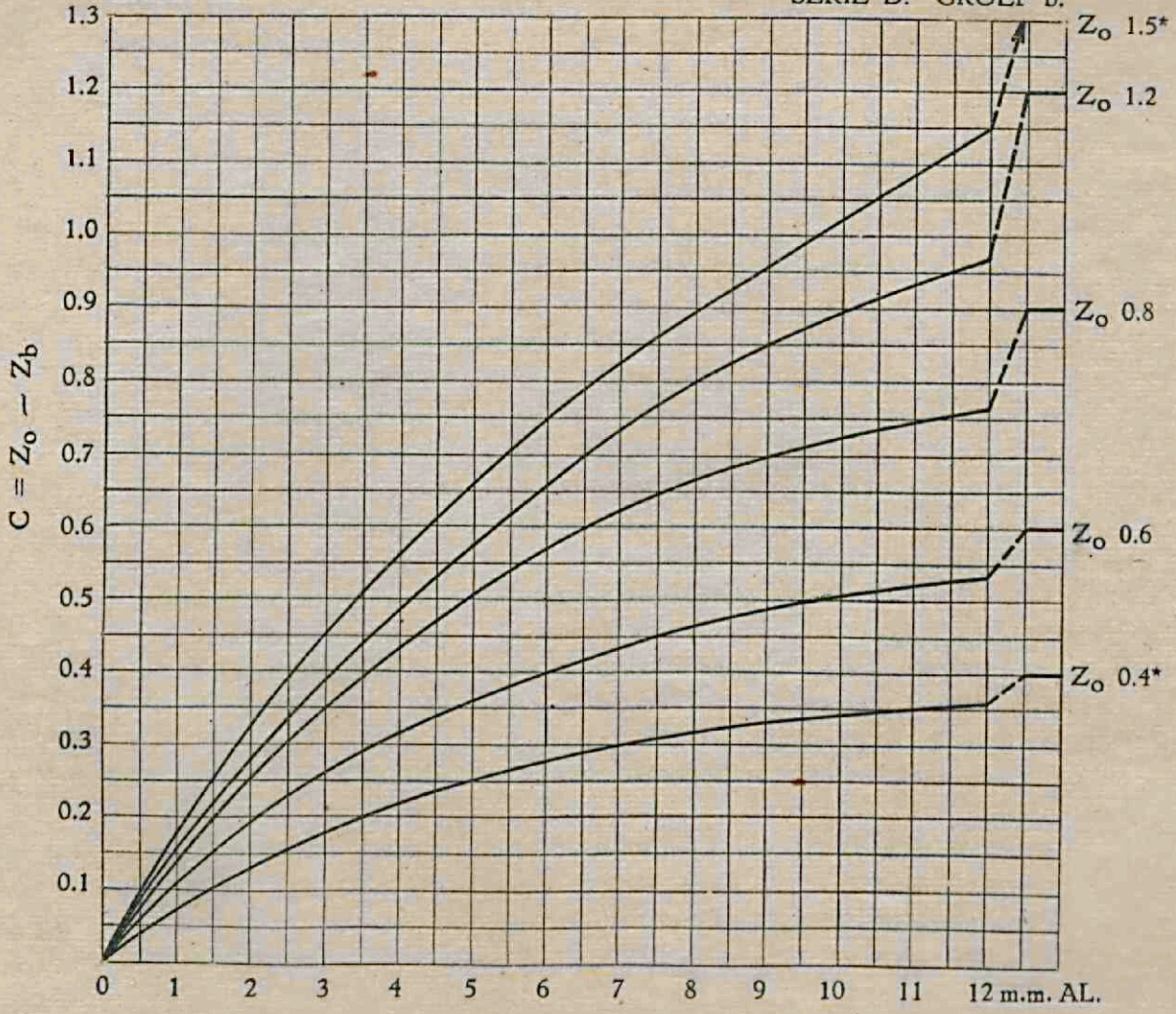
SERIE C. GROEP c.



12 c.M. water; 2 Gehler folies; zonder strooistraleninwerking; 88 KV. max. sp.
Grondzwartingen: Z_o = 0.4; 0.6; 0.9; 1.2; 1.5.

TAFEL 28.

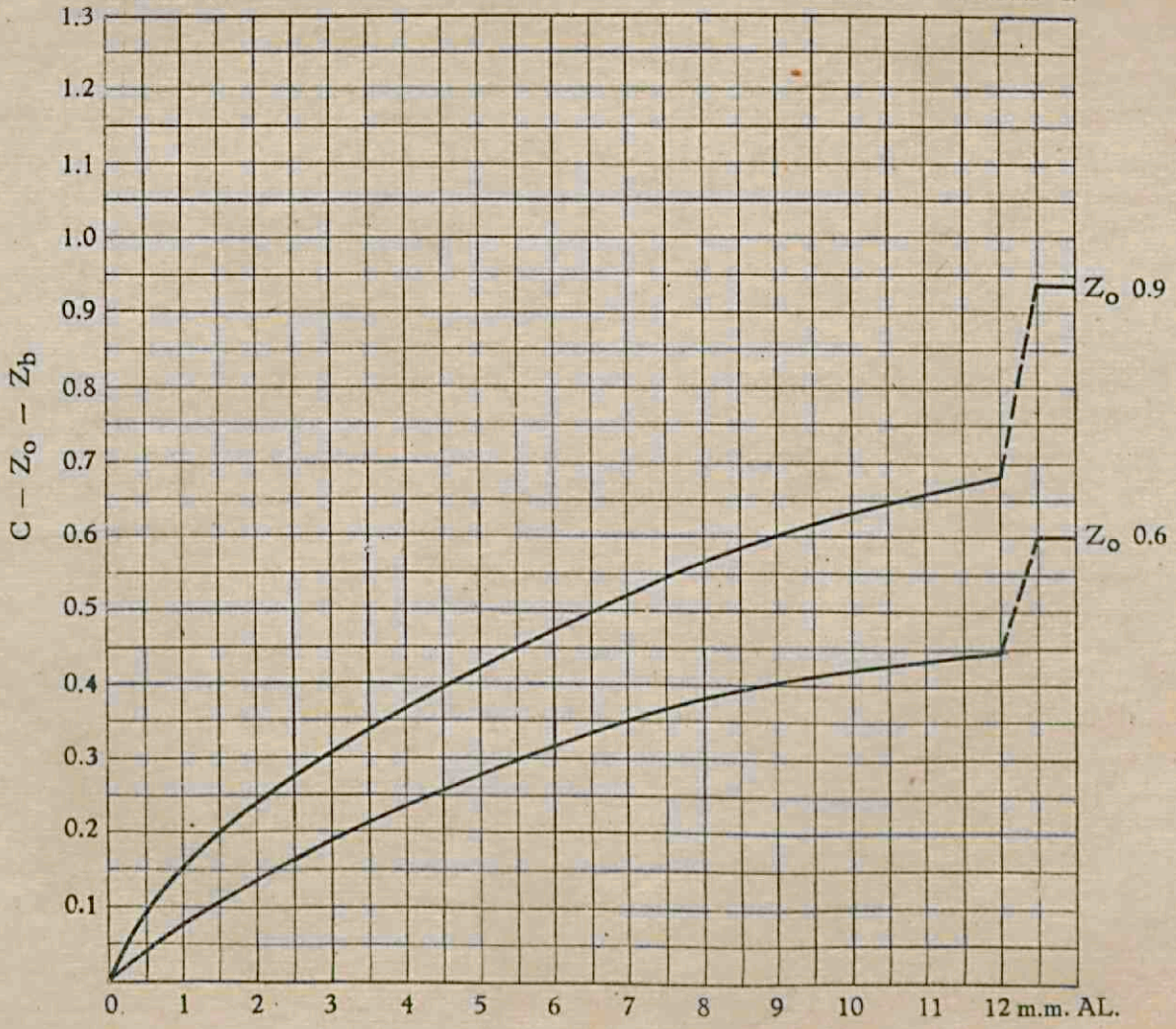
SERIE D. GROEP b.



8 cM. water; zonder folies; zonder strooistraleninwerking; 88 KV. max. sp.

Grondzwartingen: Z_o = 0.4; 0.6; 0.9; 1.2; 1.5.

TAFEL 29. SERIE D. GROEP c.



12 cM. water; zonder folies; zonder strooistraleninwerking; 88 KV. max. sp.
Grondzwartingen: $Z_o = 0.6; 0.9$.

TAFEL 30.

NORMAAL-CURVEN

