

DE INGENIEUR IN NEDERLANDSCH-INDIË

Orgaan der Groep Ned.-Indië van het Koninklijk Instituut van Ingenieurs

Maandblad gewijd aan de Techniek en Wetenschap in Ned.-Indië,

waarin opgenomen

De Waterstaats-Ingenieur, opgericht in 1913

en

De Mijningenieur, opgericht in 1919.

Tevens Orgaan van de Ned. Chemische Vereeniging in Ned.-Indië.

Commissie van Toezicht:

jhr. ir. H. S. van Lennep,
ir. W. Holleman,
ir. C. P. J. Suverkropp.

Commissie van Redactie:

Voorzitter: prof. ir. P. P. Bijlaard;
Leden: ir. G. Meesters, dr. ir. Tan Sin Hok,
ir. E. D. G. Frahm, ir. F. J. H. Davis.

Prijs per jaargang: f 20,—

Afzonderlijke nummers: f 2,—

Redactie-adres (zonder vermelding van persoonsnamen): Huygensweg 22, Bandoeng (Tel. Bd. 2102).

Adres voor administratie en abonnementen: Bragaweg 38, Bandoeng (Tel. Bd. 2568).

Adres voor advertenties: Firma G. Kolff & Co., Batavia-Centrum (Tel. Wl. 3015).

I. ALGEMEEN GEDEELTE.

INHOUD: Ter nagedachtenis van ir. W. A. Cohen Tervaert†. — De invloed van de taaiheid der vloeistof op het stroomingsverschijnsel, door ir. J. A. Manusama. — *Mededeelingen van de Redactie.* — *Personalia.* — *Koninklijk Instituut van Ingenieurs:* Bestuursmededeelingen.

Ter nagedachtenis van Ir. W. A. Cohen Tervaert, c.i. †.

Op 2 April 1941 overleed te Soerabaja na een kort ziekbed ir. W. A. Cohen Tervaert, in den ouderdom van 41 jaar. Met hem ging een goede kameraad en een goed mensch verloren. Hij was een van die zeldzame persoonlijkheden, die onder alle omstandigheden zich zelf blijven. Meer dan een ander leefde hij mede met moeilijkheden binnen en buiten zijn vriendenkring. Zijn gevoel voor rechtvaardigheid deed hem vaak in opstand komen tegen toestanden, die hij om zich heen waarnam en de wetenschap dat het buiten zijn vermogen lag er iets aan te veranderen kon hem er niet in doen berusten, maar werd hem tot een persoonlijke zorg.



Zijn bijzonder goed verstand en gezond inzicht, gepaard aan zijn menselijke eigenschappen, maakten hem bij uitstek geschikt voor een leidende functie in de ingenieurswereld, maar zijn groote bescheidenheid en vele ondervonden tegenslagen waren de oorzaak, dat hij nooit de positie bekleedde, waarop hij door zijn gaven een natuurlijk recht had.

Hoezeer hij algemeen gezien en bemind was, bleek eerst recht door de groote opkomst van vrienden en kennissen bij de teraardebestelling van zijn stoffelijk overschot op de begraafplaats Kembang Koening te Soerabaja.

De invloed van de taatheid der vloeistof op het stroomingsverschijnsel

door

ir. J. A. MANUSAMA.

Korte inhoud.

Na een korte inleiding over het getal van Reynolds en den kinematischen wrijvingscoëfficiënt worden de differentiaalvergelijkingen afgeleid, welke betrekking hebben op de spanningen en snelheden bij de strooming van taaie vloeistoffen. De in de vergelijking van Bernoulli in te voeren correctieterm blijkt hierbij afhankelijk te zijn van den stroomweg, den kinematischen wrijvingscoëfficiënt en de rotatie van de werveling. Door het invoeren van een nieuwe vectorgrootheid kan voor dezen correctieterm geschreven worden: $\frac{\chi}{s} \int \nabla^2 v_s ds$

Met de ontwikkelde theorie wordt ten slotte de afvoer door cirkelvormige buizen bepaald.

Inleiding.

De wrijvingskracht, die op een lichaam in een stroomend medium (vloeistof of gas) wordt uitgeoefend, voldoet in het algemeen aan de formule

$$K = \mu \gamma F v^2,$$

waarin γ de dichtheid van het stroomende medium voorstelt, v de snelheid, F het oppervlak van de lichaamsdoorsnede loodrecht op de stroomrichting en μ een coëfficiënt. Door dimensiebeschouwing kan men er zich gemakkelijk van overtuigen, dat μ dimensieloos is. Dit zal het geval zijn, als μ een verhoudingsgetal is. Zou nu μ alleen van den vorm van het lichaam afhangen (bijv. van de verhouding van twee lengteafmetingen), dan zou μ voor een bepaald lichaam een constante moeten zijn. Waarnemingen leeren echter, dat dit niet het geval is, doch dat μ in bepaalde gevallen ook afhankelijk is van de snelheid.

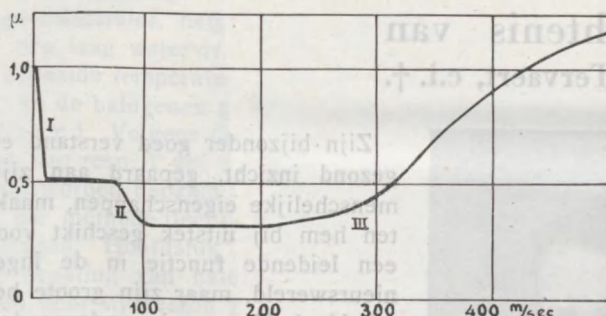


Fig. 1. Verband tusschen μ en de snelheid van lucht.

Zoo geeft fig. 1 ons het verband, dat er bestaat tusschen μ en de snelheid.

Wij merken hierbij op, dat bij kleine snelheden in gebied I en bij snelheden van 100 m/sec in gebied II de coëfficiënt μ afneemt bij toenemende snelheid van den luchtstroom, terwijl bij groote snelheden, welke de snelheid van het geluid nabijkomen, μ met v toeneemt. Hieruit blijkt, dat μ in de genoemde gebieden ook nog van andere factoren afhankelijk moet zijn, dan alleen van den vorm van het beschouwde lichaam.

De afwijking in gebied III (bij groote snelheden) is te verklaren door den compressibiliteits (= samendrukbaarheids)coëfficiënt in te voeren. Deze eigenschap van de vloeistof doet haar invloed gelden bij groote snelheden. De samendrukbaarheidscoëfficiënt E komt voor in de formule voor de geluidssnelheid

in de beschouwde vloeistof, immers uit de natuurkunde is bekend, dat

$$c = \sqrt{\frac{E}{s}},$$

waarin c de geluidssnelheid, E de compressibiliteitscoëfficiënt en s het s.g. van de vloeistof.

Door nu bij groote snelheden $\mu = f\left(\frac{v}{c}\right)$ te stellen

(waarbij dus μ weer dimensieloos is), is de stijging van μ met v in gebied III te verklaren.

In de gebieden I en II speelt de compressibiliteit geen rol. De afwijking van μ is hier te verklaren door de inwendige wrijving of viscositeit in beschouwing te nemen.

Bij kleine snelheden blijkt n.l. μ afhankelijk te zijn van het product vl (v = snelheid, l = lengteafmeting van het beschouwde lichaam). Zal μ echter weer

dimensieloos zijn, dan moet $\mu = f\left(\frac{vl}{\alpha}\right)$ zijn, waar

bij α dezelfde dimensie moet hebben als vl , dus $\left[\frac{m}{sec} \times m\right]$. Een eenvoudig onderzoek leert, dat

dit het geval is voor $\frac{\chi}{\gamma}$, waarbij χ de coëfficiënt van inwendige wrijving en γ de soortelijke massa is.

Om de dimensie van χ te bepalen merken we op, dat bij strooming van een vloeistof in het vlak van teekening in de X-richting (fig. 2), de rechte hoek

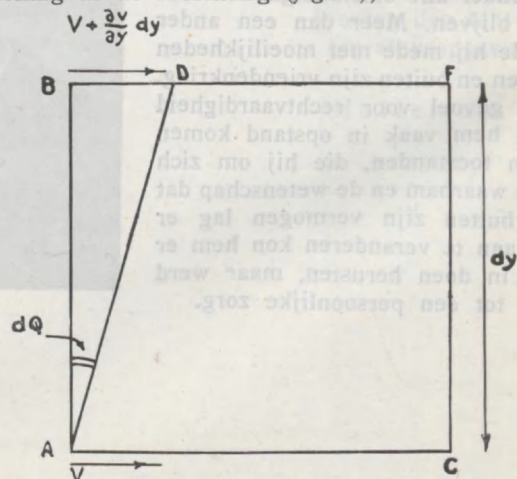


Fig. 2.

BAC verandert in den scherpen hoek DAC; de hoek-

$$\text{verandering bedraagt } d\varphi = \frac{BD}{AB} = \frac{\partial v}{\partial y}.$$

Door deze hoekverandering treedt in het vlak BF een schuifspanning

$$\tau = \chi \frac{\partial v}{\partial y} \dots \dots \dots (1)$$

op, waarbij χ te vergelijken is met den glijdingsmodulus bij vaste lichamen. De dimensie van χ is

$$\frac{\text{kg}}{\text{m}^2} : \frac{\text{m/sec}}{\text{m}} = \left[\frac{\text{kg sec}}{\text{m}^2} \right] \text{ en dus is de dimensie van}$$

$$\frac{\chi}{\gamma} \text{ inderdaad } \frac{\text{kg sec}}{\text{m}^2} : \frac{\text{kg sec}^2}{\text{m}^4} = \left[\frac{\text{m}^2}{\text{sec}} \right], \text{ hetgeen}$$

overeenkomt met die van νl .

In onze verdere beschouwing, waar ν steeds klein wordt verondersteld, is dus μ in de formule

$$K = \mu \gamma F \nu^2 \text{ een functie van } \frac{\gamma \nu l}{\chi}; \text{ aldus } \mu = f\left(\frac{\gamma \nu l}{\chi}\right).$$

De uitdrukking $\frac{\gamma \nu l}{\chi}$ noemt men het getal van Re y-

nolds en $\frac{\chi}{\gamma} = \nu$ den kinematischen wrijvingscoëfficiënt.

Ter bepaling van de differentiaalvergelijking voor ν_x , ν_y en ν_z wordt nu een vloeistofparallelepipedum ABCDEFGH in beschouwing genomen. Hierbij stellen ν_x , ν_y en ν_z de ontbondenen van de snelheid van punt A in drie onderling loodrechte richtingen voor.

Zijn de afmetingen dx , dy en dz klein, dan zijn de ontbondenen van de snelheid in punt B in de drie richtingen:

$$\nu_x + \frac{\partial \nu_x}{\partial x} dx, \nu_y + \frac{\partial \nu_y}{\partial x} dx \text{ en } \nu_z + \frac{\partial \nu_z}{\partial x} dx.$$

Per tijdseenheid legt A dus af in de X-richting ν_x en B $\nu_x + \frac{\partial \nu_x}{\partial x} dx$. De specifieke verlenging in deze

richting wordt: $\epsilon_x = \frac{\partial \nu_x}{\partial x}$

Evenzoo is: $\epsilon_y = \frac{\partial \nu_y}{\partial x}$

en: $\epsilon_z = \frac{\partial \nu_z}{\partial x}$

Behalve deze verlenging zal $\angle BAD$ (fig. 3) ook nog veranderen in $\angle B'A'D'$. Voor deze hoekverandering (om de X-as) vindt men: $\omega_z = \frac{\partial \nu_x}{\partial y} + \frac{\partial \nu_y}{\partial x}$.

Evenzoo zijn de hoekveranderingen om de beide andere assen: $\omega_x = \frac{\partial \nu_y}{\partial z} + \frac{\partial \nu_z}{\partial y}$ en $\omega_y = \frac{\partial \nu_x}{\partial z} + \frac{\partial \nu_z}{\partial x}$.

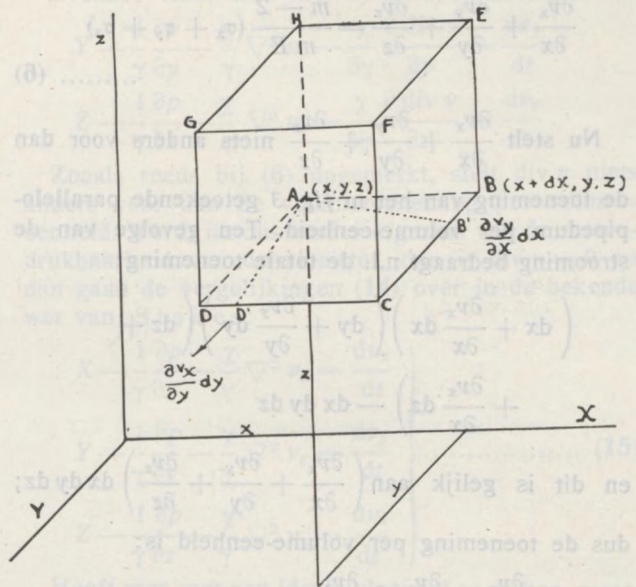


Fig. 3.

Werken nu in fig. 3 in de vlakken ADGH, ABEH en ABCD de hydrostatische drukken σ_x , σ_y en σ_z en de schuifspanningen τ_x , τ_y en τ_z (waarbij dus bijv. de spanningen τ_x werken in de vlakken ABCD en ABEH en $\perp AB$), dan heeft men ten gevolge van de hydrostatische drukken een verkorting in de X-richting ter

$$\begin{aligned} \text{grootte van: } \epsilon_x &= \frac{\sigma_x}{E} - \frac{\sigma_y + \sigma_z}{m E} \\ \text{Evenzoo is: } \epsilon_y &= \frac{\sigma_y}{E} - \frac{\sigma_x + \sigma_z}{m E} \\ \text{en: } \epsilon_z &= \frac{\sigma_z}{E} - \frac{\sigma_x + \sigma_y}{m E} \end{aligned} \dots \dots \dots (3)$$

(m = contractiecoëfficiënt).

In verband met de formules (2) krijgen we dus:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \nu_x}{\partial x} &= \frac{\sigma_x}{E} - \frac{\sigma_y + \sigma_z}{m E} \\ \frac{\partial \nu_y}{\partial x} &= \frac{\sigma_y}{E} - \frac{\sigma_x + \sigma_z}{m E} \\ \frac{\partial \nu_z}{\partial x} &= \frac{\sigma_z}{E} - \frac{\sigma_x + \sigma_y}{m E} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (4)$$

Voorts heeft men in verband met de hoekveranderingen:

$$\left. \begin{aligned} \tau_x &= \left(\frac{\partial \nu_y}{\partial z} + \frac{\partial \nu_z}{\partial y} \right) \chi \\ \tau_y &= \left(\frac{\partial \nu_x}{\partial z} + \frac{\partial \nu_z}{\partial x} \right) \chi \\ \tau_z &= \left(\frac{\partial \nu_x}{\partial y} + \frac{\partial \nu_y}{\partial x} \right) \chi \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (5)$$

(χ = coëfficiënt van inwendige wrijving).

Wij hebben dus nu gekregen de snelheid als functie van de hydrostatische spanningen.

Omgekeerd is het mogelijk de spanningen als functie der snelheden op te schrijven; immers uit (4) volgt door opstellen der overeenkomstige leden:

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = \frac{m-2}{mE} (\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z) \quad \dots\dots\dots (6)$$

Nu stelt $\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z}$ niets anders voor dan de toeneming van het in fig. 3 geteekende parallelipedum per volume-eenheid. Ten gevolge van de strooming bedraagt n.l. de totale toeneming:

$$\left(dx + \frac{\partial v_x}{\partial x} dx \right) \left(dy + \frac{\partial v_y}{\partial y} dy \right) \left(dz + \frac{\partial v_z}{\partial z} dz \right) - dx dy dz$$

en dit is gelijk aan $\left(\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) dx dy dz$; dus de toeneming per volume-eenheid is:

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = \text{div } v.$$

Formule (6) wordt hierdoor:

$$\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z = \frac{mE}{m-2} \text{div } v \quad \dots\dots\dots (7)$$

Door de vergelijkingen van (3) met mE te vermenigvuldigen krijgt men in combinatie met (7):

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= \frac{mE}{m+1} \left(\frac{\text{div } v}{m-2} + \varepsilon_x \right) \\ \sigma_y &= \frac{mE}{m+1} \left(\frac{\text{div } v}{m-2} + \varepsilon_y \right) \\ \sigma_z &= \frac{mE}{m+1} \left(\frac{\text{div } v}{m-2} + \varepsilon_z \right) \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (8)$$

Tusschen den contractiecoëfficiënt m , den wrijvingscoëfficiënt χ en den modulus E bestaat de betrekking:

$$\frac{mE}{2(m+1)} = \chi \quad \dots\dots\dots (9)$$

We krijgen derhalve:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= 2\chi \left(\frac{\text{div } v}{m-2} + \varepsilon_x \right) \\ \sigma_y &= 2\chi \left(\frac{\text{div } v}{m-2} + \varepsilon_y \right) \\ \sigma_z &= 2\chi \left(\frac{\text{div } v}{m-2} + \varepsilon_z \right) \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (10)$$

De bewegingsverlikingen van Navier voor het in fig. 3 geteekende vloeistofdeeltje vindt men uit de voorwaarde, dat:

$$X dm + \sigma_x dy dz - \left(\sigma_x + \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} dx \right) dy dz - \left(\tau_y + \frac{\partial \tau_y}{\partial z} dz \right) dx dy + \tau_y dx dy -$$

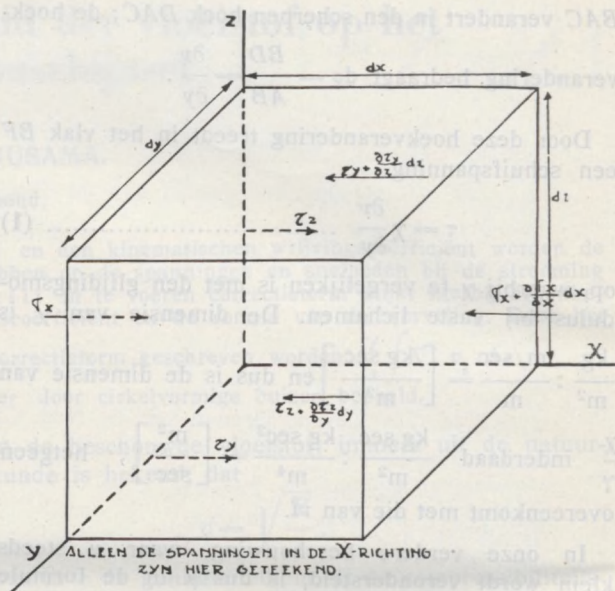


Fig. 4.

$$- \left(\tau_z + \frac{\partial \tau_z}{\partial y} dy \right) dx dz + \tau_z dx dz = dm \frac{dv_x}{dt}$$

(zie fig. 4).

X is hier de ontbondene van de uitwendige kracht per massaeenheid in de X -richting.

De vergelijkingen van Navier worden derhalve:

$$\left. \begin{aligned} X - \frac{1}{\gamma} \left(\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_y}{\partial z} + \frac{\partial \tau_z}{\partial y} \right) &= \frac{dv_x}{dt} \\ Y - \frac{1}{\gamma} \left(\frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_z}{\partial z} + \frac{\partial \tau_x}{\partial x} \right) &= \frac{dv_y}{dt} \\ Z - \frac{1}{\gamma} \left(\frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \frac{\partial \tau_x}{\partial y} + \frac{\partial \tau_y}{\partial x} \right) &= \frac{dv_z}{dt} \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (11)$$

Uit (10) volgt:

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} = 2\chi \left(\frac{1}{m-2} \frac{\partial}{\partial x} \text{div } v + \frac{\partial \varepsilon_x}{\partial x} \right) \quad \text{en uit (5):}$$

$$\frac{\partial \tau_z}{\partial y} = \chi \left(\frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial x \partial y} \right).$$

$$\text{Evenzoo is } \frac{\partial \tau_y}{\partial z} = \chi \left(\frac{\partial^2 v_x}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial x \partial z} \right).$$

Deze afgeleide betrekkingen in de eerste vergelijking van (11) gesubstitueerd geeft:

$$X - \frac{\chi}{\gamma} \left(\frac{2}{m-2} \frac{\partial \text{div } v}{\partial x} + 2 \frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial x \partial z} \right) = \frac{dv_x}{dt}.$$

$$\text{Nu is } \frac{\partial \text{div } v}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) = \frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial y \partial x} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z \partial x}$$

en $\frac{\chi}{\gamma} = \nu$ de kinematische wrijvingscoëfficiënt.

In verband met het een en ander wordt de eerste vergelijking van Navier:

$$X - \frac{\chi}{\gamma} \left(\frac{m}{m-2} \frac{\partial \operatorname{div} v}{\partial x} + \nabla^2 v_x \right) = \frac{dv_x}{dt}.$$

Hierin stelt ∇^2 den operator van Laplace voor, n.l.

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}.$$

Evenzoo worden de andere vergelijkingen van Navier:

$$\begin{aligned} Y - \frac{\chi}{\gamma} \left(\frac{m}{m-2} \frac{\partial \operatorname{div} v}{\partial y} + \nabla^2 v_y \right) &= \frac{dv_y}{dt} \\ Z - \frac{\chi}{\gamma} \left(\frac{m}{m-2} \frac{\partial \operatorname{div} v}{\partial z} + \nabla^2 v_z \right) &= \frac{dv_z}{dt} \end{aligned} \quad \dots (12)$$

Deze vergelijkingen geven ons de snelheden v_x , v_y en v_z als functies van x , y en z . De oplossing van deze vergelijkingen levert echter in de meeste gevallen onoverkomelijke moeilijkheden op. Bovendien komt in deze vergelijkingen niet duidelijk tot uiting het verschil, dat er bestaat tusschen deze strooming van taaie vloeistoffen en de ideale (wrijvinglooze) vloeistoffen.

Daarom worden deze vergelijkingen (12) verder als volgt omgewerkt.

Aangezien bij stroomende vloeistoffen σ_x , σ_y en σ_z niet veel van elkaar zullen verschillen, voert men hier de gemiddelde spanning in:

$$p = \frac{\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z}{3}.$$

Hierdoor wordt vergelijking (7):

$$\frac{mE}{m-2} \operatorname{div} v = 3p,$$

dus:

$$\frac{mE}{m-2} \frac{\partial \operatorname{div} v}{\partial x} = 3 \frac{\partial p}{\partial x} \dots \dots \dots (13)$$

De eerste vergelijking van (12) neemt nu den volgende vorm aan:

$$X - \frac{m\chi}{\gamma(m-2)} \frac{\partial \operatorname{div} v}{\partial x} - \frac{\chi}{\gamma} \nabla^2 v_x = \frac{dv_x}{dt}$$

of:

$$X - \frac{1}{\gamma} \frac{\partial p}{\partial x} - \frac{1}{\gamma} \frac{\partial p}{\partial x} \left(\frac{3\chi}{E} - 1 \right) - \frac{\chi}{\gamma} \nabla^2 v_x = \frac{dv_x}{dt}$$

of:

$$X - \frac{1}{\gamma} \frac{\partial p}{\partial x} - \frac{1}{\gamma} \frac{\partial p}{\partial x} \left(\frac{3\chi - E}{E} \right) - \frac{\chi}{\gamma} \nabla^2 v_x = \frac{dv_x}{dt}.$$

In verband met (13) wordt dit:

$$\begin{aligned} X - \frac{1}{\gamma} \frac{\partial p}{\partial x} - \frac{1}{\gamma} \frac{m(3\chi - E)}{3(m-2)} \frac{\partial \operatorname{div} v}{\partial x} - \frac{\chi}{\gamma} \nabla^2 v_x &= \\ &= \frac{dv_x}{dt}. \end{aligned}$$

Uit vergelijking (9) volgt: $E = \frac{2\chi(m+1)}{m}$. We krijgen dus:

$$X - \frac{1}{\gamma} \frac{\partial p}{\partial x} - \frac{\chi}{\gamma} \nabla^2 v_x - \frac{\chi}{3\gamma} \frac{\partial \operatorname{div} v}{\partial x} = \frac{dv_x}{dt} \dots (14)$$

Evenzoo vindt men voor de andere richtingen:

$$\begin{aligned} Y - \frac{1}{\gamma} \frac{\partial p}{\partial y} - \frac{\chi}{\gamma} \nabla^2 v_y - \frac{\chi}{3\gamma} \frac{\partial \operatorname{div} v}{\partial y} &= \frac{dv_y}{dt} \\ Z - \frac{1}{\gamma} \frac{\partial p}{\partial z} - \frac{\chi}{\gamma} \nabla^2 v_z - \frac{\chi}{3\gamma} \frac{\partial \operatorname{div} v}{\partial z} &= \frac{dv_z}{dt}. \end{aligned}$$

Zooals reeds bij (6) opgemerkt, stelt $\operatorname{div} v$ niets anders voor dan de volumetoeneming per volume-eenheid. Wordt nu dus verder afgezien van de samen-drukbaarheid van de vloeistof, dan is $\operatorname{div} v = 0$ en dan gaan de vergelijkingen (14) over in de bekende wet van Stokes:

$$\begin{aligned} X - \frac{1}{\gamma} \frac{\partial p}{\partial x} - \frac{\chi}{\gamma} \nabla^2 v_x &= \frac{dv_x}{dt} \\ Y - \frac{1}{\gamma} \frac{\partial p}{\partial y} - \frac{\chi}{\gamma} \nabla^2 v_y &= \frac{dv_y}{dt} \\ Z - \frac{1}{\gamma} \frac{\partial p}{\partial z} - \frac{\chi}{\gamma} \nabla^2 v_z &= \frac{dv_z}{dt} \end{aligned} \quad \dots \dots \dots (15)$$

Heeft men met een ideale vloeistof te maken, waarin geen inwendige wrijving optreedt, dan is χ nul. De vergelijkingen van Stokes gaan dan over in de reeds door Euler afgeleide betrekkingen, geldende voor ideale vloeistoffen, n.l.

$$X - \frac{1}{\gamma} \frac{\partial p}{\partial x} = \frac{dv_x}{dt} \quad \text{enz.}$$

Nu is p een functie van x , y , z en den tijd t , aldus:

$$dp = \frac{\partial p}{\partial x} dx + \frac{\partial p}{\partial y} dy + \frac{\partial p}{\partial z} dz + \frac{\partial p}{\partial t} dt.$$

De waarden voor $\frac{\partial p}{\partial x}$, $\frac{\partial p}{\partial y}$, $\frac{\partial p}{\partial z}$ uit (15) opgelost en hierin gesubstitueerd geeft:

$$\begin{aligned} \frac{1}{\gamma} \left(dp - \frac{\partial p}{\partial t} dt \right) &= X dx + Y dy + Z dz - \\ &- \left(\frac{\partial v_x}{\partial t} dx + \frac{\partial v_y}{\partial t} dy + \frac{\partial v_z}{\partial t} dz \right) - \\ &- \frac{\chi}{\gamma} (\nabla^2 v_x dx + \nabla^2 v_y dy + \nabla^2 v_z dz) \quad \text{of:} \\ \frac{1}{\gamma} \left(dp - \frac{\partial p}{\partial t} dt \right) &= X dx + Y dy + Z dz - \\ &- d \left(\frac{1}{2} V^2 \right) - \frac{\chi}{\gamma} (\nabla^2 v_x dx + \nabla^2 v_y dy + \\ &+ \nabla^2 v_z dz) \dots \dots \dots (16) \end{aligned}$$

waarin V de snelheid, resultante van v_x , v_y en v_z voorstelt; immers uit $V^2 = v_x^2 + v_y^2 + v_z^2$ volgt

$$d \left(\frac{1}{2} V^2 \right) = \frac{dv_x}{dt} dx + \frac{dv_y}{dt} dy + \frac{dv_z}{dt} dz.$$

Is de beschouwde beweging stationnair, d.w.z. v_x , v_y , v_z en p onafhankelijk van t en staat voorts de vloeistof alleen onder den invloed van de zwaartekracht, dan gaat (16) over in:

$$\begin{aligned} \frac{\partial p}{\gamma} &= -g dz - d \left(\frac{1}{2} V^2 \right) - \frac{\chi}{\gamma} (\nabla^2 v_x dx + \\ &+ \nabla^2 v_y dy + \nabla^2 v_z dz) \end{aligned}$$

of geïntegreerd:

$$\frac{p}{\gamma} + gz + \frac{1}{2} V^2 + \frac{\chi}{\gamma} \int (\nabla^2 v_x dx + \nabla^2 v_y dy + \nabla^2 v_z dz) = \text{constant}$$

$$\text{of: } z + \frac{p}{s} + \frac{V^2}{2g} + \frac{\chi}{s} \int (\nabla^2 v_x dx + \nabla^2 v_y dy + \nabla^2 v_z dz) = \text{constant.}$$

Hierin stelt $s = \gamma g$ het soortelijk gewicht voor.

Indien de vloeistof ideaal was, zou deze vergelijking, vanwege $\chi = 0$, overgaan in de bekende vergelijking van Bernoulli:

$$z + \frac{p}{s} + \frac{V^2}{2g} = \text{constant.}$$

Bij strooming van taaie vloeistoffen moet dus de correctieterm

$$\frac{\chi}{s} \int (\nabla^2 v_x dx + \nabla^2 v_y dy + \nabla^2 v_z dz)$$

ingevoerd worden.

Wij kunnen nu $\nabla^2 v_x$, $\nabla^2 v_y$ en $\nabla^2 v_z$ opvatten als de drie ontbondenen van een nieuwe vectorgrootheid $\nabla^2 v_s$. Hierdoor kan dus voor den correctieterm geschreven worden

$$\frac{\chi}{s} \int \nabla^2 v_s ds$$

en wordt de gecorrigeerde vergelijking van Bernoulli:

$$z + \frac{p}{s} + \frac{V^2}{2g} + \frac{\chi}{s} \int \nabla^2 v_s ds = \text{constant.}$$

In het in fig. 5 geteekende diagram zal dus het drukingsvlak over een afstand $\frac{\chi}{s} \nabla^2 v_s ds$ dalen. Zooals trouwens ook te verwachten is, zien wij hieruit, dat de correctieterm een functie van den afgelegden weg is. Hij is bovendien afhankelijk van den coëfficiënt van inwendige wrijving (dus de mate van taatheid) en van $\nabla^2 v_s$ ds.

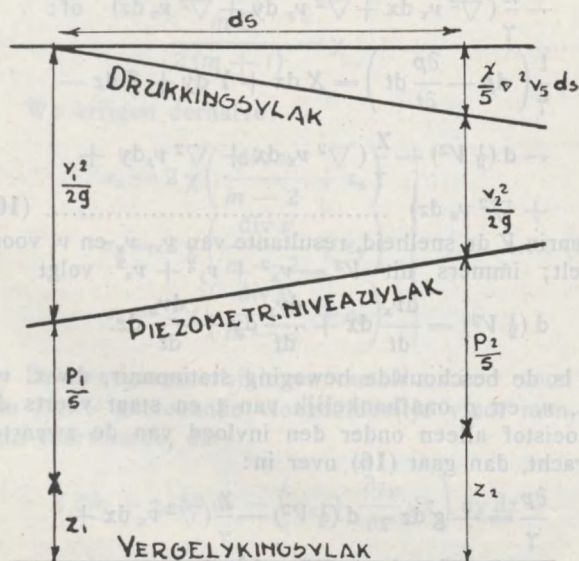


Fig. 5.

Wij willen thans den term $\nabla^2 v_s ds$ nader in beschouwing nemen. Volgens de hiervoren gemaakte veronderstelling is:

$$(\nabla^2 v_s)^2 = (\nabla^2 v_x)^2 + (\nabla^2 v_y)^2 + (\nabla^2 v_z)^2 \quad \dots\dots\dots (18)$$

Om de beteekenis van $\nabla^2 v_s$ te verduidelijken is het noodig te bedenken, dat een vloeistofdeeltje gedurende zijn voortbeweging niet alleen een gedaanteverandering ondergaat, waarbij drie onderling loodrecht op elkaar staande assen niet van richting veranderen (bijv. een bol gaat in een ellipsoïde over), doch ook een draaiing met een bepaalde hoeksnelheid.

Het beste is dit aan de volgende stroomingsbeelden te zien.

In fig. 6a heeft men een rechtlijnige strooming met eenparige snelheid, waarbij een vloeistofdeeltje noch een gedaanteverandering (deformatie), noch een rotatie ondergaat. Hierbij zij opgemerkt, dat onder rotatie wordt verstaan de som van twee onderling loodrechte hoeksnelheden (vectoren).

In fig. 6b, waar de vloeistof als het ware om een as roteert, ondergaan de deeltjes geen deformatie, doch alleen een rotatie, welke tweemaal de hoeksnelheid van de roteerende vloeistof bedraagt.

In fig. 6c heeft men het stroomingsbeeld van een rechtlijnige voortbeweging, waarbij de snelheid evenredig is met den afstand tot een bepaalde lijn. Hierbij zal het deeltje deformeeren en roteeren.

Gemakkelijk is nu in te zien, dat de rotatie constant is.

Zijn de stroomlijnen ten slotte weer concentrische cirkels, doch zijn de snelheden nu omgekeerd evenredig met den straal, zooals in fig. 6d is aangegeven, dan zal het deeltje niet roteeren, doch alleen deformeeren.

Hierbij dient echter te worden opgemerkt, dat in werkelijkheid dit stroomingsbeeld niet geheel wervelvrij kan zijn, immers in het middelpunt zou de rotatie van het vloeistofdeeltje oneindig groot moeten zijn, hetgeen niet mogelijk is. Men neemt daarom in dit geval voor het draaipunt een vloeistofgebied met rotatie aan (de z.g. werveldraad) en daar omheen het rotatievrije gebied (wervelveld).

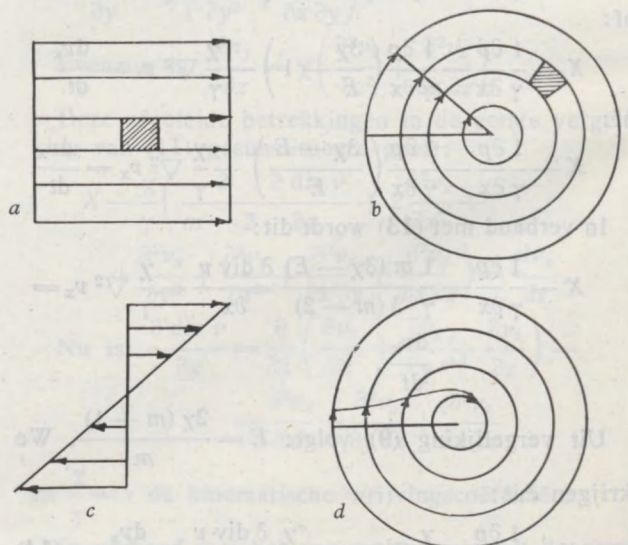


Fig. 6.

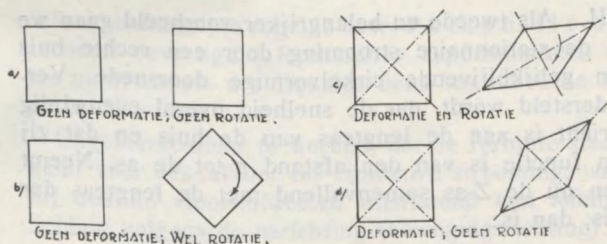


Fig. 7.

De bovengenoemde voorbeelden zijn in fig. 7 nader toegelicht.

Wij willen na deze uitweiding over deformatie en rotatie van een vloeistofdeeltje thans nagaan, hoe het hiermede gesteld is in het in fig. 3 weergegeven vloeistof-parallelopipedum.

De snelheidscomponenten in punt A (x, y, z) zijn v_x, v_y en v_z en in punt F met coördinaten $(x + dx, y + dy, z + dz)$: $v_x + dv_x, v_y + dv_y, v_z + dv_z$.

Hierin is:

$$\left. \begin{aligned} dv_x &= \frac{\partial v_x}{\partial x} dx + \frac{\partial v_x}{\partial y} dy + \frac{\partial v_x}{\partial z} dz \\ dv_y &= \frac{\partial v_y}{\partial x} dx + \frac{\partial v_y}{\partial y} dy + \frac{\partial v_y}{\partial z} dz \\ dv_z &= \frac{\partial v_z}{\partial x} dx + \frac{\partial v_z}{\partial y} dy + \frac{\partial v_z}{\partial z} dz \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (19)$$

Voeren wij thans de volgende notaties in:

$$\left. \begin{aligned} a &= \frac{\partial v_x}{\partial x}, \quad b = \frac{\partial v_y}{\partial y}, \quad c = \frac{\partial v_z}{\partial z}, \\ f &= \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v_z}{\partial y} + \frac{\partial v_y}{\partial z} \right), \quad \alpha_x = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v_y}{\partial z} - \frac{\partial v_x}{\partial y} \right) \\ g &= \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v_x}{\partial z} + \frac{\partial v_z}{\partial x} \right), \quad \alpha_y = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v_z}{\partial x} - \frac{\partial v_x}{\partial z} \right) \\ h &= \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v_x}{\partial y} + \frac{\partial v_y}{\partial x} \right), \quad \alpha_z = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v_x}{\partial y} - \frac{\partial v_y}{\partial x} \right) \end{aligned} \right\} \dots (20)$$

dan gaan de vergelijkingen (19) over in:

$$\left. \begin{aligned} dv_x &= a dx + h dy + g dz + \alpha_z dy - \alpha_y dz \\ dv_y &= h dx + b dy + f dz + \alpha_x dz - \alpha_z dx \\ dv_z &= g dx + f dy + c dz + \alpha_y dx - \alpha_x dy \end{aligned} \right\} \dots (21)$$

Beschouwt men nu in fig. 3 A als centrum van een klein vloeistof-element, dan kan men in verband met het bovenstaande de beweging uit drie deelen samengesteld denken, n.l.:

1. een translatie, waarbij de snelheidscomponenten zijn v_x, v_y en v_z ;
2. een deformatie, welke tot uitdrukking komt in de eerste drie termen van het rechterlid van vergelijking (21);
3. een rotatie, welke uitgedrukt wordt door de twee overblijvende termen in het rechterlid van vergelijking (21); in deze termen komt dus α voor.

In de vectoranalyse wordt bewezen, dat iedere vector, waarvan de divergentie gelijk is aan nul, opgevat kan worden als rotatie van een nieuwen vector, waarvan de divergentie eveneens gelijk is aan nul. Aldus wordt, aangezien $\text{div } v = 0$,

$$\text{div } \alpha = 0 \quad \text{of} \quad \frac{\partial \alpha_x}{\partial x} + \frac{\partial \alpha_y}{\partial y} + \frac{\partial \alpha_z}{\partial z} = 0 \dots\dots (22)$$

Deze vergelijking drukt niets anders uit dan dat de wervelcontinuïteit ook geldt voor taaie vloeistoffen.

Uit vergelijking (20) volgt nu:

$$\frac{\partial \alpha_z}{\partial y} - \frac{\partial \alpha_y}{\partial z} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 v_y}{\partial x \partial y} - \frac{\partial^2 v_z}{\partial x \partial z} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial z^2} \right)$$

$$\text{en voorts uit } \text{div } v = 0 \quad \text{of} \quad \frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0,$$

$$\text{dat: } \frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} = - \frac{\partial^2 v_y}{\partial x \partial y} - \frac{\partial^2 v_z}{\partial x \partial z}, \quad \text{alzo:}$$

$$\frac{\partial \alpha_z}{\partial y} - \frac{\partial \alpha_y}{\partial z} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial z^2} \right) = \frac{1}{2} \nabla^2 v_x$$

$$\left. \begin{aligned} \text{of} \quad \nabla^2 v_x &= 2 \left(\frac{\partial \alpha_z}{\partial y} - \frac{\partial \alpha_y}{\partial z} \right) \\ \text{Evenzoo is: } \nabla^2 v_y &= 2 \left(\frac{\partial \alpha_x}{\partial z} - \frac{\partial \alpha_z}{\partial x} \right) \\ \text{en: } \nabla^2 v &= 2 \left(\frac{\partial \alpha_y}{\partial x} - \frac{\partial \alpha_x}{\partial y} \right) \end{aligned} \right\} \dots\dots (23)$$

Op te merken valt, dat om dezelfde reden als $\text{div } \alpha = 0$, nu ook $\text{div } \nabla^2 v = 0$, alzo ook:

$$\frac{\partial \nabla^2 v_x}{\partial x} + \frac{\partial \nabla^2 v_y}{\partial y} + \frac{\partial \nabla^2 v_z}{\partial z} = 0 \dots\dots (23a)$$

Thans is de beteekenis van den correctieterm $\frac{\lambda}{s} \int \nabla^2 v_s ds$ in de vergelijking van Bernoulli verduidelijkt. Deze correctieterm is dus, behalve van de weglengte en den inwendigen viscositeitscoëfficiënt, ook nog afhankelijk van de werveling.

De bewegingsvergelijking (15) voor taaie vloeistoffen (met samendrukbaarheid nul) kan verder als volgt herleid worden.

Bezitten X, Y en Z een potentiaalfunctie φ , dan krijgen we:

$$\frac{\partial v_x}{\partial t} + 2 v_y \alpha_z - 2 v_z \alpha_y = - \frac{\partial \lambda}{\partial x} - v \nabla^2 v_x$$

$$\text{waarin } \lambda = \frac{p}{\gamma} - \varphi + \frac{1}{2} V^2; \quad V^2 = v_x^2 + v_y^2 + v_z^2$$

en $v = \frac{\lambda}{\gamma}$ = de kinematische wrijvingscoëfficiënt.

$$\left. \begin{aligned} \text{Evenzoo is } \frac{\partial v_y}{\partial t} + 2 v_z \alpha_x - 2 v_x \alpha_z &= \\ &= - \frac{\partial \lambda}{\partial y} - v \nabla^2 v_y \\ \frac{\partial v_z}{\partial t} + 2 v_x \alpha_y - 2 v_y \alpha_x &= \\ &= - \frac{\partial \lambda}{\partial z} - v \nabla^2 v_z \end{aligned} \right\} \dots\dots (24)$$

Door kruisgewijs differentieëren van deze vergelijkingen kan λ worden geëlimineerd en men krijgt dan:

Ir. W. H. Steenaart, idem. ter besch. v. d. Prov. M.-Java, is met ing. van ulto. Maart 1941, met gelijkt. eerv. ontheff. v. z. ter besch. stell., gepl. bij het Dept. v. V. en W. te Bandoeng.

Ir. Ch. H. F. Monteiro, ingr. bij 's Lands Wat., ter besch. gest. v. d. Prov. O.-Java, is gepl. op het kantoor v. h. Hoofd der Prov. Irr. Afd. „Brantas” te Modjokerto.

Irs. F. H. Wouters en A. Nobbe, sectie-ingr. der Prov. Irr. Afd. „Pekalen-Sampean” te Banjoewangi, resp. ingr. bij de Prov. Irr. Afd. „Brantas” te Modjokerto, zijn overgeplaatst naar Modjokerto resp. Banjoewangi en belast met de functie van sectie-ingénieur.

Ir. J. L. Barkey, ingr. bij 's Lands Waterst., ter besch. v. d. Prov. O.-Java, met gelijkt. onth. v. zijn ter besch. stell., toegevoegd aan den Gouverneur v. Sumatra, voor waterstaatswerken ten behoeve van de kolonisatie v. Inheemschen in de Buitengewesten.

Ir. P. K. Termijtelen, ingr. bij 's Lands Wat., werkz. op het Hoofdctr. v. d. Prov. Wat. Afd. „Pemali-Tjomal” te Tegal, is met ing. v. ulto. Maart 1941 op verzoek wegens volbr. diensttijd, met gelijkt. eerv. onth. v. z. ter besch. stell. v. d. Prov. M.-Java, eervol en met recht op pensioen uit 's Lands dienst ontslagen.

Ir. J. F. Strach, maandgelder werkz. op het Hoofdctr. v. d. Wat. dienst v. d. Prov. M.-Java te Semarang, is tijd. belast m. d. waarn. v. d. betr. v. ingr. 2de kl.

Ir. M. M. C. Posno, ingr. bij 's Lands Wat., ter besch. gest. v. d. Prov. W.-Java, is gepl. op het Hoofdctr. v. d. Prov. Wat. dienst te Batavia.

Irs. J. Verlinden en A. H. Kuyp, ingrs. b. d. Prov. Wat. v. W.-Java te Bandoeng resp. Indramajoe, zijn overgepl. naar Indramajoe resp. Bandoeng.

Verantwoording van door de Redactie ontvangen Spitfire-bijdragen

als (en) opbrengst verkoop overdrukken van het artikel „De Royal Air Force” door dr. ir. G. Otten.

(4de lijst, afgesl. 16 April 1941).

Personeel Oosterlijnen S.S.	f 45,64; id. f 32,79	f 78,43
Subcomité voor Steun aan het Moederland te Td. Enim	„	60,—
Landwacht Pengalengan	„	64,—
Personeel Vliegvelde Kalidjati	„	56,50
dr. ir. G. O. (verk. ov.)	f 66,25; id. f 8,50;	
Geert Herman	f 5,—	79,75
prof. dr. W. B. (herverk. ov.)	f 15; dr. J. V. f 4; ir. C. P. v. O. f 20; ir. M. F. v. E. f 5	„ 44,—
		f 382,68

Verantwoord bij 1ste t/m 3de lijst (No. 11 en 12-1940 en No. 2-1941) „ 8 293,69

Totaal f 8 676,37

Ir. Mananti Sitompoel, werkz. bij het Waterloopk. Labor. te Bandoeng is op maandg. werkz. gesteld en ter besch. gest. v. d. Prov. West-Java (Batavia).

Ir. A. A. H. Gaster, maandgelder b.d. Centr. Inspectie voor de Luchtbescherming, is met den rang v. ingr. 2de kl. ter besch. gest. v. d. Directeur v. B. B., ten einde te worden werkz. gest. als technicus bij de genoemde Centr. Inspectie.

Ir. J. Th. Westerman, ingr. 1ste kl. te Semarang, is met ing. v. 1 Febr. 1941 eervol onth. v. d. functie van Tractie-Ingr. der S.J.S. en blijft uitsluitend belast met de functie v. Assistent v. d. Chef v. d. Dienst v. Tractie en Materieel der S.J.S. en S.C.S.

Ir. A. G. Meesters, ingr. 2de kl. te Semarang, is met ing. v. 1 Febr. 1941 belast m. d. waarn. v. d. functie v. Tractie-Ingenieur der S.J.S.

KONINKLIJK INSTITUUT VAN INGENIEURS, Groep Nederlandsch-Indië.

BESTUURSMEDEDEELINGEN.

Aangenomen en voorgestelde leden.

De in No. 2 van dezen jaargang voorgestelde leden zijn aangenomen.

Thans worden voorgesteld als *gewoon lid*:

Ir. J. Zaayer, ingenieur 2de klasse bij 's Lands Waterstaat, Malaekoe, Celebes,

en als *junior lid*:

P. G. de Groot, student aan de Technische Hoogeschool, Bandoeng.

Eventuele bezwaren tegen deze candidaatstellingen worden vóór 31 Mei a.s. ingewacht bij het Secretariaat, Bragaweg 38, Bandoeng.

Betaald aan firma G. Kolff & Co. voor levering van 3000 overdrukken	f 363,35
Verzendingskosten Administratie	„ 5,—
Adm. en telefoonkosten Ned. Handel Mij	„ 3,85

f 372,20

Voorloopige netto opbrengst f 8 304,17

Reeds gestort (vide No. 12-1940) f 5 000,—
Gestort in Gecombineerde Prins Bernhard en Spitfire Fondsen „ 2 500,—

f 7 500,—

Saldo f 804,17

Uitgifte van drie toeslagzegels, die tezamen één bommenwerper moeten opbrengen.

Zijne Koninklijke Hoogheid Prins Bernhard, onze Prins Bernhard, die in de bange dagen na 10 Mei 1940 dapper met ons leger meevocht voor de verdediging van het vaderland en de levens van zijn dienaren, heeft de Nederlandsch-Indische bevolking gevraagd voor de Koninklijke Marine in Europa het geld voor

vijf bommenwerpers

bijeen te brengen.

Aan dezen oproep is met groot enthousiasme gehoor gegeven en het beroep op de offervaardigheid is inmiddels volledig gehonoreerd: lang voor den genoemden datum van 14 Mei kon het miljoen guldens, dat voor dit vijftal bommenwerpers noodig was, naar Londen worden geremiteerd.

Hiermede is echter eerst een begin gemaakt met den steun welken wij hier te lande in dit jaar aan het opbouwen van een vloot van bommenwerpers moeten en kunnen verleen.

Nederlandsch-Indië kan (nog) niet daadwerkelijk aan dezen oorlog deelnemen, maar we zullen toch niet nalaten om op iedere andere wijze mee te helpen om, in samenwerking met onze bondgenooten, den vijand te verslaan.

De samensmelting van het Spitfirefonds met het Prins Bernhardfonds heeft plaats gehad met de bedoeling de gelden van beide fondsen te gebruiken voor deze gemeenschappelijke zaak.

De Voorzitter van het Hoofdcmité van de vereenigde fondsen, mr. J. A. Jonkman en de Commandant der Zeemacht, vice-admiraal Helfrich hebben beiden in een radiorede voor geheel Nederlandsch-Indië op treffende wijze uiteengezet wat voor de directe oorlogvoering noodig is.

Als onderdeel van de actie, die hiervoor gevoerd zal worden, zullen door den P. T. T.-dienst onder de benaming „Vrij Nederland”-zegels 3 bijzondere postzegels worden uitgegeven met een frankeerwaarde van f 0,05, f 0,10 en f 1,— en een toeslag tot dezelfde bedragen. Deze toeslag is bestemd voor de Vereenigde Prins Bernhard- en Spitfirefondsen.

Van 10 Mei a.s. af zullen de zegels aan alle postkantoren in Nederlandsch-Indië verkrijgbaar zijn, *doch niet langer dan tot en met 31 Mei*, zoodat op dien datum de oplage uitverkocht moet zijn.

De uitgave van deze toeslagzegels stelt een ieder in staat bij te dragen: klein en groot, arm en rijk. Ook wie niet meer dan een dubbeltje te missen heeft, kan een „Vrij Nederland”-zegel van de laagste waarde koopen; hij draagt dan 5 cent bij en de Posterijen zorgen op de goedkoopste wijze — gratis — voor inning en overdracht.

Het kan voor niemand een bezwaar zijn de zegels aan te koopen, want dank zij de welwillende medewerking van het Hoofd van den P. T. T.-dienst, zijn de zegels geldig tot *31 December 1942*.

Zij, die vooraf hebben ingeschreven op een hoeveelheid van ten minste 3 serie's of voor een totaal bedrag van f 5,— aan zegels, kunnen deze bij de postkantoren afhalen van 10 tot en met 17 Mei a.s.

Het comité heeft zich voorgesteld uit den verkoop van deze bijzondere zegels

ÉÉN BOMMENWERPER

te bekostigen.

Gedachtig aan het bekende Hollandsche spreekwoord „vele kleintjes maken een groote” wekken wij U op den verkoop van de „Vrij Nederland”-zegels te propageeren *waar gij kunt*.

Begint U in ieder geval onderstaand formulier duidelijk ingevuld en ondertekend aan den Chef van het Postkantoor ter plaatse in te zenden, geplakt op een kaart of in een gesloten enveloppe. Deze kaarten en enveloppen kunnen ongefrankeerd in de bus worden gedeponneerd. Vergeet daarbij niet dat onze landgenooten in het Moederland, waaronder duizenden philatelisten zijn, thans helaas geen zegels kunnen bestellen, maar dat U dat voor hen moet doen.

Het Sub-Comité,

Dr. H. J. van Mook.

Hierlangs afknippen. Invullen en zoo spoedig mogelijk in de postbus werpen.

INTEEKENBILJET.

Ondergeteekende	wenscht in te teekenen op	
wonende	complete serie's à f 2,30	= f
.....	postzegels van 5 cent, verkoopprijs 10 cent	= „
.....	„ „ 10 „ „ 20 „	= „
.....	„ „ f 1,— „ f 2,—	= „
Totaal prijs		f

en verbindt zich om deze zegels tusschen 10 en 17 Mei ten postkantore af te halen en het verschuldigde bedrag ad f tegen afgifte der zegels te voldoen.

Datum:

Handteekening:

Ruston

KLEINE MOTOREN VOOR KLEINE BEDRIJVEN

Een naam met een overbekenden klank in de wereld van den motor: Ruston.

Van de groote Rustonmotoren verrichten er dagelijks eenige honderden in Nederlandsch-Indië hunne betrouwbare diensten.

Naast deze alombekende groote dieselmotoren vervaardigt Ruston thans ook:

Verticale dieselmotoren met kleinere vermogens van $3\frac{1}{2}$, 5, $7\frac{1}{2}$, 10, 15, 22 en 30 EPK., alle 1000 omw./min.

Voor verlichting van groote woonhuizen en inrichtingen en voor kleine bedrijven als weverijen, boerderijen, enz. zijn deze kleine Rustons de ideale motoren. Ze werken in 4 takt en zijn zeer krachtig

gebouwd; alle typen zijn uitgevoerd met 2 vliegwielen, waardoor een rustige gang gewaarborgd is. Ook zijn ze uitermate geschikt voor de aandrijving van dynamo's.

Voor de buitengewesten en speciaal voor die streken waar geen electrisch net aanwezig is, beteekenen deze kleine, handige, solide motoren bepaald een uitkomst.

De bekende Engelsche Rustonfabrieken hebben in dit land een naam op te houden. Daarom kan men er zeker van zijn, dat men met de aanschaffing van een kleinen Rustonmotor een kwaliteitsproduct koopt.

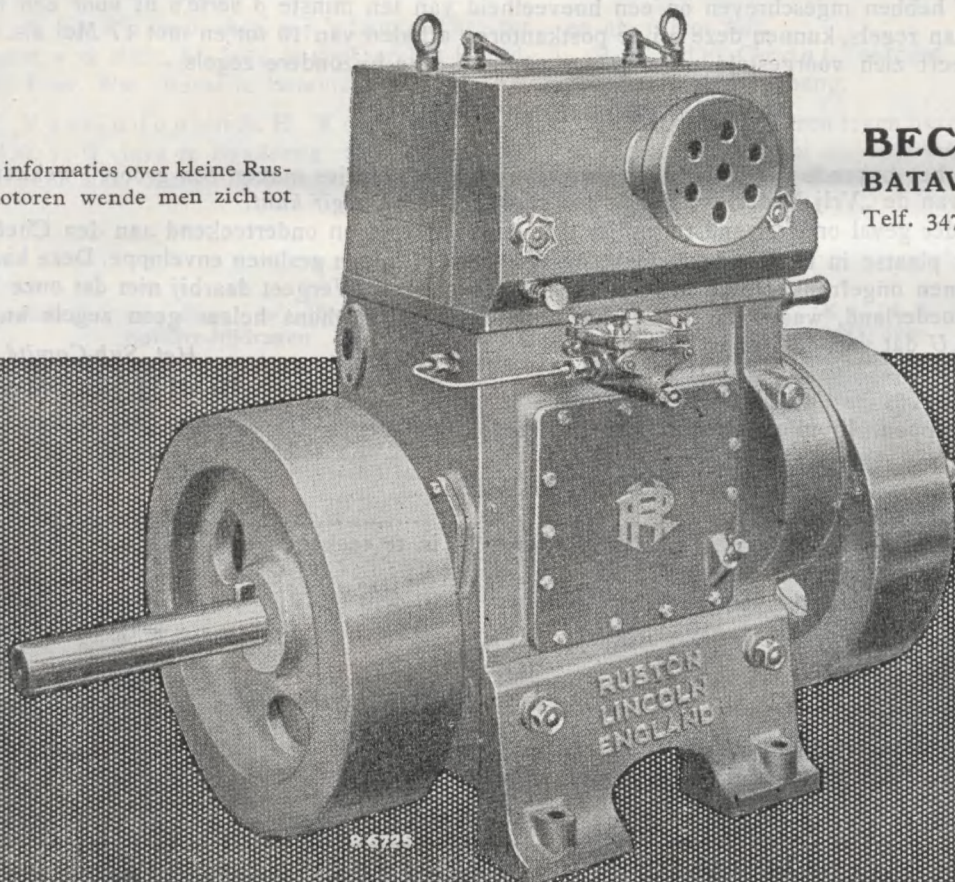
Men verzuime niet, om nadere inlichtingen en brochures te vragen.

Voor informaties over kleine Rustonmotoren wende men zich tot

BECKER & Co.
BATAVIA SOERABAIA

Telf. 347

Telf. N. 1271



DE INGENIEUR
IN NEDERLANDSCH-INDIË

III. ELECTROTECHNIEK EN WERKTUIGBOUW.

INHOUD: Detonatie bij mengselmotoren, door ir. G. Broersma.

Detonatie bij mengselmotoren

door

ir. G. BROERSMA.

Inleiding.

Zooals bekend, hangt het rendement van een motor af van de compressie-verhouding. En wel neemt het rendement toe met toenemende compressie-verhouding. Theoretisch is voor den cyclus met verbranding bij constant volume (en lucht als medium)

$$\eta_{\text{therm}} = 1 - \left(\frac{1}{\varepsilon} \right)^{\gamma-1},$$

waarin:

η_{therm} = thermisch rendement van den motor, d.w.z. de verhouding tusschen de hoeveelheid calorieën in arbeidsvermogen (het geïndiceerde vermogen van den motor) omgezet en de hoeveelheid door de benzine toegevoerde calorieën;

ε = compressie-verhouding van den motor;

γ = verhouding van de s.w. van lucht bij constanten druk, resp. constante temperatuur.

Wel is waar speelt zich in de moderne motoren geen verbrandingscyclus af, waarbij de verbranding bij constant volume plaats vindt, maar de genoemde cyclus is toch als een bruikbare vergelijkingsbasis te beschouwen.

Het is overzichtelijker de verhouding van den inlaatdruk en den compressie-einddruk te beschouwen, daar bij een motor, behalve de compressie-verhouding, ook de vullingsgraad meesprekt. De vullingsgraad kan kleiner of groter dan 1 zijn, afhankelijk van de toepassing van een aanjager en het meer of minder gesloten zijn van de smoorklep.

De formule voor het theoretische rendement van den vergelijkingscyclus wordt, na substitutie van de genoemde drukverhouding:

$$\eta_{\text{therm}} = 1 - \left\{ \frac{1}{\left(\frac{p_c}{p_o} \right)^{\frac{\gamma}{\varepsilon}} + 1} \right\}^{\gamma-1}$$

waarin verder: p_o , p_c = resp. inlaatdruk en compressie-einddruk.

Om η_{therm} te verhoogen is het noodig $\left(\frac{p_c}{p_o} \right)$ te verhoogen. Dit geschiedt door de compressie-verhouding

te verhoogen en ook den inlaatdruk groter te maken.

Men is echter bij het gebruik van verschillende brandstoffen al gauw op moeilijkheden gestooten. Het bleek n.l. dat deze niet tegen de verhoogde compressie-drukken en temperaturen bestand waren. De motor vertoonde onregelmatig loopen, werd warm, het vermogen nam af en verhoogde slijtage en zelfs breuk van verschillende onderdeelen trad op.

Daarbij maakte de motor een kloppend geluid. Men noemde dit verschijnsel daarom „kloppen” en het meer of minder bestand zijn van een brandstof tegen hoogere compressie-drukken en temperaturen „klopvastheid”.

De onregelmatige verbranding, die in mengselmotoren kan optreden en die ook bekend staat als detonatie, zal in het volgende beschouwd worden. Daarbij wordt getracht het geheel meer van een standpunt te bekijken, waarbij maatregelen, die genomen zijn ten aanzien van brandstofsoort, menging, toevoer e.d., nader verklaard worden in verband met het voorkómen van detonatie.

Het detonatie-mechanisme.

Zoodra de benzinedruppels in de lucht komen verdampen ze aan het oppervlak. De benzinedamp mengt zich met de lucht. De moleculen van de koolwaterstoffen en van de zuurstof uit de lucht botsen tegen elkaar, ze worden uit elkaar geslagen en er vindt al eenigermate een binding plaats: men noemt dit de incubatie-periode. Bij mengselmotoren begint de incubatie-periode in den carburator, bij inspuitmotoren van het eerste oogenblik van inspuiten af, als de straal tegen de lucht botst.

Na de incubatie-periode begint op een bepaald oogenblik een meer versnelde binding van de koolwaterstoffen met de zuurstof uit de lucht. Er is dan een zeker kritisch punt gepasseerd. De periode die nu begint heet de voor-reactie-periode. Er worden nu onvolledige verbrandingsproducten gevormd, z.g. peroxyden, aldehyden en ketonen. De peroxyden (algemeene formule $\text{RH}_2\text{C}_2\text{O}_2$) zijn zeer labiel en vallen gemakkelijk uit elkaar in aldehyden en ketonen, ontstaan uit primaire resp. secundaire alcoholen (algemeene formule RCOH).

Als er een zekere kritische hoeveelheid peroxyden is, vallen ze zeer snel uiteen en kunnen ineens een

groote hoeveelheid warmte ontwikkelen: men noemt dat dan een explosie. Daarbij zijn de reactiesnelheden van de orde van grootte van de geluidssnelheid in de gassen. De productie van nieuwe peroxyden is dan grooter dan de hoeveelheid peroxyden die uiteenvalt in aldehyden en ketonen. Dit kan in één of meerdere punten of zelfs overal tegelijkertijd geschieden.

Bij de explosie steken de peroxyden alle verdere onverbrande of onvolledig verbrande gassen aan. Deze laatste verbranden dan verder normaal. Er zijn n.l. toch altijd nog weinig peroxyden vergeleken bij de hoeveelheid onverbrande of onvolledig verbrande gassen. Deze zullen in het algemeen niet met een explosie verbranden.

Voor de vorming van een kritische hoeveelheid peroxyden is een bepaalde tijd noodig. Bij een normale verbranding in den motor is deze tijd echter niet beschikbaar.

Immers, terwijl de gassen de incubatie- en de voor-reactie-periode doorloopen, worden ze in den cylinder gezogen, de kleppen gaan dicht en de zuiger drukt alles tezamen. Daarbij worden de reacties wel versneld — temperatuur en druk gaan omhoog en deze zijn van primair invloed op de reactie-snelheid —, maar voordat de voor-reactie-periode afgelopen is heeft de vonk het mengsel al aangestoken en is het vlamfront er al geweest.

De werking van de vonk kan tweemaal zijn en wel allebei tegelijk of één van beide:

- 1) de vonk verwarmt het omringende mengsel en versnelt de locale voor-reacties in die mate, dat algeheele verbranding optreedt, welke dan verder voortschrijdt door geleiding van warmte;
- 2) de vonk verstoort het electrostatische evenwicht van de afzonderlijke moleculen, waardoor deze uit elkaar vallen. De stukken binden zich daarna weer zoodanig, dat men een verbrandings-reactie heeft. (Tusschen de electronen en een kern zijn immers onderling electrostatische krachten aanwezig. Bij verstoring door het uitwendige veld van de vonk zouden de moleculen dan uit elkaar worden geslagen).

De verbranding schrijdt voort door de verbrandingsruimte en terwijl de verbrande gassen uitzetten door de ontstane temperatuursverhoging, worden de onverbrande gassen samengedrukt. Druk en temperatuur stijgen gedurende de verbranding en de voor-reacties worden versneld. Als nu het vlamfront de onverbrande gassen doorschrijdt voordat er ergens een kritische hoeveelheid peroxyden ontstaat om zelfontbranding te veroorzaken, vindt er normale verbranding van alle gassen plaats. Zijn temperatuur en druk echter zóó hoog gestegen, dat er een kritische hoeveelheid peroxyden is ontstaan, dan ontbrandt het onverbrande gas uit zich zelf.

Er loopen nu meerdere vlamfronten door de verbrandingsruimte. Deze botsen tegen elkaar en tegen de wanden. De gasmassa geraakt in trilling. Men ver-

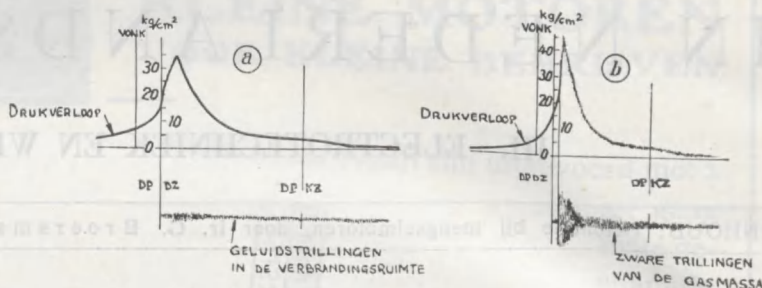


Fig. 1. Drukoscillogrammen.

a. Normale verbranding. Benzine + T.E.L., 32,2 pk.

b. Detonatieve verbranding. Benzine, 30,3 pk.

krijgt een zeer groote warmte-overdracht aan de wanden en aan den zuigerbodem (zie fig. 1) [1] *).

Bij normale verbranding is n.l. de laag moleculen die warmte overdraagt veel dunner dan bij een onregelmatige verbranding; bij de trillende gasmassa behoort een dikke, turbulente laag, die veel warmte overdraagt.

De gevolgen van de verhoogde warmte-overdracht zijn:

- 1) er wordt minder temperatuur-energie in druk-energie omgezet; het door den motor geleverde vermogen daalt;
- 2) de materialen van zuiger en cylinder krijgen hoge temperaturen te verduren; materiaal-veroudering treedt in versnelde mate op en de kans op breuk stijgt aanmerkelijk.

De verbranding op meerdere fronten of zelfs door de geheele verbrandingsruimte geeft:

- 1) een snelle druktoeneming; zóó snel, dat van stootbelasting van het kruk-drijfstaangmechanisme gesproken kan worden, met als gevolg versnelde materiaal-veroudering en verhoogde kans op breuk;
- 2) optreden van de hoogste drukken op oogenblikken voor D.P.D.Z. gelegen, waardoor de druk-overdracht op drijfstaang en krukas zeer ongunstig wordt. Deze onderdeelen worden mechanisch zwaar belast.

Uitbreiding van het beeld van het ketting-reactie-mechanisme.

a) Chemisch aspect.

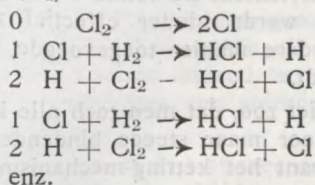
Thans zal nader ingegaan worden op chemische, physische en mechanische maatregelen, welke genomen zijn om het detonatie-verschijnsel te vermijden onder verschillende bedrijfsomstandigheden.

Allereerst zal nog eenige uitbreiding gegeven worden aan het beeld van het oxydatie-mechanisme. In het voorgaande zijn n.l. eenige hoofdtrekken aangegeven. Het mechanisme verloopt echter nog meer gedifferentieerd en wel volgens z.g. ketting-reacties met vertakkingen [2]. Men kan zich het nu volgende beeld

*) De tusschen [] geplaatste getallen verwijzen naar de nummers der literatuuropgave aan het einde van dit artikel.

niet plastisch genoeg voorstellen: het vergemakkelijkt zeer het inzicht in het onderwerp. (Bovendien is het op het oogenblik de wetenschappelijke werkhypothese).

Het klassieke voorbeeld van een kettingreactie is de chloorknalgas-reactie, binding van chloor (Cl) met waterstof (H₂)



Bij deze reactie volgen op den eersten stap ongeveer 10⁶ „schalmen” totdat de actieve deeltjes bijv. door binding met zuurstof (O₂), welke meestal als verontreiniging aanwezig is, of door diffusie aan den wand vernield worden. In het laatste geval schieten de actieve deeltjes tusschen de wandmoleculen en kunnen er niet meer uit om verder te werken.

Karakteristiek voor kettingreacties is dan ook de groote gevoeligheid voor vele in kleine hoeveelheid aanwezige stoffen, welke actieve centra kunnen vormen of vernietigen. Evenzoo de groote gevoeligheid voor den toestand van den wand en de afmetingen van de verbindingruimte, omdat daarvan afhangt of de kettingdragers aan den wand vernield worden of niet en hoe snel ze er komen. Het eene actieve deeltje maakt dus het andere vrij en dit gaat volgens een zigzaglijn door de ruimte (zie fig. 2a, waarin slechts een tweedimensionale voorstelling gegeven kan worden).

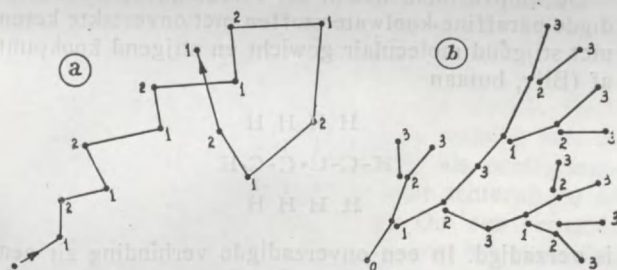
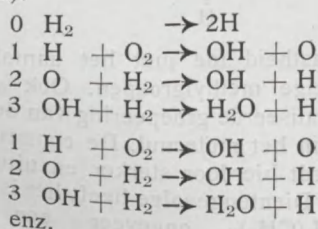


Fig. 2. a. Enkele kettingreactie.
b. Vertakte kettingreactie.

Bij kettingreacties kan nog een ander verschijnsel optreden, dat aan de gewone knalgas-reactie gedemonstreerd kan worden. Althans wanneer de temperatuur voldoende hoog is en eenige H-atomen aanwezig zijn. (Het waterstof-molecuul is dus gesplitst in 2 atomen).



Hier is weer sprake van een kettingreactie, maar bij reactie 1 en 2 komen er in de plaats van één verdwijnend actief deeltje twee te voorschijn. Men

spreekt dan van vertakking. Hoewel er aan het begin dus slechts weinig aanwezig zullen zijn, neemt het aantal actieve deeltjes voortdurend toe en daarmee de vormingssnelheid van knalgas. Het mechanisme vertakt zich dus voortdurend in de ruimte (zie fig. 2b, waarin eveneens slechts een tweedimensionale voorstelling gegeven kan worden).

Hoewel de temperatuur stijgt bij de kettingreacties, is dit niet de primaire oorzaak van het versnellen van de vormingssnelheid. Dat wordt in hoofdzaak bepaald door het vertakkingsmechanisme en/of de vorming van nieuwe actieve centra de vernietiging ervan overtreft.

Bij koolwaterstoffen wordt de vorming versneld door peroxyden en aldehyden, achtereenvolgende afbraakproducten. De aldehyden en ketonen, afbraakproducten van de aldehyden, vallen als de kritische hoeveelheid peroxyden aanwezig is of ook als de vormingssnelheid van actieve centra de vernietigings-snelheid verre overtreft en de kritische waarde overschreden is, in CO₂ en H₂O uiteen. Dat is dan de normale verbranding.

De vorming van actieve centra wordt vertraagd bij aanwezigheid van sommige metalen en alcoholen (algemeen formule R-O-H), ketonen of verbindingen ervan.

Lood bijv. vernietigt actieve centra. Het wordt daarom toegevoegd als tetra-aethyl-lood (Pb(C₂H₅)₄). Daar het bij de verbranding neerslaat op de bougie en de ontsteking dan belemmert, wordt een broom-verbinding o.a. aethyleen-dibromide (Br(C₂H₃)₂) toegevoegd. Broom en lood vormen een verbinding welke als gas den cylinder verlaat. Toch vindt er bij gebruik van tetra-aethyl-lood met aethyleen-bromide nog eenige aantasting plaats door een gevormd broom-zuur. Heeft een motor gedraaid met lood-benzine en zou deze motor gedurende langen tijd niet gebruikt worden, dan late men den motor gedurende eenigen tijd doordraaien op ongekleurde benzine.

De lood-werking is nog niet geheel duidelijk, n.l. of het als lood dan wel als lood-oxyde ingrijpt.

Het beroemde T.E.L. (beginletters van tetra ethyl lead, de Engelsche benaming) heeft de volgende samenstelling:

	gewicht %
tetra-aethyl-lood	61,42
aethyleen dibromide	35,68
kleurstof (blauw)	0,17
kerosine en onzuiverheden	rest.

De kleur wordt eraan gegeven om den gebruiker er aan te herinneren, dat het gebruik gevaarlijk voor den mensch is. De uitlaatgassen zijn giftig bij inademing, de vloeistof is giftig bij aanraking met wondjes op het lichaam.

Aethyl-alcohol (C₂H₅OH) zelve (in de omgangstaal alcohol geheeten) is een zeer klopvaste brandstof; hij heeft echter een veel lagere verbrandingswaarde dan de gewone benzine (6 540 kcal/kg tegenover 10 500 kcal/kg). Voorts heeft alcohol een z.g. droge verbranding: alle smeerolie wordt er door verbrand. Rijke smering is noodig. Alcohol alleen wordt dan ook niet gebruikt. Toevoeging aan benzine vindt veel plaats bij race-motoren.

Verbindingen als ketonen, welke toegevoegd worden aan de brandstof, zijn bijvoorbeeld: ijzer-penta-nikkel-tetra-carbonyl ($\text{Fe}(\text{CO})_5$ en $\text{Ni}(\text{CO})_4$). De vraag kan hier gesteld worden of de carbonylen als ketonen actieve deeltjes absorbeeren dan wel als metaalverbindingen.

Door deze toevoegingen wordt dus de voor-reactie-periode zoodanig verlengd, dat het vlamfront al ter plaatse is geweest vóór zelfontbranding kan optreden.

De verhooging van de klopvastheid met de genoemde middelen is echter begrensd. Wanneer men doorgaat met verhooging van de compressieverhouding, waardoor temperatuur en druk stijgen en uit dien hoofde de vormingssnelheid van de voorreactie-producten, dan helpt toevoeging van T.E.L., ijzer-penta- of nikkel-tetra-carbonyl maar tot een bepaalde concentratie. Wat daarboven komt reageert niet meer (zie fig. 3) [3].

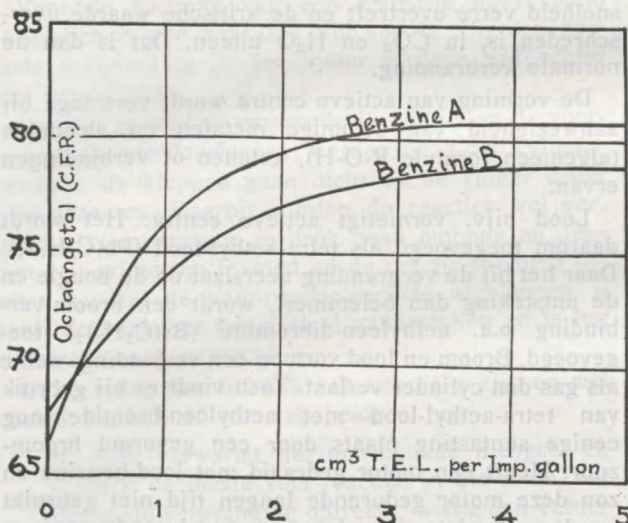


Fig. 3. Grafiek van de verhooging van het Octaangetal bij toenemend T.E.L.-gehalte van 2 benzinesoorten.

Men zou zich dit zoo kunnen voorstellen: wil het lood of loodoxyde kunnen reageeren dan moet een actief deeltje er tegen opbotsen. Het lood- of loodoxyde bindt het actieve deeltje en er breekt dan een ketting af. In eerste instantie hangt het dus van de vertakkingen in de ruimte af of botsingen zullen optreden. D.w.z., daar de vertakkingen afhankelijk zijn van de soort van de brandstof, dat de werking van een toevoeging als T.E.L., een carbonyl of een van de andere stoffen die nog genoemd zullen worden, in eerste instantie afhankelijk is van de soort van brandstof.

Stelt men zich nu zoo'n vertakkend reactie-mechanisme in de ruimte voor en laten er enkele atomen van stoffen, die actieve deeltjes kunnen binden, aanwezig zijn. Dan is er een kans, dat deze op banen liggen waarlangs het ketting-mechanisme opgebouwd wordt. Ze zullen actieve deeltjes kunnen binden en op enkele plaatsen worden aldus kettingen afgebroken. Als er nu wat meer actieve-deeltjes-bindende-atomen komen, kunnen er nog wat meer banen afgebroken worden. Maar wanneer er tweemaal zooveel bindende atomen zijn als eerst, wil dat niet zeggen dat er tweemaal zooveel kettingen afgebroken zullen worden.

Sommige bindende atomen zullen n.l. liggen op plaatsen waar een ketting langs geloopt zou zijn, ware het niet dat een ander bindend atoom de ketting al elders had afgebroken.

Naarmate er dus meer actieve-deeltjes-bindende-atomen komen, wordt de kans minder dat ze hun werking zullen verrichten. De totale werking van de bindende atomen wordt minder effectief naarmate de, op een of andere manier toegevoegde, hoeveelheid grooter wordt.

Voorts is het niet zoo, dat men toch alle kettingen af kan breken door maar steeds bindende atomen toe te voegen, want het ketting-mechanisme en de bindende atomen doorloopen bepaalde banen en bij het toenemen van de hoeveelheid actieve-deeltjes-bindende-atomen zullen brandstof-atomen en de actieve-deeltjes-bindende-atomen hoe langer hoe meer langs elkaar gaan loopen. De actieve-deeltjes-bindende-atomen verdeelen zich n.l. zeer regelmatig over de geheele ruimte.

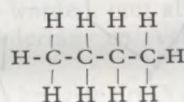
De kans op binding neemt dus met het toenemen van de hoeveelheid bindende atomen af,

- 1) omdat de bindende atomen elkaars werk afnemen;
- 2) omdat de bindende atomen hoe langer hoe meer langs het kettingmechanisme gaan loopen.

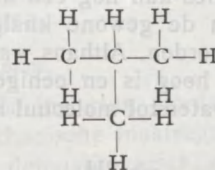
Daardoor wordt tenslotte een limietwaarde in totale werking van de bindende atomen bereikt. Verdere toevoeging heeft geen verhooging van klopvastheid meer tengevolge.

Het kettingmechanisme hangt af van de soort van brandstof zooals reeds gezegd. Dit blijkt bijv. ook uit het volgende [4].

De klopvastheid neemt bij verzadigde en onverzadigde paraffine-koolwaterstoffen met onvertakte keten met stijgend moleculair gewicht en stijgend kookpunt af (Bijv. butaan



is verzadigd. In een onverzadigde verbinding zit een dubbele koolstofbinding). De ketens worden n.l. langer en breken gemakkelijker af. Bij verzadigde en onverzadigde paraffine koolwaterstoffen met vertakte keten, (bijv. isobutaan)



neemt de klopvastheid toe met het aantal in het molecuul aanwezige methylgroepen. Ook stijgt zij met meer gecentraliseerde groepeerings van de methylgroepen ($-\text{CH}_3$) in het molecuul. De constructie van het molecuul wordt hierdoor sterker en uiteenvallen wordt moeilijker. Dientengevolge heeft het iso-octaan, $(\text{CH}_3)_3\text{C} \cdot \text{CH}_2 \cdot \text{CH} \cdot (\text{CH}_3)_2$ ongeveer een gelijke klopvastheid als de aromatische koolwaterstoffen bijv. benzol, toluol en xylol (C_6H_6 , $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$ en $\text{C}_6\text{H}_4(\text{CH}_3)_2$), welke een zeer gesloten gebouwd molecuul bezitten.

Men gebruikt hierom ook dikwijls benzol, toluol, of xylol als toevoegingen aan benzine om de klopvastheid te verhoogen. Deze stoffen geven ook aanleiding tot vorming van amido-groepen (NH_2), welke zeer stabiel zijn, gedurende de voorreactie-periode. Een bekend middel om klopvastheid te verhoogen is, in dit verband, ook het amide aniline ($\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$).

De zijketens oefenen een grooten invloed op de klopvastheid bij de aromaten uit. De methylgroepen hebben een grooteren invloed dan de hydroxylgroepen ($-\text{OH}$) en deze weer een sterkeren dan de amido-groepen (NH_2).

Aethylgroepen (C_2H_5) of meerdere zijketens in het molecuul hebben niet altijd een verdere verhooging van de klopvastheid tengevolge. Verder zijn de naphteenkoolwaterstoffen (C_{10}H_8) niet zoo klopvast als de aromaten ($\text{C}_{10}\text{H}_{8-6}$), echter in het algemeen klopvaster dan de paraffine koolwaterstoffen ($\text{C}_{10}\text{H}_{2n+2}$), ook is de invloed van de zijketens niet zoo sterk als bij de aromaten.

De binding van actieve deeltjes aan den wand hangt af van de materiaal-soort en den aard van het oppervlak. Bij verbranding in motoren speelt dit uit een chemisch oogpunt gezien geen groote rol.

b. *Fysisch-mechanisch aspect.*

In het voorgaande is de detonatie chemisch beschouwd. Thans zullen enkele fysisch-mechanische trekken in het oog gevat worden.

Opgemerkt is reeds dat temperatuur en druk en voornamelijk de eerste het voor-reactie-mechanisme versnellen. De vorm van de verbrandingsruimte moet, om detonatie te vermijden, dan ook zoo gekozen worden, dat aan de wanden overal ongeveer dezelfde temperatuur heerscht. Koeling van uitlaatkleppen is zeer noodig. Bepaalde heete plekken zouden lokaal het voor-reactie-mechanisme zoo kunnen versnellen, dat zelfontsteking ter plaatse op zou treden. Kool-aanslag op den zuigerbodem en de wanden van de verbrandingsruimte werkt eveneens als ontstekingscentrum; de warmte-overdracht gaat achteruit en de temperatuur van den wand stijgt. Om een bepaalde wand-temperatuur te bereiken is ook het materiaal van den wand belangrijk. Aluminium is bijv. te prefereren boven ijzer.

Een behoorlijke werveling in de verbrandingsruimte is ook noodig om de heete restgassen van de voorgaande verbrandingen te verdeelen over de geheele ruimte.

Plaatselijke temperatuursverhoogingen, door te groote concentratie van restgassen worden hiermede zooveel mogelijk vermeden.

Het opvoeren van de compressie-verhouding houdt eveneens verband met de toelaatbare temperatuur. Naarmate de compressie-verhouding stijgt, stijgen de temperaturen, wanneer tenminste de mengseltoevoer niet gesmoord wordt. Als een maat voor de klopvastheid van de benzine is o.a. geprobeerd de hoogst toelaatbare compressie-verhouding van een brandstof te bepalen onder voorgescreven omstandigheden: motor-type, belasting, koeltemperaturen, mengselverhouding, toerental, ontstekingsregeling enz. De hoogst toelaatbare compressie-verhouding bij vol geopende mengseltoevoerklep wordt gevonden door een vermogenskromme te maken: het vermogen als functie van

de compressie-verhouding wordt opgeteekend. De compressie-verhouding, welke het grootste vermogen oplevert, wordt de hoogst toelaatbare genoemd. Er is n.l. een maximum aanwezig, daar over een zeker gebied met toenemende compressie-verhouding en gasdrukken het vermogen toeneemt, terwijl bij detonatie, zooals reeds opgemerkt, het vermogen afneemt.

Als motor voor deze standaard-metingen is jarenlang gebruikt, de E. 35 van Ricardo [5]. Het is een motor met een verstelbaren kop, waarmee de verbrandingsruimte vergroot en verkleind kan worden. Deze standaard is gedeeltelijk in onbruik geraakt, daar de moderne brandstoffen onder de voorgescreven omstandigheden niet meer tot detoneeren te brengen waren.

De orde van grootte van toelaatbare compressie-verhoudingen van enkele brandstoffen, op de E. 35, is bijvoorbeeld:

n-heptaan (C_7H_{16})	4
benzine	5
„ + 0,2% T.E.L.	7
benzol	7
alcohol	10.

Een meetmethode voor de klopvastheid die eveneens verband houdt met de temperaturen en drukken, welke mogen optreden voor een bepaalde brandstof in de verbrandingsruimte, is die van den „toelaatbaren inlaatdruk” [6].

Onder voorgescreven omstandigheden wordt wederom nagegaan bij welken inlaatdruk detonatie begint op te treden. De gevonden waarde wordt betrokken op den toelaatbaren inlaatdruk van iso-octaan. Men krijgt dan een onbenoemd getal: „het quotiënt van den toelaatbaren inlaatdruk” genoemd. Deze methode wordt nog niet algemeen gebruikt, maar is beter gefundeerd dan de, op het oogenblik, gestandaardiseerde methode, welke verderop behandeld zal worden.

Behalve de uitwendige koeling is ook inwendige koeling van de verbrandingsruimte mogelijk. En wel met de brandstof zelve. Aan het mengsel wordt dan meer benzine toegevoerd dan voor volledige verbranding noodzakelijk is; het wordt z.g. rijker gemaakt. Het blijkt dan ook dat, naarmate een mengsel rijker is, de klopvastheid stijgt. Men kan niet blijven doorgaan met het rijker maken van het mengsel, daar dan de koeling zóó groot wordt, dat zelfs de normale verbranding achteruitgaat. Dit inwendige koel-effect is ook eenigermate merkbaar bij het gebruik van vochtige lucht. Men heeft ook wel eens geprobeerd door water-injectie de verbranding t.a.v. dit punt te verbeteren. De benodigde mechanische inrichting vormt een nadeel, dat grooter is dan het te behalen voordeel.

Wanneer men op hoogte gaat vliegen, waarbij de buitenlucht kouder wordt, wordt de inlaatlucht verwarmd. Men kan dit niet boven een bepaalde grens doen, daar ook dan weer de temperaturen in de verbrandingsruimte een niveau bereiken, waarbij detonatie gaat optreden.

Tenslotte worde de tijdsfactor, welke in het voor-reactie-mechanisme zit, nog beschouwd. Allereerst

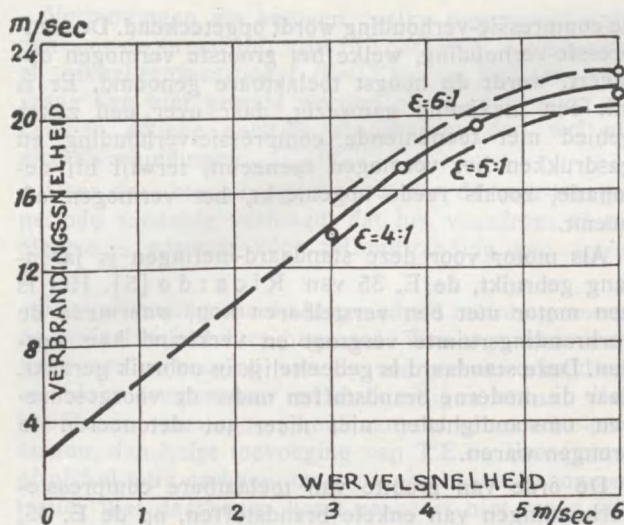


Fig. 4. Gemiddelde verbrandingssnelheid van benzol als functie van de wervelsnelheid (Schnauffer).

wordt met het opvoeren van de compressie-verhouding en de ermede gepaard gaande verhooging van de temperaturen, de ontsteking vroeger ingeleid. Naarmate de ontsteking vroeger ingeleid wordt, wordt de tijd gedurende welken het voor-reactie-mechanisme kan werken korter en de kans dat het vlamfront de verbrandingsruimte doorloopen heeft alvorens ergens een kritische hoeveelheid peroxyden gevormd is, grooter.

Voorts wordt dikwijls meer dan een bougie aangebracht om verscheidene vlamfronten te verkrijgen en om de totale verbrandingssnelheid te vergroten. Ook hierdoor wordt de tijd beschikbaar voor het voor-reactie-mechanisme kleiner.

Het opvoeren van den inlaatdruk voor een gegeven toerental kan slechts tot een bepaalde waarde geschieden. Daarboven begint de verbranding te detoneeren. Verdere opvoering van den inlaatdruk kan alleen geschieden door ook het toerental te verhogen. Daarbij wordt dan de tijd beschikbaar voor het voor-reactie-mechanisme weer kleiner. Bij de verhooging van het toerental stijgt de turbulentie en daarmee de verbrandingssnelheid (zie fig. 4) [7]. Daarom geven de constructeurs van vliegtuig-mengselmotoren dan ook bij hun motoren een kromme van toelaatbaren druk tegen toerental af. (Zie fig. 5 waarin voor de Wright Cyclone GR 1820 F 52 met verstelbare schroef een dergelijke kromme gegeven wordt, geldig voor de subtropen resp. tropen). Voor de tropen ligt deze kromme iets hooger, daar de temperaturen hier hooger zijn. Bij gelijken inlaatdruk in subtropen en tropen zal, zonder bijregeling van de inlaattemperatuur en onder overigens gelijke condities, de gewichtshoeveelheid lading kleiner zijn en daarmee de optredende drukken en temperaturen lager.

Het voorkomen van detonatie bij het te snel opvoeren van het toerental van een motor is ook op het voorgaande terug te brengen. De smookklep wordt te snel geopend en er treden inlaatdrukken op welke te hoog zijn voor het toerental waarop de motor op het gegeven oogenblik loopt. Ook wanneer een acceleratie-pomp aanwezig is, waarbij extra benzine wordt toegevoerd om het mengsel de goede mengselsterkte te doen behouden, kan dit verschijnsel optreden. Alleen wanneer zeer veel benzine wordt toegevoerd als koelmiddel kan detonatie vermeden worden.

Bij afwezigheid van een acceleratie-pomp is in het laatste geval detonatie ook te verklaren door te bedenken, dat het mengsel armer kan worden door den verhoogden luchttoevoer en het achterblijven van den benzine-toevoer (traagheidseffect).

Practische voorbeelden zijn: als een vliegtuig stijgt met laag toerental (schroef op grooten spoed) en hoogen inlaatdruk, of als een auto een helling opgaat met laag toerental (gangwissel in te hoogen stand) en ingetrapt gaspedaal (hooge inlaatdruk).

De tijdsfactor van het voor-reactie-mechanisme kan ook in de hand gehouden worden met meer of mindere vluchtigheid van de brandstof. Naarmate een brandstof vluchtiger is, is zij minder klopvast. De incubatie-periode verloopt bij een vluchtige brandstof zeer snel en het voor-reactie-mechanisme heeft een langen tijd ter beschikking om kwaad voor te bereiden en eventueel uit te voeren. Een wijziging in de motor-constructie, n.l. overgang van mengsel- naar inspuitsmotor, brengt ook eenige verbetering. Brandstoffen die onder bepaalde omstandigheden detoneeren in een mengselmotor, zullen dit niet doen onder precies dezelfde omstandigheden in een inspuitsmotor.

De tijdsfactor in het voor-reactie-mechanisme blijkt ook wanneer men het mengsel armer gaat maken: minder benzine toevoeren dan noodig is voor chemische verbranding. De verbrandingssnelheid gaat achteruit; er komt meer tijd waarin het voor-reactie-mechanisme kan voortschrijden. Wanneer men een mengsel voldoende arm maakt treedt dan ook detonatie op en het vermogen gaat achteruit.

Daar, zooals opgemerkt, bij rijker worden van het mengsel het vermogen ook achteruit gaat, is er dus

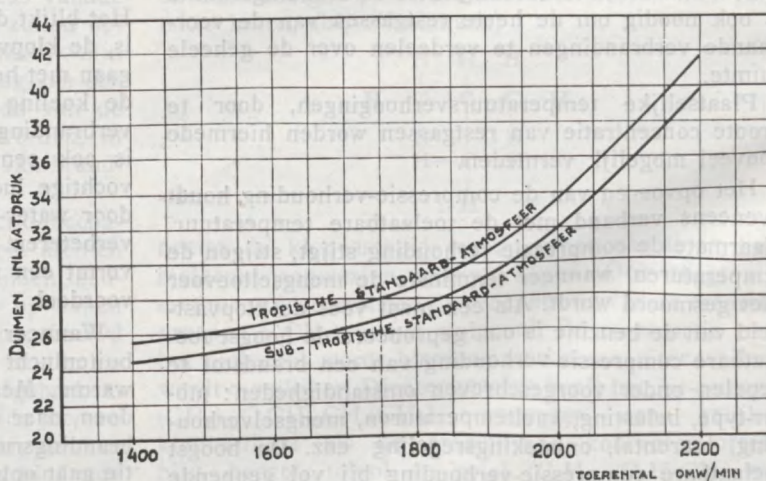


Fig. 5. Verhouding tusschen inlaatdruk en toerental (W.A.C. 1820—Cyclone—verstelb. schroef).

een grootste waarde aanwezig. Deze blijkt in het algemeen te liggen bij een mengsel met 5% — 10% meer benzine dan theoretisch noodig is voor volledige verbranding.

Een aanwijzing omtrent den tijdsfactor bij detonatie wordt ook gegeven door het verschijnsel, dat een koude motor eerder detoneert dan een warme onder overigens gelijke omstandigheden. De verbrandings-snelheid is in het eerste geval groter dan in het tweede, zoodat er meer tijd is voor de ontwikkeling van het voor-reactie-mechanisme.

Een vermoedelijk fysisch-mechanische verklaring van de experimenteel gevonden werking van inerte gassen (helium, xenon, argon, krypton, neon) is, dat ze actieve deeltjes belemmeren in hun voortgang langs de kettingen en de definitieve bindingskansen verhoogden: de ketting breekt dan af. Het is echter de vraag of de edelgassen een technische betekenis hebben. Het effect is bij de laatste uitvoering niet zoo groot, dat het eventueel loont een inspuitsmechanisme op een motor aan te brengen.

Standaard-onderzoek van de klopvastheid van een brandstof.

Het gestandaardiseerde onderzoek naar de klopvastheid van een brandstof berust op het mechanisch gedeelte van het detonatie-verschijnsel, n.l. de snelle drukstijging en trillingen welke optreden.

Deze worden geregistreerd met de „springende naald”, een toestel door Midgley verzonnen. De drukstoot en de trillingen brengen een membraan in beweging. Op het membraan staat een naald die omhoog springt. Daarbij wordt een elektrische keten gesloten. Op een meter wordt afgelezen, hoeveel elektrische energie doorvloeit (zie fig. 6).

Naarmate de drukstoot en de trillingen sterker zijn, springt de naald hoger. Het elektrische contact, dat door buigzame veeren tot stand gebracht wordt, duurt langer en de doorgevoerde elektrische energie is groot.

Er is nu een bepaalde meetprocedure voorgeschreven. De te onderzoeken brandstoffen worden vergeleken met mengsels van iso-octaan en n-heptaan. En wel zoodanig dat men twee mengsels van n-heptaan en iso-octaan maakt, die aanwijzingen op den meter hebben waartusschen de aanwijzing van den meter ligt behoorende bij de te onderzoeken brandstof voor een zekere mate van detonatie. Toerental, koeling, ontstekingsregeling, in verband met de compressieverhouding, enz., liggen alle vast. Nu wordt aan zuiver iso-octaan (zeer klopvast) het getal 100 gegeven en aan n-heptaan 0 (weinig klopvast). Wanneer nu de onderzochte brandstof wat

betreft de eigenschappen bijv. tusschen mengsels iso-octaan + n-heptaan met respectievelijk 68 en 70 procent iso-octaan ligt, wordt aan de onderzochte brandstof het getal 69 toegekend. Men noemt dit het octaangetal van die brandstof.

Het onderzoek geschiedt met den z.g. C.F.R.-motor (Cooperative Fuel Research Committee) [8].

Het is de laatste jaren gebleken, dat niet alleen mechanische eigenschappen van de detonatie maatgevend zijn bij motoren. Ook andere eigenschappen komen in het geding. Men zoekt daarom naar een methode, waarbij men zuiver de eigenschappen van een brandstof kan vaststellen t.a.v. detonatie, op een motor-installatie, welke eenvoudig is uitgevoerd en overal is op te stellen.

Men heeft o.a. gevonden, dat brandstoffen A, B en C, die in den C.F.R.-motor octaangetallen van 75, 80 en 85 hadden en waarbij dus C klopvaster dan B en deze weer klopvaster dan A was, in den vliegtuigmotor onder bepaalde omstandigheden gebruikt zich zoo gedroegen, dat C en A detoneerden, maar B niet.

Ook kunnen aromaten niet onderzocht worden in den C.F.R.-motor, daar benzol bijv. meer klopvast is dan iso-octaan.

Men heeft bij de laatste uitvoering een zekeren turbulentiegraad in den C.F.R.-motor ingevoerd met behulp van een opstaanden rand over een gedeelte van den omtrek van de inlaatklep.

Het waarnemen van detonatie.

Een detoneerende motor maakt op zich zelve een typisch hamerend geluid. Het geluidsspectrum wordt daarbij voornamelijk bepaald door de constructie van den motor. De intensiteit van het geluid door de heftigheid van de detonatie.

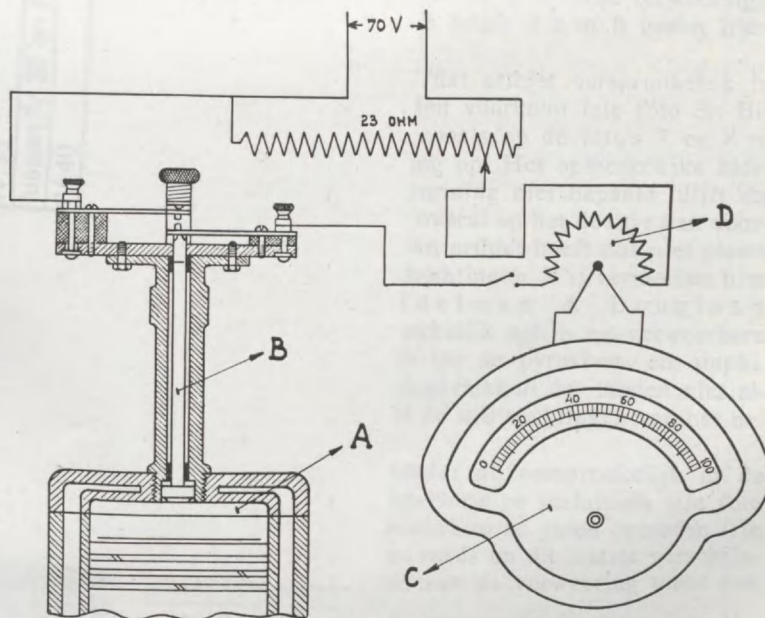


Fig. 6. Detonatiemeter van Midgley.

A = Verbrandingsruimte; B = springende naald;
C = Meter met octaanwaarde-schaal; D = weerstand met thermokoppel.

Er zijn metingen gedaan over het geluids-spectrum van een motor zoowel normaal loopende als detoneerend. In het spectrum verschenen bij detonatie frequenties van hooge intensiteit, die correleerden met frequenties van trillingen in het drukdiagram (oscillografisch opgenomen, m.b.v. piëzo-electrisch of capacitatief druk-element).

Het waarnemen van detonatie bij een vliegtuigmotor kan geschieden door toerental en kop-temperatuur in het oog te houden. Bij het opvoeren van den inlaatdruk voor een bepaald toerental, begint het toerental af te vallen en de kop-temperatuur te stijgen. Het geluid is niet meer waar te nemen, helaas, door het lawaai van de schroef.

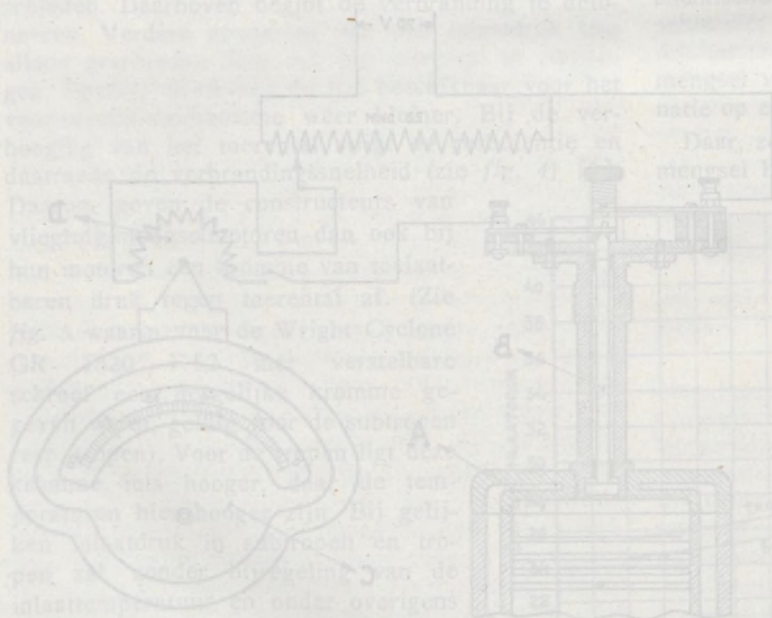
Literatuur-opgave.

1. A. v. Philippovich, Der Verbrennungsvorgang im Explosionsmotor, *Luftfahrtforschung*, Bd. 13, p. 199, 1936.
2. N. N. Semenov, Chemical kinetics and chain reactions, Oxford University Press, Oxford, 1935.
3. F. R. Banks, Ethyl, *Journal of the Aeronautical Society*, 1934.
4. D. Holde, Kohlenwasserstofföle und Fette, Julius Springer, Berlin, 7e druk, 1935.
5. Report of the Empire Motor Fuels Committee, vol. XXVIII, part I, section II, The Institution of Automobile Engineers, London, 1924.

Een ruw loopende motor, d.i. een motor die vrij zwaar belast is en speling in verschillende lagers heeft, maakt ook een hamerend geluid. Dat is dan het op- en neerslaan van pennen en astappen in de lagers. Men onderscheide dit wel van detonatie.

Het ergste geval van detonatie is misschien wel waar het verbrandingsproces overgaat naar het dieselproces: het mengsel ontsteekt vóór de vonk is opgetreden. Tusschen dit laatste geval en de normale verbranding zitten dan alle schakeeringen van de verbranding vanaf de bougie, met zelfontsteking van het nog niet verbrande mengsel, in meer of mindere mate.

6. G. D. Boerlage, L. A. Peletier and J. L. Tops, The allowable boost ratio, *Aircraft Engineering*, vol. 7, pp. 82, 306/308, 1935.
7. K. Schnauffer, *Dieselmachines* V, Berlin, V.D.I.-Verlag, p. 127, 1931.
8. General Instruction for the care and operation of the A.S.T.M. — C.F.R. fuel research engine, Waukesha Motor Company, Wisconsin, 1932. Zie ook: A.S.T.M. Standards.
9. A. F. Holleman, *Leerboek der organische chemie*, eerste deel, 7e druk, 1920; tweede deel, 8ste druk, 1919, J. B. Wolters, Groningen.
10. *Chemiker Taschenbuch*, 60. Auflage, Julius Springer, Berlin 1937.



Er is nu een bepaalde meetproce-
dure voorgeschreven. De te onder-
zoeken brandstoffen worden versleken
met mengsel van iso-octaan en n-
heptaan. En wel zodanig dat men
twee mengsels van n-heptaan en iso-
octaan maakt, die aandrijvingen op den
motor hebben waartussen de aan-
wijzing van den motor ligt behoor-
delijk. De te onderzoeken brandstof
wordt een zekere mate van detonatie
toerental, koeling, ontstekings-
ling in verband met de compressie-
verhouding enz. liggen alle vast. Nu
wordt aan zuiver iso-octaan (geen klop-
vast) het geluid 100 gegeven en aan
n-heptaan 0 (weinig klopvast). Wan-
neer nu de onderzochte brandstof wat

IN NEDERLANDSCH-INDIË

IV. MIJNBOUW EN GEOLOGIE.

„DE MIJNINGENIEUR”

INHOUD: Onderzoek omtrent het voorkomen van de mineralen orthiet en zirkoon in de liparietgronden van Sumatra's Oostkust, door dr. ir. H. W. van der Marel. — Uit de literatuur. — Economische mededeelingen.

Onderzoek omtrent het voorkomen van de mineralen orthiet en zirkoon in de liparietgronden van Sumatra's Oostkust

door

dr. ir. H. W. VAN DER MAREL.

(V.O. Bah Djambi, Pematang Siantar, S.O.K.).

Bij het mineralogisch onderzoek van de liparietgronden ter S.O.K., welke aldaar het overgrote deel van het „Cultuurgebied” uitmaken, komt men de mineralen orthiet en zirkoon steeds tegen. In het eene geval echter in een grotere hoeveelheid dan in het andere.

Orthiet.

Dit mineraal is een calcium-ijzer-aluminiumsilaat, hetwelk zeldzame elementen bevat, zooals cerium, lanthaan en didymium.

Waar orthiet ter S.O.K. altijd aan de liparietformatie gebonden is en het aldaar niet in de andere aanwezige formaties, t.w. tertiaire, daciëtische (daciëto-liparietische) en andesietische gronden, voorkomt, is orthiet bij het mineralogisch onderzoek der S.O.K. gronden een herkenningsmiddel voor de liparietformatie ¹⁾.

Gaat men de literatuur na, dan blijkt dat orthiet, welk mineraal tot de epidootgroep behoort, eigenlijk meer in metamorphe gesteenten en verder in „zure” dieptegesteenten thuis hoort, dan in vulkanisch liparietgesteente.

Wij vonden voor orthiet de volgende afkomst: Graniet, pegmatiet, gneiss, mica, amfiboolschist, kalksteen. (Kraus, E. H. & Hunt, Ph. D. „Mineralogy”. 1920).

Graniet, syeniet, trachiet, gneiss, kalksteen. (Weisbach, A. & Kolbeck, F. „Tabellen zur Bestimmung der Mineralien”. 1923).

Graniet, syeniet, dioriet. (Steinrede, F. „Elemente der Gesteinslehre”. 1923).

1) De tertiaire gronden ter S.O.K. zijn te herkennen aan de aanwezigheid van de mineralen toermalijn en granaat. De daciëtische (daciëto-liparietische) gronden aan het optreden van het mineraal hyperstheen bij afwezigheid van orthiet. En de andesietische gronden aan het voorkomen van nog grotere hoeveelheden hyperstheen eveneens bij afwezigheid van orthiet. Zie ook J. H. Druif: De Bodem van Deli I. *Meded. Deli-Proefstation* 2e ser. 75, (1932); De Bodem van Deli II. *Bull. Deli-Proefstation* 32, (1934); De Bodem van Deli III. *Meded. Deli-Proefstation*, 3e ser. 4, (1939).

Uit het bovenstaande blijkt wel duidelijk, dat orthiet niet karakteristiek is voor lipariet. Dat dit mineraal alhier echter toch gebruikt kan worden als specifiek herkenningsmiddel voor de liparietgronden, komt dus enkel doordat orthiet in de andere ter S.O.K. aanwezige grondsoorten (gesteenten) niet optreedt.

Hier zij nog vermeld, dat orthiet door ons veelvuldig werd aangetroffen in de alluviale riviervlakten gelegen tusschen de tertiaire heuvelgronden aan de W. kust van Atjeh achter Meulaboh en wel in combinatie met het mineraal epidoot (zie foto 1 *), waaraan orthiet nauw verwant is. Verder vonden wij nog orthiet in fosfaat van Christmas Isle (zie foto 2) en in eenige vleermuizen(kalk)grotten op het eiland Nias.

Orthiet wordt in de liparietgronden van S.O.K. in diverse hoeveelheden en ook in diverse verweeringsstadia aangetroffen. De foto's 3 t/m 9 geven hiervan een goed beeld.

Uit de foto's blijkt, dat orthiet oorspronkelijk in mooie (monocline) zuilen voorkomt (zie foto 3). Bij de verweering treedt, zooals op de foto's 7 en 8 te zien is, ook tandvorming op. Het opmerkelijke hiervan is, dat deze tandvorming niet bepaald blijft tot de lengte-as, doch zich overal op het deeltje kan voordoen. De verweering van orthiet heeft dus niet plaats volgens bepaalde splijtrichtingen. Wij vermelden hier nog, dat volgens Edelman & Douglas ²⁾ zelfs bij de zeer gemakkelijk splijt- en verweerbare mineralen, behorende tot de pyroxeen- en amfiboolgroep, de begrenzingsvlakken der tanden niet altijd overeenkomen met de splijtrichtingen van het betreffende kristal.

Verder kunnen, doordat de oorspronkelijk in de orthiet aanwezige kristalvormige insluitsels (zie foto 5) loslaten, scherpe hoekvormige gaten optreden (zie foto 6). Druif wees reeds op dit laatste verschijnsel ³⁾. Het eindstadium van de verweering toont een

*) De foto's zijn weergegeven in de platen I en II.

2) C. H. Edelman & D. J. Douglas. Reliktstruktur detritischer Pyroxenen und Amphibolen. *Miner. und Petr. Mitt.* 42, (1932), blz. 482 — 490.

3) J. H. Druif. Aantasting van mineralen in den bodem van Deli. *Bull. Deli-Proefstation* 38, (1937).

beeld, waarbij van de oorspronkelijke mooie zuilvorming niets meer over is (zie foto 9).

Zirkoon.

Dit mineraal (zirkoniusilicaat) komt ter S.O.K. behalve in de liparietformatie ook in andere aldaar aanwezige formaties, t.w. tertiaire, daciëtische (daciëto-lipariëtische) en andesietische voor, hoewel in een, ten opzichte van de overige mineralen van de „zwarte fractie”, veel geringere hoeveelheid; vooral voor wat betreft de daciëtische (daciëto-lipariëtische) en andesietische formaties.

Het opmerkelijke echter is, dat de zirkoon uit de liparietformatie, in tegenstelling met die uit de andere formaties, karakteristieke insluitsels vertoont. De foto's 10 t/m 12 geven hiervan een beeld. De insluitsels worden zoowel door kleine kristallen als door gasbellen veroorzaakt.

De zirkoonkristallen afkomstig uit de zuiver tertiaire, daciëtische en andesietische gronden van S.O.K. daarentegen, laten weinig figuren zien. Die van de tertiaire gronden zijn bovendien dof van uiterlijk en meestal afgerond (zie foto 13). De zirkoonkristallen, welke wij in de gronden uit de omgeving van Lho' Kroët (W.K. Atjeh) aantreffen, vertoonden echter weer zeer typische insluitsels (zie foto 14). Deze wijken echter af van die uit de liparietgronden van S.O.K.

Bij het onderzoek van een groot aantal gronden bleek nu, dat er nauw verband bestaat tusschen het geologisch verweeringsstadium, waarin de grond zich bevindt en de mate, waarin orthiet en zirkoon ten opzichte van de overige mineralen van de „zwarte fractie” van dien grond, voorkomen. Bij weinig verweerde gronden n.l. is het percentage orthiet en zirkoon ten opzichte van de overige „zwarte fractie” mineralen gering. Bij sterk verweerde gronden daarentegen komen beide in een grootere hoeveelheid voor.

Ten einde over gegevens te beschikken hebben wij van diverse representatieve preparaten uit de liparietgronden tellingen verricht. Deze preparaten zelve werden als volgt vervaardigd:

Een zekere hoeveelheid grond (± 20 g) wordt met peroxyde en wat azijnzuur gekookt. Vervolgens wordt gezeefd over een zeef met gaatjes van 50μ diameter. De fractie $> 50 \mu$ wordt in de weinige gevallen, dat ze met te veel sesquioxyde huidjes verontreinigd is, even verwarmd met HCl, waarna weer gezeefd wordt over een 50μ -zeefje. Vervolgens wordt gezeefd over een zijdezeef No. B 20 (De lius-Amsterdam). De doorgelopen fractie wordt daarop door middel van een scheidtrechter (volgens Edelman) en bromoform met een s.g. van 2,896 geëxtraheerd in de „lichte” en de „zwarte” fractie. Van de „zwarte” fractie wordt met Canadabalsem een preparaat gemaakt.

De mineralen van het preparaat werden onder het polarisatiemicroscop met behulp van een objecthouder met micrometer-stelinrichting geteld. Van een enkel zeer karakteristiek preparaat werd verder ook een foto genomen. Het resultaat der telling is in tabel I samengesteld.

Lipariettuf.

In de lipariettuf komt weinig orthiet voor. De aangetroffen orthiet heeft meestal vrij gave kristallen. Het overgrote deel van het preparaat wordt gevormd door erts + amphibool. Verder vindt men ook nog wat hyperstheen en zirkoon.

Alluviale gronden.

In de alluviale gronden, welke gevormd zijn uit recente afzettingen van lipariettuf van het achterland, komt eveneens weinig orthiet voor. De aangetroffen orthiet is ook hier meestal vrij gaaf van uiterlijk. Het overgrote deel van het preparaat bestaat uit amphibool; verder uit wat hyperstheen + zirkoon. In tegenstelling met de lipariettuf wordt bij de alluviale gronden weinig erts gevonden. De oorzaak hiervan is, dat het erts ten gevolge van zijn hooger s.g. door de rivieren minder snel werd verplaatst en veelal ook meer plaatselijk werd afgezet (bijv. in de rivier zelve bij bochten).

Weinig verweerde gronden.

In de weinig verweerde gronden komt een geringe hoeveelheid orthiet voor. Zulks is ook het geval met hyperstheen en zirkoon. Het overgrote deel van het preparaat van de weinig verweerde gronden bestaat uit erts en amphibool. De amphibool en vooral de hyperstheen zijn hier echter voor het meerendeel reeds sterk aangevreten (verweerd).

Middelmatig verweerde gronden.

In de middelmatig verweerde gronden is de hoeveelheid orthiet + zirkoon ten opzichte van amphibool + erts toegenomen. Hyperstheen daarentegen, een zeer gemakkelijk verweerbaar mineraal, komt in dit soort gronden haast niet meer voor.

Sterk verweerde en zeer sterk verweerde gronden.

In de sterk verweerde gronden wordt een groote hoeveelheid orthiet + zirkoon aangetroffen. De hoeveelheid hiervan is in de zeer sterk verweerde gronden zóó groot, dat het preparaat haast geheel uit deze mineralen bestaat (concentraat). Het mineraal amphibool (hyperstheen) komt in de sterk verweerde gronden slechts sporadisch voor. In de zeer sterk verweerde gronden is het zelfs geheel afwezig. Ook de hoeveelheid erts in deze laatste soort gronden is gering. Voor dit uiterste verweeringsstadium van de liparietgronden ter S.O.K. is foto 15 zeer karakteristiek.

De gronden, waarvan de preparaten dit sterke verweeringsstadium te zien geven, behooren tot de z.g. „gele” of wel semi-subhydrische liparietgronden van S.O.K. Dat de verweering hier wel zeer sterk geweest moet zijn, blijkt uit het voorkomen van talrijke mangaanconcreties (fig. 1) en op lage plekken zelfs van uitgestrekte banken van mangaanijzererts (fig. 2). Wij analyseerden eenige mangaanconcreties en ook een mangaanbank, zie tabel II.

Tabel I.

Numerieke samenstelling der „zware” fractie in procenten.

		Erts + opaque %	Hyper- stheon %	Amphi- bool %	Orthiet %	Zirkoon %
Lipariettuf	227	43	3	40	6	8
	L.	45	3	42	4	6
	Pr.	41	3	44	5	7
	Br.	41	7	45	3	4
	L 6	43	6	42	3	6
	S.	47	6	40	2	5
Gemiddeld :		43	5	42	4	6
Aluviale grond	KL.	15	3	66	6	10
	64	14	3	70	6	7
	O.	17	5	63	7	8
	61	18	2	60	10	10
	4	18	3	62	6	11
	G.	20	5	58	6	11
Gemiddeld :		17	4	63	7	10
Weinig verweerde grond	2	54	2	30	5	9
	1858	58	2	30	4	6
	71	59	1	30	4	6
	1	50	1	37	6	6
	572	50	1	35	3	11
	10	46	3	38	6	7
	105	53	2	30	6	9
	13	53	1	33	6	7
	9	56	2	28	7	7
	6	52	1	32	7	8
Gemiddeld :		53	2	32	5	8
Middelmatig verweerde grond	1597	60	1	13	10	16
	108	55	1	20	12	12
	31	59	—	20	9	12
	1594	62	—	15	9	14
	3	63	1	15	10	11
	1600	66	—	11	9	14
	1594	64	1	11	9	15
	124	69	—	10	10	11
	32	62	1	14	9	14
	1583	65	—	12	8	15
Gemiddeld :		63	1	14	10	13
Sterk verweerde grond	2	30	—	6	30	34
	651	36	1	4	29	30
	59	41	—	3	24	32
	1458	33	—	8	27	32
	1456	39	—	5	20	36
	460	35	—	6	29	30
	592	42	1	5	27	25
	10	35	—	6	32	27
	1460	35	—	5	27	33
	1459	36	—	4	32	28
Gemiddeld :		36	sporen	5	28	31
Zeer sterk verweerde grond	W.Kl	15	—	—	40	45
	95	18	—	—	37	45
	649	21	—	—	42	37
	647	21	—	—	40	39
	61	22	—	—	44	34
	652	24	—	—	37	39
Gemiddeld :		20	afwezig	afwezig	40	40

Tabel II.

Analyses van mangaanijzer.

Mangaanijzerconcreties.

Oplosbaar in warm HCl 25%.

No. monster	SiO ₂ %	Fe ₂ O ₃ %	Al ₂ O ₃ + TiO ₂ %	CaO %	MgO %	P ₂ O ₅ %	Mn ₃ O ₄ %
A	6,5	15,6	7,9	0,6	sporen	0,008	12,-
B	6,6	16,2	9,4	0,5	sporen	0,019	16,5
C	6,8	13,6	9,8	0,3	sporen	0,009	17,1

Totaal analyse.

No. monster	SiO ₂ %	Fe ₂ O ₃ %	Al ₂ O ₃ + TiO ₂ %	Gloeiverlies %	Mn ₃ O ₄ %
A	37,1	19,2	15,5	12,4	13,5
B	31,6	19,8	15,7	12,8	17,6
C	31,2	16,4	16,8	13,5	20,1

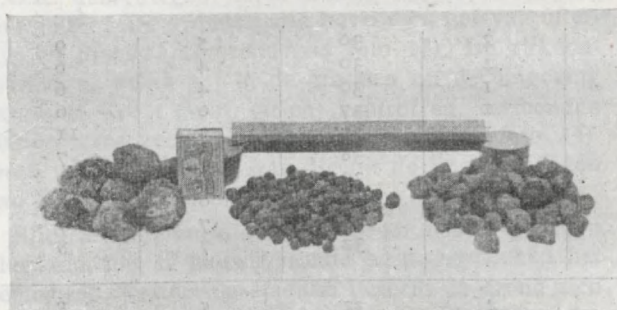
Mangaanijzerbank. Vochtgehalte = 13,1%. Totaal analyse Mn₃O₄ = 7,9%.

Fig. 1. Concreties van mangaanijzererts.

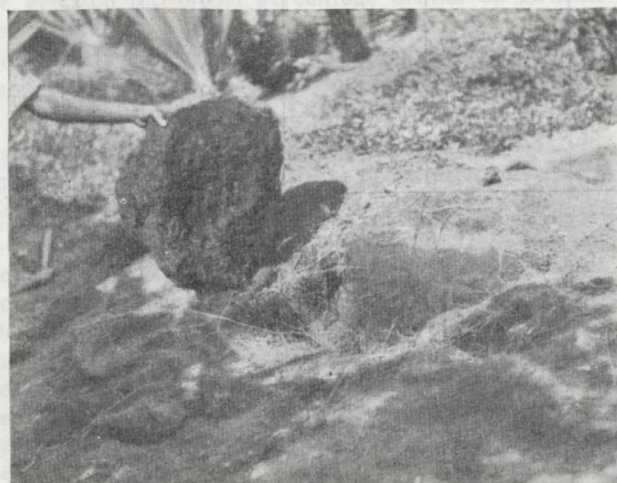


Fig. 2. Bank van mangaanijzer.

Uit de analyses en ook uit de foto's blijkt, dat de mangaanijzerconcreties en de mangaanijzerbank nog met grond zijn verontreinigd; vooral de laatste. Er heeft hier dus tijdens de afzetting samenkitting van het afzetsel met den omringenden grond plaats gehad. De mangaanconcreties en mangaanbank komen soms over groote uitgestrektheden en ook aan de

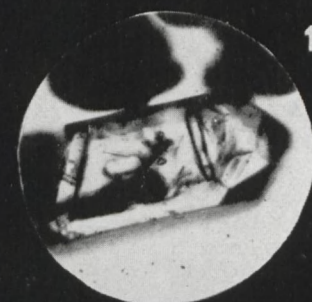
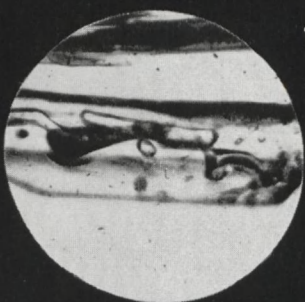
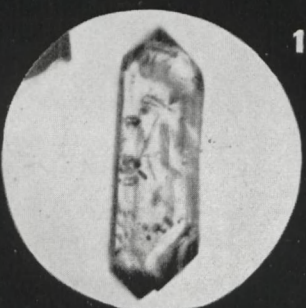
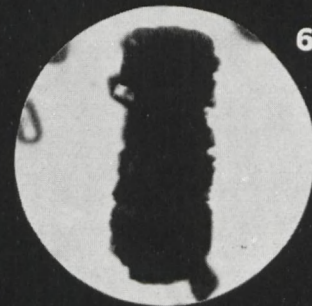
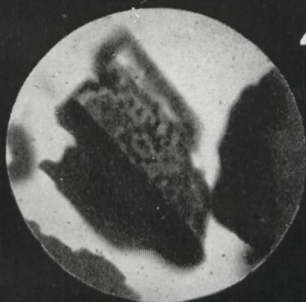
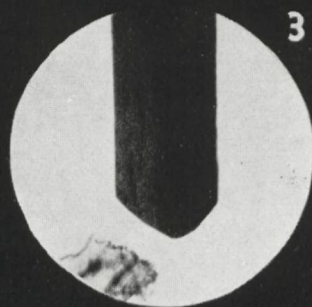
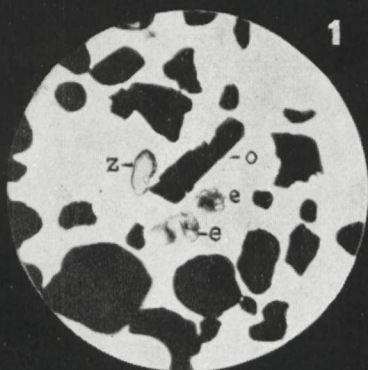
Verklaring der microfoto's.

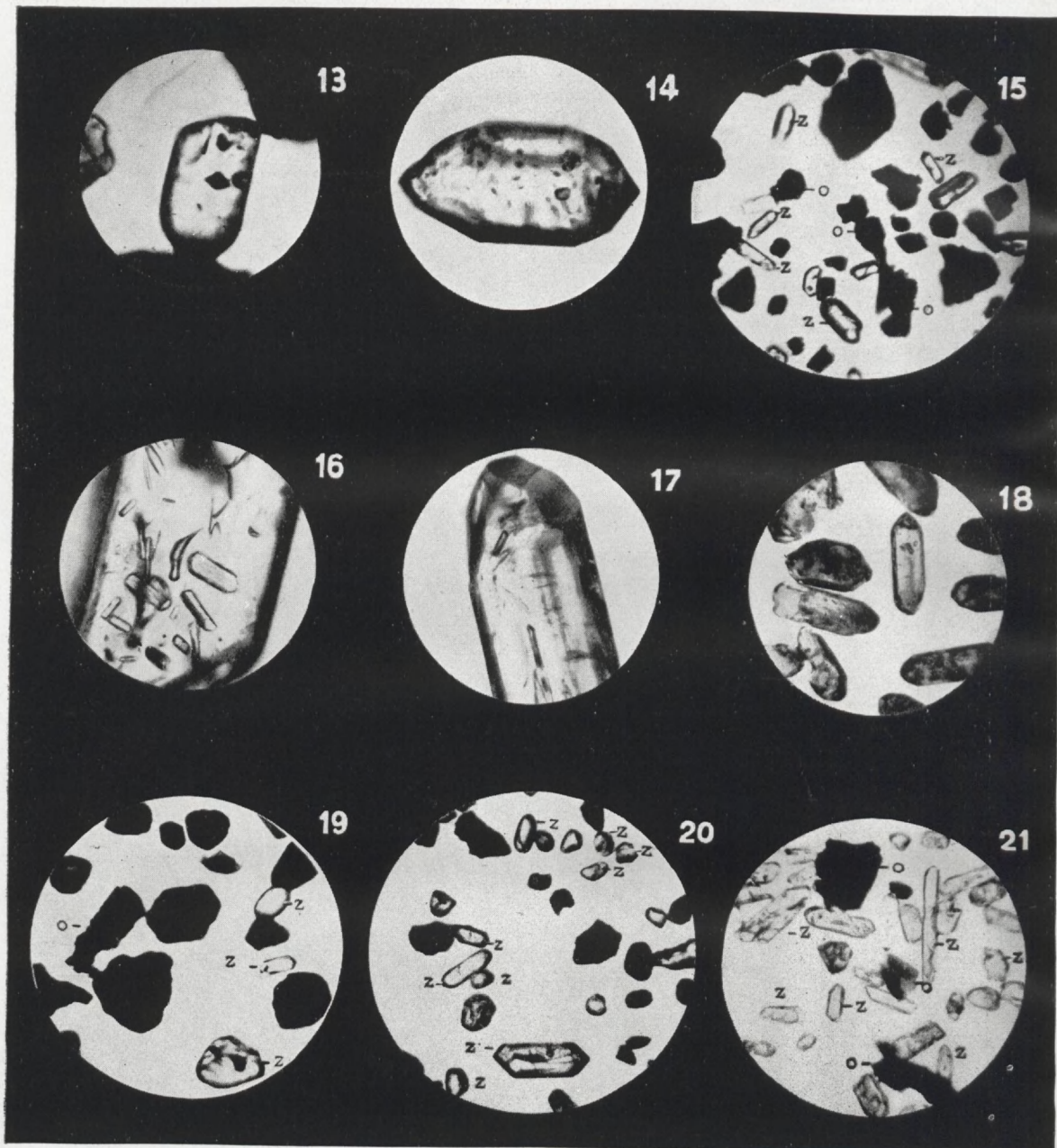
De grootte der afgebeelde mineraalkorrels bedraagt ± 50 tot 150 μ.

Gebezigde afkortingen: e = epidoot.
o = orthiet.
z = zirkoon.

Plaat I.

- No. 1. Verzamelpreparaat afkomstig uit alluvialen grond, gelegen tusschen de tertiaire heuvelgronden in het achterland van Meulaboh. Een orthietdeeltje in het midden met typischen verweeringsvorm; daaromheen links een zirkoonkristal en rechts twee epidootdeeltjes. De rest = erts + opaque.
- No. 2. Orthiet afkomstig uit fosfaat van Christmas Isle; sterk verweerd met tandvorming.
- No. 3. Orthiet afkomstig uit liparietuf; gaaf nagenoeg niet verweerd kristal.
- No. 4. Orthiet afkomstig uit liparietgrond; sterk aangetast, doch kristalvorm nog duidelijk zichtbaar.
- No. 5. Orthiet afkomstig uit liparietgrond met kristal-(naald)insluitel.
- No. 6. Orthiet afkomstig uit liparietgrond met scherpe hoekvormige afdruksels, veroorzaakt door het uitvallen van kristalvormige insluitels ten gevolge van sterke verweering.
- No. 7. Orthiet afkomstig uit liparietgrond met tandvormige uitsteeksels veroorzaakt door sterke verweering; bovenaanzicht.
- No. 8. Als No. 7, doch zijaanzicht.
- No. 9. Orthiet afkomstig uit liparietgrond; zeer sterk verweerd.
- No. 10. Zirkoon afkomstig uit liparietgrond met scherpe hoeken en met hoofdzakelijk kristal (naald)-insluitels.
- No. 11. Zirkoon afkomstig uit liparietgrond met scherpe hoeken en met gasbel-insluitels.
- No. 12. Zirkoon afkomstig uit liparietgrond met scherpe hoeken en met kristal (naald) en gasbel-insluitels.





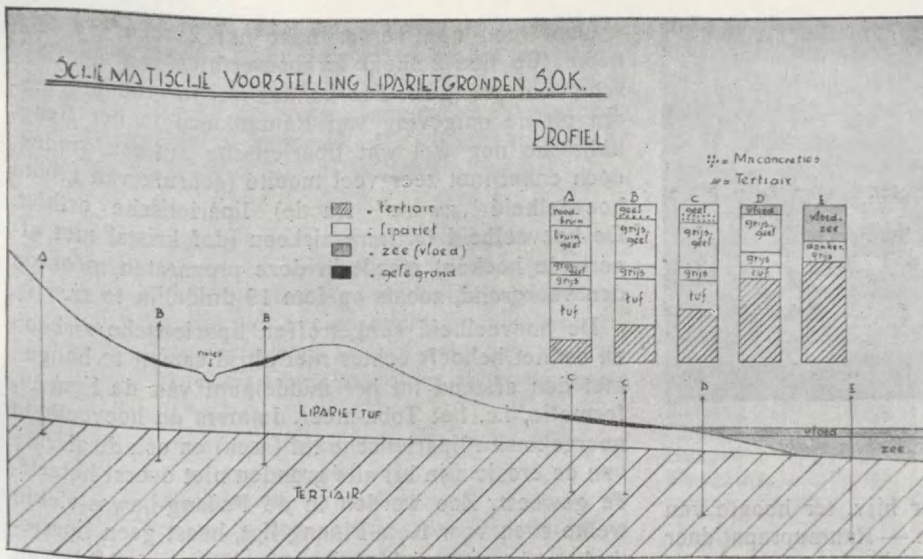


Fig. 3. Schematische voorstelling der lipariet-gronden van S. O. K.

oppervlakte voor. Onze indruk is, dat dit oppervlakkige voorkomen moet worden toegeschreven aan het oorspronkelijk wel op een zekere diepte onder de toenmalige bouwvoor aanwezig zijn van deze concreties en banken. Naderhand zijn ze dan door afspoeiing van den bovenstaanden grond bloot komen te liggen.

Men ontkomt bij de bestudeering van deze zeer sterk verweerde semi-subhydrische gronden niet aan

Plaat II.

- No. 13. Zirkoon afkomstig uit tertiairen grond met afgeronde hoeken en luchtholten veroorzaakt door sterke verweering.
- No. 14. Zirkoon afkomstig uit Lho-Kroët (W.-Kust Atjeh) met eenigszins afgeronde hoeken en met kristal (naald) en gasbel-insluitels.
- No. 15. Verzamelpreparaat afkomstig uit zeer sterk verweerden z.g. „gelen” liparietgrond. Zirkoon met insluitels, orthiet met karakteristieke verweeringsvormen; de rest = erts + opaque.
- No. 16. Liparietische zirkoon afkomstig uit tertiaire grond met kristal en gasbel-insluitels.
- No. 17. Liparietische zirkoon afkomstig uit tertiaire grond met kristal (naald) insluitels.
- No. 18. Liparietische zirkoon afkomstig uit tertiaire grond met kristal (naald) en gasbel-insluitels.
- No. 19. Verzamelpreparaat afkomstig uit tertiairen grond uit de omgeving van de oude Concessies Kaloewan, Ohio, Carolina en Texas (nabij Kota Pinang). Liparietische zirkoon met scherpe hoeken, tertiaire zirkoon met afgeronde hoeken en luchtholten, orthiet met typische verweeringsvormen; de rest = erts + opaque.
- No. 20. Verzamelpreparaat afkomstig uit de omgeving van Rantaukasai (Bengkalis). Liparietische zirkoon met scherpe hoeken en insluitels, tertiaire zirkoon met afgeronde hoeken en luchtholten; de rest = erts + opaque.
- No. 21. Verzamelpreparaat afkomstig uit zeer sterk verweerde lipariettuf (aangetast door fumarolen). zirkoon met scherpe hoeken en insluitels, orthiet met karakteristieke verweeringsvormen.

den indruk, dat het klimaat op Sumatra om deze gronden te kunnen doen ontstaan wel veel warmer geweest moet zijn dan heden ten dage en tevens met een uitgesproken natten en drogen tijd (continenten-verplaatsing volgens Wegener, waarbij dan Sumatra nog in het Quartaire tijdperk meer Zuidelijk zou hebben gelegen dan tegenwoordig?). In den warmen vochtigen tijd met een rijkelijke moerasvegetatie zouden dan de bewuste liparietgronden zoo sterk zijn afgebroken, dat zelfs het overgrootste deel van het mangaan- en ijzerrijke erts (magnetiet

en ilmeniet ⁴⁾ in oplossing ging, om daarna in den drogen tijd in den ondergrond op de plaats van het grondwaterniveau (dit bevat zouten) weer te worden afgescheiden in den vorm van mangaanijzerconcreties en banken.

Bij deze sterke afbraak gingen van de overige „zwarte” mineralen, behalve een groot deel van het erts, ook amphibool en hyperstheen geheel in oplossing.

Enkel zirkoon bleef practisch onaangepast en orthiet bood grooten weerstand. Dit laatste mineraal is dus blijkbaar eveneens zeer resistent en komt derhalve zirkoon, waarvan bekend is, dat het practisch niet wordt aangetast, in dit opzicht zeer nabij.

Een schematische voorstelling van de ligging van de diverse liparietgronden van S.O.K. geeft fig. 3.

Wij hebben in deze teekening enkel aangegeven de plaatsen, waar groote hoeveelheden mangaanconcreties voorkomen en verder ook de kleur van den grond, welke overweegt.

Zoo vindt men, behalve in de reeds vermelde „gele gronden”, ook nog concreties in de gronden langs de kust, waar het getij nog merkbaar is en in de gronden langs de rivieren, die bij bandjirs onder water staan. Het aantal concreties is hier echter gering. Verder treden behalve de in fig. 3 genoemde kleuren ook nog allerlei andere kleuren op. Zoo bijv. bruinrood en vooral bruinroode strepen, speciaal in den ondergrond van de „gele” gronden en verder (in geringere mate) ook in den ondergrond van de getijde-gronden en van de bovengenoemde gronden langs de rivieren.

Zooals uit het bovenstaande te zien is, komen behalve aan de vlakke lage kuststreken ook „gele” gronden voor in de hooger gelegen roodbruine liparietgronden en wel in de vlakke lage stukken hiervan, t.w. bestaande of voormalige rivierdalen.

4) De liparietgronden ter S.O.K. zijn zeer rijk aan mangaan. Het mangaangehalte van dit soort gronden bedraagt n.l. 0,2 tot 0,6% Mn_3O_4 oplosbaar in 25% HCl.



Fig. 4. Beekje in de Asahan-vlakte.

Zoo stroomt de Asahan-rivier bijv. ter hoogte van den Gouvernementsweg Kisaran — Rantauprapat door een ± 15 km breede vlakte gelegen op ± 25 m boven het zeeniveau en ± 40 km van de zee verwijderd. In deze groote vlakte nu komen groote stukken „gele” grond voor, welke wat verweeringsstadium betreft, niet behoeven onder te doen voor de sterk afgebroken „gele” gronden van de kustvlakten.

Doordat deze rivier echter in den loop der jaren sterk gemeanderd heeft, kan het mineralogisch beeld wel eens vertroebeld zijn, n.l. daar, waar weinig verweerd liparietisch materiaal over de oude, sterk verweerde „gele” gronden gekomen is. Alsdan vindt men in het preparaat hyperstheen naast veel orthiet + zirkoon en in den grond veel mangaanconcreties.

Fig. 4 geeft een beeld van een hedendaagsch klein stroompje in deze Asahan-vlakte, hetwelk, gezien de daarin voorkomende (gedeeltelijk blootgekomen) groote ronde steenen (kwarsiet-lipariet) eertijds van grootten omvang en kracht geweest moet zijn.

Wij vermelden hier nog, dat orthiet door ons werd aangetroffen tot over de Beroemoeng (ter hoogte van Kota Pinang) en wel tot in de oude concessies Kaloe-wan, Ohio, Carolina en Texas.

In deze gronden vindt men behalve de hiergenoemde orthiet en de gewone doffe (chemisch aangetaste) en sterk afgeronde (mechanisch gesleten) zirkoon, welke gewoonlijk in de tertiaire gronden ter S.O.K. worden aangetroffen, ook nog helder glanzende gave zirkoonkristallen met insluitsels. Deze zirkoon geeft nu wat zijn insluitsels betreft hetzelfde beeld te zien als de zirkoonkristallen van het zuivere liparietgebied. De foto's 16 t/m 18 geven hiervan een beeld.

UIT DE LITERATUUR.

In *Mining Journal* van 24 Augustus komt een artikel voor uit Penang over het oude Chineesche bijgeloof met betrekking tot den tinmijnbouw aldaar. Sommige der daarop berustende gewoonten zijn of waren ook in onze Indische mijnbedrijven bekend.

De gebruiken zijn voornamelijk gebaseerd op de overtuiging, dat het tinerts leeft en groeit, een opvatting, welke trouwens ook in Cornwall en elders wordt aangetroffen. Verder is het overgevoelig en gauw op de teentjes getrapt en moet alles achterwege gelaten worden,

Gaat men nog verder naar het Zuiden toe, dan neemt de hoeveelheid zirkoon-orthiet van liparietischen oorsprong af. Zoo konden wij in grondpreparaten uit de omgeving van Rantaukasai in het Bengkalissche nog wel wat liparietische zirkoon vinden, doch enkel met zeer veel moeite (gebruik van groote hoeveelheid „zwarte” fractie) liparietische orthiet. De hoeveelheid tertiaire zirkoon (dof kristal met afgeronde hoeken) treedt in deze preparaten meer op den voorgrond, zooals op foto 19 duidelijk te zien is.

De hoeveelheid aangetroffen liparietische zirkoon en orthiet behoeft echter niet altijd samen te hangen met den afstand tot het middelpunt van de liparietformatie, i.c. het Toba-meer. Immers de hoeveelheid neergekomen liparietische tuf (asch) en ook de sterkte van de erosie zijn bij alle gronden niet overal hetzelfde geweest. Zoo worden in de Padang-Lawas-vlakte welke even voor Kota-Pinang ligt, haast geen liparietische zirkoon en orthiet gevonden. De oorzaak hiervan is, dat in deze vlakte, waar veel alang-alang staat, telkens groote branden hebben plaats gehad (te zien aan de karakteristieke diepzwarte kleur van de bovenlaag van den grond, hetgeen veroorzaakt wordt door verkoolde plantendeeltjes), waardoor de slagregens meer vat hebben gehad op het oorspronkelijk ook op deze vlakte gelegen liparietdek.

Tenslotte zij hier nog vermeld, dat de lipariettuf ook als gevolg van voormalige (en ook huidige) solfataren-werking sterk verweerd kan zijn.

Zoo troffen wij aan het Toba-meer bij Hoeta Gindjang liparietische tuf aan, die bij mineralogisch onderzoek in de „zwarte” fractie niets anders opleverde dan zirkoon en orthietkristallen. Foto 21 geeft hiervan een beeld.

Zooals op de microfoto van de „zwarte” fractie van deze tuf te zien is, verschilt dit beeld weinig van dat van de sterk verweerde semi-subhydrische „gele” gronden uit de vlakte en van dat van de „gele” gronden langs de rivieren. Het toont ook thans weer duidelijk aan dat zirkoon en in wat mindere mate orthiet, zeer moeilijk verweerbaar zijn. Van de overige liparietmineralen uit de „zwarte” fractie, zooals erts, amphibool en hyperstheen, was in deze tuf practisch niets meer aanwezig. In de „lichte” fractie van de Hoeta Gindjang-lipariettuf vonden wij enkel het zeer moeilijk verweerbare mineraal kwarts, hetwelk bovendien nog sterk was aangetast (veel luchtholten).

wat het schuw en verschrikt kan maken, daar dit een rustigen groei in den weg staat. Zoo mogen bepaalde woorden, die het begrip snijden en doden aangeven in de mijn niet worden gebezigd; ook moeten wapens verborgen blijven, anders zal het tin vluchten naar een veiliger oord. Ook sommige dieren als olifant en buffel mogen niet worden genoemd en evenmin mag gesproken worden van slangen en duizendpooten, uit angst dat het erts de snelverdwindende eigenschappen van deze dieren zou overnemen. Een minachtende uitlating over de mijnen

en wat daaraan verband houdt, zou als een beleediging opgevat worden en dient daarom te worden vermeden; zoo mogen bijv. geen aanmerkingen gemaakt worden op een teveel of tekort aan water. Van sommige der gebruiken kan worden aangenomen, dat zij een hygiënische achtergrond hebben of wel de veiligheid beoogen.

*

In de laatste jaren wordt in wetenschappelijke en technische publicaties meermalen melding gemaakt van twee apparaten voor de behandeling van zeer fijn materiaal: de „Infrasizer” en de „Superpanner”. In het bovengenoemde nummer van *Mining Journal* wordt een beschrijving van de nieuwste uitvoering dezer apparaten gegeven.

De infrasizer is een luchtscheider en bestaat uit een serie van zes vaten, waarvan één cilindrisch en zes conisch, met een diameterverhouding van $\sqrt{2}$ als in de Tylerreeks. Tijdens de behandeling wordt het stel vaten ongeveer $80 \times$ per minuut eenige mm opgeheven en losgelaten ter voorkoming van accumulatie van materiaal aan de wanden.

Te Lake Shore (Canada) is het standaard gebruik om monsters van 100 gram gedurende 80 minuten te behandelen en die van 400 gram gedurende $3\frac{1}{2}$ uur. Zeven fracties worden verkregen en beweerd wordt, dat er griezelig (uncanny) accurate resultaten met den Infrasizer worden verkregen.

De Superpanner dient, zooals de naam reeds aangeeft, voor scheiding van mineralen naar soortelijk gewicht. Het is een doelmatig ondersteunde waschpan van bepaalden vorm en een mechanisme, dat vele instellingen mogelijk maakt van helling, intensiteit van den stoot, lengte en aantal der slagen, de mate der zijdelingsche beweging, de hoeveelheid en de diepte van het waschwater. Het lijkt gecompliceerd, maar de practijk wijst uit, dat de veranderingen gemakkelijk en precies kunnen worden bewerkstelligd. De Superpanner wordt in Canada gebruikt voor afscheiding van kleine hoeveelheden goud of goudtelluride van pyriet, en sulfiden van ganggesteente. Ook wordt het instrument wel gebezigd voor het onderzoek van tailings.

*

Volgens een Sovjetrapport is in Rusland een eenvoudige methode ontwikkeld voor de vervaardiging van nikkelstaalsoorten door rechtstreeksche versmelting van nikkelhoudende ijzerertsen. Normaal worden deze staalsoorten vervaardigd door toevoeging van nikkel aan het gesmolten staal. Het procédé heet aanmerkelijk goedkooper te zijn en groote economische waarde te bezitten.

*

In *Mining Journal* van 31 Augustus beschrijft een Japansche correspondent de kolenpositie in dat land. Hoewel de kolenimport minder dan 10% bedraagt van de totale kolenconsumptie, zou de zich snel ontwikkelende ijzer- en staalindustrie absoluut onmogelijk zijn, indien deze invoer zou komen te vervallen. Het tekort zou n.l. niet kunnen worden goedge maakt door verhooging van eigen productie, aangezien er slechts enkele velden zijn, waarvan de kolen geschikt zijn voor de bereiding van cokes ten behoeve van de hoogovens, en zelfs deze moeten nog gemengd worden met typische cokeskool, waarvan Japan niets heeft.

Het vorige jaar importeerde Japan 3 795 000 ton, waarvan 2 434 000 ton uit China, welke vermoedelijk alle voor de cokesbereiding hebben gediend. De meeste kolen van China zijn gekarakteriseerd door een laag gehalte aan vluchtige bestanddeelen en zwavel en een hoog percentage vaste koolstof. Als voorbeeld worden eenige analysecijfers gegeven:

Mijn	Vocht	Vluchtige bestanddeelen	Asch	Vaste	S
Posha	0,75	21,90	8,81	68,54	0,60
Kaiping	1,03	31,22	9,63	57,12	1,27
Chungsing	0,92	27,57	11,47	60,04	0,75
Huapao	3,47	30,78	14,09	51,66	0,62
Tsinging	0,92	21,91	16,77	60,40	1,35

*

R. J. Anderson D. Sc. wijdt in hetzelfde tijdschrift een artikel aan den prijs van aluminium in vergelijking met dien van andere metalen. Een markant punt van de aluminium-economie der laatste 15 jaren is wel geweest de geprononceerde dalende tendens van den prijs, zoowel voor het ruwe metaal als van het afgewerkte product. Zooals te verwachten heeft dit geleid tot een aanzienlijke verbetering van de afzetmogelijkheid en een opvallende verhooging van de aanwending, ten opzichte van de concurrerende metalen, zoowel in het algemeen als voor bijzondere doeleinden.

Oorlog en oorlogsvoorbereiding hebben het verbruik weer op enorme wijze gestimuleerd, evenwel zonder dat dit zich heeft weerspiegeld in prijsstijging. Wel is waar werd sinds den oorlog de prijs van aluminiumingots in Engeland en Frankrijk belangrijk verhoogd, maar dit werd voor drie vierde veroorzaakt door inflatie en devaluatie.

De basisprijs in de Vereenigde Staten werd niettegenstaande de sterke vraag tot tweemaal toe verlaagd. De eerste verlaging, die door de Aluminum Company in Maart werd aangekondigd kwam op 5% neer en de tweede op 1 Augustus eveneens, zoodat de totale prijsvermindering 10% is.

Onder de factoren, die de prijsdaling hebben bewerkstelligd, zijn de voornaamste:

- 1e. de verkoopspolitiek van het kartel en de belangrijkste onafhankelijke producenten;
- 2e. de zeer verhoogde capaciteit van de productie;
- 3e. de verlaging van de productiekosten;
- 4e. de concurrentie met vervangbare metalen en materialen;
- 5e. de druk van scrap en secundair metaal op de markt.

Zou de oorlog van langen duur zijn, dan is het niet onmogelijk, dat als gevolg van de aanhoudende groote vraag voor militaire doeleinden de prijs zal stijgen. In den vorigen wereldoorlog werden zeer hooge prijzen voor direct leverbaar metaal betaald, voordat de regeeringen controleerend ingrepen. Onder de huidige omstandigheden lijkt evenwel een „run-away market” niet waarschijnlijk, daar de oorlogvoerenden thans alle groote producenten zijn en vermoedelijk niet tekort zullen komen.

Vergelijken we de prijzen van aluminium en de voor naamste „non ferrous” metalen, dan zien we, dat in de periode 1901 t/m 1905, de gemiddelde prijzen voor Al, Cu, Pb, Sn en Zn respectievelijk bedragen 33,80; 13,89; 4,33; 28,19 en 5,05 cents per lb. en voor de vijfjarige periode 1935 t/m 1939 waren de overeenkomstige prijzen 20,22; 10,45; 4,92; 48,76 en 5,09 cents. In laatstgenoemde periode was dus de prijs van Al 40% lager, van Cu 25% lager, van Pb 14% hoger, van Sn 73% en van Zn 0,8% hoger.

De prijs van metalen wordt als regel bepaald per eenheid van gewicht, waardoor evenwel een onjuisten indruk wordt gegeven bij de kostenvergelijking van lichte en zware metalen. Beter zouden zij vergelijkbaar zijn per eenheid van volumen.

Stellen we op deze basis de beide bovengenoemde periodes naast elkaar, dan zien we voor 1901 t/m 1905: \$ 56,97; 77,16; 30,82; 128,12 en 22,36 per cu ft. en voor 1935 t/m 1939: \$ 34,17; 58,10; 35,03; 221,86 en 22,55 per cu ft.

Bij een prijs van 19 cents per lb. voor aluminium, zou de concurrerende prijs van de andere metalen op basis van volumen gerekend 5,8 cent voor koper, 4,5 cent voor lood, 7,1 cent voor tin en 7,2 cent voor zink zijn.

*

In *Engineering & Mining Journal* van Juli '40 wordt een beschrijving gegeven van de toepassing van de z.g. Differential Density Separation voor zinkertsen. De scheiding geschiedt door middel van een medium van hoog s.g., in casu fijne galeniet gesuspendeerd in water, waarop het ganggesteente drijft en waarin het erts zinkt. Aanwezigheid van fijn ertsmateriaal is ongewenscht, omdat dit het s.g. van de middenstof verlaagt en de fysische eigenschappen ervan, met name de viscositeit, en daarmee het scheidend vermogen, ongunstig beïnvloedt.

De scheiding geschiedt in een kegelvormig vat gevuld met de middenstof. De tailing vloeit met een groote hoeveelheid van het medium over den rand. Op een tweetal trilzeven wordt het medium teruggewonnen en na zuive-

ring weer in het circuit teruggevoerd. De ertskorrels zinken en worden door een centrale airlift uit het vat verwijderd en evenals de tailings ontdaan van de meegevoerde middenstof op twee trilzeven. Het erts is een loodvrije sfaleriet in hoofdzakelijk dolomitisch gesteente. Het gebroken erts wordt gescheiden in een product $< \frac{3}{8}''$, dat in jigs en door flotatie wordt geconcentreerd; en een grof product $> \frac{3}{8}''$, waarop de beschreven methode van scheiding wordt toegepast. De concentraten van deze scheiding worden vervolgens nog in jigs nabehandeld.

De dichtheid van het medium varieert van 2,80 boven in het vat tot 2,95 op den bodem. Het soortelijk gewicht der tailings bedraagt circa 2,80 en dat der concentraten 3,00.

Hinderlijke colloïden worden verwijderd door toevoeging van trinitriumfosfaat, waardoor aan het water een pH van 9,5 wordt gegeven. Als verwerkingskosten worden opgegeven:

voor arbeid	1,25
„ kracht	0,8
„ galeniet	6,—
„ onderhoud	1,—
„ diversen	2,—

11,05 dollarcenten,

hetgeen te verminderen met de waarde van te fijn verdeelde galeniet, die wordt teruggewonnen d.i. 3 cent, dus netto 11,05 — 3 = 8,05 cents per ton erts.

Het economisch voordeel van het procédé is hierin gelegen, dat een grooter aantal tonnen met minder menschen, grooter rendement en lager krachtverbruik kan worden verwerkt, terwijl een grofkorrelig tailingproduct wordt verkregen, waarvoor een goede markt is.

Bij de gevolgde methode wordt 52 — 63% van het steriele materiaal verwijderd na het breken tot $1\frac{1}{2}''$. Vermeld wordt dat het rendement 93,27% bedraagt bij een gehalte van 2,89% van het erts.

Ir. A. van Hoek.

ECONOMISCHE MEDEDEELINGEN.

Mijnbouw Maatschappij Simau.

Gedurende de maand Februari 1941 werden:
6992 tons erts verwerkt { 7,5 dwts goud per ton en
van gemiddeld { 94,— „ zilver „ „

Geëxtraheerd werden:
totaal ca 2451 ozs. goud en ca 30039 ozs. zilver, ter
gezamenlijke waarde van ca f 167 500,—.

Bovenstaande taxatie is gebaseerd op een prijs van f 61,— per oz. voor het goud en f 0,60 per oz. voor het zilver.

De bedrijfskosten over Februari j.l. bedroegen ca f 112 000,— terwijl voor montage werd uitgegeven ca f 5 000,— en voor prospecteeren ca f 1 500,—.

Mijnbouw Maatschappij Zuid Bantam.

Gedurende de maand Februari 1941 werden:
5324 tons erts verwerkt { 11,3 gram goud per ton.
van gemiddeld { 715,— „ zilver „ „

Geëxtraheerd werden:
totaal ca 53 985,— g goud en ca 3 209 935,— g zilver ter
gezamenlijke waarde van ca f 166 259,51.

Bovenstaande taxatie is gebaseerd op een prijs van f 1950,— per kg voor het goud en f 19,— per kg voor het zilver.

De bedrijfskosten over Februari j.l. bedroegen ca f 82 775,73 terwijl voor montage werd uitgegeven ca f 6 751,92 en ten laste van het 5a-vergunningsterrein ca f 2 259,50.

Gedurende de periode van 9-3-1941 t/m 15-3-1941 werden 1500 tons erts verwerkt van gemiddeld 13,— gram goud en 800,— gram zilver per ton.

Gedurende de periode van 16-3-1941 t/m 22-3-1941 werden 1200 tons erts verwerkt van gemiddeld 14,— gram goud en 800,— gram zilver per ton.

Gedurende de periode van 23-3-1941 t/m 29-3-1941 werden 1350 tons erts verwerkt van gemiddeld 12,— gram goud en 600,— gram zilver per ton.

Gedurende de periode van 30-3-1941 t/m 5-4-1941 werden 1270 tons erts verwerkt van gemiddeld 9,— gram goud en 600,— gram zilver per ton erts.

DE INGENIEUR
IN NEDERLANDSCH-INDIË

V. VERKEERSWEZEN.

INHOUD: Grond-stabilisatie beschouwd uit fysisch-chemisch standpunt, door ir. L. Meulemans.

Grond-stabilisatie beschouwd uit fysisch-chemisch standpunt

door

ir. L. MEULEMANS,

Scheikundig-ingenieur bij de N.-I. Wegenvereniging.

II. BODEMVORMING EN GRONDTYPEN.

(Vervolg).

3. De kleifracties en kleimineralen.

Reeds in 1874 heeft Schlösing aangetoond, dat grond een hooger of lager gehalte aan z.g. *colloïde* bestanddeelen bevatten kan. Het zijn de deeltjes, wier afmetingen tusschen 0,1 en 0,01 μ gelegen zijn en die bij de slibanalyse het langst in gedispergeerden toestand blijven om ten slotte in de Xe fractie terecht te komen. Hieruit volgt, dat het niet noodzakelijk is, dat de geheele z.g. kleifractie van Mohr tot de *echte* colloïden behoort. Waar echter ook de deeltjes van 0,5 — 0,1 μ nog zwak colloïdale eigenschappen bezitten, wordt over het algemeen aangenomen, dat alle stoffen van de Xe fractie, — dus alle deeltjes kleiner dan 0,5 μ , colloïdaal van natuur zijn.

De *bodem-colloïden* ontstaan zoowel door verweering der mineralen als door ontleding van organische stoffen, in verband waarmede dan ook onderscheid gemaakt wordt in anorganische (of minerale) en organische (of humus-) colloïden. In waterige suspensie of *sol*-toestand vertoonen zij alle voor colloïden in het algemeen zoo karakteristieke eigenschappen. Zooals bekend, omvatten deze o.m.:

- a. de Brownsche beweging;
- b. een elektrische lading, en
- c. coagulatie- en peptisatie-verschijnselen.

De Brownsche beweging wordt veroorzaakt door de warmtebeweging van de omringende moleculen van het dispersie-medium, d.w.z. door de stooten, die de gedispergeerde deeltjes van deze moleculen telkens ondervinden.

Ondanks de Brownsche beweging, welke slechts met het ultra-microscop is waar te nemen, vereenigen de deeltjes zich niet, omdat zij alle een gelijksoortige — en wel een *negatieve* — (wand)lading hebben. Het dispersiemiddel zelf heeft dan in een onmiddellijk aan elk deeltje grenzend laagje de tegenstelde lading: de colloïdale oplossing toch is naar buiten electrisch neutraal. Wandlading en tegenlading vormen tezamen een z.g. *electrische dubbellaag* (dif-

fuse dubbellaag van Gouy), die de zetel is van een potentiaal-verschil, waarin in het bijzonder de (electrische) eigenschappen der colloïden hun oorsprong vinden. Het is nog steeds niet duidelijk, waardoor en hoe de dubbellaag in elk bijzonder geval tot stand komt en door welke wetten de vorming ervan beheerscht wordt. De veronderstelling, dat ook *eigen* ionen van het wandmateriaal potentiaal-bepalend kunnen zijn, schijnt in vele gevallen wel aannemelijk.

Hoe het ook zij, door de negatieve lading der kleideeltjes zullen toegevoegde *kationen* die in de dubbellaag aanwezige „electrokinetische potentiaal” zoodanig verlagen, dat de colloïdale klei-oplossing niet meer stabiel is. Bij de „kritische potentiaal”, die voor ieder colloïd verschillend is, doch geenszins een nul-waarde behoeft te hebben, is alle bestaansmogelijkheid aan de klei-suspensie ontnomen. Het sol vlokt uit of *coaguleert*. De neergeslagen deeltjes vormen een min of meer poreuze massa, waartusschen zich overal water bevindt. Men zegt dan, dat het colloïd van den *sol*- in den *gel*-toestand is overgegaan.

Het uitvlokkend vermogen der verschillende kationen, dat uitgedrukt wordt in de electrolyt-concentratie, welke juist in staat is het colloïd na een bepaalden tijd volkomen neer te slaan, is intusschen niet gelijk en neemt over het algemeen toe met de valentie. Driewaardige kationen (bijv. Al en La) hebben een grootere uitvlokkende kracht dan tweewaardige (bijv. Ca en Ba) en deze weer een sterkere dan éénwaardige (Na, K en NH_4). Waterstof neemt echter een uitzonderlijke positie in, daar uit onderzoekingen van Jenny en Reitemeier gebleken is, dat haar uitvlokkend vermogen in vele gevallen minstens gelijk is aan dat van een tweewaardig kation. Colloïdale klei-oplossingen kunnen reeds door toevoeging van zeer geringe hoeveelheden sterk zuur als bijv. HCl volledig worden uitgevlokt.

Wordt het water, waarin de colloïde gronddeeltjes gecoaguleerd zijn, zoolang ververscht tot de concentratie van de waterstof-ionen gelijk geworden is aan

die van zuiver water, dan gaan de neergeslagen deeltjes weer in suspensie. Dit kan eveneens worden bereikt door aan de zure vloeistof zooveel alkali of alkali-carbonaten toe te voegen, tot de concentratie der hydroxyl-ionen belangrijk hooger geworden is dan die der waterstof-ionen. Dit verschijnsel noemt men *peptisatie* en daar de klei-deeltjes negatief geladen zijn, wordt daarbij het hydroxyl-ion als het peptiserende ion beschouwd.

Tot één der belangrijkste sol-eigenschappen, welke ten nauwste met het bestaan eener electrische dubbellaag verband houden, moet ongetwijfeld die der *uitwisseling van tegen-ionen* worden gerekend. Dit verschijnsel komt hierop neer, dat bijv. bij toevoeging van een electrolyt aan een negatief geladen sol, het niet-potentiaalbepalend kation in de grenslaag door dat van de oplossing verdrongen wordt en in de vloeistof overgaat. Doordat het hier geen concentratieverandering, doch slechts een verandering van bouwsteenen van de dubbellaag betreft en dus ook geen nieuwe ordening van ionen in de grenslaag en geen nieuwe potentiaalsprong veroorzaakt, wordt het verdeelings-evenwicht van het potentiaalbepalend electrolyt in de dubbellaag niet verstoord.

Ion-uitwisseling is een veelvuldig voorkomend verschijnsel, dat omkeerbaar is en leidt tot eindtoestanden, die van twee zijden bereikbaar zijn. Het onderscheidt zich phenomenologisch van de zuivere adsorptie daardoor, dat het niet de bekende adsorptie-isotherm van Freundlich volgt, doch aan geheel eigen wetmatigheden gehoorzaamt.

Ook bij grond komen de voor een deel in het grensvlak van de kleideeltjes gebonden kationen in uitwisselbaren toestand voor. Reeds in 1850 ontdekte Way, dat een met Ca verzadigde grond door toevoeging van Na-ionen kan worden omgezet in een Na-verzadigde grond en dat omgekeerd een Na-grond door behandeling met Ca-ionen weer met Ca kan worden verzadigd. Uit bodemkundig oogpunt acht men deze eigenschap van groot belang in verband met den invloed, dien volgens Gedroiz de uitwisselbare kationen op het fysisch gedrag van den grond hebben. Verschillende onderzoekers hebben n.l. op de omstandigheid gewezen, dat Na-bezette gronden hydrophiel (water-, „minnend”) en daardoor kleverig (slempig) zijn, terwijl daarentegen van voldoende Ca voorziene gronden hydrophoob (water-, „vreezend”) zijn en een z.g. kruimelstructuur hebben, hetgeen wezenlijke voordeelen, vooral inzake grondbewerking en verbetering met zich mede brengt. Dit moge binnen één grondtype waarschijnlijk wel het geval zijn, het voortgezette onderzoek leerde echter, dat bij vergelijking van meerdere grondtypen nog andere belangrijke factoren een rol blijken te spelen.

De som van de hoeveelheid uitwisselbare kationen, uitgedrukt in milli-aequivalenten per 100 gram drogen grond, wordt *adsorptie-capaciteit* of *T-waarde* van den grond genoemd. Tot de voornaamste uitwisselbare kationen behooren: calcium, magnesium, kalium, natrium, ammonium en waterstof. Aluminium en ijzer zijn niet uitwisselbaar, òf doordat zij niet in het buitenbelegsel van de dubbellaag voorkomen, òf doordat zij buitengewoon stevig worden vastgehouden. Behalve van het klei-percentages is de T-waarde nog in

hooge mate afhankelijk van de *chemische samenstelling* van de fijnste fracties en den *zuurgraad* (pH) *van het milieu*, waarin de uitwisseling plaats vindt.

In 1926 konden Anderson en Mattson bij gronden uit gematigde streken een positieve correlatie vaststellen tusschen de adsorptie-capaciteit en de verhouding $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3}$ (uitgedrukt in moleculaire hoeveelheden).

Bij een hoog kiezelzuur- en een relatief laag aluminium- en ijzergehalte, is de T-waarde hoog, terwijl bij afnemende kiezelzuur-sesquioxyden-verhouding, de adsorptie-capaciteit daalt.

Nog maar enkele jaren geleden is door Hardon op het Bodemkundig Instituut te Buitenzorg nagegaan of deze correlatie ook voor gronden uit tropische gewesten kon worden aangetoond. Daartoe werden van een aantal typische vertegenwoordigers van de hier te lande meest voorkomende grondtypen, n.l. de mergelgronden en de lixivia, de totaal-analyse van de fracties kleiner dan 2μ verricht²⁾, daaruit de molec. kiezelzuur-sesquioxyden-verhoudingen berekend en de T-waarden volgens de methode Schollenberger bepaald.

Uit dit onderzoek blijkt in de eerste plaats, dat de mergelgronden, ondanks hun slechte fysische eigenschappen, veel Ca (ruim 60 m.aeq.) en Mg gebonden houden, terwijl de lixivia arm (meestal minder dan 10 m.aeq.) aan deze kationen zijn. Hieruit is derhalve te concluderen, dat het verschil in fysisch gedrag dezer beide grondtypen niet kan worden verklaard uit de hoeveelheid en den aard der in de adsorptielaaag voorkomende kationen.

Het groote verschil in eigenschappen, dat tusschen de twee grondtypen bestaat, demonstreert zich echter duidelijk, indien de verkregen T-waarden in verband met de chemische samenstelling van de fractie kleiner dan 2μ worden gezien. Alle bij het onderzoek betrokken lixivia vertoonen n.l. T-waarden van 10 tot 20 m.aeq. en kiezelzuur-sesquioxyden-verhoudingen tusschen 1,5 en 1,9. Voor de mergelgronden liggen deze waarden belangrijk hooger; terwijl de T-waarden zich hierbij tusschen 50 en 90 m.aeq. bewegen, bedragen de kiezelzuur-sesquioxyden-verhoudingen steeds meer dan 2,5.

Dus ook voor de beide tropische hoofd-grondtypen geldt, dat hoe hooger het relatieve SiO_2 -gehalte is, hoe grooter de adsorptie-capaciteit.

Over den invloed, dien de pH van de uitwisselingsvloeistof op de T-waarde heeft, zijn gegevens beschikbaar uit onderzoekingen van Kelley en Brown, Tjulin en Bystrova en wat de mergel- en laterietgronden betreft, uit die van Hardon. Uit deze onderzoekingen blijkt, dat met toeneming van de pH, — dus met grooter wordende OH-ionen-concentratie —, de adsorptie-capaciteit over het algemeen stijgt. Bär en Tendeloo stellen zich nu voor, dat verhooging der T-waarde een gevolg is van directe adsorptie van OH-ionen uit de vloeistof, waardoor de negatieve lading van het bodemdeeltje toeneemt. Indien deze veronderstelling juist is, moet er volgens Kruyt en Verwey een rechtlijnig verband tusschen pH en T-waarde bestaan.

2) Gebleken is, dat de fracties IX en X nagenoeg dezelfde chemische samenstelling bezitten.

Bij grafische uitzetting van de T-waarden als ordinaat tegen de pH van de percolatie-vloeistof als abscis, vond H a r d o n bij de twee bovenaangehaalde grondtypen een sterk uitgesproken verschil in het verloop der curven. Bij de lixivia heeft er inderdaad tusschen $pH = 4$ en $pH = 10$ een nagenoeg rechtlijnige stijging van de T-waarden plaats; de curven der mergelgronden vertoonen echter boven $pH = 6$ een bijna evenwijdig verloop aan de X-as. Dit beteekent dus, dat er bij de mergelgronden niet in die mate sprake is van een ladings-toeneming door primaire adsorptie van OH-ionen als bij de laterietgronden; waarschijnlijk heeft het mergeldeeltje reeds een zoodanige ladings-dichtheid, dat daardoor de toegang voor de OH-ionen versperd is.

Uit de chemische samenstelling van de fijnste fracties is dus te concluderen, dat de wand van het bodemdeeltje uit silicaat- en sesquioxyde-groepen is opgebouwd. Aangezien de mergelgronden een hoog relatief SiO_2 -gehalte en ook een zeer hoge adsorptie-capaciteit bezitten, kunnen de silicaat-groepen aansprakelijk worden gesteld voor de directe uitwisseling van kationen. Daarentegen is uit de lage T-waarden bij de lixivia als gevolg van een betrekkelijk hoog gehalte aan sesquioxyden en de nagenoeg rechtlijnige stijging der T-waarden bij toenemende pH te besluiten, dat adsorptie van OH-ionen aan de sesquioxyden moet worden toegeschreven.

Is met het bovenstaande eenigermate een verklaring gegeven voor het verschil in gedrag der beide tropische hoofd-grondtypen, eerst het in 1930 door H e n d r i c k en F r y ingevoerde röntgenografisch onderzoek der fijnste fracties (kleiner dan 2μ) verschafte beter inzicht in deze materie.

De röntgenografische analyse-methode is gebaseerd op het feit, dat ieder kristal een eigen karakteristieke structuur heeft, hetgeen zeggen wil, dat de aan den opbouw deelnemende atomen volgens een bepaald schema zijn gerangschikt. Het is nu de groote verdienste van v o n L a u e geweest om er op te wijzen, dat X-stralen in een kristalplaatje aanleiding geven tot eigenaardige buigings-verschijnselen. In 1917 hebben D e b i j e en S c h e r r e r de ontdekking van v o n L a u e tot een methode uitgewerkt, waarbij zeer bepaalde interferentie-figuren verkregen worden, welke een conclusie omtrent kristalvorm en aard der stof mogelijk maken.

Dank zij de talrijke onderzoekingen, welke in de laatste jaren volgens bovenstaande methode ter zake zijn verricht is thans definitief gebleken, dat de fijnere bestanddeelen van den grond niet uit amorfe, doch uit goed gedefinieerde *kristallijne* componenten bestaan. Deze z.g. *kleimineralen* zijn alle kiezelzuur-aluminium-verbindingen van glimmerachtige structuur, waarvan met betrekking tot hun voorkomen in de Indische grondsoorten de voornaamste representanten zijn:

kaolinite $= Al_2O_3 \cdot 2 SiO_2 \cdot 2 H_2O$.

halloysiet $= Al_2O_3 \cdot 2 SiO_2 \cdot 4 H_2O$.

montmorilloniet $= Al_2O_3 \cdot 4 SiO_2 \cdot H_2O \cdot n H_2O$.

Kaolinite vormt het hoofdbestanddeel van kaolien, de grondstof der keramische industrie. Het heeft een nagenoeg volkomen inactief oppervlak en in verband

daarmede een gering uitwisselend vermogen. Afhankelijk van de zuiverheid bedraagt zijn adsorptie-capaciteit onder normale omstandigheden niet meer dan enkele m.aeq. per 100 g $< 2\mu$. In alkalisch milieu echter kan deze capaciteit tot ruim $4 \times$ haar oorspronkelijk bedrag toenemen.

Bij verhitting tot $150^\circ C$ verliest kaolinite ongeveer 4% van zijn gewicht aan vocht. Dit is het z.g. los- of adsorptief-gebonden water. Eerst boven $400^\circ C$ (met een maximum bij $\pm 450^\circ C$) heeft de grootste dehydratatie plaats door uittreding der in het rooster aanwezige OH-ionen als z.g. *kristalrooster*-water. Het röntgenbeeld van het op deze hoge temperatuur ontwaterde mineraal vertoont dan geen interferenties meer.

Halloysiet heeft, mits niet boven $50^\circ C$ verhit, een matig adsorptie-vermogen. Boven $50^\circ C$ verliest het 2 mol. H_2O om dan als *meta-halloysiet* structureel kaolinite zeer nabij te komen, waarbij dan het adsorptie-vermogen niet onbelangrijk zou moeten terugloopen.

In tegenstelling met de beide voorgaande mineralen bezit montmorilloniet een zeer sterk adsorptie-vermogen. Aan deze eigenschap ontleent bentoniet, dat grootendeels uit dit mineraal bestaat, dan ook zijn waarde als zuiverings- (ontkleurings-)middel. Montmorilloniet verliest reeds beneden $150^\circ C$ het grootste gedeelte van zijn vocht, n.l. ongeveer 15 gew. %, terwijl de hoeveelheid water, die boven $400^\circ C$ nog extra ontwijkt (eveneens met een maximum bij $\pm 450^\circ C$) belangrijk geringer is dan die bij kaolinite. Verder is het mineraal gekenmerkt door zijn vermogen om bij vochtname tot $3 \times$ het oorspronkelijke volume uit te zetten en een extreem glibberige massa te vormen. Omgekeerd krimpt het materiaal bij droging zoo sterk, dat daarbij breede, diepe scheuren ontstaan.

Het valt buiten het bestek van dit overzicht om diep op de kristallografische structuur dezer mineralen in te gaan. Volstaan worde hier met er op te wijzen, dat de kleimineralen zijn opgebouwd uit platte „pakketten” ionen, welke als volgt zijn gerangschikt.

	Kaolinite	Halloysiet	Montmorilloniet
1 pakket	6 OH	6 OH	6 O
	4 Al	4 Al	4 Si
	4 O + 2 OH	6 OH	4 O + 2 OH
	4 Si		4 Al
	6 O	4 OH	4 O + 2 OH
		4 Si	4 Si
		6 O	6 O

Uit bovenstaande configuraties blijkt in de eerste plaats, dat de kleimineralen zijn opgebouwd uit Si- en Al-lagen, welke al dan niet door middel van hoofdvalenties, die van O-ionen uitgaan, met elkander in verbinding staan. Daarnaast worden zij aan de boven- en onderzijde door volkomen inactieve O- en OH-vlakken begrensd. Het gevolg hiervan is, dat aan deze eindvlakken geen water-adsorptie en ook geen uitwisseling plaats kan hebben. Aangezien watermoleculen steeds een dipool dragen, is voor het adsorberen (oriënteren) daarvan de aanwezigheid van een electrisch veld — hetzij positief dan wel negatief — noodzakelijk. Verzadiging van uitwisselbare kationen

is slechts mogelijk, wanneer negatieve valenties beschikbaar zijn.

Bij kaoliniet worden aan deze voorwaarden alleen door de zijwanden van de pakketten voldaan, waar door verbreking van het kristalrooster zoowel negatieve (O-)ionen als positieve (Si- of Al-)ionen in onverzadigde toestand kunnen voorkomen. Daar deze randvlakken slechts een gering percentage van de totale oppervlakte der plaatachtige lichamen uitmaken, is hiermede de lage adsorptie-capaciteit van dit mineraal te verklaren.

Wezenlijk anders is de interne bouw van halloysiet. Hier bezitten de Si- en Al-lagen geen gemeenschappelijke hoofdvalenties. Bovendien hebben de Si-lagen de samenstelling $\text{Si}_2\text{O}_3(\text{OH})_2$, hetgeen neerkomt op een vervanging van twee zuurstof-ionen in Si-tetraëderverband door OH-ionen. Edelman is nu van meening, dat door de binding van OH-ionen aan Si, deze laag zich als een zuur zal gedragen, waarbij de H-ionen tegen andere kationen uitwisselbaar zijn. Halloysiet zou dan meer basen moeten kunnen binden dan kaoliniet. De hypothese van Edelman moet echter nog door nader onderzoek ter zake worden bevestigd.

Door verhitting boven 50°C gaat halloysiet onder afgifte van water in meta-halloysiet over. Dit ontwikkende water ontstaat uit OH-ionen van het kristalrooster. Daarbij komen zuurstof-ionen — dus hoofdvalenties — vrij, die een verbinding tusschen de respectievelijke lagen tot stand kunnen brengen. Daar door deze condensatie meta-halloysiet een structuur verkrijgt, welke veel overeenkomst met die van kaoliniet vertoont, zou de adsorptie-capaciteit t.o.v. halloysiet geringer moeten worden. De enkele gegevens, die thans ter beschikking staan, laten echter te dien aanzien nog geen conclusies in positieven zin toe.

In de door Hofmann opgestelde structuur van montmorilloniet is een Al-laag aan weerszijden door Si-lagen omgeven. Deze drie lagen zijn door hoofdvalenties met elkander verbonden.

Indien de boven t.a.v. kaoliniet en halloysiet ontwikkelde zienswijze juist is, moet volgens Edelman aan een dergelijke configuratie voor montmorilloniet getwijfeld worden, daar immers de lagen door inactieve oppervlakken worden begrensd, zoodat niet begrepen kan worden, waaraan het mineraal zijn hooge adsorptie-capaciteit te danken heeft.

Een andere moeilijkheid biedt het door Hofmann zelf geconstateerde verschijnsel van de enorme zwelling van montmorilloniet bij bevochtiging. Röntgenografisch is n.l. vastgesteld, dat bij het luchtdroge mineraal de afstand tusschen de pakketten circa $8\text{ \AA}$ en de interlamellaire afstand, d.i. die tusschen twee overeenkomstige ionen-vlakken, $14\text{ \AA}^3$ bedraagt. Afhankelijk van den aard der uitwisselbare kationen kan door opname van z.g. *planair* water ($n\text{ H}_2\text{O}$) in de ruimten tusschen de pakketten, de interlamellaire afstand tot meer dan $20\text{ \AA}$ aangroeien. Een dergelijk adsorptie-vermogen voor water vereischt echter een sterk polariseerend effect der binnenoppervlakken, hetgeen bezwaarlijk met de door Hofmann gegeven structuur van montmorilloniet in overeenstemming is te brengen.

Uit een en ander moge blijken, dat de theorie van de uitwisseling en die der water-adsorptie nog vele onvolmaaktheden bevatten en dat in het bijzonder een verdere ontwikkeling daarvan afstuit op een onvolgende kennis van de kristalstructuur der kleimineralen.

Zoowel het water, dat door de zijwanden der pakketten wordt vastgehouden (los-gebonden water) als het planaire water wordt *geadsorbeerd* water genoemd; het ontwijkt reeds practisch geheel bij verhitting tot 150°C .

Onder leiding van van Baren is men in 1939 op het Bodemkundig Instituut te Buitenzorg begonnen langs röntgenografischen weg de kleimineralen, welke in de voornaamste Indische grondtypen voorkomen, te identificeren. Uit de tot nu toe onderzochte praeparaten is in de eerste plaats gebleken, dat elk der grondtypen gekenmerkt is door een eigen kleimineraal.

Onafhankelijk van het moedergesteente waaruit zij ontstaan zijn, bevatten de *laterietgronden* hoofdzakelijk *kaoliniet*. Behalve door het röntgenogram wordt dit nog o.m. bevestigd door het matige adsorptie-vermogen zoowel van de *lixivia*-kleien als van het zuivere mineraal.

De moleculaire $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ -verhouding, die bij kaoliniet 2,0 bedraagt, ligt bij de onderzochte fracties iets hoger, n.l. tusschen 2,2 en 2,4. Het is niet onmogelijk, dat dit verschil veroorzaakt wordt door aanwezigheid van amorf kiezelzuur.

Ten aanzien van de dehydratatie is op te merken, dat bij de laterietische kleifracties, die uitsluitend kaoliniet bevatten, het waterverlies beneden 150°C niet meer dan 4% van de boven 50%-ig zwavelzuur gedroogde stof bedraagt. Evenals dit bij kaoliniet het geval is, heeft de grootste ontwatering pas boven 400°C plaats.

Bij de *mergelgronden* is röntgenografisch *montmorilloniet* als hoofdbestanddeel aangetoond. In overeenstemming hiermede zijn hun groot adsorptie-vermogen en de molec. $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ -verhouding der kleifracties van 3,4 — 3,8 welke laatste bij het zuivere mineraal volgens de opgestelde structuurformule 4,0 bedraagt. Hardon is van meening, dat dit verschil veroorzaakt zou kunnen zijn door het voorkomen van vrij Al-hydroxyde.

Voor het percentage kristalrooster-water werd echter bijna het dubbele van de theoretisch berekende hoeveelheid gevonden. Dit zou er op wijzen, dat in de onderzochte grondsoorten, montmorilloniet niet één, doch twee moleculen kristalrooster-water bevat, overeenkomende dus met de formule: $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{ SiO}_2 \cdot 2\text{ H}_2\text{O}$.

In de kleifracties van enkele *kalkgronden*, welke in de bruinroode variëteit in uiterlijk en chemische samenstelling veel, doch in physische eigenschappen weinig overeenkomst met de laterietgronden vertoonen, is *meta-halloysiet* aangetroffen. In verband met de omstandigheid, dat de klei-paerparaten voor het onderzoek bij 95°C waren gedroogd en dat meta-halloysiet reeds bij 50°C door waterafplitsing uit halloysiet kan ontstaan, blijft het nog een open vraag, welk mineraal — halloysiet dan wel meta-halloysiet

3) $1\text{ \AA} (\text{\AA ngstr\ddot om}) = 10^{-7}\text{ mm} = 0,0001\text{ }\mu = 0,1\text{ m }\mu$.

—, in den kalkgrond in situ aanwezig is. Hierover zal een nader onderzoek ter zake uitsluitsel moeten geven.

Ten slotte is er, wat de hooggebergtegronden betreft, nog slechts één specimen onderzocht. Ook hierbij werd als hoofdcomponent der kleifractie *metahalloysiet* gevonden en geen kaoliniet, zooals aanvankelijk verwacht werd.

Uit de thans ter beschikking staande gegevens kan echter reeds met vrij groote zekerheid worden gezegd, dat de groote verschillen in eigenschappen en samenstelling, welke tusschen de hier te lande voorkomende hoofd-grondtypen bestaan, veroorzaakt worden door het voorkomen van bepaalde kleimineralen als hoofdbestanddeel in de onderscheidene kleifracties.

4. De voor stabilisatie belangrijkste grondtypen.

Het classificeeren van den bodem, d.i. het indeelen der gronden in groepen is om verschillende redenen als een noodzakelijk onderdeel van de bodemkunde te beschouwen. Niet alleen om het zoo gewenschte overzicht over de groote verscheidenheid der specimen te verkrijgen, doch ook om de processen, die zich bij de verweering afspelen, in grooter en systematisch verband te kunnen zien.

De in 1931 door White bij de bodemkundige kaartteering van Java aangegeven indeeling is gebaseerd op de overweging, dat het steeds de mineralogisch-chemische, fysieke en biologische eigenschappen tezamen zijn, die agrogeologisch de waarde van een grond bepalen. Zoodra een of meer dezer eigenschappen uiteenloopen heeft men, al naar de afwijkingen essentieel dan wel graduëel zijn, met verschillende grondtypen resp. grondsoorten te maken.

Essentieel zijn bijv. de tusschen lateriet-, hooggebergte- en mergelgronden optredende verschillen, die hun oorsprong in de onderscheidene verweeringswijzen hebben. De laterietgrond ontstaat door uitlooiing bij afwezigheid van humus, waarbij o.m. ferri-verbindingen een belangrijke rol spelen, hetgeen bij de andere gronden niet of in mindere mate het geval is. De hooggebergtegrond wordt juist bij aanwezigheid van humus gevormd; de mergelgrond in alkalisch milieu, welke omstandigheden tot wezenlijk verschillende eigenschappen aanleiding geven.

Graduëel zijn daarentegen de binnen de groep der laterietgronden voorkomende verschillen in mineralogische samenstelling en ouderdom (gele, bruine en roode *lixivia*) of binnen de groep der mergelgronden t.a.v. een meer of minder sterke vermenging met vulkanisch materiaal.

Volgens de thans op het Bodemkundig Instituut te Buitenzorg gevolgde classificatie, waarbij dus de grondsoort als eenheid geldt, zijn een 10-tal Indische grondtypen te onderscheiden. Hieronder bevinden zich slechts vier, die in verband met hun voorkomen over uitgestrekte oppervlakten van den Archipel, uit een oogpunt van grond-stabilisatie van belang kunnen zijn. Hoewel de meeste hiervan in de te voren behandelde onderwerpen reeds meer of minder ter sprake zijn gebracht, zullen in het ondervolgende hun karakteristieke eigenschappen overzichtelijkshalve worden geresumeerd.

De laterietgronden

of *lixivia*, onverschillig uit welk gesteente zij ontstaan zijn, komen zeer verbreid in de laagvlakten en aan de vulkaanvoeten van den Archipel voor. Afhankelijk van het verweerings-stadium waarin zij verkeerden kan de kleur van geel over bruin tot rood varieeren. Deze kleuren hangen behalve van de hoeveelheid ferri-hydroxyde ook af van de hoeveelheid water, die deze ijzer-verbinding nog bezit.

Door het uitlooiings-proces bij de laterietisatie zijn oude *lixivia* dan ook arm aan planten-voedingsstoffen. Wanneer zij een z.g. typisch lateriet-profiel bezitten, zijn van boven naar beneden achtereenvolgens te onderscheiden: een roode laag tot gemiddeld 1,20 m diepte al of niet vermengd met ijzer-concreties of hagelerts; een gevlekte laag van ongeveer 60 cm dikte; de witte of z.g. kaolienlaag eveneens van circa een halve meter dikte en daaronder ten slotte het nog niet verweerde gesteente-materiaal.

Ten aanzien van hun fysieke eigenschappen kan worden opgemerkt, dat de *lixivia* nimmer tot de zware gronden behooren, daarentegen steeds een kruimelstructuur bezitten, waarmede hun over het algemeen goede doorlatendheid voor water dan ook verband houdt. De Atterbergsche cijfers geven doorgaans een geringe plasticiteit aan; het surplus kan van sterk positief tot matig negatief varieeren, wat dan ook tot uitdrukking komt in hun groot weerstandsvermogen tegen afschuiving.

Typeerend voor de *lixivia* is verder, dat in het diagram van Mohr voor de granulaire-samenstelling, de top in de Xe fractie ligt.

Voor de kiezelzuur-sesquioxyden-verhouding zijn bij alle typische laterietgronden waarden tusschen 1,5 — 1,9 gevonden. Hiermede in overeenstemming is hun geringe adsorptie-capaciteit of T-waarde van 10 — 20 m.aeq. per 100 g fractie kleiner dan 2 μ .

Het röntgenografisch onderzoek heeft uitgewezen, dat bovengenoemde fractie in hoofdzaak uit het mineraal kaoliniet bestaat. Dit wordt nog nader bevestigd door de kiezelzuur-aluminiumoxyde-verhouding en de dehydratatie. Evenals bij het zuivere mineraal vindt de grootste ontwatering pas boven 400° C plaats.

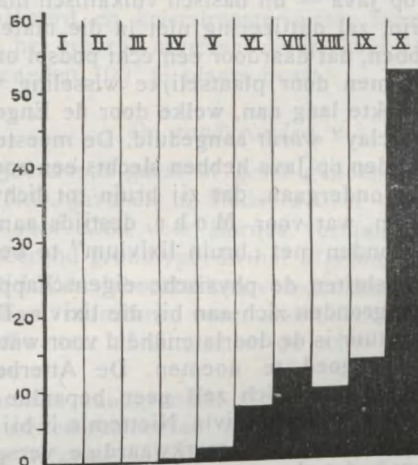


Fig. 1. Slibdiagram van laterietgrond.

Ten slotte moet er nog één specifieke eigenschap worden genoemd. Deze is de zure reactie, die de laterietgronden als gevolg van de bijzondere verweerings-omstandigheden steeds vertoonen. Bij een uitloogings-proces in poreus materiaal onder klimaten, waarbij de regenval de verdamping overtreft, worden de alkali- en aardalkali-ionen tegen waterstof-ionen van de verweerings-agentia uitgewisseld. De eerstgenoemde gaan dan in het water in oplossing en zakken hiermede in den bodem weg. De in de achterblijvende H-klai eveneens in uitwisselbaren toestand voorkomende H-ionen leveren met de eventueel in het bodemvocht aanwezige vrije H-ionen tezamen de pH of actuele zuurgraad van den grond, welke als maat voor de bodemreactie wordt gebruikt.

Lixivia hebben over het algemeen een pH van 5—6.

De hooggebergtegronden,

die hier te lande onder bepaalde omstandigheden regionaal boven 1000 m zeehoogte kunnen optreden, vormen helaas een nog weinig systematisch onderzocht type. Zij zijn herkenbaar aan een vrij hoog gehalte aan organische stof, welk gehalte met toename van de hoogte doorgaans stijgt.

De aanwezigheid van humus op een poreuzen ondergrond maakt, dat door de beschuttende werking der organische colloïden het ijzer wordt weggevoerd, hetgeen in een podsoleering (bleeking) van de onderlaag resulteert. Het profiel van een typisch podsol vertoont dan ook achtereenvolgens van boven naar beneden: een circa 30 cm dikke zwarte bovenlaag uit organische stof, waaronder zich de gebleekte (licht geel gekleurde) onderlaag bevindt, rustend op de humus-oerbank.

Onder de 2000 m hoogte kan men het verschijnsel nog maar sporadisch aantreffen; boven de 2000 m al meer en meer, doch ook lang niet overal. Volgens Mohr moet de pH van het uitloogende bodemwater wel duidelijk onder de $4\frac{1}{2}$ zakken om echte podsoleering te kunnen bewerkstelligen. En dit is alleen het geval, wanneer het moedergesteente zuur is en de vegetatie een sterk zuur reagerende humus aan den bodem afstaat. Waar de meeste hooggebergtegronden — althans op Java — uit basisch vulkanisch materiaal gevormd zijn, zal ontijzering niet in die mate plaats kunnen hebben, dat daardoor een echt podsol ontstaat. Veelal treft men door plaatselijke wisseling van de pH een gevlekte laag aan, welke door de Engelschen als „mottled clay” wordt aangeduid. De meeste hooggebergtegronden op Java hebben slechts een zoo lichte podsoleering ondergaan, dat zij bruin tot licht bruin van kleur zijn, wat voor Mohr destijds aanleiding was, deze gronden met „bruin lixivium” te betitelen.

Inderdaad sluiten de fysische eigenschappen der hooggebergtegronden zich aan bij die lixivia. Door de kruimel-structuur is de doorlatendheid voor water over het algemeen goed te noemen. De Atterbergsche cijfers vertoonen op zich zelf geen bepaalde karakteristieken t.o.v. die der lixivia. Niettemin is bij enkele hooggebergtegronden het merkwaardige verschijnsel geconstateerd, dat de constanten van het gedroogde materiaal belangrijk lager kunnen liggen dan die van

den in natuurlijke toestand verkeerenden grond. De oorzaak van dit terugloopen der Atterbergsche cijfers meent van Baren van het Bodemk. Instituut te moeten toeschrijven aan het indrogen van het niet-reversibele kiezelzuur-gel, dat in ruime mate in den hooggebergtegrond aanwezig blijkt te zijn. Ook het voorkomen van betrekkelijk veel organische stof, die in de zon z.g. kan „dooddrogen” zou hetzelfde verschijnsel kunnen veroorzaken. De zienswijze van van Baren moet echter voorloopig nog als een hypothese worden opgevat, welke door nadere onderzoekingen ter zake bevestiging behoeft.

In onderstaand diagram van Mohr is de textuur van een hooggebergtegrond uit Pengalengan boven Bandoeng opgenomen. Evenals bij de laterietgronden blijkt ook hier de top in de Xe fractie te liggen.

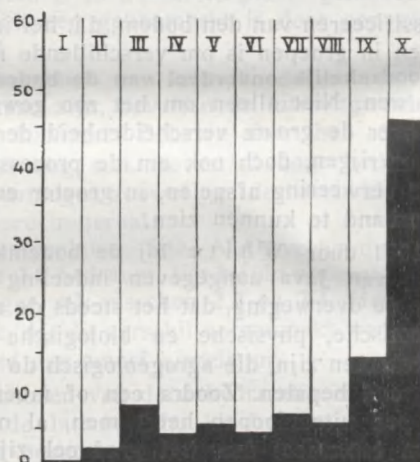


Fig. 2. Slibdiagram van hooggebergtegrond.

Het röntgenografisch onderzoek verricht op een specimen van dit type uit de omgeving van Sindanglaja bij Buitenzorg gaf meta-halloysiet als kleimineraal aan. Waar het hier slechts één monster betreft, dient dit resultaat voorloopig met eenige reserve te worden beschouwd. Indien te zijner tijd definitief mocht blijken, dat de kleifractionen dezer gronden inderdaad halloysiet of meta-halloysiet en geen kaolinit als hoofdbestanddeel bevatten, is dit ook uit stabilisatie-oogpunt van belang, daar de mogelijkheid bestaat, dat dit type te dien aanzien zich anders dan de laterietgronden zal gedragen.

De mergelgronden

zijn — zooals de naam reeds aangeeft — ontstaan uit de eigenlijke mergels. Onder mergels verstaat men mengsels van klei of leem en koolzure kalk in wisselende verhouding. Oorspronkelijk mariene afzettingen, daar waar gruis- en organogene sedimenten tezamen bezonken zijn, beslaan hun verweeringsproducten thans uitgestrekte gebieden van den Indischen Archipel.

Mergels vormen overgangen tusschen zuivere kalksteen eenerzijds en klei- of leemgesteenten anderzijds, in verband waarmede Rosenbusch de navolgende indeeling heeft opgesteld:

kleiige kalken: tot 10% klei;
 kalkmergels: met 10 — 20% klei;
 mergels: met 20 — 50% klei;
 kleimergels: met 50 — 80% klei;
 kalkhoudende klei: met meer dan 80% klei.

Bij vermenging van vulkanisch- of kwartszand met koolzure kalk en klei, spreekt men van zandige mergels.

Het typeerende van de mergelgronden is, dat zij in alkalisch milieu ontstaan zijn. Bij de verweering wordt het calcium-carbonaat en andere eventueel aanwezige basen door het koolzuur-houdende regenwater als bi-carbonaat opgelost en afgevoerd, terwijl de klei of leem achterblijft. In streken, waar de regentijd door een scherp Oostmoesson wordt afgewisseld, zal in laatstgenoemde periode de waterbeweging in den grond opwaarts zijn. De aanvankelijk uitgewasschen koolzure zouten kunnen dan weer naar de oppervlakte opstijgen. Zij werken in de bovenlagen als alkaliën en maken, dat de daar aanwezige plantenstoffen in grauwe tot diep zwarte producten overgaan. Het is bekend, dat alle organische stoffen met alkaliën zich spoedig donker kleuren, terwijl zij in een zure omgeving langen tijd kleurloos blijven. De bovengrond krijgt dus een grauw-zwarte kleur; doch de stoffen, die hem die kleur verleenzen zijn andere dan humus. Ontstaan zonder medewerking van alkalisch reagerende zouten is humus meer bruinzwart van kleur.

In het profiel der typische mergelgronden gaat de 30 — 50 cm dikke grauw-zwarte bovengrond via een gele tot geelwitte taaie onderlaag, die kalk-concreties bevat, in het moedergesteente over. Deze geelwitte onderlaag heeft vaak een lagere vloe- en kleefgrens dan de bovenlaag, waardoor zij bij algeheele doordringing met water spoedig consistentie verliest en afschuift.

Ook vulkanisch materiaal (tuffen) kan onder bepaalde omstandigheden tot gronden van hetzelfde type verweeren (tuf-mergelgronden). In de tuf-mergelgronden ontbreken de kalk-concreties. Zij zijn veelal ook rijker aan planten-voedingsstoffen dan de kalk-mergelgronden.

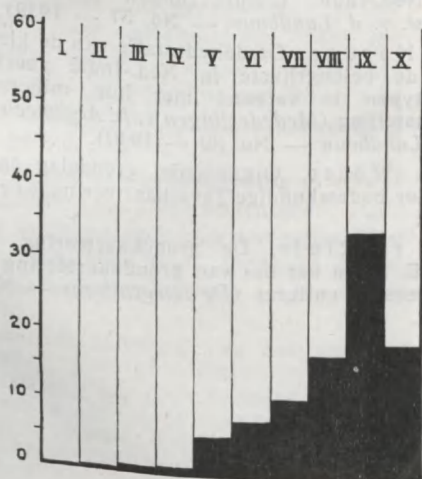


Fig. 3. Slibdiagram van mergelgrond.

De mergelgronden zijn gekarakteriseerd door hun zeer slechte fysische eigenschappen. Zij zijn doorgaans zwaar, stug en moeilijk bewerkbaar. Hun doorlatendheid is veelal matig tot gering. Terwijl zij een betrekkelijk groot zwelvermogen bezitten en in vochtigen toestand gemakkelijk structuur verliezen en dichtslibben, vertoonen zij bij droging een zoo sterke krimp, dat diepe, breede scheuren ontstaan. Al deze eigenschappen, die eveneens door den aard van het materiaal worden bepaald, laten zich niet wijzigen door bijmenging met zand. Een mergelgrond, waarin tot 50% zand is vermengd, behoudt practisch nog geheel zijn klei-eigenschappen.

De Atterbergsche cijfers geven een hooge plasticiteit en een sterk uitgesproken negatief surplus aan, waarmee de zoo beruchte schuif-eigenschappen der mergelgronden dan ook in overeenstemming zijn.

De bodemreactie is meest alkalisch. Slechts in enkele gevallen wordt een pH van even onder de 7 geconstateerd.

De typische mergelgronden hebben een granulaire-samenstelling met het hoogste percentage in de IXe fractie.

In tegenstelling met de lixivia bezitten de kleifracties van dit type een relatief hoog kiezelzuurgehalte, terwijl de percentages aan aluminium- en ijzeroxyden lager zijn. De kiezelzuur-sesquioxyden-verhouding bedraagt dan ook steeds meer dan 2,5. In overeenstemming hiermede is de adsorptie-capaciteit, welke doorgaans boven de 50 m. aeq. per 100 g fractie kleiner dan 2 μ ligt.

De röntgenogrammen vertoonen in hoofdzaak de interferenties van montmorilloniet, het kleimineraal, dat naast de gewone wijze van water-adsorptie aan de zijwanden der pakketten, bovendien nog het vermogen bezit om water tusschen de lagen te bergen (planair water). Hierdoor wordt de enorme zwelling van den mergelgrond bij bevochtiging verklaard. Ook in andere eigenschappen van dit type is reeds een bevredigende overeenstemming geconstateerd met die van het zuivere mineraal. Zoo bijv. in de kiezelzuur-aluminiumoxyde-verhouding, adsorptie-capaciteit en dehydratatie. Beneden 150° C verliezen de mergelfracties, die uitsluitend montmorilloniet bevatten, reeds meer dan 50% van hun totaal-water (geadsorbeerd en kristalrooster-water tezamen), terwijl bij het zuivere mineraal de sterkste dehydratatie zelfs beneden 100° C plaats heeft.

De zandgronden,

in het Javaansch *gasik* of *gesik* genoemd, komen in geheel N.O. Java en in Madoera over groote oppervlakten voor. Ook voor Borneo vormen zij een karakteriseerend grondtype. In het afgelopen jaar zijn in het N.I.W.V.-laboratorium verscheidene uit Borneo afkomstige monsters voor stabilisatie onderzocht, welke alle meer of minder tot de echte *gesik*gronden behooren.

De meeste zandgronden zijn ontstaan uit kwartsrijke sedimentgesteenten, die naar hun kitmiddel in kalk- en kiezelzandsteen worden onderscheiden. Ook mergel kan als bindmiddel fungeren. Kalk en kiezel geven de licht gekleurde, mergel meer de grauwe

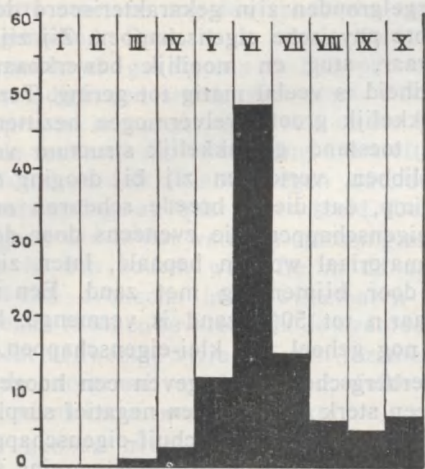


Fig. 4. Slibdiagram van zandgrond.

gronden. Naast de witte gesik heeft men door bijmenging van ijzerhydroxyde nog de gele, bruine en roode soorten.

Het zand kan kwarts of van andesietischen oorsprong zijn. Dit andesiet-„zand” is in vele rivieren van Java te vinden en bestaat uit zoowel kristallijne als glas-bestanddeelen van het oorspronkelijke gesteente. Vulkanisch glas is amorf uitvloeiings-materiaal.

De roode gesik heeft een profiel, dat veel overeenkomst vertoont met dat der laterietgronden. De bovengrond is veelal bruin door humus. Dan volgt een roode laag van circa 1 m dikte, terwijl de onder-

grond, die op het moedergesteente rust, weer lichter van kleur is. De voor lixivaria zoo typeerende gevlekte- of kaolienlaag ontbreekt hier echter. De bovengrond van de gele gesik is geel; de onderlaag lichter. De witte gesik bevat zeer fijn kwartzsand (kwartsleem) en calcium-carbonaat.

De textuur is in de meeste gevallen zoodanig, dat in het slibdiagram de top in de VIe fractie ligt, in verband waarmede de Indische zandgronden dan ook imperatief tot de fijnere sedimenten moeten worden gerekend. Slechts bij uitzondering wordt een gesik met een maximum in de IVe fractie aangetroffen.

De fysische eigenschappen zijn over het algemeen goed, hoewel de fijnere gele en witte variëteiten soms wel wat leemig kunnen zijn. De Atterbergsche cijfers worden uiteraard in de eerste plaats door het gehalte aan zand beheerscht. Hoe hoger dit is, hoe lager de verschillende grenzen liggen en hoe meer zij zich naar elkander toe bewegen. Ook de plasticiteit, meestal reeds aan den lagen kant, neemt met stijgend zandgehalte af.

Ten slotte speelt ook de aard van het bijgemengde fijnere materiaal een doorslaggevende rol. Is dit lutum laterietisch, dan zal de grond zijn zandig karakter behouden; bestaan daarentegen deze fracties uit materiaal, dat van mergelgronden is afgeleid, zoo zal reeds 10% ervan voldoende zijn om den grond de eigenschappen van een klei te geven.

De pH varieert van matig zuur (± 6) tot matig alkalisch (± 8). Dit laatste is alleen het geval, wanneer het moedergesteente koolzure kalk bevat.

(Wordt vervolgd.)

Literatuur.

- H. R. Kruyt, Colloids.
- H. B. Weiser, Inorganic colloid chemistry (Vol. III — The colloidal salts).
- E. J. W. Verwey, Dubbelaag en stabiliteit van lyophobe colloïden (Dissertatie — Utrecht — 1934).
- R. Houwink, Elasticity, plasticity and structure of matter.
- J. Versluys, De capillaire werkingen in den bodem (Dissertatie — Delft — 1915).
- R. Gheyselinck, De rusteloze aarde.
- J. H. Engelhardt, Kennis van den grond.
- C. H. van Harreveld-Lako, De eigenschappen van de suikerriet-gronden op Java.
- H. Grondijs, Inzichten over grondwerkingen en wegenbouw (Publ. N.-I. W. V. — No. 106).
- A. Thorenaar, Leerboek der bodemkunde voor Ned.-Indië.
- E. C. J. Mohr, De bodem der tropen in het algemeen en die van Ned.-Indië in het bijzonder.
- F. A. van Baren, De mechanische analyse als hulpmiddel bij de indeeling en benaming van Indische grondsoorten (Ned. Landb. Tijdschrift — No. 617 — 1938).
- F. A. van Baren, Doel en methode van het röntgenografisch klei-onderzoek (Landbouw — 1938).
- F. A. van Baren, Mineralogisch en chemisch onderzoek van kristallijne klei-bestanddeelen (De Ing. in N.-I. — No. 3 — 1939).
- H. J. Hardon, De afhankelijkheid van de adsorptie-capaciteit van bodemtype en bepalingwijze (Handelingen 7e N.-I. N. C.).
- H. J. Hardon, Onderzoek naar de samenstelling van de kleifracctie van de voornaamste grondtypen van Ned.-Indië (Mededeelingen v. h. Algemeen Proefst. v. d. Landbouw — No. 37 — 1939).
- H. J. Hardon, De dehydratatie van de kleifraccties van de belangrijkste in Ned.-Indië voorkomende grondtypen in verband met hun mineralogische samenstelling (Mededeelingen v. h. Algemeen Proefst. v. d. Landbouw — No. 39 — 1940).
- J. Th. White, Organisatie, grondslag en uitvoering der bodemkundige Java-kaarteering (Tectona — 1931).
- H. J. te Riele, De grondkaarteering van het Dep. E. Z. en het nut van grondkaarteering voor de Europeesche cultures (De Bergcultures — No. 31 — 1937).

DE INGENIEUR IN NEDERLANDSCH-INDIË

VII. CHEMIE EN TECHNOLOGIE.

Tevens Orgaan van de Ned. Chemische Vereeniging in Ned.-Indië.

INHOUD: Kleurmeting en kleurspecificatie, in het bijzonder van tapiocameel, door dr. L. W. J. Holleman en L. de Vos.

Kleurmeting en kleurspecificatie, in het bijzonder van tapiocameel

door

dr. L. W. J. HOLLEMAN en L. DE VOS *).

Inleiding.

De kleur is een der belangrijkste factoren bij de kwaliteitsbeoordeling van allerlei producten. Van vele stoffen is de bruikbaarheid in de practijk — en dit geldt in het bijzonder voor bijna witte stoffen zooals meel, suiker, enz. — gebonden aan bepaalde eischen met betrekking tot de kleur. Tapiocameel is een van de producten, welke aan een scherpe beoordeeling op de kleur worden onderworpen. De ideale kleur is in dit geval zuiver wit en een gele of grauwe inslag, hoe gering ook, is aanleiding dat de kwaliteit minder hoog wordt geschat.

De bepaling van de witheid of helderheid van tapiocameel heeft in de practijk plaats door beoordeeling op het oog in helder daglicht. De beoordeeling geschiedt meestal niet in vergelijking met eenig ander object, laat staan met een standaard van bekende samenstelling. Hoogstens vergelijkt men de witheid van het te onderzoeken monster met die van een monster van bekende kwaliteit.

De hierbij gebezigde methode is de volgende: gelijke hoopjes van de twee monsters meel worden naast elkaar op een glasplaat gelegd en met een andere glasplaat zóó aangedrukt, dat de twee hoeveelheden juist aaneensluiten. Het geheel wordt daarop tegen het uit een hoog venster binnenvallend daglicht bezien. Een gering verschil in helderheid van de beide monsters is op deze wijze reeds gemakkelijk waar te nemen.

Deze visuele witheidsbepaling is vooral bij eenige geoefendheid van den waarnemer vrij scherp en daardoor in de practijk van den tapiocahandel in vele gevallen wel bruikbaar. Ondanks de betrekkelijke betrouwbaarheid en scherpste is de visuele methode

evenwel subjectief en het is natuurlijk onmogelijk, hieruit een exacte witheidsbepaling te ontwikkelen. Bovendien lijdt de methode aan het euvel, dat een vergelijkingsmonster van bekende kwaliteit slechts zeer beperkten tijd als zoodanig kan dienen, aangezien de kleurhelderheid van het meel vooral in regenperioden vrij snel achteruitgaat.

De ontwikkeling van elke industrie brengt een streven naar exacte kwaliteitsbepaling van het product mede. Aan de exacte bepaling van den kwaliteitsfactor *kleur* is in dit land het eerst in de suikerindustrie aandacht geschonken. Thans bestaat daaraan ook in de tapioca-industrie behoefte. Nu was tot voor kort een kleurmeting, welke aan alle eischen der nauwkeurigheid voldeed, slechts te bereiken met behulp van een zeer dure en alleen door geoefende waarnemers te bedienen apparatuur, zooals de König-Martens-spectraalphotometer. Voor de tapioca-industrie als klein-industrie is dit een onoverkomelijk bezwaar.

De behoefte aan een eenvoudig te bedienen en minder kostbaar instrument voor nauwkeurige kleurmeting van meel leidde tot de constructie van een toestel, dat hieronder als „Selenophoot” is beschreven. Dit instrument is sedert ruim twee jaar op het Laboratorium voor Scheikundig Onderzoek te Buitenzorg voor de bepaling van de witheid van tapiocameel in gebruik. De uitkomsten, welke het bij de kleurbeepaling van eenige duizenden monsters meel heeft opgeleverd, hebben de geschiktheid van het toestel voor het gestelde doel ten volle bewezen. Op grond van deze metingen was het mogelijk, tapiocameel naar de helderheid in een aantal objectief en scherp begrensde kwaliteitsklassen in te deelen; een belangrijk onderdeel van de exacte gradeering van dit product was hiermede verwerkelijkt.

De toepassing van de Selenophoot is niet tot de bepaling van de kleur van vaste opake stoffen (meel, textielstoffen, enz.) beperkt. Het toestel werd zóó geconstrueerd dat ook de kleur van transparante voorwerpen en oplossingen ermee kan worden bepaald. Als objectieve colorimeter overtreft de Sele-

*) 88ste Mededeeling van het Laboratorium voor Scheikundig Onderzoek te Buitenzorg.

De berekening der remissie-coëfficiënten uit de remissie-waarden in gefiltreerd licht werd op dit Laboratorium het eerst toegepast door dr. J. J. A. Blekkingh.

Bij het ontwerpen van de Selenophoot werd de gewaardeerde hulp ontvangen van dr. A. J. Leckie, Technische Hoogeschool, Bandoeng.

nophoot de meeste in den handel voorkomende apparaten in nauwkeurigheid, zoowel als in veelzijdigheid van toepassing *).

Een beschrijving van de kleurbeplating met behulp van de Selenophoot zou onvolledig moeten heeten wanneer niet gelijktijdig de principes der moderne kleurspecificatie en haar toepassing op de kleurbeplating van meel werden uiteengezet. In het volgende kan dit slechts zeer in het kort geschieden; voor een uitvoerige behandeling van dit onderwerp moge worden verwezen naar het onlangs verschenen werk van Douwes Dekker¹⁾, hetwelk bij de bewerking van dit artikel in vele opzichten een wegwijzer is geweest.

Als grondslag voor de numerieke berekening der kleurspecificatie werd hier het standaard-systeem aangenomen, hetwelk in 1931 door de Commission Internationale de l'Eclairage op haar bijeenkomst te Cambridge is vastgesteld en dat thans algemeen in gebruik is²⁾. Naar de op deze bijeenkomst getroffen resoluties zal in het vervolg worden verwezen met de aanduiding „1931-C. I. E.” en naar het genoemde systeem met „het internationale systeem”.

De fysische kleurspecificatie.

Het is bekend, dat wat men in het algemeen onder de „kleur” van een voorwerp verstaat, in werkelijkheid de kleur van het door dit voorwerp teruggeworpen (geremitterde) of doorgelaten (getransmitteerde) licht is. Deze kleur is veranderlijk zoowel met de eigenschappen van het materiaal als met den aard van het licht waarin het materiaal wordt beschouwd. Kleurspecificatie van materialen is dus eerst mogelijk op grond van analyses van het licht vóór en na de remissie of transmissie.

Licht is volledig gekarakteriseerd door de spectrale verdeeling van de stralingsenergie. Wij beschouwen in het volgende uitsluitend licht van een continu spectrum. Dit kan samengesteld worden gedacht uit oneindig vele z.g. *homogene* (of monochromatische) stralingen, waarvan elk de trillingen van de golflengten omvat, gelegen binnen een oneindig klein gebied begrensd door de golflengten λ en $\lambda + d\lambda$. De energie van elk dezer homogene stralingen kan evenredig worden gesteld aan de breedte $d\lambda$ van het bijbehorende golflengtegebied. Men kan hiervoor dus schrijven:

$$(1) \quad dE = I_{\lambda} d\lambda,$$

waarin I_{λ} de *intensiteit* van de beschouwde *homogene* straling bij de golflengte λ beteekent. De totale energie (E) van deze straling is gelijk aan de som

der energieën van de samenstellende homogene stralingen, of in formule:

$$(2) \quad E = \int_0^{\infty} I_{\lambda} d\lambda.$$

Grafische voorstelling van de intensiteit als functie van de golflengte levert een curve, welke de gezochte verdeeling der energie van het beschouwde licht over het spectrum weergeeft. Zij wordt de *spectrale verdeelingscurve* van dit licht genoemd. Blijkens vgl. (2) wordt de totale energie van het licht voorgesteld door het tusschen de spectrale verdeelingscurve en de golflengte-as ingesloten oppervlak.

De bepaling van de spectrale verdeelingscurve geschiedt veelal met behulp van een monochromator, waarmede de energie ΔE binnen een klein spectraalgebied $\Delta\lambda$ op verschillende plaatsen van het spectrum wordt gemeten. Het quotiënt $\Delta E/\Delta\lambda$ is bij benadering gelijk aan de intensiteit in het midden van het golflengtegebied $\Delta\lambda$. Onder bepaalde voorwaarden kan de bepaling even exact geschieden met behulp van filters, welke in het algemeen een grooter gedeelte van het spectrum doorlaten dan een monochromator. Laatstgenoemde methode, welke bij de kleurbeplating met de Selenophoot wordt gevolgd, zal hieronder nog nader worden besproken.

De spectrale verdeeling van het door een voorwerp geremitterde (resp. getransmitteerde) licht is in het algemeen verschillend van die van het opvallende licht. Het is gebleken, dat de verhouding van de intensiteit van het geremitterde (resp. getransmitteerde) licht bij een bepaalde golflengte tot die van het opvallende licht bij diezelfde golflengte een voor het materiaal vaststaande waarde bezit, welke de *remissie-coëfficiënt* (R_{λ}) resp. *transmissie-coëfficiënt* (T_{λ}) voor die golflengte wordt genoemd. Deze coëfficiënten zijn nu stof-constanten, welke in het algemeen voor verschillende golflengten verschillende waarden bezitten. Grafische voorstelling van deze coëfficiënten als functie van de golflengte levert de *remissie- en transmissie-curven*, welke een voor elk materiaal karakteristieke gedaante hebben en als de „quotiënten” van de spectrale verdeelingscurven van het geremitterde (resp. getransmitteerde) licht en van het opvallende licht zijn te beschouwen.

Men kan nu zeggen, dat de kleur van een voorwerp, d.w.z. de spectrale verdeeling van het geremitterde (resp. getransmitteerde) licht, volledig bepaald is door:

1. de spectrale verdeelingscurve van het opvallende licht,
2. de remissie- (resp. transmissie-) curve van het materiaal.

De noodzakelijkheid, bij de kleurspecificatie ook de samenstelling van het opvallende licht nauwkeurig aan te geven, heeft geleid tot het zoeken naar een gemakkelijk reproduceerbare *standaardlichtbron* van bekende spectrale verdeeling, waarop in ieder afzonderlijk geval de specificatie zou kunnen worden betrokken.

In het internationale systeem is een drietal standaardlichtbronnen (A, B en C) gedefinieerd, waarvan

*) Op het Laboratorium voor Scheikundig Onderzoek te Buitenzorg werden door dr. Th. M. Meijer colorimetrische methoden uitgewerkt voor de bepaling van cumarine in plantendeelen [*Pharm. Tijdschr. Ned.-Indië*, 17, 249 (1940)], de bepaling van het totaal kleurstofgehalte van Bixazaad en de bepaling van toxicarol in derrickextracten (nog niet gepubliceerd) met behulp van de Selenophoot.

1) K. Douwes Dekker, Kleurspecificatie, Soerabaia 1940.

2) D. B. Judd, *J. Optical Soc. Am.* 23, 359 (1933).

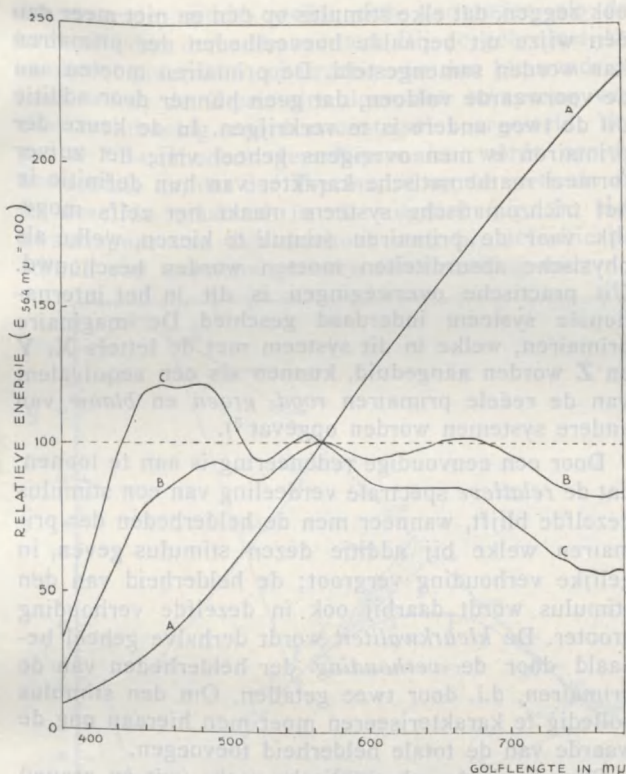


Fig. 1. Spectrale verdeling der lichtbronnen van het internationale systeem (1931-C. I. E.).

de spectrale verdeelingscurven in fig. 1 zijn weergegeven.

De eenheid van energie is bij elk dezer curven zóó gekozen, dat aan de intensiteit bij de golflengte 564 mμ de waarde 100 toekomt. De spectrale verdeling van lichtbron A, een gloeilamp, stemt vrij nauwkeurig overeen met die van het licht van een absoluut zwart lichaam bij een temperatuur van 2848° K (curve A). Lichtbronnen B en C (zie curven B en C) worden uit A verkregen door inschakeling van bepaalde filters. De spectrale verdeling van B komt ongeveer overeen met die van het middagzonlicht, de spectrale verdeling van C met die van het gemiddelde daglicht.

Deze drie lichtbronnen benaderen min of meer het zuiver wit, waarvan de spectrale samenstelling door het subjectief karakter van alle kleuraanduidingen niet nauwkeurig kan worden aangegeven. Als *volkomen wit* beschouwt men het z.g. aequienergetische licht, gedefinieerd door:

$$(3) \quad I_{\lambda} = \frac{dE}{d\lambda} = \frac{\Delta E}{\Delta \lambda} = \text{constant},$$

hetwelk door de horizontale rechte in fig. 1 wordt voorgesteld. Dit licht is fysisch niet te verwerkelijken; het wordt blijkens fig. 1 het dichtst benaderd door lichtbron B, terwijl lichtbron A relatief meer geel en rood, lichtbron C meer blauw bevat.

De kleurspecificatie van een materiaal is het eenvoudigst, wanneer men voor het opvallende licht aequienergetisch licht neemt; zij bepaalt zich dan tot de remissie- (transmissie-) curve. Bij de exacte kleurbeoordeling van tapiocameel, welke in de praktijk

steeds in het daglicht plaats heeft, moet echter aan een specificatie van de kleur in het licht van lichtbron C de voorkeur worden gegeven.

In analogie met de boven voor wit licht gegeven definitie kan men een materiaal kleurloos noemen, wanneer de remissie- (transmissie-) coëfficiënt voor elke golflengte dezelfde waarde heeft, wanneer derhalve de remissie-curve een horizontale rechte is. Al naar de grootte van den remissie-coëfficiënt is het materiaal helderder of grauwer. Volkomen wit kan men een materiaal noemen, waarvan de remissie-coëfficiënt bij elke golflengte = 1 is.

Voor een kwaliteitsbepaling op kleur kan men in het algemeen niet met de fysische kleurspecificatie volstaan. Deze voldoet niet aan een eerste eisch der practijk, n.l. dat zij de kleur van een materiaal in een zoo klein mogelijk aantal kenmerken of getallen tot uitdrukking brengt.

Op grond van de wetten der kleurmenging is het evenwel mogelijk het karakter van een kleur, waarvan de fysische specificatie bekend is, door middel van slechts drie grootheden tot volledige en onduidelzinnige uitdrukking te brengen. Dit kan op twee verschillende wijzen geschieden, t.w.

- 1° in de *trichromatische specificatie* door de *totale helderheid* en twee der drie *trichromatische coëfficiënten*,
- 2° in de *monochromatische specificatie* door de *totale helderheid*, de *effectieve golflengte* en de *kleurverzadiging*.

De trichromatische kleurspecificatie.

Alle in verband met de trichromatische en monochromatische specificaties genoemde grootheden hebben betrekking op den indruk, welken het beschouwde licht op het menselijk oog maakt; in dit verband duidt men het licht daarom steeds met het woord *stimulus* aan. Reeds in het dagelijksch leven onderscheidt men aan een stimulus tweeërlei hoedanigheid: de *kleurkwaliteit* (ook tint te noemen) en de *kleurhelderheid*. Het is gemakkelijk in te zien, dat de *kwaliteit* van een stimulus samenhangt met de gedaante der spectrale verdeelingscurve, d.i. met de relatieve intensiteit, welke aan elke golflengte in den stimulus toekomt. De helderheid daarentegen zal worden bepaald door de *totale energie* van den stimulus.

De mogelijkheid deze door hun subjectieve natuur slechts kwalitatief op te vatten begrippen niettemin als kwantiteiten te behandelen, berust op een geschikte definitie van de helderheid en op het grondphenomeen der kleurmenging. Door deze beide grondslagen der kleurenleer wordt een ondubbelzinnig verband gelegd tusschen kleurkwaliteit en helderheid eenerzijds, golflengte en totale energie anderzijds. Zij worden hieronder afzonderlijk besproken.

Definitie van de helderheid.

De helderheid wordt beschouwd als een additieve eigenschap der stimuli, d.w.z. de helderheid van een stimulus, welke bij optische vermenging (ook additie genoemd) van twee willekeurige stimuli ontstaat, is

gelijk aan de som der helderheden van elk dezer stimuli afzonderlijk.

Bij toepassing op de vermenging van *homogene* stimuli van dezelfde golflengte, dus kleurkwaliteit, volgt uit dezen regel, dat voor zulke stimuli de helderheid door een grootheid (dh) kan worden uitgedrukt welke evenredig is met de energie. Men kan hiervoor dus schrijven:

$$(4) \quad dh = V_{\lambda} dE,$$

of volgens vgl. (1):

$$(5) \quad dh = V_{\lambda} I_{\lambda} d\lambda.$$

De factor V_{λ} wordt de *relatieve zichtbaarheid* van den stimulus van de golflengte λ genoemd en heeft de beteekenis van de helderheid van dezen homogenen stimulus per energie-eenheid.

Voor de *totale helderheid* van een heterogenen stimulus volgt hieruit:

$$(6) \quad h = \int_0^{\infty} V_{\lambda} I_{\lambda} d\lambda.$$

Heterogene stimuli van gelijke kleurkwaliteit, dus gelijke relatieve spectrale verdeeling, zijn gedefinieerd door de gelijkheid van de verhouding der intensiteiten (I en I') bij elke golflengte: $I'_{\lambda} : I_{\lambda} = \text{const.}$, of $I'_{\lambda} = c I_{\lambda}$. Uit vgl. (6) is gemakkelijk af te leiden dat zoowel de totale helderheden als ook de totale energieën van zulke stimuli in deze zelfde verhouding tot elkaar staan: $h' : h = E' : E = I' : I = c$.

Men kan dus zeggen, dat de helderheden van stimuli van gelijke kleurkwaliteit zich verhouden als de waarden van hun energieën. Met helderheden kan in dit geval op dezelfde wijze worden gerekend als met energie-waarden.

De relatieve zichtbaarheid (V_{λ}) is, zooals vanzelf spreekt, bij verschillende golflengten niet even groot; zij is maximaal in het geelgroen ($\lambda = 555 \text{ m}\mu$) en daalt aan weerszijden hiervan symmetrisch, tot nul naderend bij de uiteinden van het zichtbare spectrum. Haar grafische voorstelling als functie van de golflengte is de *zichtbaarheidscurve*. De relatieve zichtbaarheid is een aan een physiologisch object, n.l. het menselijk oog, vastgestelde grootheid en als zodanig aan een zekere individuele variatie onderhevig. Zij werd in de laatste jaren in twee verschillende laboratoria door een aantal proefpersonen zeer nauwkeurig langs photometrischen weg gemeten. Door middelen en afvlakken van de meetresultaten werd een zichtbaarheidscurve verkregen, welke als een der grondslagen van het internationale systeem werd aangenomen. Deze zichtbaarheidscurve van den „1931-C. I. E.-standaardwaarnemer” is in fig. 3 als curve y afgebeeld.

Het grondphenomeen der kleurmenging.

Indien de relatieve spectrale energieverdeeling van drie z.g. primaire stimuli, kortweg *primairen* genoemd, is vastgesteld, is het mogelijk elken willekeurigen stimulus door het optisch mengsel van de drie primairen te vervangen, waarbij aan elke primaire een voor den beschouwd stimulus karakteristieke waarde van de helderheid moet worden gegeven. Men kan

ook zeggen, dat elke stimulus op één en niet meer dan één wijze uit bepaalde hoeveelheden der primairen kan worden samengesteld. De primairen moeten aan de voorwaarde voldoen, dat geen hunner door additie uit de twee andere is te verkrijgen. In de keuze der primairen is men overigens geheel vrij; het zuiver formeel mathematische karakter van hun definitie in het trichromatische systeem maakt het zelfs mogelijk voor de primairen stimuli te kiezen, welke als physische absurditeiten moeten worden beschouwd. Uit praktische overwegingen is dit in het internationale systeem inderdaad geschied. De imaginaire primairen, welke in dit systeem met de letters **X**, **Y** en **Z** worden aangeduid, kunnen als een aequivalent van de reële primairen *rood*, *groen* en *blauw* van andere systemen worden opgevat³⁾.

Door een eenvoudige redeneering is aan te toonen, dat de *relatieve* spectrale verdeeling van een stimulus dezelfde blijft, wanneer men de helderheden der primairen welke bij additie dezen stimulus geven, in gelijke verhouding vergroot; de helderheid van den stimulus wordt daarbij ook in dezelfde verhouding grooter. De *kleurkwaliteit* wordt derhalve geheel bepaald door de *verhouding* der helderheden van de primairen, d.i. door twee getallen. Om den stimulus volledig te karakteriseeren moet men hieraan nog de waarde van de totale helderheid toevoegen.

Stimuli uit de achromatische reeks (wit en grijs) zullen alle door één bepaalde helderheidsverhouding der primairen zijn gekenmerkt. Het is nu gebruikelijk de helderheden der primairen in eenheden van zodanige helderheid uit te drukken, dat bij menging van *gelijke* hoeveelheden (of aantallen eenheden van elk der primairen) achromatische stimuli ontstaan. Men noemt deze eenheden, welke voor elke primaire in het algemeen een andere helderheid zullen bezitten, *trichromatische* of *T-eenheden*. In het internationale systeem zijn de T-eenheden zoo gekozen, dat zij in gelijke aantallen aequienergetische stimuli opleveren.

De kleurkwaliteit van een willekeurigen stimulus pleegt men nu aan te geven door twee der drie z.g. *trichromatische coëfficiënten* x , y en z , welke het aandeel van elk der primairen in het totaal aantal T-eenheden van den stimulus voorstellen. Door de *eenheidsvergelijking*:

$$(7) \quad x + y + z = 1$$

is tegelijk de T-eenheid van den betreffenden stimulus gedefinieerd. Voor de aequienergetische stimuli volgt uit de definitie:

$$(8) \quad x_w = y_w = z_w = \frac{1}{3}.$$

Op deze laatste vergelijkingen berust de grafische voorstelling der kleurkwaliteiten in den z.g. *kleuren-driehoek*. Deze voorstelling is volkomen analoog aan die van ternaire stofmengsels in een driehoeksdiagram. Elke kleurkwaliteit wordt vertegenwoordigd door een punt in den kleurendriehoek op afstanden van de zijden, welke zich verhouden als de in die kleur voorkomende hoeveelheden der primairen in T-eenheden, zooals elk stofmengsel in het ternair diagram wordt voorgesteld door een punt op afstan-

3) D. B. Judd, *Bur. Standards J. Research*, 4, 515 (1930).

den van de zijden, welke zich verhouden als de hoeveelheden der componenten. Bij de gebruikelijke en meest praktische constructie van den kleurendriehoek wordt de **Z**-primaire door den oorsprong van een rechthoekig coördinatenstelsel voorgesteld; het aantal T-eenheden der **X**-primaire wordt op de horizontale as, dat der **Y**-primaire op de verticale as in dezelfde maatstaf in % uitgezet (fig. 2). Het zwaartepunt van den driehoek stelt bij definitie de stimuli van aequienergetische samenstelling voor.

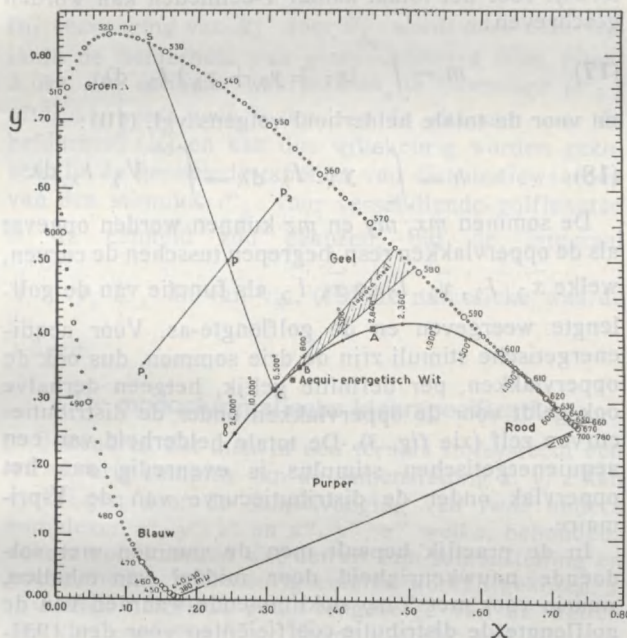


Fig. 2. Kleurendiagram volgens den standaard-waarnemer en in het coördinatensysteem van de 1931-C.I.E.

Van bijzonder belang zijn de punten in den kleurendriehoek, welke de samenstelling van homogene stimuli aangeven en welke meetkundige plaats de *spectraalcure* wordt genoemd (fig. 2). De ligging van deze punten wordt in principe zóó bepaald, dat men een aantal proefpersonen kleurgelijkheid laat tot stand brengen tusschen „homogeen” licht van golflengte λ en het mengsel van een drietal hulp-primairen van bekende samenstelling, waarna men de hoeveelheden van elk dezer primairen vaststelt. Dit geschiedt voor een groot aantal stimuli van verschillende golflengte. Door rekenkundige transformatie zijn uit de hoeveelheden der hulp-primairen overeenkomstige hoeveelheden der primairen **X**, **Y** en **Z** en daarmee de coëfficiënten x , y en z voor alle golflengten af te leiden. Evenals de zichtbaarheidscurve is de spectraalcure aan individuele variaties onderhevig. De in het internationale systeem aangenomen ligging der spectraalcure voor den „1931-C. I. E.-standaardwaarnemer” is wederom het gemiddelde resultaat van de modernste en nauwkeurigste metingen op dit gebied.

De primairen van het internationale systeem zijn zóó gekozen, dat de spectraalcure de **Y**-as raakt, terwijl zij de zijde **XY** zeer dicht nadert.

In fig. 2 is behalve de spectraalcure ook de meetkundige plaats van de punten afgebeeld, welke de kleur van de straling van het absoluut zwarte

lichaam bij alle temperaturen weergeven. Het punt, dat de kleur van lichtbron A aangeeft, ligt op deze curve, de punten voor de lichtbronnen B en C liggen zeer dicht bij de curve.

De *totale helderheid* van een stimulus is gemakkelijk te berekenen, wanneer men de hoeveelheden in T-eenheden der primairen kent, waaruit hij is opgebouwd. Bij een totaal aantal T-eenheden m zijn de hoeveelheden der primairen **X**, **Y** en **Z** per definitie resp. mx , my en mz . Aan de T-eenheid van elken stimulus komt nu een bepaalde helderheid toe, welke de *helderheidsfactor* (L) wordt genoemd en voor de primairen resp. met L_x , L_y en L_z wordt aangeduid. Voor de totale helderheid van den stimulus volgt dan:

$$(9) \quad h = mL = mxL_x + myL_y + mzL_z.$$

De waarde der helderheidsfactoren L_x , L_y en L_z is afhankelijk van de keuze der primairen. Deze is in het internationale systeem zóó getroffen, dat de helderheidsfactoren van het „rood” (L_x) en „blauw” (L_z) nul zijn en die van het „groen” (L_y) = 1 is. Vergelijking (9) gaat daardoor over in:

$$(10) \quad h = my$$

en

$$(11) \quad L = y.$$

De helderheidsfactor van een willekeurigen stimulus is in het internationale systeem dus gelijk aan den trichromatischen coëfficiënt der **Y**-primaire in dezen stimulus; alleen deze primaire is dus de draager van de helderheid.

Berekening van de trichromatische specificatie van een stimulus uit de spectrale energieverdeling.

Om uit de gegeven spectrale energieverdeling van een stimulus de trichromatische coëfficiënten x , y en z te kunnen afleiden, is het noodzakelijk de bijdrage van elk der oneindig vele homogene stimuli, waaruit de stimulus opgebouwd kan worden gedacht, aan het totaal aantal T-eenheden (m) vast te stellen. Het aantal T-eenheden (dm) van een homogenen stimulus van golflengte λ en helderheid dh is het quotiënt van de helderheid en den helderheidsfactor (zie vgl. 9):

$$(12) \quad dm = \frac{dh}{L_\lambda}$$

of volgens vgl. (5):

$$(13) \quad dm = \frac{V_\lambda}{L_\lambda} I_\lambda d\lambda,$$

waarin L_λ de helderheidsfactor van een stimulus van golflengte λ voorstelt. Zijn x_λ , y_λ en z_λ de trichromatische coëfficiënten van dezen homogenen stimulus (in den kleurendriehoek als coördinaten van het met deze golflengte corresponderende punt van de spectraalcure af te lezen), dan zijn de gezochte aantallen T-eenheden van **X**, **Y** en **Z** in dezen stimulus resp.:

$$\frac{x_\lambda V_\lambda}{L_\lambda} I_\lambda d\lambda, \quad \frac{y_\lambda V_\lambda}{L_\lambda} I_\lambda d\lambda \quad \text{en} \quad \frac{z_\lambda V_\lambda}{L_\lambda} I_\lambda d\lambda,$$

waarvoor men ook kan schrijven:

$$\bar{x}_\lambda I_\lambda d\lambda, \quad \bar{y}_\lambda I_\lambda d\lambda \quad \text{en} \quad \bar{z}_\lambda I_\lambda d\lambda.$$

De grootheden $\bar{x}_\lambda$, $\bar{y}_\lambda$ en $\bar{z}_\lambda$ welke de *distributed-coëfficiënten* voor de golflengte λ worden genoemd, geven het aantal T-eenheden van elk der primairen aan, dat in den homogenen stimulus van golflengte λ per energie-eenheid voorkomt. Voorstelling van de drie distributie-coëfficiënten als functie van de golflengte in één grafiek levert de drie *distributiecurven* welke, zooals gemakkelijk is in te zien, de relatieve verdeling van de primairen in T-eenheden over het geheele spectrum voor een aequienergetischen stimulus ($I_\lambda = \text{const.}$) weergeven (fig. 3).

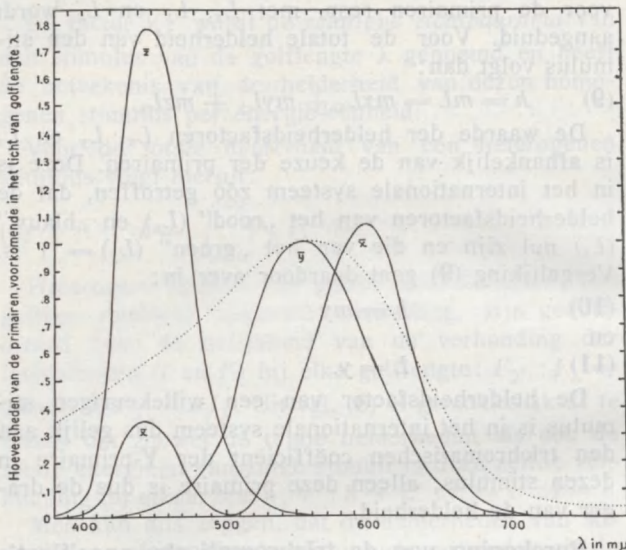


Fig. 3. Spectrale distributiecurven voor aequienergetisch wit licht volgens den standaard-waarnemer en in het coördinatensysteem van de 1931-C.I.E.

In verband met vgl. (11) geldt nu voor de distributie-coëfficiënten in het internationale systeem:

$$(14) \quad \begin{cases} \bar{x}_\lambda = \frac{x_\lambda}{y_\lambda} V_\lambda, \\ \bar{y}_\lambda = V_\lambda, \\ \bar{z}_\lambda = \frac{z_\lambda}{y_\lambda} V_\lambda, \end{cases}$$

zoodat de coëfficiënt $\bar{y}_\lambda$ tevens de *relatieve zichtbaarheid* van den stimulus van golflengte λ voorstelt. Hieruit volgt, dat de distributiecurve voor de Y-primaire identiek is met de zichtbaarheidscurve.

Het totaal aantal T-eenheden van elk der primairen in een stimulus van bekende spectrale verdeling vindt men nu door sommeering van de overeenkomstige aantallen, aanwezig in elk der homogene componenten. Voor deze sommen, welke per definitie resp. mx , my en mz bedragen, gelden dus de vergelijkingen:

$$(15) \quad \begin{cases} mx = \int_0^\infty \frac{x_\lambda}{y_\lambda} V_\lambda I_\lambda d\lambda, \\ my = \int_0^\infty V_\lambda I_\lambda d\lambda, \\ mz = \int_0^\infty \frac{z_\lambda}{y_\lambda} V_\lambda I_\lambda d\lambda, \end{cases}$$

Voor de trichromatische coëfficiënten volgt hieruit:

$$(16) \quad \begin{cases} x = \frac{1}{m} \int_0^\infty \bar{x}_\lambda I_\lambda d\lambda, \\ y = \frac{1}{m} \int_0^\infty \bar{y}_\lambda I_\lambda d\lambda, \\ z = \frac{1}{m} \int_0^\infty \bar{z}_\lambda I_\lambda d\lambda, \end{cases}$$

terwijl voor het totaal aantal T-eenheden kan worden geschreven:

$$(17) \quad m = \int_0^\infty (\bar{x}_\lambda + \bar{y}_\lambda + \bar{z}_\lambda) I_\lambda d\lambda$$

en voor de totale helderheid volgens vgl. (10):

$$(18) \quad h = \int_0^\infty \bar{y}_\lambda I_\lambda d\lambda = \int_0^\infty V_\lambda I_\lambda d\lambda.$$

De sommen mx , my en mz kunnen worden opgevat als de oppervlakken resp. begrepen tusschen de curven, welke $\bar{x}_\lambda I_\lambda$, $\bar{y}_\lambda I_\lambda$ en $\bar{z}_\lambda I_\lambda$ als functie van de golflengte weergeven en de golflengte-as. Voor aequienergetische stimuli zijn de drie sommen, dus ook de oppervlakken, per definitie gelijk, hetgeen derhalve ook geldt voor de oppervlakken onder de distributiecurven zelf (zie fig. 3). De totale helderheid van een aequienergetischen stimulus is evenredig aan het oppervlak onder de distributiecurve van de Y-primaire.

In de practijk bepaalt men de sommen met voldoende nauwkeurigheid door middel van tabellen, waarin voor met 5 mμ opklimmende waarden van de golflengte de distributie-coëfficiënten voor den 1931-C.I.E.-standaardwaarnemer zijn aangegeven²⁾. Uit de relatieve waarden der sommen van $\bar{x}_\lambda I_\lambda$, $\bar{y}_\lambda I_\lambda$ en $\bar{z}_\lambda I_\lambda$ voor deze discrete waarden van de golflengte vindt men x , y en z ; de som der waarden van $\bar{y}_\lambda I_\lambda$, gedeeld door de som der $\bar{y}_\lambda$ -waarden alléén, geeft de totale helderheid van den stimulus t.o.v. een aequienergetischen stimulus van de eenheid van intensiteit ($I_\lambda = \text{const.} = 1$).

Bij de berekening van de kleurspecificatie van geremitteerd resp. getransmitteerd licht volgens de formules (16) t/m (18) wordt voor de intensiteit I_λ het product van den remissie-coëfficiënt (R_λ), resp. den transmissiecoëfficiënt (T_λ) met de intensiteit van het opvallende licht (I°_λ) ingevuld. Aan met dit doel opgestelde tabellen²⁾ kunnen de waarden van $\bar{x}_\lambda I^\circ_\lambda$, $\bar{y}_\lambda I^\circ_\lambda$ en $\bar{z}_\lambda I^\circ_\lambda$ (de *distributie-waarden* voor den stimulus I°_λ) voor met 10 mμ opklimmende waarden van de golflengte worden ontleend en wel zijn in deze tabellen de waarden van I°_λ voor ieder der drie standaardlichtbronnen A, B en C van het internationale systeem aangegeven. De berekening van de trichromatische specificatie van lichamen met een bekende remissie- resp. transmissie-curve in het licht van een dezer lichtbronnen wordt hierdoor zeer gemakkelijk.

De *helderheid* (h) van het geremitteerde resp. getransmitteerde licht wordt bij de kleurspecificatie van

een *materiaal* steeds betrokken op de helderheid van het opvallende licht (h°); bij de specificatie van de remissie noemt men de verhouding $h : h^\circ$ de *totale helderheid* (H) van het materiaal. Hiervoor geldt in het geval van remissie de formule:

$$(19) \quad H = \frac{h}{h_0} = \frac{\int_0^\infty \bar{y}_\lambda R_\lambda I^\circ_\lambda d\lambda}{\int_0^\infty \bar{y}_\lambda I^\circ_\lambda d\lambda}.$$

Bij vervanging van R_λ door T_λ wordt door deze formule de helderheid van getransmitteerd licht uitgedrukt. De eenheid, waarin men de intensiteit (I°_λ) uitdrukt, heeft geen invloed op de uitkomst voor de helderheid (H) en kan dus willekeurig worden gekozen. In de genoemde tabellen van distributiewaarden van den stimulus I°_λ voor verschillende golflengten is de eenheid zóó gekozen, dat de integraal $\int_0^\infty \bar{y}_\lambda I^\circ_\lambda d\lambda$ van vgl. (19) de numerieke waarde 1 bezit.

De monochromatische kleurspecificatie.

Bekend is, dat men in een ternair stofsysteem een willekeurig complex van de samenstelling x, y, z kan verkrijgen door de samenvoeging van twee andere complexen x', y', z' en x'', y'', z'' welke, behoudens zekere voorwaarden wat betreft hun samenstelling en hoeveelheden, willekeurig kunnen worden gekozen.

Geheel hetzelfde geldt tengevolge van de wetten der kleurmenging in de kleurenwereld: een stimulus is op oneindig vele wijzen uit twee andere stimuli samen te stellen. De beperkingen, waaraan deze samenstellende kleuren, welke wij in analogie met een in de fasenleer gebruikelijke benaming *composanten* willen noemen, onderhevig zijn, kunnen het best aan de hand van den kleurendriehoek (fig. 2) worden verklaard. Het zijn de volgende:

- 1°. de punten P_1 en P_2 , welke de samenstelling der beide composanten van een gegeven stimulus in den driehoek weergeven, liggen op één rechte lijn met het punt P , dat den gegeven stimulus zelf voorstelt,
- 2°. de hoeveelheden m_1 en m_2 der composanten (T-eenheden) verhouden zich omgekeerd als de stukken, waarin de verbindingslijn P_1P_2 der composanten door den stimulus P wordt verdeeld, terwijl hun som m gelijk is aan het totaal aantal T-eenheden van den gegeven stimulus. In vergelijking:

$$(20) \quad m_1 : m_2 = \overline{PP_2} : \overline{PP_1}$$

$$(21) \quad m = m_1 + m_2.$$

Uit deze voorwaarden volgt, dat één der composanten (P_1) van den stimulus P naar samenstelling willekeurig kan worden gekozen; de samenstelling van den anderen component is dan in zooverre niet meer willekeurig te kiezen, dat het punt P_2 , hetwelk de samenstelling hiervan in den kleurendriehoek voorstelt, op het verlengde van de rechte P_1P in de door de volgorde der letters aangegeven richting moet

liggen. Heeft men de plaats van den tweeden component op dit verlengde gekozen, dan zijn daarmee ook de hoeveelheden in T-eenheden en tegelijk de helderheden der beide composanten bepaald.

De monochromatische specificatie berust op dit principe. Als één der composanten kiest men hierbij steeds een *wit*, waarvan men de trichromatische specificatie nauwkeurig kent. In het internationale systeem zijn hiervoor beschikbaar aequienergetisch licht en resp. licht van de lichtbronnen A, B en C. Als tweeden component kiest men steeds een homogenen stimulus. De samenstelling hiervan wordt volgens het bovenstaande aangegeven door het snijpunt S van het verlengde van de verbindingslijn CP met de spectraalcurve. De golflengte van den homogenen stimulus S wordt de *effectieve* of *domineerende golflengte van stimulus P* genoemd en rechtvaardigt de aanduiding van deze specificatie met „monochromatisch”.

Stimulus P wordt hierbij dus voorgesteld als een mengsel van wit licht (in het voorbeeld afkomstig van lichtbron C) en van de homogene straling S in een verhouding van T-eenheden, welke gelijk is aan de verhouding der stukken PS en PC (fig. 2). Bij een vooraf vastgestelde samenstelling van het wit (trichromatische coëfficiënten x_w, y_w en z_w) is de stimulus P geheel bepaald door de totale helderheid (h), de effectieve golflengte (λ_e) en door het aandeel van den stimulus van de effectieve golflengte S in het totaal aantal T-eenheden of in de helderheid van stimulus P .

Het aandeel (m_s) van de effectieve golflengte (trichromatische coëfficiënten X_λ, Y_λ en Z_λ) in T-eenheden in het totaal aantal T-eenheden (m) van stimulus P wordt de *relatieve kleurconcentratie* (m_s/m) genoemd. Volgens vgl. (20) en (21) volgt dan voor de *relatieve witconcentratie* de uitdrukking:

$$1 - \frac{m_s}{m} = \frac{m_w}{m}.$$

Belangrijker dan de kleurconcentratie is de *verzaadiging* (p), waarmee het aandeel van de effectieve golflengte in de totale helderheid van stimulus P wordt bedoeld. Het aandeel van het wit in de totale helderheid wordt de *verdunding*: $1 - p$ genoemd. Laatstgenoemde grootheden zijn klaarblijkelijk af te leiden uit kleurconcentratie en witconcentratie door vermenigvuldiging met de bijbehorende helderheidsfactoren, of volgens vgl. (11) met de bijbehorende Y -coördinaten:

$$(22) \quad p = \frac{m_s Y_\lambda}{m y},$$

$$(23) \quad 1 - p = \frac{m_w y_w}{m y}.$$

Een voor de practische berekening van de verzaadiging geschikte formule wordt als volgt gevonden: aan de hand van de vgl. (20) en (21) en fig. 2 is gemakkelijk in te zien dat:

$$(24) \quad \frac{m_w}{m} = \frac{x - X_\lambda}{x_w - X_\lambda} = \frac{y - Y_\lambda}{y_w - Y_\lambda} = f.$$

Hieruit volgt in verband met vgl. (23):

$$(25) \quad p = 1 - f \frac{y_w}{y}.$$

Voor een nauwkeurige berekening van effectieve golflengte en verzadiging uit de trichromatische coëfficiënten x , y en z zijn tabellen samengesteld²⁾, waarin voor alle homogene stimuli van met 1 m μ opklimende waarden van de golflengte worden gegeven:

- 1°. de trichromatische coëfficiënten van die stimuli (X_λ en Y_λ),
- 2°. de bij deze golflengten behorende waarden van den richtingscoëfficiënt (r) van de verbindingsrechte tusschen het witpunt en het punt P (zie fig. 2). De waarde van r is gemakkelijk te berekenen uit de trichromatische coëfficiënten van het wit en van P , nl.

$$(26) \quad r = \frac{y - y_w}{x - x_w}.$$

In de tabel zijn bij elke golflengte de waarden van r voor elk der vier soorten wit (aequienetisch, A, B en C) van het internationale systeem aangegeven.

Uit x , y en z berekent men nu volgens vgl. (26) na keuze van het wit (x_w , y_w) de waarde van r ; uit de tabel vindt men na interpolatie de bijbehorende waarde van de effectieve golflengte en van X_λ en Y_λ , waarna berekening van f volgens vgl. (24) en van de verzadiging (p) volgens vgl. (25) kan volgen.

Bij de specificatie van de kleur van een *materiaal* is de keuze tusschen het gebruik van het trichromatische of het monochromatische systeem afhankelijk van de eischen der praktijk. Voor de kleurspecificatie van bijna witte stoffen als tapiocameel moet de voorkeur worden gegeven aan de monochromatische methode, aangezien deze de afwijking van ideaal wit uitdrukt in grootheden (totale helderheid en verzadiging of verdunning), welke een voor ieder doorzichtige beteekenis hebben; de karakteriseering door hoeveelheden rood, groen en blauw in het trichromatische systeem is vooral voor bijna witte stoffen minder aanschouwelijk.

Bij de monochromatische specificatie ligt het voor de hand het opvallende licht zelf te kiezen als witcomposant der specificatie. De totale helderheid (H) van het door een materiaal geremitteerd licht wordt dan bij deze specificatie gesplitst in een monochromatisch deel van de effectieve golflengte met een helderheid H_p en een deel, dat als *onveranderd opvallend licht* kan worden beschouwd van de helderheid $H(1 - p)$. Wij noemen deze grootheden resp. *kleurghalte* (K) en *witghalte* (W), of na vermenigvuldiging met 100: kleurpercentage en witpercentage.

Op soortgelijke wijze kan het door het filter getransmitteerde licht worden voorgesteld als een mengsel van homogeen licht van de effectieve golflengte van dit filter en licht, dat onveranderd werd doorgelaten, in een verhouding van helderheden, welke door bovenstaande uitdrukkingen wordt weergegeven.

De bepaling van de remissie-curve.

De eenvoudigste en principieel meest juiste methode ter bepaling der remissie-coëfficiënten is die waarbij het opvallende, zoo volledig mogelijk gehomogeniseerde licht en het geremitteerde licht gelijktijdig worden waargenomen en de verhouding hunner in-

tensiteiten (I°_λ en I_λ) direct wordt bepaald. In de volgens dit principe ingerichte spectraalphotometers (bijv. die van König-Martens) wordt een met behulp van een monochromator verkregen bundel „homogeen” licht in twee gelijke deelen gesplitst. De eene helft wordt door het te onderzoeken object geremitteerd, de andere passeert een inrichting, welke de intensiteit op variabele en meetbare wijze verzwakt. De twee bundels worden tenslotte weer vereenigd en verlichten elk één van de helften van een gezichtsveld. De relatieve intensiteitsverzwakking welke de eerstgenoemde bundel moet ondergaan, wil er gelijke helderheid van beide helften van het gezichtsveld worden geconstateerd, is dan gelijk aan de relatieve intensiteitsverzwakking tengevolge van de remissie, dus gelijk aan den remissie-coëfficiënt

$$R_\lambda = \frac{I_\lambda}{I^\circ_\lambda} \text{ voor de betrokken golflengte.}$$

De meetbare intensiteitsverzwakking kan op verschillende wijzen geschieden: door polarisatie (spectraalphotometer van König-Martens), door inschakeling van een draaienden sector in den stralengang, door diaphragmeeren, enz. In de moderne uitvoering dezer apparaten is bovendien de visuele vergelijking der gezichtsveld-helften vervangen door een objectieve vergelijking met behulp van photo-elementen of photocellen.

De vergelijking van de intensiteiten van opvallend en geremitteerd licht in één gezichtsveld kan worden vervangen door vergelijking van de remissie-intensiteit van het te onderzoeken object (I_λ) met die van een vergelijkingsobject (I'_λ) met bekenden remissie-coëfficiënt (R'_λ), welke beide onmiddellijk na elkaar in het licht van dezelfde lichtbron worden gemeten. Voor de remissie van het te onderzoeken materiaal

geldt dan: $R_\lambda = \frac{I_\lambda}{I^\circ_\lambda}$ en voor die van het vergelij-

kingsmateriaal: $R'_\lambda = \frac{I'_\lambda}{I^\circ_\lambda}$, waaruit volgt:

$$(27) \quad R_\lambda = R'_\lambda \frac{I_\lambda}{I'_\lambda}.$$

Het quotiënt $\frac{I_\lambda}{I'_\lambda}$ kan de *remissie-coëfficiënt ten opzichte van het vergelijkingsmateriaal* worden genoemd.

Voor het vergelijkingsmateriaal kiest men het best een zoo zuiver mogelijk witte stof, welke dus bij elke golflengte ongeveer denzelfden, hoogen remissie-coëfficiënt R'_λ bezit. In dit geval kan de ware remissie-coëfficiënt als voldoende benaderd worden beschouwd door het product van den relatieven remissie-coëfficiënt en een constanten factor. Verschillende stoffen voldoen aan deze voorwaarde. In het internationale systeem is magnesiumoxyde aangewezen als het meest geschikte standaardmateriaal. Bijna even goed en practisch gemakkelijker te hanteeren is bariumsulfaat. Deze stof bezit over het geheele zichtbare spectraalgebied een remissie-coëfficiënt R'_λ van gemiddeld 88,6%.

Verdere voorwaarden voor de toepassing van deze vergelijkende methode zijn:

- 1°. de oppervlakken van het te onderzoeken materiaal en van het vergelijkingsmateriaal moeten volkomen plat en egaal zijn, zoodat slechts volkomen diffuse remissie plaats heeft,
- 2°. de stand van het oppervlak ten opzichte van de lichtbron en de grootte van het verlichte oppervlak moeten bij alle metingen precies dezelfde zijn,
- 3°. de lichtbron moet constant en helder zijn.

Een van de eerste toestellen waarmee volgens dit principe de helderheid van stoffen werd gemeten, is de Albedometer van Zeiss-Pulfrich. Door enkele handgrepen kan men in dit toestel het oppervlak van het te onderzoeken materiaal, dat volkomen diffuus wordt belicht, vervangen door een oppervlak van bariumsulfaat. De intensiteitsverhouding van het door beide oppervlakken teruggeworpen licht wordt hier bepaald met behulp van den Pulfrich-photometer. De monochromator is vervangen door een aantal kleurfilters.

In de Selenophoot wordt de remissie op principieel dezelfde wijze ten opzichte van een standaardoppervlak van bariumsulfaat gemeten. De monochromator is ook hier vervangen door een reeks filters. In de plaats van de visueelphotometrische bepaling van de intensiteiten door middel van het op kleurgelijkheid brengen van twee helften van een gezichtsveld, treedt hier echter de directe meting van de helderheid van het geremitterde licht door middel van een seleen-photo-element.

Van de vele photo-electrische colorimeters, welke in de laatste 10 jaren in de literatuur zijn beschreven en waarin hetzelfde principe wordt toegepast, mogen hier verder slechts worden genoemd de apparaten van

Bolton en Williams⁴⁾, Sheard en Sanford⁵⁾, Lange⁶⁾ en het toestel voor de witheidsbepaling van suiker van Keane en Brice⁷⁾, welk laatste in constructie de Selenophoot het meest benadert.

Beschrijving van het toestel.

Figuur 4 geeft een schema van de Selenophoot en van den bijbehorenden galvanometer.

Bij de meting van de remissie is de stralengang in het toestel als volgt. De van de photometerlamp uitgaande divergeerende lichtbundel wordt door een gecorrigeerde lens (Le) in een evenwijdigen lichtbundel omgezet. Deze bundel treedt het toestel binnen door een regelbaar irisdiaphragma (D_1), hetwelk is voorzien van een sleuf (F) voor het opnemen van kleurfilters. Na het diaphragma doorloopt de lichtbundel ter elimineering der infrarode straling een planparallel cuvet (C) welke een 2 cm dikke laag van een 1%-ige kopersulfaatoplossing bevat *). Het licht passeert vervolgens een planparallelle glazen plaat (P_1), welke onder een hoek van 45° vast is opgesteld. Door reflectie op deze plaat wordt ca 10% van het licht loodrecht omhooggeworpen, waarna het via

4) E. R. Bolton en K. A. Williams, *Analyst* 60, 447 (1935); 62, 3 (1937).

5) A. H. Sanford, C. Shearden A. E. Osterberg, *Am. J. Clin. Path.*, 3, 405 (1933).

6) B. Lange, *Die Photoelemente und ihre Anwendung*, I, II, Leipzig 1936.

7) J. C. Keane en B. A. Brice, *Ind. Eng. Chem. An. Ed.* 9, 258 (1937).

*) Bolton en Williams⁴⁾ bevelen een laag 1%-ige kopersulfaat-oplossing ter dikte van 2 inch aan; een laag ter dikte van 2 cm bleek in de Selenophoot de warmtestraling voldoende tegen te houden.

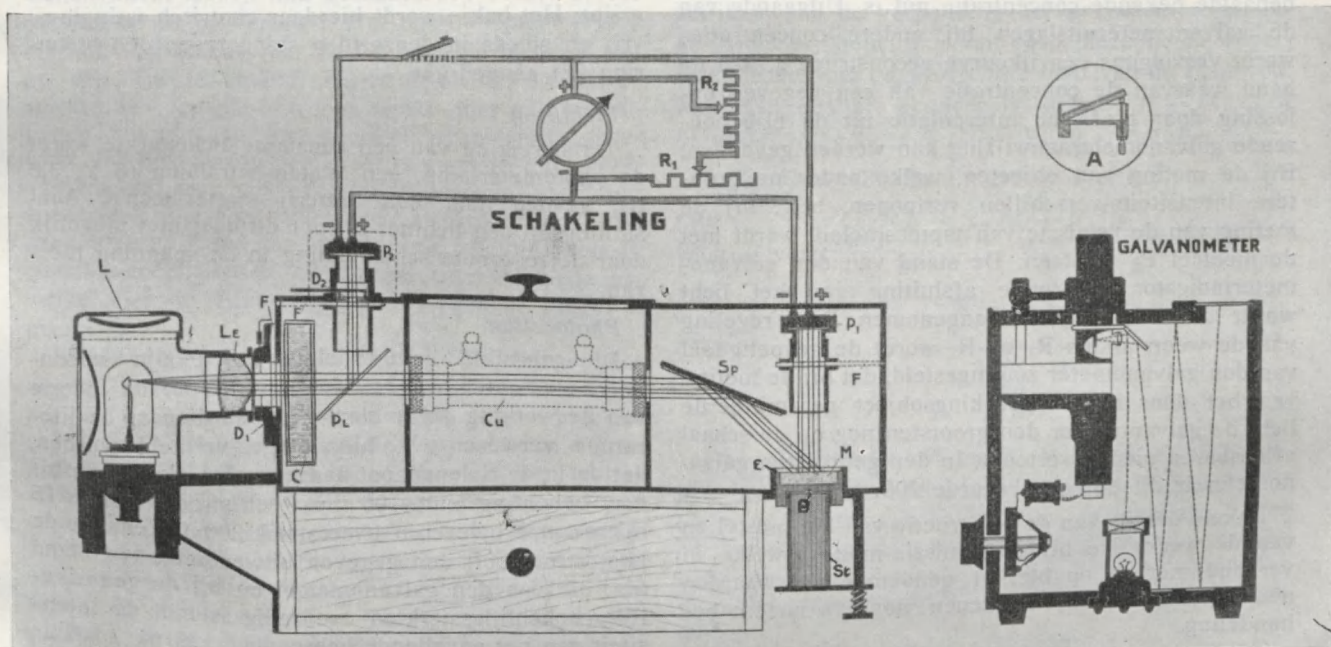


Fig. 4. Constructie- en schakelschema van de Selenophoot.

een regelbaar irisdiaphragma (D_2) een photo-element, de „hulpcel” (P_2) treft. Vóór deze hulpcel, waarmee de intensiteit van het opvallende licht direct kan worden gemeten, is eveneens een sleuf (F) voor het opnemen van kleurfilters aangebracht. Door middel van een spiegel (Sp) wordt vervolgens de hoofdblichtbundel onder een hoek van 45° op het oppervlak van het monster geworpen. Het monster (bijv. meel) bevindt zich in een laag van 9 mm dik in een rond koperen bakje (M, inwendige diameter 44,5 mm), dat door een veerenden steun (St) onder tegen den steunring (E) wordt aangedrukt. Boven het monsterbakje bevindt zich een photo-element, de „meetcel” (P_1), waarmee de energie van het geremitterde licht wordt gemeten. Vóór deze cel is wederom een sleuf (F) voor het opnemen van kleurfilters aangebracht.

Voor de meting van de *transmissie* wordt een cuvet (Cu) met de te onderzoeken vloeistof, of een plaatje van het te onderzoeken transparante vaste materiaal in den stralengang tusschen de plaat (Pl) en den spiegel (Sp) geplaatst; het monsterbakje (M) is in dit geval vervangen door een onder $22,5^\circ$ hellenden spiegel (A, in fig. 4 afzonderlijk afgebeeld), waardoor het getransmitteerde licht met bijna volle intensiteit in de meetcel wordt geworpen.

Door middel van de hulpcel kan een deel van den fotostroom, welke door het geremitterde (resp. het getransmitteerde) licht in de meetcel wordt opgewekt, worden gecompenseerd. De rest van dezen stroom kan daardoor met grooter nauwkeurigheid dan de volle stroom worden gemeten; bij deze schakeling wordt de maximale nauwkeurigheid bij de meting van licht-intensiteiten bereikt. Deze schakeling is bijv. met voordeel toe te passen bij de colorimetrie van zeer verdunde oplossingen; door regeling van de weerstanden R_1 (grove instelling, 10 k Ω) en R_2 (fijn-regeling, 5 k Ω), wordt hierbij gezorgd dat de galvanometeruitslag bij de meting van een oplossing van bepaalde bekende concentratie nul is. Uitgaande van de galvanometeruitslagen bij andere concentraties wordt vervolgens een ijkcurve geconstrueerd, aan de hand waarvan de concentratie van een gegeven oplossing door grafische interpolatie uit de bijbehorende galvanometeraanwijzing kan worden gevonden. Bij de meting van objecten, welke onderling grotere intensiteits-verschillen vertoonen, bijv. bij de meting van de remissie van tapiocamelen, wordt met de meetcel P_1 volstaan. De stand van den galvanometerindicator bij totale afsluiting van het licht wordt dan als nulpunt aangenomen. Door regeling van de weerstanden R_1 en R_2 wordt de gevoeligheid van den galvanometer zóó ingesteld, dat bij de meting van het door het vergelijkingsobject geremitterde licht de galvanometer den grootsten nog op de schaal afleesbaren uitslag vertoont. In den gebruikten galvanometer is dit de schaalwaarde 200.

Enkele details van de constructie van het toestel en van de werkwijze bij de remissie-meting, welke in verband met de op blz. 41 genoemde voorwaarden noodzakelijk waren, verdienen nog een nadere behandeling.

Vervaardiging van het remitteerende oppervlak.

Het is gebleken, dat de wijze waarop het oppervlak

van een poeder wordt gemaakt, een belangrijken invloed heeft op de remissie-eigenschappen. Drukt men de stof met een gewone glazen plaat aan, dan ontstaan oppervlakken welke gedeeltelijk spiegeling vertoonen; de remissie is dan niet meer volkomen diffuus en de intensiteit van het in loodrechte richting door het oppervlak teruggeworpen licht dus niet meer een zuivere maat voor de helderheid van de stof. Gevonden werd, dat de beste wijze ter vervaardiging van het oppervlak van een monster bestaat in het aandrukken van het poeder in het monsterbakje (M) met behulp van een gematteerde glazen plaat. Tijdens het aandrukken, dat wordt voortgezet totdat het meelniveau gelijk staat met den rand van het bakje, wordt de stempel een weinig gedraaid. De bariumsulfaat-standaard wordt vervaardigd door in een monsterbakje bariumsulfaat (geprecipiteerd, p.a.) onder sterken druk (200 kg/cm²) samen te persen. Hierbij wordt tusschen den persstempel en het bariumsulfaat een schijfje gehard filtreerpapier gelegd, waarvan de vezelstructuur in het bariumsulfaat-oppervlak wordt afgedrukt. Op deze wijze wordt een volkomen diffuus remitteerend oppervlak verkregen, dat bij bewaren in een stofvrije ruimte onbepekten tijd dezelfde helderheid behoudt.

Plaatsing van het remitteerend oppervlak.

Geringe afwijkingen in de oriëntering van het oppervlak t.o.v. den stralengang hebben een sterken invloed op de gemeten remissie-waarde. Een bijzondere inrichting was noodig om een bij elke meting volkomen gelijken stand van het bakje te waarborgen. Aangezien de geringste wringing tusschen den aandrukstempel (St) en het monsterbakje reeds belangrijke afwijkingen in de remissie ten gevolge kan hebben, is de bovenzijde van dezen stempel zwak conisch afgedraaid en voorzien van een stalen punt (B) welke in een daarvoor aangebrachte conische uitholling aan de onderzijde van het monsterbakje grijpt. Het bakje wordt hierdoor centriscch wringingsvrij en steeds in denzelfden stand tegen den steunring (E) aangedrukt.

Lichtbron.

Ter bereiking van een constante lichtsterkte wordt de photometerlamp, een Wotan-Nitralamp (8 V, 3,8 A), gevoed door een batterij starter-accu's. Aansluiting op een lichtnet is voor dit doel niet mogelijk door de te groote schommeling in de spanning hiervan.

Photocellen.

De gebruikte lichtgevoelige cellen zijn seleen-photo-elementen volgens Lange. Voor de theorie van de werking dezer elementen wordt naar de literatuur verwezen^{6;8)}, hier moge vermeld worden, dat de in de Selenophoot aangebrachte elementen bij een belichting met 100 Lux een stroom van ca 15 micro-ampère leveren (weerstand 200 Ω) en dat de fotostroom bij den gegeven uitwendigen weerstand (d.i. die van den galvanometer) en bij de gebruikelijke belichtingssterkten evenredig is met de intensiteit van het opvallende licht.

8) M. Wreschner, *Abderhalden's Handb. biol. Arb. meth. Abt. V*, Tl. 10, Bd. 4, 1125 (1938).

De galvanometer is een spiegelgalvanometer met een gevoeligheid van 3×10^{-9} A/mm. Bij de constructie van de Selenophoot viel de keuze op den Multiflex-galvanometer volgens Lange (zie fig. 4), waarin de door den spiegel teruggeworpen lichtstraal door herhaalde reflecties in het toestel is „opgevouwen”.

Voor de kleurfilters werden glazen filters van de fa. Schott & Gen., Jena („Jenaer Farb- und Filtergläser”) gekozen. De filters werden in metalen houders gevat, passende in de sleuven F.

Berekening van de remissie-coëfficiënten uit de remissiewaarden in gefiltreerd licht.

De bepaling van de energie van het geremitteerde licht wordt bij het gebruik van de Selenophoot teruggebracht tot de meting van de sterkte van den door dit licht in het photo-element opgewekten stroom. Het is dus van belang, het verband tusschen deze stroomsterkte en de energie van het invallende licht nauwkeurig te kennen.

In het hier toegepaste type photo-element is de sterkte van den fotostroom, welke bij belichting met heterogeen licht van een vaste spectrale samenstelling optreedt, recht evenredig met de totale energie van dit licht. De stroomsterkte per eenheid van lichtenergie is afhankelijk van de spectrale samenstelling van het licht; bij een homogene straling van een bepaalde golflengte behoort een bepaalde stroomsterkte per eenheid van lichtenergie, welke de *gevoeligheid* van het photo-element voor die bepaalde golflengte wordt genoemd. De grafische voorstelling van de gevoeligheid als functie van de golflengte, de *gevoeligheidscurve*, is in fig. 3 met een stippellijn aangegeven. De eenheid van energie is daarbij zoo gekozen, dat het maximum van de gevoeligheid even hoog is als het maximum der zichtbaarheidscurve (γ). Het blijkt, dat de maxima dezer curven bijna samenvallen, terwijl hun gedaante ook verder groote overeenstemming vertoont. Het photo-element is dus als meetinstrument voor de lichtenergie met het oog op één lijn te stellen. Dit heeft tot gevolg, dat de sterkte van den fotostroom, welke door een heterogenen stimulus in het photo-element wordt opgewekt, bij benadering een maat is voor de *totale helderheid* en niet voor de totale energie van dien stimulus. Uit het onderstaande zal blijken, dat juist deze omstandigheid een bijna exacte afleiding van de remissie-coëfficiënten uit de galvanometeruitslagen, welke met de filters worden verkregen, mogelijk maakt.

Bij de meting van de remissie met de Selenophoot worden telkens filters tusschen het remitteerend oppervlak en het photo-element in den stralengang ingeschakeld. Het is gemakkelijk in te zien, dat de spectrale verdeeling van het licht, dat het photo-element treft, onafhankelijk is van de volgorde van opstelling der verschillende media in den stralengang, zoodat zij geheel dezelfde zou blijven wanneer men bij overigens gelijke omstandigheden het filter tusschen de lichtbron en het remitteerend oppervlak plaatste. In het volgende zal terwille van de aanschouwelijkheid zóó worden geredeneerd, alsof het filter inderdaad deze plaats innam.

Het gefiltreerde licht, dat het remitteerend oppervlak treft, kan worden beschouwd (zie blz. 39) als een mengsel van onveranderd „wit” licht van de lichtbron en homogeen licht van een golflengte, welke de effectieve golflengte (λ_e) van het filter in het licht van de lichtbron kan worden genoemd. Ook de remissie door het oppervlak kan worden opgevat als de resultante van de partiele remissies van elk dezer componenten van het opvallende licht afzonderlijk. De totale helderheid van het geremitteerde licht is gelijk aan de som der helderheden, waarmee de componenten worden teruggeworpen. Noemen wij deze helderheden voor het geval van remissie door het standaardoppervlak van bariumsulfaat: h (totale helderheid), h_w (helderheid van het geremitteerde licht van de lichtbron) en h_λ (helderheid van het geremitteerde licht van de effectieve golflengte); resp. voor het geval van remissie van hetzelfde licht door het te onderzoeken materiaal: h' , h'_w en h'_λ , dan gelden dus de vergelijkingen:

$$(28) \quad h = h_w + h_\lambda,$$

$$(29) \quad h' = h'_w + h'_\lambda.$$

Het quotiënt h'_λ/h_λ is nu de gezochte remissie-coëfficiënt (R_λ) van het te onderzoeken materiaal ten opzichte van bariumsulfaat bij de golflengte λ (de effectieve golflengte van het filter), zoodat $h'_\lambda = R_\lambda h_\lambda$. De grootheid h'/h noemen wij de *remissie-waarde* van het materiaal in het gefiltreerde licht en h'_w/h_w de *remissie-waarde* van het materiaal in het licht van de lichtbron zelf. Deze remissie-waarden worden nu in de Selenophoot direct bepaald en wel is volgens het bovenstaande de verhouding h'/h bij benadering gelijk aan de verhouding der galvanometeruitslagen (R) bij belichting van resp. het te onderzoeken oppervlak en het vergelijkingsoppervlak met het gefiltreerde licht, terwijl de grootheid h'_w/h_w gelijk is aan de verhouding der galvanometeruitslagen (R_w) bij belichting van resp. deze beide oppervlakken met het *ongefiltreerde* licht van de lichtbron. Men kan dus bij benadering stellen: $R = h'/h$, of $h' = R h$ en $R_w = h'_w/h_w$, of $h'_w = R_w h_w$.

Vergelijking (29) gaat hierdoor over in:

$$(30) \quad R h = R_w h_w + R_\lambda h_\lambda$$

waaruit volgt:

$$(31) \quad R_\lambda = \frac{R - R_w \frac{h_w}{h}}{\frac{h_\lambda}{h}}.$$

De quotiënten h_λ/h en h_w/h stellen echter, wanneer men van de zeer geringe verandering der relatieve spectrale verdeeling bij de remissie door bariumsulfaat afziet, de verzaadiging resp. de verdunning van het gefiltreerde opvallende licht voor, welke grootheden met p resp. $1 - p$ werden aangeduid, zoodat

$$(32) \quad R_\lambda = \frac{R - (1 - p) R_w}{p}.$$

Voor de bepaling van de remissie-curve van een materiaal is dus in ieder geval de vaststelling van de wit-remissie (R_w) noodzakelijk; de remissie-coëfficiënten (R_λ) voor de verschillende effectieve golflengten der filters worden telkens uit de remissie-waarden (R) in het licht van de filters afgeleid door toepassing van vgl. (32) met de bijbehorende waarde van p . Voor deze berekeningen is derhalve de monochromatische kleurspecificatie der filters benodigd, welke hieronder eerst zal worden besproken.

De kleursamenstelling der filters.

Bij de berekening van de kleurspecificatie van een materiaal uit de remissie-curve komt aan het gedeelte van deze curve, dat met de grootste gevoeligheid van het oog (de top van de zichtbaarheidscurve dus) samenvalt, het grootste gewicht toe. Dit deel der remissie-curve dient dus met de grootste nauwkeurigheid, d.w.z. door een zoo groot mogelijk aantal waarden der remissie-coëfficiënten te worden bepaald. De filters, welke voor de bepaling der remissie-curve dienen, kunnen derhalve het best zóó worden gekozen, dat de reeks der effectieve golflengten in het midden van het zichtbare spectrum met kleinere verschillen (bijv. 10 m μ) opklimt dan aan de uiteinden (bijv. 50 m μ).

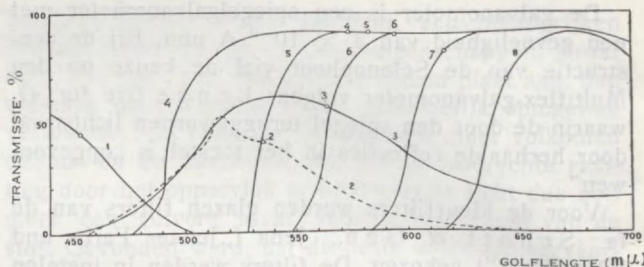


Fig. 5. Transmissie-curven der in de Selenophoot gebruikte kleurfilters.

De transmissie-curven der in de Selenophoot gebruikte filters werden met behulp van een König-Martens spectraalphotometer gemeten (fig. 5).*)

Uit deze transmissie-curven werden volgens de op blz. 37 e.v. beschreven methoden de trichromatische en de monochromatische specificaties berekend en wel

1°. voor de filters 1 t/m 8 in aequienergetisch licht met den aequienergetischen stimulus als wit-composant in de monochromatische specificatie,

2°. voor de filters 1, 2, 5 en 7 in het licht van lichtbron A met den stimulus A als wit-composant in de monochromatische specificatie.

De uitkomsten zijn in tabel 1 samengevat.

*) Deze metingen werden verricht op het Proefstation voor de Suikerindustrie te Pasoeroean.

Tabel 1. Trichromatische en monochromatische kleurspecificaties der in de Selenophoot gebruikte filters.

a. Lichtbron : aequienergetisch licht.

Wit-composant der monochromatische specificatie : aequienergetische stimulus.

Filter		Totale helderheid H %	Trichromatische coëfficiënten			Effectieve golflengte λ_e m μ	Verzadiging p %
No.	Merk (Jena)		x	y	z		
1	BG 12	1,20	0,15493	0,02436	0,82071	453,4	84,8
2	VG 1	22,85	0,24687	0,60507	0,14806	534,6	78,1
3	VG 4	45,89	0,38852	0,54777	0,06370	563,9	88,6
4	GG 11	82,41	0,45928	0,50737	0,03335	574,1	93,6
5	OG 1	63,18	0,53274	0,46480	0,00246	583,4	99,4
6	OG 2	40,63	0,60179	0,39763	0,00058	594,8	100,0
7	OG 3	15,21	0,68531	0,31453	0,00016	617,2	100,0
8	RG 2	3,31	0,72274	0,27725	0,00000	644,7	100,0

b. Lichtbron : lichtbron A (1931-C. I. E.).

Wit-composant der monochromatische specificatie : stimulus A (1931-C. I. E.).

1	BG 12	0,47	0,15014	0,03141	0,81845	458,2	84,7
2	VG 1	19,30	0,29289	0,61262	0,09449	528,3	66,4
5	OG 1	71,89	0,56065	0,43745	0,00190	587,7	99,1
7	OG 3	21,83	0,68855	0,31130	0,00015	618,6	100,0

In fig. 5 is de effectieve golflengte bij de onder a genoemde specificatie voor elk filter door het met deze golflengte overeenkomende punt op de transmissie-curve aangegeven. De verdeling der effectieve golflengten is niet ideaal, doch voldoet aan praktische eischen. Het verdient nog opmerking, dat de verzadiging der roode filters praktisch totaal is, zoodat deze zuivere spectraalkleuren doorlaten, dat daarentegen de blauwe en groene filters vrij veel wit bevatten.

De remissie en de kleurspecificatie van tapiocameel.

De remissie-waarden (R) van een 20-tal monsters tapiocameel van uiteenlopende kwaliteit in het licht van de filters No. 1, 2, 5, 7 en 8, zoomede de daaruit met behulp van vgl. (32) afgeleide remissie-coëfficiënten (R_λ) voor de effectieve golflengten dezer filters zijn in tabel 2 aangegeven.

Tabel 2.

Remissie-waarden en remissie-coëfficiënten van tapiocameel.

Monster No.	R_w	Filter 1		Filter 2		Filter 5		Filter 7	Filter 8
		R	R_λ	R	R_λ	R	R_λ	$R=R_\lambda$	$R=R_\lambda$
1									
1 A*)	85,20	76,00	74,34	84,00	83,67	86,90	86,91	87,60	86,20
2	85,40	77,11	74,33	84,20	83,39	86,95	86,92	88,00	87,20
3	88,85	81,78	75,62	88,00	83,86	90,10	86,96	91,10	90,40
4	88,85	83,11	80,51	88,60	87,77	90,20	90,11	91,10	91,40
5	89,15	84,22	82,08	88,90	88,53	90,55	90,21	91,20	91,80
6	89,55	84,45	83,33	89,10	88,83	90,65	90,56	91,40	91,60
7	90,05	84,67	83,53	90,00	88,97	91,50	90,65	92,10	92,20
8	90,80	86,22	83,71	90,60	89,99	91,90	91,51	92,80	92,40
9	91,55	88,40	85,40	91,00	90,54	91,95	91,91	92,50	92,60
10			87,84		90,85		91,95		
10 A*)	91,35	86,45	85,57	91,20	91,16	92,50	92,50	93,10	93,20
11	91,75	87,80	85,56	91,20	91,12	92,55	92,51	93,20	93,60
12	92,05	87,09	87,09	91,70	91,04	93,05	92,55	93,80	94,00
13	92,50	88,00	87,27	92,00	91,60	93,70	93,06	94,10	94,20
14	92,30	90,20	89,78	92,00	91,86	93,40	93,71	94,00	94,00
15	93,40	87,80	86,99	91,90	91,78	93,45	93,41	94,40	94,60
16	93,10	90,80	90,34	92,50	92,24	93,60	93,60	94,60	94,60
17	93,70	89,40	88,73	92,80	92,72	93,60	93,60	95,30	95,60
18	94,85	91,60	91,22	93,00	92,81	94,60	93,60	96,20	96,20
19	94,85	92,20	91,72	94,00	93,77	95,80	94,60	96,20	96,20
20	95,80	92,80	92,26	95,00	94,78	95,96	95,80	96,20	96,20
20 A*)	95,90	94,00	93,65	95,40	95,26	95,95	95,96	96,20	96,40
			93,66		95,15		95,95		

Het verschil tusschen de remissie-waarde en den remissie-coëfficiënt blijkt in het algemeen gering te zijn. De reden hiervan is gemakkelijk aan de hand van vgl. (32) in te zien, wanneer men deze in den vorm schrijft:

$$(33) \quad \Delta R = \frac{R_\lambda - R}{R} = \frac{1-p}{p} \times \frac{R - R_w}{R}$$

De relatieve afwijking (ΔR) der remissiewaarde van den remissie-coëfficiënt is dus het product van:

- 1°. de verhouding van witgehalte tot kleurgehalte van het gefiltreerde licht: $(1-p)/p$,
- 2°. de relatieve afwijking der voor het licht van de lichtbron gevonden remissie-waarde (R_w) van de remissie-waarde (R) voor het gefiltreerde licht.

Eerstgenoemde factor is voor de meeste filters klein en voor de roode filters zelfs nihil. Dientengevolge zijn de remissie-waarden in het licht van de filters 6, 7 en 8 gelijk aan de remissie-coëfficiënten voor de effectieve golflengten van die filters (zie tabel 2). De tweede factor is in het bijzonder voor bijna witte stoffen altijd een kleine breuk. Dit laatste is begrijpelijk wanneer men bedenkt, dat de remissiecurve van zulke stoffen weinig van een horizontale rechte afwijkt, zoodat de remissie-waarde voor een heterogene straling, welke een groot deel van het spectrum omvat (i.c. wit licht), weinig zal afwijken van de remissie-waarde voor een bijna homogene straling van willekeurige golflengte. Tengevolge van de geringheid van beide factoren wordt voor tapiocameel de correctie $R_\lambda - R$ relatief zeer klein.

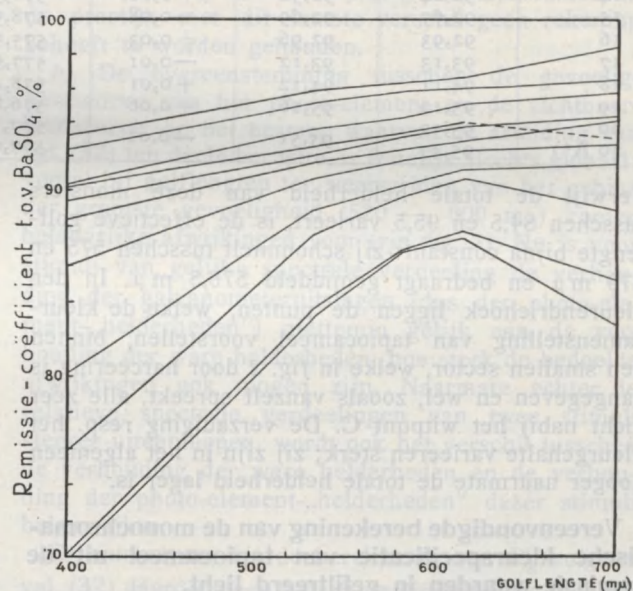


Fig. 6. Remissie-lijnen van 11 monsters tapiocameel.

In fig. 6 zijn de remissie-coëfficiënten van 11 der 20 monsters tegen de golflengte uitgezet. De in de figuur geteekende gebroken lijnen, welke door onderlinge verbinding der bij elk monster behorende ordinaten zijn ontstaan, zullen een des te nauwkeuriger benadering van de eigenlijke remissie-curve zijn, naarmate het aantal door de meting vastgestelde ordinaten (het aantal beschikbare filters) grooter is en naarmate de curve zelf meer tot een rechte lijn nadert. Daarbij is vooral het middelste gedeelte der remissie-curve, tusschen de golflengten 500 en 600 mμ belangrijk, aangezien dit het meest tot de helderheid bijdraagt. Uit fig. 6 blijkt, dat juist in dit

*) Zie blz. 47.

gedeelte de remissielijn zoo sterk tot een rechte nadert, dat de bepaling van de remissie-coëfficiënten met de 5 filters 1, 2, 5, 7 en 8 voor de vastlegging van de remissie-curve voldoende moet worden geacht.

De uitkomsten voor de totale helderheid t.o.v.

bariumsulfaat (H), de effectieve golflengte (λ_e) en het kleurgehalte (K) van de 20 monsters tapiocameel van tabel 2 in het licht van lichtbron C (gemiddeld daglicht), met hetzelfde licht als wit-composant der monochromatische specificatie, zijn in tabel 3 samengevat.

Tabel 3. Monochromatische kleurspecificatie van tapiocameel.

Monster No.	Totale helderheid t.o.v. BaSO ₄ in %		$H^* - H$	Effectieve golflengte λ_e m μ	Verzadiging $\frac{p}{\%}$	Kleurgehalte in %		$K^* - K$
	H	H^*				K	K^*	
1	84,46			575,3	11,59	9,79		
1 A*)	84,40	84,58	+0,12	574,7	12,55	10,59	9,51	-0,28
2	84,74	84,75	+0,01	576,0	10,62	9,00	8,93	-0,07
3	88,38	88,42	+0,04	575,6	8,70	7,69	7,64	-0,05
4	88,94	88,92	-0,02	575,8	7,48	6,65	6,55	-0,10
5	89,31	89,23	-0,08	576,3	6,54	5,84	5,72	-0,12
6	89,44	89,41	-0,03	576,0	6,48	5,80	5,70	-0,10
7	90,27	90,30	+0,03	575,1	7,08	6,39	6,09	-0,30
8	90,87	90,86	-0,01	575,6	5,82	5,29	5,40	+0,11
9	91,20	91,19	-0,01	576,7	3,60	3,28	3,36	+0,08
10	91,46			575,1	6,23	5,70		
10 A*)	91,46	91,46	0,00	574,5	6,73	6,16	5,45	-0,25
11	91,55	91,47	-0,08	576,9	4,77	4,37	4,43	+0,06
12	92,06	91,97	-0,09	576,4	5,09	4,69	4,76	+0,07
13	92,15	92,14	-0,01	577,2	2,52	2,32	2,30	-0,02
14	92,24	92,30	+0,06	576,3	5,59	5,16	5,17	+0,01
15	92,77	92,69	-0,08	578,9	2,59	2,40	2,62	+0,22
16	92,93	92,95	+0,03	575,9	4,40	4,09	4,10	+0,01
17	93,13	93,12	-0,01	577,9	2,11	1,97	2,05	+0,08
18	94,11	94,12	+0,01	578,4	2,49	2,34	2,54	+0,20
19	95,10	95,16	+0,06	576,8	2,91	2,77	2,79	+0,02
20	95,52			577,1	1,91	1,82		
20 A*)	95,47	95,51	-0,01	577,0	1,97	1,88	1,80	-0,02

Terwijl de totale helderheid van deze monsters tusschen 84,5 en 95,5 varieert, is de effectieve golflengte bijna constant: zij schommelt tusschen 575 en 579 m μ en bedraagt gemiddeld 576,5 m μ . In den kleurendriehoek liggen de punten, welke de kleursamenstelling van tapiocameel voorstellen, binnen den smallen sector, welke in fig. 2 door harceering is aangegeven en wel, zooals vanzelf spreekt, alle zeer dicht nabij het witpunt C. De verzadiging resp. het kleurgehalte variëren sterk; zij zijn in het algemeen hooger naarmate de totale helderheid lager is.

Vereenvoudigde berekening van de monochromatische kleurspecificatie van tapiocameel uit de remissie-waarden in gefiltreerd licht.

Hoewel de meting der remissie-waarden in het licht van 5 filters met behulp van de Selenophoot snel uit te voeren is, brengt de daaropvolgende afleiding der trichromatische en monochromatische kleurspecificaties hieruit zeer veel tijdroovend rekenwerk met zich mede. Het is evenwel gebleken, dat men met een vereenvoudigde berekening kan volstaan, wanneer de metingen alle betrekking hebben op één klasse van objecten, i.c. tapiocameel.

Uit het bijna rechtlijnige verband, dat bij tapiocameel tusschen remissie-coëfficiënt en golflengte in het midden van het zichtbare spectraalgebied bestaat, volgt, dat men de totale helderheid, welke door een met het oppervlak onder de remissie-curve symbate grootheid wordt bepaald, bij benadering gelijk zal

kunnen stellen aan den remissie-coëfficiënt bij een bepaalde, in het midden van het spectraalgebied liggende golflengte. Is de bedoelde golflengte zoodanig, dat zij den afstand tusschen de effectieve golflengten van de filters No. 2 en 5 verdeelt in de verhouding $u : (1 - u)$ en zijn de remissiewaarden voor de twee genoemde filters R_2 en R_5 , dan geldt dus bij benadering voor de totale helderheid, welke bij deze wijze van berekening met H^* worde aangeduid:

$$(34) \quad H^* = R_2 + u(R_5 - R_2).$$

De waarde van den factor u kan empirisch worden gevonden als het gemiddelde van de waarden van de grootheid $(H - R_2)/(R_5 - R_2)$ voor een groot aantal monsters. Uit de remissie-waarden der 20 monsters van tabel 2 volgt voor u de waarde: 0,82. De met deze waarde van u volgens vgl. (34) berekende totale helderheid van deze 20 monsters (H^*), zoomede de afwijkingen dezer waarden van de exact berekende (H), zijn in tabel 3 gegeven.

De afwijking blijkt in de meeste gevallen binnen de experimenteele fout te liggen; de gemiddelde absolute waarde ervan is 0,04%.

Dank zij den bijna lineairen samenhang tusschen remissie-coëfficiënt en golflengte is niet alleen voor de helderheid doch ook voor het kleurgehalte van tapiocameel een vereenvoudigde berekening aan te geven. Het is gemakkelijk in te zien dat een hooger geelgehalte van het geremitterde licht met een sterkere helling der remissie-lijn naar het roode uiteinde van het spectrum gepaard zal gaan. Men

*) Zie blz. 47.

mag dus aannemen, dat het kleurgehalte (K) in de eerste plaats door den richtingscoëfficiënt van de remissie-curve zal worden bepaald, welke in dit geval het best door het verschil tusschen de remissie-coëfficiënten voor de effectieve golflengten van de filters No. 1 en 7 wordt benaderd. In de veronderstelling, dat het kleurgehalte bij benadering evenredig is met dit verschil, kan dus worden geschreven:

$$(35) \quad K^* = \nu (R_7 - R_1).$$

De waarde van den evenredigheidsfactor ν kan wederom empirisch worden gevonden als het gemiddelde van de waarden van de grootheid $K / (R_7 - R_1)$ voor een groot aantal monsters. Uit de remissie-waarden der 20 monsters van *tabel 2* volgt voor ν de waarde: 0,20. Het met deze waarde van ν volgens vgl. (35) berekende kleurgehalte (K^*) der 20 monsters, zoomede de afwijkingen dezer waarden van de exact berekende (K), is in *tabel 3* gegeven. Deze afwijkingen zijn evenals in het geval der totale helderheid zeer gering en van de grootteorde der experimenteele fout; de gemiddelde absolute waarde ervan is 0,11%. De vereenvoudigde berekening levert dus zoowel t.a.v. de totale helderheid als van het kleurgehalte uitkomsten van een voor praktische doeleinden toereikende nauwkeurigheid.

Uit de goede overeenstemming tusschen de volgens vgl. (34) en (35) berekende waarden van helderheid en kleurgehalte en de exact berekende, volgt nog, dat men bij de kleurmeting van tapiocameel kan volstaan met de meting van de remissie-waarden in het licht van slechts vier filters (No. 1, 2, 5 en 7).

De nauwkeurigheid van de kleurbepaling met de Selenophoot.

De nauwkeurigheid waarmede de remissie-waarden worden gevonden, wordt bepaald door de nauwkeurigheid der galvanometeraflezing; met den voor de Selenophoot gebruikten galvanometer bedraagt deze nauwkeurigheid ca 0,1%. Geringe onregelmatigheden in het meeloppervlak hebben evenwel een zóó sterken invloed op de remissie, dat dublobepalingen onderling gemiddeld met een grooter bedrag (ca 0,5%) verschillen. Het eindresultaat voor de totale helderheid en het kleurgehalte is (bij exacte berekening) gemiddeld op één eenheid van de eerste decimaal (0,1%) nauwkeurig.

In de theoretische afleiding van de monochromatische specificatie uit de remissie-waarden komen enkele verwaarloozingen voor, welke nog in het kort mogen worden behandeld.

a. Bij de berekening van de remissie-coëfficiënten der 20 monsters tapiocameel uit de remissie-waarden volgens vgl. (32) (zie *tabel 2*) werd voor de grootheid p in deze vergelijking de waarde van de verzadiging van het filter in *aequiennergetisch licht* ingevuld. Nu is de spectrale verdeeling van het licht van de Selenophoot-lichtbron niet bekend, hoewel kan worden aangenomen dat zij weinig van de aequiennergetische afwijkt. In werkelijkheid werd dus bij deze berekening een niet geheel juiste waarde van p gebezigd. Het is daarom van belang den invloed van een fout in p op het eindresultaat der kleurbepa-

ling te onderzoeken. Te dien einde werd van drie monsters meel van sterk uiteenlopende remissiewaarden (de nos. 1, 10 en 20 der genoemde reeks) de berekening der remissie-coëfficiënten, totale helderheden en kleurgehalten, behalve op de reeds beschreven wijze met aequiennergetisch licht als veronderstelde lichtbron, tevens verricht in de veronderstelling dat de Selenophoot-lichtbron zou overeenkomen met lichtbron A van het internationale systeem.

De uitkomsten van deze berekeningen, waarbij de waarden van p aan *tabel 1 b* werden ontleend, zijn onder de nos. 1A, 10A en 20A in de *tabellen 2* en *3* opgenomen. De afwijkingen der aldus verkregen uitkomsten voor de remissie-coëfficiënten van die, welke bij veronderstelling van aequiennergetisch opvallend licht werden berekend (zie *tabel 2*), zijn voor de filters 1, 2 en 5 zeer gering te noemen en voor de filters 6, 7 (ook 8) natuurlijk nihil. Uit *tabel 3* blijkt dat ook de einduitkomsten voor totale helderheid, effectieve golflengte en kleurgehalte bij lichtbron A als veronderstelde lichtbron weinig verschillen van die bij aequiennergetisch licht. Aangezien het verschil tusschen lichtbron A en de Selenophoot-lichtbron zeker grooter is dan dat tusschen aequiennergetisch licht en de Selenophoot-lichtbron, mag worden geconcludeerd, dat bij de kleurbepaling van tapiocameel in de praktijk met dit laatste verschil geen rekening behoeft te worden gehouden.

b. De overeenstemming tusschen de gevoeligheidscurve van het photo-element en de zichtbaarheidscurve, op het bestaan waarvan de afleiding van vgl. (32) ten deele berustte, is feitelijk slechts globaal: vooral bij golflengten ter weerszijden van het gebied der grootste gevoeligheid (520 — 600 m μ) komen belangrijke afwijkingen voor (zie *fig. 3*). Nu is voor stimuli van gelijke spectrale verdeeling de verhouding der galvanometeruitslagen (dus der photo-element-„helderheden”) niettemin gelijk aan de verhouding der ware helderheden, hoe sterk de bedoelde afwijkingen ook mogen zijn. Naarmate echter de relatieve spectrale verdeelingen van twee stimuli sterker uiteenloopen, wordt ook het verschil tusschen de verhouding der ware helderheden en de verhouding der photo-element-„helderheden” dezer stimuli belangrijker.

Er ontstaat nu bij de berekening van R_λ volgens vgl. (32) dáárdoor een fout in de einduitkomst, dat het door het te onderzoeken materiaal geremitteerde licht en het door den bariumsulfaat-standaard geremitteerde licht niet dezelfde spectrale verdeeling bezitten, zoodat de verhouding hunner helderheden (resp. h' en h) niet precies gelijk kan zijn aan de verhouding der galvanometeruitslagen (R). Voor bijna witte stoffen zal de afwijking echter gering zijn, aangezien hiervoor de genoemde stimuli weinig in spectrale samenstelling verschillen.

c. Bij de afleiding van de trichromatische specificatie uit de remissie-curve werd uitgegaan van de gebroken remissie-lijn (*fig. 6*), waardoor de einduitkomst voor de totale helderheid of iets te hoog (bij naar boven concaven vorm der remissie-curve) of iets te laag (bij naar boven convexen vorm der remissie-curve) uitvalt. Ook hier geldt echter weer, dat voor

bijna witte stoffen, welker remissie-curve tot een rechte nadert, de afwijking zeer gering zal zijn.

Hoewel bij de kleurbepaling van tapiocameel de invloed der hier behandelde foutenbronnen met recht wordt verwaarloosd, is een exacte kleurbepaling van stoffen van willekeurige kleur met een photo-eletrisch toestel als de Selenophoot slechts mogelijk, indien dit toestel wordt uitgerust met:

- 1) als lichtbron een lamp van bekende spectrale verdeeling, bij voorkeur die welke in het internationale systeem als lichtbron A wordt aangeduid, eventueel met voorschakeling van één der 1931-C. I. E.-filters, welke lichtbron A in B, resp. C omzetten (deze lamp is thans, voorzien van een ijk-bewijs, in den handel verkrijgbaar).
- 2) als lichtgevoelige cel een photo-element, waarvan de gevoeligheidscurve nauwkeurig met de zichtbaarheidscurve overeenstemt (ook zulke elementen zijn thans in den handel verkrijgbaar; zij bestaan uit een photo-element van het reeds beschreven type met een voorgeschakeld filter van zoodanige transmissiecurve, dat voor elke golflengte het product van den transmissie-coëfficiënt en de relatieve gevoeligheid van het element gelijk is aan de relatieve zichtbaarheid bij die golflengte *),
- 3) een reeks filters met behulp waarvan de gedaante der remissie-curve zoodanig wordt vastgelegd, dat de fout tengevolge van de lineaire interpolatie tusschen de verschillende waarden der remissie-coëfficiënten in de einduitkomst voor helderheid en kleurgehalte t.o.v. de experimenteele fout verdwijnt.

Kwaliteitsbeoordeeling van tapiocameel op grond van de kleurbepaling.

Een beoordeeling van de kwaliteit van het meel op de kleur zal in de eerste plaats moeten afgaan op de totale helderheid. Zij zal echter niet onafhankelijk zijn van het kleur- (i.e. geel-) gehalte en het spreekt bijna vanzelf, dat van verschillende monsters van gelijke totale helderheid, het meel met het kleinste kleurgehalte het hoogst zal worden gewaardeerd. Wil men dus de kwaliteit van tapiocameel in één getal uitdrukken, dan zal men hiervoor niet de totale helderheid kunnen nemen, d.i. de volle som van witgehalte en geelgehalte, doch een getal, dat de som is van het volle witgehalte ($W = H - K$) en een gedeelte van het geelgehalte: $f K$. De grootte van den factor f kan slechts langs empirischen weg worden gevonden, n.l. door vergelijking van de uitkomsten voor helderheid en kleurgehalte met de normen der practische kwaliteitsbeoordeeling aan de hand van een groote hoeveelheid analysemateriaal. Voor tapiocameel is de factor f nog niet bekend; vermeld moge worden dat in de suikerindustrie bij de beoordeeling van suiker op kleur voor den factor f de waarde 0,5 is aangenomen, zoodat hierbij dus de som van het witgehalte en de helft van het kleurgehalte als kwaliteitsmaatstaf dient.

*) Het „Viscor“-filter van Weston Electrical Instrument Corp., Newark, U.S.A.

Summary.

A survey is given of modern methods of colour specification (trichromatical and monochromatical) and their application on grading tapioca flour on the basis of its total brightness and its colour content as compared with a bariumsulphate standard.

A photo-electric colorimeter called „Selenophoot“ is described, which is adapted to the determination of the remission of flours and other opaque materials as well as to the determination of the transmission of liquids and other transparent media. In this apparatus the light of a constant source is either incident on a carefully prepared and flattened surface of the material, the remission of which is to be determined, at an angle of 45° , or it is allowed to pass through a cuvette filled with the liquid, the transmission of which is to be determined. The light which is thrown back perpendicularly by the remitting surface, resp. that which is transmitted by the liquid, passes through a colour filter and then enters a photo-electric cell of the barrier-layer type, the magnitude of the photocurrent being measured by means of a galvanometer (sensitivity $3 \cdot 10^{-9}$ A/mm).

On inserting filters of different colours from a series covering the whole visible spectrum range, a set of values for the remission is obtained, each of which values is divided by the corresponding one for bariumsulphate. From these relative remission values (R) and from the colour specification of the filters (to be derived from their transmission functions) the remission coefficients of the material (R_λ) at the effective wavelengths of the filters may be calculated with the formula:

$$R_\lambda = \frac{R - (1 - p) R_w}{p}$$

in which p means the colour saturation of the filter and R_w the remission value for unfiltered light. The same relation holds in the case of transmission. The exactitude of the values for the remission coefficients thus obtained depends on the similarity between the excitation function of the photocell and the visibility function of the human eye. Knowledge of the remission coefficients at 5 wavelengths (i.e. 453, 535, 583, 617 and 645 m μ) in most cases is sufficient for the calculation of the colour specification of the material.

The remission values can be determined with a maximal variation of 0,5%; the corresponding variation in the total brightness is then 0,1%.

For samples of the same class of nearly white material, e.g. tapioca flour, the calculation may be abbreviated, because the remission values can be determined with greater accuracy and the remission curve in this case is nearly a straight line. The colour specification of the material can now be derived directly from only four remission values (i.e. those obtained by means of the filters the effective wavelengths of which are 453, 535, 583 and 617 m μ) by applying two simple linear equations, the total brightness being proportional to the mean height of the remission curve and the colour content proportional to the inclination of this curve towards the red end of the spectrum.

Buitenzorg, Maart 1941.