

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 Mijnningen, opgericht in 1919.

Commissie van Toezicht:

Gen. L. C. A. vande Kastelee,
ir. G. S. Goemans,
jhr. ir. H. S. van Lennep.

Commissie van Redactie:

Voorzitter: ir. W. F. Eijssvoogel;
Leden: dr. ir. L. J. C. van Es,
prof. ir. C. G. J. Vreedenburgh.

Prijs per jaargang: f 20,—

Afzonderlijke nummers: f 2,—

Redactie-adres (zonder vermelding van persoonsnamen): Hoogeschoolweg 3, Bandoeng.

Adres voor administratie en abonnementen: Penningmeester Groep Ned.-Indië K. I. v. I., Batavia-Centrum, p/a Hollandsche Beton Maatschappij, N. V., Koningsplein Oost 15.

Adres voor advertenties: Firma G. Kolff & Co., Batavia-Centrum.

I. ALGEMEEN GEDEELTE.

INHOUD: Over de jongste successen bij het bereiken van zeer lage temperaturen, door prof. dr. H. R. Woltjer. — *Berichten van allerlei aard*: Ned.-Ind. Comité voor Groote Reservoirdammen. — *Personalia*. — *Kon. Instituut van Ingenieurs*: Redactiewisseling. — Bestuursmededeelingen. — *Vereeniging van Mijnningen en Geologen*: Benoeming Hoofd van den Dienst van den Mijnbouw.

Over de jongste successen bij het bereiken van
zeer lage temperaturen

door

prof. dr. H. R. WOLTJER.

Voordracht gehouden den 2en Februari 1934 voor de Afdeling Bandoeng der Kon. Natuurkundige Vereeniging met de leden van het Kon. Instituut van Ingenieurs als gasten.

Vorige proeven.

In den laatsten tijd zijn bij de pogingen om zeer lage temperaturen te bereiken belangrijke successen behaald, waarover hier een en ander moge worden medegedeeld.

Eenigen tijd geleden kon ik U berichten, hoe Keesom er in geslaagd was een aanzienlijke vooruitgang te bereiken in het verwerkelijken van zeer lage temperaturen. De methode, door hem gevolgd, bestond in het krachtig wegzuigen van den damp van helium door een bijzondere pompinstallatie. Met deze methode was door Kamerlingh Onnes in 1922 een dampdruk bereikt van 0,013 mm kwikdruk, waaraan een temperatuur beantwoordde, die veilig lager dan 0,9 K. ¹⁾ gesteld kon worden ²⁾.

1) Met 0,9 K(elvin) is bedoeld 0,9 graden Celsius boven het absolute nulpunt. Ter wille van de eenvoudigheid moge met deze niet geheel strenge omschrijving worden volstaan.

2) *Leiden Comm.* 159.

Het gelukte Keesom in samenwerking met de bekende specialiteit op het gebied van vacuumpompen, Gaede, nog effectiever pompen te bouwen, die bij nog lager druk, dan bereikt door Kamerlingh Onnes, toch nog groote zuigsnelheid behielden. Een andere voorwaarde dan de capaciteit van de pompen, ook reeds door Kamerlingh Onnes onder de oogen gezien, was een zorgvuldige thermische isolatie van het verdampende helium, opdat de voor de verdamping benodigde warmte niet aan de omgeving zou worden onttrokken, maar aan de vloeistof zelf. Dank zij de zorgvuldige voorbereiding, slaagde Keesom 18 Februari 1932 er in boven het verdampende helium een druk van slechts 0,0036 mm kwik te bereiken. De temperatuur, die daaraan beantwoordde, kon veilig lager dan 0,71 graden boven het absolute nulpunt gesteld worden ³⁾.

3) *Leiden Comm.* 219a.

Uiteraard kan bij dergelijke proeven geen definitieve waarde voor de temperatuur worden opgegeven; men kan slechts zeer aannemelijk maken, dat zij ligt beneden een zeker bedrag. Wat min of meer direct gemeten is, is de dampdruk. Daaruit de temperatuur afleiden, kan men slechts, als eerst de dampspanningskromme bekend is. Bij het pionierswerk is die natuurlijk juist niet bekend; we kunnen slechts op grond van het geheel onzer kennis omtrent het verband tusschen verzadigde dampspanning en temperatuur een aannemelijke extrapolatie voorstellen, ons daarbij aan den veiligen kant houden en zoo een bovenste waarde voor de bereikte temperatuur aangeven.

De nieuwe methode.

Intusschen zijn deze proeven wegens gebrek aan de noodige fondsen gestaakt moeten worden. Succes is thans langs een geheel anderen weg bereikt; ongeveer gelijktijdig in het Kamerlingh Onnes-laboratorium te Leiden door de Haas, Wiersma en Kramers en in Berkeley in Californië door Giauque en MacDougall. De Leidsche onderzoekers zijn zelfs tot minder dan 0,05 graad boven het absolute nulpunt gekomen.

Op de nieuwe methode is ongeveer gelijktijdig en onafhankelijk geweest door Debye in Duitschland (1926)⁴⁾ en door Giauque in Amerika (1927)⁵⁾. Zij stelden voor, om een bij lage temperatuur gemagnetiseerd lichaam te dwingen (door het adiatisch te ontmagnetiseeren), arbeid te verrichten ten koste van zijn thermische energie en aldus temperatuurverlaging te bewerken.

Ferro-, para- en diamagnetisme.

Om deze gedachte te kunnen begrijpen, is het noodig, dat we eerst nader ingaan op de magnetische eigenschappen van de zgn. paramagnetische lichamen en hun afhankelijkheid van de temperatuur. Zooals we bekend veronderstellen, kan ieder lichaam gemagnetiseerd worden, maar loopt de mate, waarin dat gebeurt, voor de verschillende lichamen, die aan eenzelfde magnetisch veld wor-

den onderworpen, ontzaggelijk uiteen of, beter gezegd, een kleine groep (naar de bekendste en belangrijkste vertegenwoordiger, de groep der *ferromagnetische* lichamen genoemd) is zeer sterk magnetiseerbaar, terwijl de overige lichamen (zoo lang men zich tenminste tot gewone temperaturen beperkt) slechts zwak gemagnetiseerd kunnen worden. Deze zwak magnetiseerbare lichamen moeten weer in twee groepen onderscheiden worden, de *paramagnetische* en de *diamagnetische*, die, om zoo te zeggen, juist elkanders tegengestelde zijn. Brengt men een staafje van een paramagnetisch lichaam in het verlengde van een staafmagneet, dan wordt dat tot een magneetje, dat zijn zuidpool bij de noordpool van de staafmagneet krijgt en zijn noordpool in het van de magneet afgelegen einde. Een staafje van een diamagnetisch lichaam wordt juist andersom gemagnetiseerd. Dit fundamenteel onderscheid tusschen para- en diamagnetische lichamen gaat gepaard met andere belangrijke verschillen. Zoo verandert het paramagnetisme, enkele uitzonderingen daargelaten, sterk met de temperatuur, terwijl het diamagnetisme, globaal genomen, daarvan onafhankelijk is. Ook is de verdeeling van para- en diamagnetisme over de verschillende stoffen zeer verschillend. Er zijn goede gronden om aan te nemen, dat alle stoffen diamagnetisch zijn, maar dat het diamagnetisme bij de ferromagnetische en paramagnetische stoffen geheel gemaskeerd is. Het paramagnetisme is daarentegen slechts tot enkele reeksen van stoffen beperkt. Behalve bij 2 gassen (zuurstof en NO) en de elementen platina en palladium komt het slechts voor bij zouten van twee reeksen van elementen uit het periodieke systeem, bij die van de elementen vanadium tot en met koper en bij die van de zeldzame aarden.

Teneinde een indruk te geven van de grootte-orde zijn in *tabel I* medegedeeld de waarden van het magnetisch moment van 1 gram (de zgn. specifieke magnetisatie, voortaan aangeduid met σ) van een vertegenwoordiger van elk der drie genoemde groepen in magnetische velden van de aangegeven veldsterkte H .

TABEL I.

σ $\searrow$ H		1 gauss	10	100	1000	10 000
electrolytisch ijzer kaliumchroomaluin = . . . $K_2Cr_2 (SO_4)_4 + 24 H_2O$ water	gew. temp.	104	158	183	220	220
	+ 17° C.	0,000012	0,00012	0,0012	0,12	1,2
	— 259° C.	0,000257	0,00257	0,0257	0,257	2,57
	gew. temp.	— 0,00000072	— 0,0000072	— 0,000072	— 0,00072	— 0,0072

Speciale paramagnetische stoffen.

Voor ijzer en water is de temperatuur niet precies opgegeven, omdat de variaties van de magnetisatie met de temperatuur bij de gewone omgevingstemperatuur slechts zeer gering zijn. Anders is het daarentegen bij het paramagnetische kaliumchroomaluin, waarin het chroomion het eigenlijke paramagnetische bestanddeel vormt. Dit is een dier stoffen, die in het Kamerling Onnes-laborato-

rium te Leiden, waar men talrijke onderzoekingen verricht heeft over de magnetische eigenschappen der stoffen bij lage temperaturen, zorgvuldig onderzocht zijn⁶⁾. Zooals uit de tabel blijkt, hangt de magnetisatie van kaliumchroomaluin voor deze stof af, zoowel van de sterkte van het magnetiseerende veld als van de temperatuur, maar die afhankelijkheid is hier alleen bijzonder eenvoudige: de magnetisatie is recht evenredig met de veldsterkte en omgekeerd

4) *Ann. d. Phys.* (4) 81; 1154, 1926.

5) *Phys. Ber.* 9, 741, 1928.

6) C. J. Gorter, W. J. de Haas en J. v. d. Handel, *Leiden Comm.* 222d.

evenredig met de absolute temperatuur ($273^\circ + 17^\circ = 290^\circ$ en $273^\circ - 259^\circ = 14^\circ$ in de medege-deelde omstandigheden) of, zooals men ook kan zeg-gen, evenredig met H/T . Strekt men het onderzoek uit tot lagere temperaturen dan de in de tabel ver-melde, tot het temperatuurgebied, bereikbaar met vloeibaar helium, dan wordt weliswaar de wijze, waarop de magnetisatie van temperatuur en veld-sterkte afhangt, ingewikkelder, maar de merkwaar-digheid blijft bestaan, dat ze bepaald wordt door H/T , m.a.w. meet men de magnetisatie bij verschil-lende waarden van veldsterkte en temperatuur en zet men dan in een grafiek H/T uit als abscis en de gemeten magnetisatie als ordinaat, dan liggen al de aldus verkregen punten op eenzelfde lijn; voor niet al te groote waarden van H/T is deze lijn met groote benadering recht.

Deze eigenschap, dat $\sigma = f\left(\frac{H}{T}\right)$, geldt ook voor sommige andere paramagnetische stoffen, b.v. het gekristalliseerde gadoliniumsulfaat ⁷⁾, waarin het ga-dolinium het eigenlijke paramagnetische be-standdeel is.

Met deze eigenschap van speciale paramagneti-sche lichamen gaat een andere gepaard, die op de inwendige energie van de stof betrekking heeft. In het algemeen genomen, zal de energie van een ge-magnetiseerd lichaam afhankelijk zijn van de mag-netisatie en van de temperatuur. Bij de bedoelde groep van paramagnetische lichamen wordt de ene-ergie echter slechts bepaald door de temperatuur ⁸⁾.

7) H. R. Woltjer en H. Kamerlingh On-nés, *Leiden Comm.* 167c.

8) Thermodynamisch kan men dit aldus aantoonen: stelt S de entropie en U de inwendige energie voor van 1 gram stof, dan volgt uit de eerste en tweede hoofdwet der thermodynamica

$$T \cdot dS = dU - H \cdot d\sigma$$

We beschouwen de entropie en energie thans als func-ties van S en T :

$$dS = \frac{1}{T} \cdot \frac{\partial U}{\partial T} \cdot dT + \frac{1}{T} \cdot \left(\frac{\partial U}{\partial \sigma} - H \right) \cdot d\sigma \quad (1)$$

$$\text{Uit } \frac{\partial S}{\partial T} = \frac{1}{T} \cdot \frac{\partial U}{\partial T} \text{ en } \frac{\partial S}{\partial \sigma} = \frac{1}{T} \left(\frac{\partial U}{\partial \sigma} - H \right) \text{ volgt:}$$

$$\frac{\partial^2 S}{\partial \sigma \cdot \partial T} = \frac{1}{T} \cdot \frac{\partial^2 U}{\partial \sigma \cdot \partial T} = - \frac{1}{T^2} \cdot \left(\frac{\partial U}{\partial \sigma} - H \right) + \frac{1}{T} \left(\frac{\partial^2 U}{\partial \sigma \cdot \partial T} - \frac{\partial H}{\partial T} \right)$$

$$\text{zoodat } \frac{\partial U}{\partial \sigma} - H = - T \cdot \frac{\partial H}{\partial T} \quad (2)$$

Is nu $\sigma = f(H/T)$, dan is, als σ constant is, H/T een constante, dus $H = k \cdot T$ en $\frac{\partial H}{\partial T} = k = \frac{H}{T}$. Dit in

(2) gesubstitueerd, geeft $\frac{\partial U}{\partial \sigma} = 0$, m.a.w. als de tempera-tuur constant gehouden wordt, is de inwendige energie dezelfde, hoe groot de magnetisatie ook zijn moge.

Verder volgt uit (1) en (2)

$$dS = \frac{1}{T} \cdot \frac{\partial U}{\partial T} \cdot dT - \frac{\partial H}{\partial T} \cdot d\sigma \quad (3)$$

Daardoor wordt het energetisch gedrag betrekke-lijk eenvoudig en zeer overzichtelijk.

Men kan zeggen: de energie is slechts van ther-mischen, niet van magnetischen aard. Daalt de tem-peratuur, dan daalt ook de energie; maar ook om-gekeerd: daalt de energie, dan ook de temperatuur. Magnetiseert men een dergelijk lichaam, waarvoor dus $\sigma = f(H/T)$, *adiabatisch*, dan stijgt de energie van het lichaam (met een bedrag gelijk aan dat van bij de magnetisatie verrichte arbeid) en dus de tempe-ratuur. Houdt men echter de temperatuur constant, m.a.w. magnetiseert men *isotherm*, dan zal de ene-ergie niet veranderen, maar de bij de magnetisatie verrichte arbeid komt thans ten goede aan het om-ringende medium, dat als koelstof voor het con-stant blijven van de temperatuur zorgde. Is een dergelijk lichaam eenmaal gemagnetiseerd en dwingt men het tot afgeven van energie, doordat men het adiabatisch ontmagnetiseert, dan gaat die energievermindering noodzakelijk gepaard met tem-peratuurdaling. We hebben hier verhoudingen ana-loog aan die bij een ideaal gas. Ook daar hangt de energie alleen maar af van de temperatuur (en niet van de dichtheid). Comprimeert men het gas adia-batisch, dan komt de compressie-arbeid ten goede aan de energie van het gas en de temperatuur stijgt. Comprimeert men het echter isotherm, dan blijft de energie dezelfde, maar de compressiewarmte wordt als warmte afgevoerd door het omringende medium, dat voor de constante temperatuur zorgde.

Uitvoering van de nieuwe methode.

De methode voor temperatuurverlaging door ont-magnetisatie zal dus de volgende zijn: men brengt het lichaam tusschen de polen van een electro-magneet en schakelt den electrischen stroom in. Daarbij houdt men het lichaam zorgvuldig op con-stante temperatuur of wacht eventueel totdat het lichaam weer op de oorspronkelijke temperatuur te-ruggekomen is. Is het eenmaal aldus gemagneti-seerd, dan vermindert of verbreekt men zoo snel mogelijk den stroom in de electromagneet, ten-einde adiabatische ontmagnetisatie te benaderen. De arbeid, die het lichaam daarbij verricht, gaat ten koste van zijn eigen thermische energie en het koelt dus af.

Hoeveel de temperatuur daarbij dalen zal, hangt natuurlijk af van de hoeveelheid arbeid, die het lichaam bij de ontmagnetisatie verricht en van de soortelijke warmte. Bij gewone temperatuur is het effect maar zeer gering. Zuurstof van normale tem-peratuur en druk koelt bij constant volumen slechts ca. 0,01 graad af, als men de veldsterkte adiabatisch van 35 000 gauss tot 0 laat afnemen, waaraan dan toch al een sterke electromagneet te pas komt; bij lage temperatuur wordt het effect echter sterker ⁹⁾:

9) Om de temperatuurverandering dT te berekenen, die beantwoordt aan de veldsterkteverandering dH , kiezen we T en H als onafhankelijk veranderlijken. Vergelijking (3) van noot 8) wordt dan

$$dS = \left(\frac{1}{T} \cdot \frac{\partial U}{\partial T} - \frac{\partial H}{\partial T} \cdot \frac{\partial \sigma}{\partial T} \right) \cdot dT - \frac{\partial H}{\partial T} \cdot \frac{\partial \sigma}{\partial H} \cdot dH \quad (4)$$

als er zich geen anomalieën in de specifieke warmte voordoen, is de temperatuurdaling in het temperatuurgebied van vloeibaar helium ongeveer *omgekeerd evenredig* met de 4e macht van de absolute temperatuur. Vooral wat betreft het verloop van de specifieke warmte is het kaliumchroomaluin een veel geschikter stof dan gadoliniumsulfaat.

Resultaten.

In *tabel II* worden eenige der op deze wijze bereikte laagste temperaturen en de stoffen, die zoo ver zijn afgekoeld, medegedeeld.

TABEL II.

W. J. de Haas, E. C. Wiersma en H. A. Kramers ¹⁰⁾ te Leiden.		
Maart—April 1933	ceriumfluoride	0°,27 K.
— „	dysprosiumaethylsulfaat	0,14
Juli „	ceriumaethylsulfaat	0,085
— „	kaliumchroomaluin	0,05
W. F. Giauque en D. P. MacDougall ¹¹⁾ in Berkeley (California).		
Maart 1933	gadoliniumsulfaat	0,53
April „	„	0,34
„ „	„	0,25

De temperatuurbepaling.

Natuurlijk doet zich de vraag nu voor: met welke thermometers zijn deze temperaturen bepaald? en het antwoord is: de kracht, waarmee de stof in het magnetische veld wordt getrokken, is, als alle andere omstandigheden gelijk blijven, een maat voor de temperatuur. Bezien wij, om dit toe te lichten, nader de

(Vervolg noot 9).

Verstaan we onder c_H de soortelijke warmte bij constante veldsterkte, dan kunnen we voor (4) schrijven:

$$dS = \frac{1}{T} \cdot c_H \cdot dT + \frac{\delta \sigma}{\delta T} \cdot dH$$

waaruit volgt, dat bij omkeerbare adiabatische verandering

$$dT = - \frac{T \cdot \frac{\delta \sigma}{\delta T}}{c_H} \cdot dH \dots \dots \dots (5)$$

Voor zuurstof is $\sigma = 3,15 \cdot 10^2 H/T$ en bij constant volume is $c_H = c_v = 0,156 \text{ cal.} = 6,52 \cdot 10^3 \text{ ergen}$, zoodat $dT = \frac{3,15 \cdot 10^{-2} \cdot H}{6,52 \cdot 10^6 \cdot T} \cdot dH = 4,83 \cdot 10^{-9} \cdot \frac{H}{T} \cdot dH$. Bij $T = 273^\circ \text{ K.}$ is $dT = 1,77 \cdot 10^{-11} \cdot H \cdot dH$, zoodat aan een veldafname van $H = 35\,000$ tot 0 een temperatuurdaling beantwoordt van $\frac{1}{2} \cdot 1,77 \cdot 3,52 \cdot 10^{-3} = \text{ca. } 0,01 \text{ graad.}$

Is de uitgangstemperatuur laag, en treden er geen anomalieën in de soortelijke warmte op, zoodat c_H door $a \cdot T^3$ voorgesteld kan worden, en is evenredig met H/T , dus $\sigma = b \cdot H/T$, dan is $dT = \pm \frac{b H}{a} \cdot \frac{1}{T^4} \cdot dH$ dus omgekeerd evenredig met T^4 .

10) *Physica* 1, 1, 1933.

11) *Phys. Rev.* 43, 768, en 44, 235, 1933.

proef van de Haas, Wiersma en Kramers met kaliumchroomaluin. 336,7 mg van deze stof is gebracht tusschen de polen van een sterke electromagneet. Met behulp van onder lagen druk verdampend vloeibaar helium bereikt men nu een temperatuur van $1^\circ,34 \text{ K.}$ Met de magneet wekt men nu een veld op, dat ter plaatse, waar het kaliumchroomaluin zich bevindt, 19 500 gauss bedraagt. Men wacht, totdat het kaliumchroomaluin geacht mag worden inderdaad de temperatuur van $1^\circ,34 \text{ K.}$ weer bereikt te hebben. Daarna laat men het veld zoo snel mogelijk afnemen tot 350 gauss, houdt het constant op deze waarde en meet nu de kracht, die het kaliumchroomaluin nog ondervindt tengevolge van het overgebleven magnetische veld. Onmiddellijk na de ontmagnetisatie werd hiervoor 513 mg gevonden; maar dan neemt de kracht af, eerst snel, vervolgens al langzamer, totdat ze constant wordt op 20,5 mg. Uit dit constant worden blijkt, dat het kaliumchroomaluin weer de temperatuur van het helium van $1^\circ,34 \text{ K.}$ heeft aangenomen.

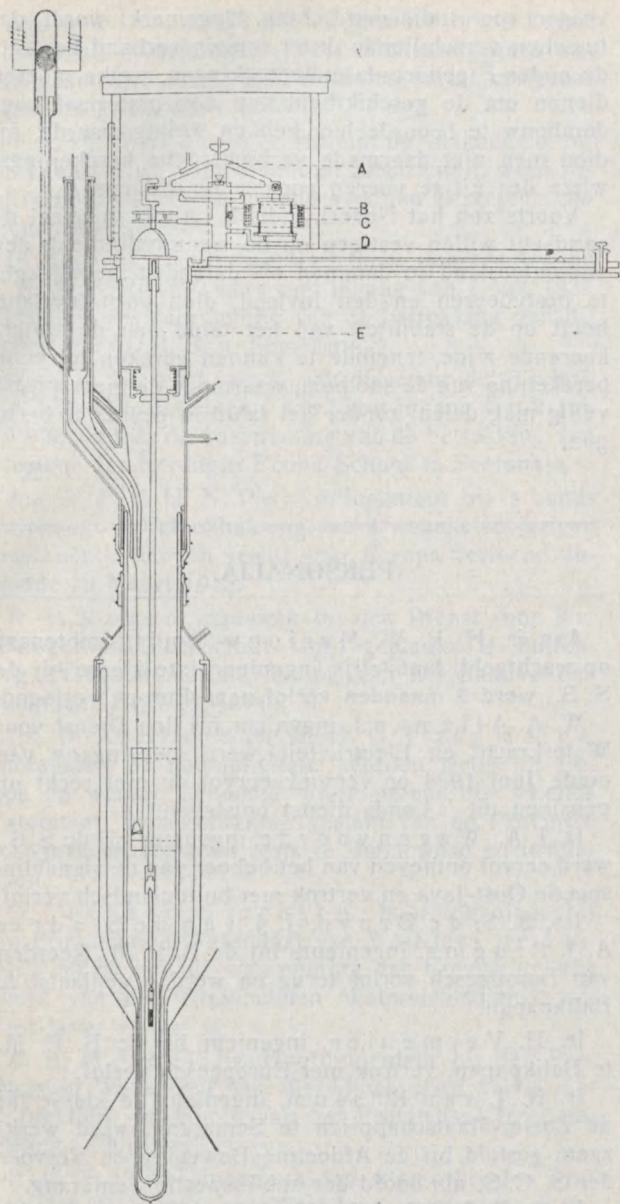
Nu is uit vroegere onderzoekingen het verband tusschen de kracht en de temperatuur, zoolang deze laatste boven $1^\circ,34 \text{ K.}$ ligt, bekend: in eerste benadering is het product van kracht en temperatuur constant, maar tevens blijkt ook al, dat, naarmate de temperatuur afneemt, de waarde van de constante ook iets afneemt. Extrapoleert men nu, in de onderstelling van strenge omgekeerd evenredigheid van kracht en temperatuur tot beneden $1^\circ,34 \text{ K.}$, dan zou men voor de onmiddellijk na de ontmagnetisatie gemeten tempe-

ratuur vinden $1,34 \cdot \frac{20,5}{513} = 0^\circ,054 \text{ K.}$ De werkelijk bereikte temperatuur ligt dan lager en kan veilig beneden $0^\circ,05 \text{ K.}$ gesteld worden.

Bijzonderheden omtrent de proeven.

De nevenstaande figuur ¹²⁾ kan een indruk geven van de opstelling van de proef. Men ziet daarop tusschen de slechts even aangeduide poolschoenen van de electromagneet twee vacuum glazen; het buitenste, kortere, wordt gevuld met vloeibare waterstof als beschermingsmantel voor het vloeibare helium, dat in het langere, binnenste, onder zoodanig lagen druk verdampt, dat het op een temperatuur van $1^\circ,34 \text{ K.}$ zich bevindt. Het kleine donker gearceerde gedeelte, even boven het midden van het magnetische veld, stelt de te magnetiseeren en te ontmagnetiseeren stof voor, opgesloten in een buisje, dat aan den buitenkant verzilverd is, om „warmte“-instraling te beletten. Het buisje is gevuld met zooveel waterstof en heliumgas, dat de instelling van het temperatuurevenwicht bij $1^\circ,34 \text{ K.}$ niet al te lang duurt, terwijl daarentegen beneden $1^\circ,34 \text{ K.}$ de warmtewisseling met de omgeving zoo gering mogelijk moet wezen. De rechte keuze bij dit compromis vereischt veel zorg. Verder ziet men op de figuur, dat het buisje verbonden is door een lange dunne staaf (van kwarts) met het linkereind van een kortarmig balansjuk *A*, waarvan het rechtereind een draadklos *B* draagt, die bij draaiing van het juk zich om een vaste klos *C* beweegt. *B* en *C* zijn in serie geschakeld, maar om *B* en daarmee het juk *A* zoo weinig mogelijk in zijn bewegingsvrijheid te storen,

12) Overgenomen uit de Haas c.s. 1.c.



„Ontleend aan Physica.”

is die verbinding bewerkstelligd door betrekkelijk lange en zeer dunne goudbladbandjes. De kracht op *B* is evenredig met het kwadraat van de stroomsterkte door *B* en *C*. Die stroom wordt zóó geregeld, dat de balans in evenwicht is. Op die wijze kan men zeer snel de kracht meten, die de afgekoelde stof in het veld ondervindt en de verandering van die kracht, als de stof zich opwarmt, volgen.

Verdere mogelijkheden.

In het kaliumchroomaluin schijnt een stof gevonden te zijn, die, zooals de Haas, Wiersma en Kramers opmerken, door haar magnetische eigenschappen, het verloop van haar soortelijke warmte bij lage temperaturen en haar goedkoopte, zeer veel belovend is en de mogelijkheid in uitzicht stelt bij deze uiterst lage temperaturen allerlei verschijnselen te onderzoeken en metingen te verrichten.

BERICHTEN VAN ALLERLEI AARD.

Ned.-Ind. Comité voor Groote Reservoirdammen.

Het Nederl.-Indisch Comité voor Groote Reservoirdammen is wegens personeelmutaties thans als volgt samengesteld:

Voorzitter:

prof. ir. J. J. I. Sprenger, Hoogleraar in de Waterbouwkunde a.d. Technische Hoogeschool.

Leden:

ir. Ch. F. van Haef ten, Hoofd der Afdeeling Irrigatie van het Departement van V. en W.,

dr. ir. L. J. C. van Es, Leider der Geologisch-Technische Onderzoekingen van den Dienst van den Mijnbouw,

ing. J. M. Beckman, Ingenieur op wachtgeld van den Dienst van Waterkracht en Electriciteit,

ir. W. F. Eysvoogel, Ingenieur bij de Afd. Irrigatie van het Departement van V. en W.

De werkzaamheden van het Nederl.-Indisch Comité hielden tot nu toe hoofdzakelijk verband met het medio 1933 te Stockholm plaats gehad hebbende: „Eerste Internationale Dammencongres”, aan welk congres dit Comité een zeer werkzaam aandeel heeft gehad.

Van de Internationale Commissie werd bericht ontvangen, dat het in de bedoeling ligt, in 1936 een tweede congres te organiseeren. De van verschillende zijden voorgestelde onderwerpen zijn:

Vraag 1a). Ouderdomsgebreken van beton voor stuwdammen.

A. Het probleem om stuwdammen te bekleden met een betonslaag, welke voldoende elastisch is om de temperatuursspanningen te kunnen weerstaan, en voldoende hard om aan mechanische beschadiging door golven, ijs, enz. weerstand te kunnen bieden.

B. Inrichting van meetapparaten, welke in nieuwe dammen zijn ingebouwd, teneinde op elk oogenblik de vormverandering nauwkeurig en snel te kunnen aflezen.

Vraag 1b). Invloed van inwendige temperatuur en vormverandering van massieve steenen dammen.

C. Door laboratoriumonderzoekingen de hoeveelheid warmte, welke bij binding van het cement in een stuwdam ontwikkeld wordt, als functie van den tijd nader te onderzoeken.

D. De onderzoekingen naar de physische, chemische en mechanische eigenschappen van beton en andere materialen, voor den bouw van groote dammen gebruikelijk, voort te zetten. In het bijzonder wat betreft de onderlinge afhankelijkheid van de navolgende invloeden:

uitzetting en krimp, veroorzaakt door wijziging van de hoeveelheid poriënwater in de materialen;

temperatuurvariatiës;
veranderingen van elastische eigenschappen
der bouwstoffen;
vloeien of plastische deformatie van het beton.

Vragen 1a) en 1b):

E. Speciaal Cement.

Vraag 2a). Studie van materialen, bestemd voor aarden dammen:

F. De gegevens, waarover men beschikt omtrent het verband tusschen den schuifweerstand eenerzijds en de Atterbergsche consistentiecijfers, het gedrag van klei en de normaalconsistentie anderzijds, zijn nog onvoldoende om zich te kunnen uitspreken over de verkregen afwijkingen in waarnemingen. Er bestaat alle reden, deze onderzoeken systematisch voort te zetten.

G. Systematische metingen verrichten met daarvoor geschikte toestellen, welke echter internationaal genormaliseerd behooren te zijn, teneinde met voldoende nauwkeurigheid de resultaten van onderzoek in verschillende laboratoria te kunnen vergelijken.

H. Nagaan, hoe de verschillende grondmaterialen, welke men in de praktijk vindt, voor verschillende typen stuwdammen praktisch kunnen worden verwerkt.

I. Studie van alle vragen, welke verband houden met de stabiliteitsberekening van aarden dammen.

J. De grond van bestaande dammen (en meer speciaal die, hooger dan 15 m) aan een systematisch onderzoek te onderwerpen volgens methoden, door het Congres vastgelegd.

K. Technisch-geologisch onderzoek van fundeeringsbodems.

L. De gegevens te verzamelen van waarnemingen met behulp van peilbuizen, verricht aan bestaande dammen, en wel meer speciaal met betrekking tot den grondwaterstand tijdens het vullen en ledigen van het reservoir.

Vraag 2): Kwel door aarden stuwdammen en door den aangrenzenden bodem.

M. Zooveel mogelijk gegevens te verzamelen omtrent het stroomen van water door dammen, hetzij rechtstreeks dan wel volgens de elektrische methode, waarbij het resultaat grafisch wordt voorgesteld, onder mederekening van de capillaire stijghoogte.

N. Studie van de beste methoden om doorbraken of wellen te voorkomen.

O. Waarnemingsresultaten verzamelen omtrent de waterstrooming, speciaal voor zoover betreft de hoogte der verweekingslijn en de hoeveelheid doorgekweld water.

Omtrent deze vragen merkte het Nederl.-Indisch Comité allereerst op, dat beperking gewenscht is; men entameere zoo weinig mogelijk nieuwe onderwerpen, voordat de oudere, reeds in studie zijnde, vraagpunten tot oplossing zijn gebracht.

Met name acht het Comité de onder 2a genoemde

vragen voor Indië van belang. Opgemerkt wordt, dat tusschen verschillende dezer vragen verband bestaat; de onder F genoemde onderzoeken, welke moeten dienen om de geschiktheid van een materiaal voor dambouw te beoordeelen, hebben weinig waarde, indien men niet daarmede verbindt eene berekeningswijze der uit te voeren constructie volgens I.

Voorts zou het Nederl.-Indisch Comité speciaal de aandacht willen vestigen op de wenschelijkheid, den stroomtoestand in dammen bij dalenden meerspiegel te bestudeeren en den invloed, dien deze toestand heeft op de stabiliteit van het talud aan de waterkeerende zijde, teneinde te kunnen geraken tot eene berekening van de snelheid, waarmede de meerspiegel veilig mag dalen, zonder het talud in gevaar te brengen.

S.

PERSONALIA.

Aan ir. H. P. W. Mariouw Smit, ambtenaar op wachtgeld, laatstelijk ingenieur 1ste klasse bij de S. S., werd 9 maanden verlof naar Europa verleend.

W. A. A l l e m a n d, ingenieur bij den Dienst voor Waterkracht en Electriciteit, werd met ingang van einde Juni 1934 op verzoek eervol en met recht op pensioen uit 's Lands dienst ontslagen.

Ir. J. A. W a g e n v o o r d e, ingenieur bij de S. S., werd eervol ontheven van het beheer van de signaalinspectie Oost-Java en vertrok met buitenlandsch verlof.

Irs. S. S. d e B r u y n, J. J. v a n d e S t a d t e n A. J. B r u g m a, ingenieurs bij de B. P. M., keerden van Europeesch verlof terug en werden geplaatst te Balikpapan.

Ir. H. V e r m e u l e n, ingenieur bij de B. P. M. te Balikpapan, vertrok met Europeesch verlof.

Ir. N. J. v a n R o s s u m, ingenieur 2e klasse bij de Zuster-Maatschappijen te Semarang, werd werkzaam gesteld bij de Afdeling Beweging en Vervoer der S. C. S. als hoofd der sub-inspectie Semarang.

Ir. J. T. B e t h e, hoofdingenieur in Algemeenen Dienst bij de Gemeente Soerabaja, werd met ingang van 1 Juli 1934 op wachtgeld gesteld en vertrok naar Europa.

Ir. L. A. A l t i n g M e e s, ambtenaar op non-activiteit, keerde uit Europa terug en werd benoemd tot ingenieur bij 's Lands Waterstaat, ter beschikking gesteld van de Provincie Oost-Java en geplaatst te Loe-madjang.

Ir. H. J. v a n d e r W o u d e, ambtenaar op non-activiteit, werd herbenoemd tot ingenieur bij 's Lands Waterstaat en ter beschikking gesteld van de Provincie Midden-Java.

Ir. M. M. C. P o s n o, ambtenaar op non-activiteit, keerde uit Europa terug en werd benoemd tot ingenieur bij 's Lands Waterstaat met standplaats Bata-via-Centrum.

Ir. A. M. H a r t h o o r n, tijd. wd. Inspecteur 1ste klasse bij de Generale Thesaurie, werd ter beschikking gesteld van den Directeur van Verkeer en Waterstaat, teneinde te worden belast met de leiding van de Afdeling Wegverkeer van dat Departement.

Aan ir. N. Guldenaar, ingenieur bij 's Lands Waterstaat, Directeur der haven Makassar, werd wegens zesjarigen dienst acht maanden verlof verleend, ingaande 1 Augustus 1934.

Ir. C. J. Markies, ingenieur op maandgeld bij den Dienst voor Waterkracht en Electriciteit, werd tijdelijk ter beschikking gesteld van den Directeur van Economische Zaken.

Ir. E. J. G. Schermerhorn, leeraar bij de H. B. S. te Malang, werd met ingang van 2 Juli 1934 belast met de waarneming van de betrekking van directeur der H. B. S. te Semarang.

Ir. J. B. Grandjean, wd. directeur der Technische School te Bandoeng, werd met ingang van 2 Juli 1934 belast met de waarneming van de betrekking van directeur der Koningin Emma School te Soerabaja.

Aan ir. F. L. H. N. Perié, ingenieur bij 's Lands Waterstaat te Teloekbetoeng, werd wegens zesjarigen dienst acht maanden verlof naar Europa verleend, ingaande 18 Maart 1935.

Ir. P. Raven, ingenieur bij den Dienst voor Waterkracht en Electriciteit, werd geplaatst te Buitenzorg en belast met de leiding van het Landswaterkrachtbedrijf „West-Java”.

Irs. D. W. Brand en W. H. G. Itzig Heine, ambtenaren op non-activiteit, keerden terug uit Europa en werden benoemd tot ingenieur bij 's Lands Waterstaat, ter beschikking gesteld van de Provincie Oost-Java en geplaatst resp. te Bondowoso en te Madoen.

O. Werner Sörensen, hoofdingenieur bij den Provincialen Waterstaat van West-Java, werd tijdelijk belast met de waarneming der betrekking van Hoofd van den Provincialen Waterstaatsdienst van West-Java.

A. B. M. Obelitz, Hoofdingenieur bij den Provincialen Waterstaat van West-Java, werd belast met de functiën van Hoofd van het Provinciaal Irrigatiekantoor „Cheribon”.

Ir. G. F. Cool, ingenieur 1ste klasse bij den Provincialen Waterstaat van West-Java, werd tijdelijk belast met de functiën van Hoofd van het 1ste District, ter standplaats Batavia-Centrum.

Ir. Ph. H. te Winkel, ingenieur 1ste klasse bij den Provincialen Waterstaat van West-Java, werd overgeplaatst van Indramajoe naar Soekaboemi en belast met de functiën van Hoofd van het 4e District.

H. R. Haller, ingenieur 2e klasse bij den Provincialen Waterstaat van West-Java, werd benoemd tot ingenieur 1ste klasse en overgeplaatst van Bandoeng naar Indramajoe.

Ir. M. F. Adams, ingenieur 1ste klasse bij den Provincialen Waterstaat van West-Java, keerde van buitenlandsch verlof terug en werd geplaatst te Bandoeng.

De majoor der Artillerie ir. E. M. Frijlink vertrok met verlof naar Nederland.

De kapitein der Artillerie ir. J. Dekker vertrok met verlof naar Nederland.

De 1ste luitenant der Artillerie ir. W. O. Goslings keerde uit Nederland terug en werd geplaatst bij den Artillerie Constructie Winkel te Bandoeng.

Ir. O. M. Planten, ingenieur der B. P. M. te Pladjoe, vertrok naar het Hoofdkantoor te 's Gravenhage.

Ir. P. Raadsen en ir. U. Driebergen, ingenieurs der B. P. M. te Pladjoe, vertrokken met Europeesch verlof.

Ir. H. W. O. de Bruyn, idem, werd overgeplaatst van Balikpapan naar Pladjoe.

Ir. J. W. Ernste, idem, werd overgeplaatst van Pladjoe naar Balikpapan.

Ir. J. J. A. Floor, idem, werd overgeplaatst van Balikpapan naar Tjepoe.

Ir. E. Schotte, idem, keerde terug uit Europa en werd geplaatst te Tjepoe.

Ir. L. Cohen, ir. A. J. Mulder, ir. A. W. Notenboom en ir. F. P. van Ravenswaay, ingenieurs der B. P. M. te Tjepoe, vertrokken met Europeesch verlof.

Aan ir. P. C. Feekes, ingenieur 1ste klasse bij de Zuster-Maatschappijen te Semarang, werd een Europeesch verlof verleend voor den duur van 8 maanden, ingaande 29 Mei 1934.

Ir. W. F. K. Hardeman, Afdeelingsschef 1ste klasse bij de Zuster-Maatschappijen te Semarang, aan wien per 1 September 1934 eervol ontslag werd verleend, vertrok eind Mei naar Nederland.

Ir. J. R. P. J. Joostensz van Ijseldijk, ingenieur der B. P. M., werd overgeplaatst van Pangkalan Brandan naar Balikpapan.

Ir. E. H. Blumer, idem, keerde terug uit Europa en werd geplaatst te Pladjoe.

Ir. B. A. Geerlings, idem, werd overgeplaatst van Aroebaai naar Perlak.

Ir. W. F. G. L. Starrenburg, idem, werd overgeplaatst van Rantau naar Perlak.

E. Tcherkess, idem, keerde van Europeesch verlof terug en werd geplaatst te Tjepoe.

KON. INST. v. INGENIEURS.

Groep Ned.-Indië.

Redactiewisseling.

Ter vervanging van ir. Slinkers is prof. ir. C. G. J. Vreedenburgh bereid gevonden op te treden als lid der Redactie van het tijdschrift *De Ingenieur in Ned.-Indië*. De Redactie heet prof. Vreedenburgh bij zijn optreden als zoodanig hartelijk welkom; zij is ervan overtuigd, dat deze nieuwe medewerker aan het tijdschrift waardevolle diensten zal bewijzen.

Het Redactie-adres is in verband met het vorenstaande gewijzigd in: Hoogeschoolweg 3.

BESTUURSMEDEDELINGEN.

Aangenomen en voorgestelde nieuwe leden.

Het voorgestelde lid, genoemd in No. 6 van dit tijdschrift, is aangenomen.

Als gewoon lid worden voorgesteld:

ir. H. J. vander Woude, ingenieur bij 's Lands Waterstaat ter beschikking gesteld van de Provincie Midden-Java, te Semarang;

ir. K. J. H. Epke, ingenieur bij het Kantoor van Arbeid, te Bandoeng.

Eventueele bezwaren tegen deze candidaatsstelling worden voor 20 Augustus 1934 ingewacht bij het secretariaat.

VEREENIGING VAN INGENIEURS EN GEOLOGEN BIJ DEN DIENST VAN DEN MIJNBOW.

Benoeming Hoofd van den Dienst van den Mijnbouw.

Onder het hoofd *Personalia* vindt men in de Afdeeling Mijnbouw en Geologie van dit tijdschrift de simpele mededeeling: Benoemd tot Hoofd van den Dienst van den Mijnbouw ir. H. J. van Lohuizen.

Waar het hier een voor den Dienst van den Mijnbouw zeer gewichtige benoeming geldt, moge er op deze plaats nog een enkel woord aan gewijd worden. Zes jaar lang heeft onze Dienst — door velen belangrijk genoeg geacht om een Departement te vormen — het zonder eigen Hoofd moeten stellen. De Directeur van Gouvernementsbedrijven trok tijdelijk deze belangrijke functie aan zich en benoemde het toenmalige Hoofd tot Adviseur voor Mijnbouwzaken. Tijdelijke maatregelen hebben hier in Indië vaak een bijzonder taai leven en eerst thans is door den Directeur van Economische Zaken aan dezen onbevredigenden toestand een eind gemaakt.

Het behoeft wel nauwelijks gezegd te worden, dat hierover in Mijnbouwkringen groote voldoening heerscht.

ERRATUM. In het artikel van ir. Lemey in No. 6 — 1934 II, zijn abusievelijk de onderschriften van de eerste en de derde foto verwisseld.

IN NEDERLANDSCH-INDIË

IV. MIJNBOUW EN GEOLOGIE.

„DE MIJNINGENIEUR“

INHOUD: Die Schuttströme am Merapi auf Java nach dem Ausbruch von 1930, von Dipl. Ing. Dr. K. G. Schmidt. — Astridiet, een chroomrijk gesteente van Nieuw-Guinea, door ir. H. W. V. Willems. — Economische mededeelingen. — Personalia.

Die Schuttströme am Merapi auf Java nach dem Ausbruch von 1930

von

Dipl. Ing. Dr. K. G. SCHMIDT,

Geologe a.D. beim „Dienst van den Mijnbouw“ in Niederländisch Ost Indien.

INHALTSÜBERSICHT.

I. Was geschah.

Der Ausbruch — Vulkanische Nachwirkungen — Nasse Schuttströme — Der Schaden — Gutachten — Auftrag.

II. Glutwolke — Ladoe — Bandjir — Lahar.

Entstehung der Glutwolken — Mechanik Glutwolken — Nasse Schuttströme nach Ausbrüchen — Schuttstrom und Kratersee — Primäre Schlammausbrüche — Eis- und Schlammströme — Regenzeit — Bandjirs — Beschreibung der nassen Schuttströme — Unterschied Bandjir und Schuttströme — Bewegung Schuttstrom — Absätze der Schuttströme — Schuttstrom und Mure — Nasse Schuttströme charakteristisch für tropische Vulkane — Namengebung — Ladoe und Lahar — Heisse und kalte Lahars — Primäre und sekundäre Schuttströme — Einteilung.

III. Morphographie, Hydrographie und Laharbildung.

Orographie und Flussbild — Unterläufe — Mittelläufe — Oberläufe — Hangflüsse lahargefährlich? — Untersuchungen — Topographie und Laharbildung — Nur Gipfelflüsse sind lahargefährlich.

IV. Pflanzenwuchs, Gesteine und Laharbildung.

Wald und Laharbildung — Gartenland und Laharbildung — Berggras und Laharbildung — Neue Ablaufrinnen und Lahargefahr — Fels und Sand — Felsgebiet — Gleitbahnen — Sand und Wasserabfluss — Materiallieferung — Sandflüsse — Wasserflüsse.

V. Eruption und Laharbildung.

Eruptionsregen — Vergrößerung des Ablaufkoeffizienten durch Aschdecke — Vergrößerung des Ablaufkoeffizienten durch Verkrustung des Bergmantels — Vergrößerung der Ablaufmasse und deren Dichte durch Asche — Frühe und späte Lahars.

VI. Laharmechanik.

Lahargeschwindigkeit — Lahardichte — Zusammensetzung der Lahargrundmasse — Lahartransport — Suspensionsbildung — Bewegungsmechanik — Schleppkraftgesetze — Arbeitshaushalt der Lahar — Gleichgewichtskurven — Hobelnde und rückwärtsschreitende Erosion — Einfluss von Querprofiländerungen — Entstehung später Lahars.

VII. Zyklen.

Vulkanische und fluviatile Phase — Berg- und Talprofile — Morphologische Dreiteilung — Schuttfeldbildung — Ausschaltung der Schuttfelder — Zyklus der Flussgestalt.

VIII. Sandreiche Flüsse unter geringem vulkanischem Einfluss.

Woro — Gendol.

A. *Berichte.*

1. Kali Woro.
Woro bis 1905 — Worodreieck — Spitze des Worodreiecks — Lahars von 1930/31 im Dreieck und Unterlauf — Mittellauf 1930/31 — Massenberechnung.
2. Kali Gendol.
Gendol bis 1930 — Mittellauf — Laharfeld — Unterlauf — Massenberechnung.

B. *Schlüsse.*

Zyklen der Mittelläufe — Rinnenbildung und Zusammensetzung der Lahar — Feldebildung — Ausschaltung der Felder — Versandung Unterläufe — Längsprofile.

C. *Anwendungen.*

Zweck von Schutzbauten.

1. Woro.
Neues Depot und Laharschutz — Versandung der Abflüsse und Schutzmassnahmen — Absandung zum Opak.
2. Gendol.
Notwendigkeit von Schutzbauten — Künstliche Stabilisierung eines Laharfeldes.

IX. Sandarme Flüsse unter geringem vulkanischem Einfluss.

Koenig, Bojong, Krasak.

A. *Koenig.*

1. Berichte und Schlüsse.
2. Anwendungen.

B. *Bojong.*C. *Krasak.*

X. Flüsse unter grossem vulkanischem Einfluss.

Batang, Senowo, Blongkeng, Lamat, Progo.

A. *Berichte.*

1. Aeltere Geschichte.
2. Batang seit 1920.
Ablakfeld — Durchbruch 1931 — Verhalten bei den Brücken 1931 — Salamfeld — Unterlauf — Van der Wijckkanal — Erwartungen für 1932 — Lahar vom 7. April 1932 — Durchstich 1932.
3. Blongkeng.
Glutwolke und Ladoe 1930 — Neue Erosion 1931 — Aufsandung.
4. Lamat
5. Senowo.

B. *Schlüsse.*

Versengtes Gebiet und Ladoeniederschläge — Ablakfeld ein Ladoefeld? — Batangkatastrophe als gesetzmässige Erscheinung — Erwartungen vom Batang — Neue Talbildung im Blongkeng — Theoretische Lagebestimmung eines künftigen Laharfeldes — Erwartungen vom Blongkeng — Erwartungen vom Lamat — Erwartungen vom Senowo-Pabelan — Erwartungen vom Progo — Sedimentationsraum kleiner Lahars im oberen Mittellauf — Treibsandbeladenes Wasser empfindlich gegen Gefälleschwankungen — Staukegelbildung.

C. *Anwendungen.*

Arbeiten am Salamfeld — Van der Wijckkanal — Blongkengbrücke.

XI. Bevölkerungsschutz auf der Westseite.

Regenfall und Bandjirhöhe.

Die bedrohten Gebiete — Warnungsdienst — Polizeiposten — Elektrischer Regenmesser — Regenintensitäten und Alarm — Sicherheit auf Bäumen — Fluchthügel — Flussbewachung — Lahars unabhängig vom Regenfall am Vulkanfuss — Gipfelregen und Lahars 1930/32 — Durchfeuchtung des Flussgebietes günstig für Laharbildung — Flussaufziehende Gewitter besonders gefährlich — Bewährung des elektrischen Regenmessers — Lokale und regionale Regenfälle.

XII. Zusammenfassung.

XIII. Tabellen.

Oberfläche der Flussgebiete oberhalb 1000 m.

Gewitterzahl und Regenhöhe in den Monaten Dezember und Januar.

Regenfall und Bandjirhöhe im Batang 1930.

Regenfall und Bandjirhöhen 1931/32.

Bandjirdauer.

Ablauf der grossen Regenfälle.

ABKÜRZUNGEN.

- S. S. Staatsspoorwegen = Staatseisenbahn.
 Linie Jogja — Klaten — Solo.
 N. I. S. Nederlandsch-Indische Spoorwegmaatschappij = Privateisenbahngesellschaft.
 Linie Jogja — Magelang.
 Linie Jogja — Klaten — Solo.
 P. W. Provinciale Waterstaat (Staatsdienst mit dem Unterhalt der Strassen betraut).
 Irrigatie. Provinciale Irrigatie (Staatsdienst mit dem Unterhalt der Bewässeringsanlagen betraut).
 I. M. E. B. Ingenieurs Maatschappij Eigen Beheer.

LITERATUR.

a. Veröfentlichungen.

- 1846 Bleeker: „Bezoek van den Tangkoeban Prahoe na de eruptie van den 27. Mei 1846”. *Tijdschrift voor Neêrland's Indië*. Bd. 8, 565, 1846.
- 1854 Junghuhn, Fr.: „Java, zijne gedaante, zijn plantentooi en inwendige bouw”. (’s Gravenhage — 1854).
- 1893 Naumann, E.: „Neue Beiträge zur Geologie und Geographie Japans.” *Petermanns Mitteilungen*, Ergänzungs Heft No. 108. 1893.
- 1894—1909 Louw, P. J. F. en De Klerck, E. S.: „De Javaoorlog van 1825 — ’30”. Batavia 1894 — 1909.
- 1896 Verbeek, M. en Fenne-
ma, R.: „Geologische Beschrijving van Java en Madoera”. Amsterdam 1896.
- 1897 Rudolp, E.: „Bericht über die vulkanischen Ereignisse während des Jahres 1894”. *Tscherm. Min. petr. Mitteilungen*. N. F. 16. 1897. S. 423.
- 1901 Wang, F.: „Grundriss der Wildbachverbauung” 2. Bde. Leipzig 1901, 1903.
- 1902 Joung, A.: „Der Cotopaxi und die umgebenden Vulkanberge”. Berlin 1902.
- 1904 Lacroix, A.: „La Montagne Pelée et ses Eruptions”. Paris 1904.
- 1906 Magnetisch Observatorium: „Vulkanische verschijnselen en aardbevingen in den Oost-Ind. Archipel, waargenomen gedurende het jaar 1905, verz. door het Kon. Magn. en Met. Observatorium te Batavia”. *Natuurkund. Tijdschrift v. Ned. Ind.* 66, 1907.
- 1908 Spethmann, H.: „Vulkanologische Forschungen im östlichen Zentral Island”. *Neues Jahrb. f. Min. etc.* B. B. 26. 1908. p. 388.
- 1910 Topographische Dienst: *Jaarverslag van den Topographischen Dienst* over 1909, 1910 p. 38. „Bericht über den Merapi”.
- 1910 Stiny, J.: „Die Muren. Versuch einer Monographie mit besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse in den Tiroler Alpen”. Innsbruck 1910.
- 1914 Wolff, F. von: „Der Vulkanismus”. Stuttgart 1914.
- 1915 Sapper, K.: „Einige Bemerkungen über Wasserausbrüche”. *Zeitschr. f. Vulkanologie* II, p. 83. 1915.
- 1918 Boerema, J.: „Empirische waarden voor den te verwachten grootsten regenval in verband met waterafvoer”. *De Waterstaatsingenieur* 1918.
- 1920 Passarge, S.: „Grundformen der Landschaftskunde”.
- 1921 Bergeat, A.: „Plutonismus und Vulkanismus”. In Salomon: „Grundzüge der Geologie”. Stuttgart 1921. 2. Aufl.
- 1921 Kemmerling, G. L. L.: „De uitbarsting van den G. Keloet in den nacht van den 19den op den 20sten Mei 1919”. Dienst v. h. Mijnwezen in N. I. *Vulkanologische Mededeelingen* No. 2. Weltevreden 1921.
- 1921 Kemmerling, G. L. L.: „De hernieuwde werking van den vulkaan G. Merapi (Midden-Java) van begin Augustus 1920 tot en met einde Februari 1921”. Dienst v. h. Mijnwezen in N. I. *Vulkanologische Mededeelingen* No. 3. Weltevreden 1921.
- 1922 Kemmerling, G. L. L.: „De Merapi”. *Vulkanologische Berichten* XV. Weltevreden 1922.
- 1922 Kemmerling, G. L. L.: „De G. Semeroe, de G. Brāmā en de G. Lamongan in het begin van 1920”. Dienst v. h. Mijnwezen in N. I. *Vulkanologische Mededeelingen* No. 4. Weltevreden 1922.

- 1922 Stiny, J.: „Technische Geologie”. Stuttgart 1922.
- 1923 Kemmerling, G. L. L.: „De vulkanen van den Sangi-Archipel en van de Minahassa”. Dienst v. h. Mijnwezen in N. I. *Vulk. Mededeelingen* No. 5. Weltevreden 1923.
- 1923 Taverne, N. J. M.: „De G. Merapi in 1922”. *Vulkanologische Berichten* XXI.
- 1924 Van Es, L. J. C. en Taverne, N. J. M.: „De Galoenggoeng en Telaga Bodas”. Dienst van den Mijnbouw in Ned.-Indië. *Vulkanologische Mededeelingen* No. 6. 1924.
- 1924 Finkey, J.: „Die wissenschaftlichen Grundlagen der nassen Erzaufbereitung” Berlin 1924.
- 1924 Penck, W.: „Die morphologische Analyse”. Stuttgart 1924.
- 1924 Perret, F. A.: „The Vesuvius eruption of 1906”. Washington 1924.
- 1924 Taverne, N. J. M.: „De G. Merapi”. *Vulkanologische Berichten* XXX.
- 1924 Taverne, N. J. M.: „De Papandajan in 1923”. *Vulkanologische Berichten* XXXIII.
- 1925 Boerema, J.: „Uitbreiding van regenbuien te Batavia”. Kon. Magn. en Meteor. Observatorium te Batavia. *Verhandelingen* No. 15.
- 1925 Braak, E.: „Het klimaat van Nederlandsch-Indië”. Deel I, algemeene Hoofdstukken. Koninklijk Magnetisch en Meteorologisch Observatorium te Batavia. *Verhandelingen* Nr. 8. 1925.
- 1925 Day, L. and Allen, E. T.: „The volcanic activity and hot springs of Lassen Peak”. Washington 1925.
- 1925 Taverne, N. J. M.: „De G. Papandajan”. *Vulkanologische Berichten* XLII.
- 1925 De Vos, H. C. P.: „Transport van vaste stoffen door stroomend water”. *De Waterstaatsingenieur* XIII, 207. 1925.
- 1925 Wichmann, A.: „Geologische Ergebnisse der Sibolga Expedition”. Monographie LXVI aus: Uitkomsten op Zoologisch, Botanisch, Ozeanographisch en Geologisch Gebied, verzameld in Ned. Oost-Indië 1899 — 1900. Leiden 1925.
- 1926 Larsen, J. H. Thal.: „Bestrijding van de zandbezwaren aan den voet van werkzame vulkanen op Java”. *De Ingenieur* 1926, pag. 1009.
- 1927 Sapper, K.: „Vulkankunde”. Stuttgart 1927.
- 1929 Kögler, F.: Taschenbuch für Berg- und Hüttenleute. Berlin 1929.
- 1929 Prandtl, L. und 1931 Tietjens, O.: „Hydro- und Aeromechanik”. 2. Bde. 1929, 1931.
- 1929 Redlich, K. A., Terzaghi, K. v., Kampe, R.: „Ingenieursgeologie”. Wien und Berlin 1929.
- 1931, Boerema, J.: „Regenval in Nederlandsch-Indië”. Deel I. Gemiddelden van den regenval voor 3293 waarnemingsplaatsen in Ned.-Indië berekend uit waarnemingen verricht in het tijdvak 1879 — 1928. Kon. Magn. en Met. Observatorium te Batavia. *Verhandelingen* 24.
- 1931 Cool, W.: „Het Merapi-gebeuren in Midden Java bij de jaarwisseling 1930-'31”. *De Ingenieur* 1931, Nr. 37.
- 1931 Harloff, Ch. E. A.: „De uitbarsting van den Merapi in December 1930”. *Haagsch Maandblad* XVI, 4. October 1931.
- 1931 Neumann van Padang, M.: „Een en ander over de uitbarsting van den Merapi”. *De Mijnningenieur* Jg. 12.
- 1931 Stiny, J.: „Grundsätzliches über den Baugrund”. *Geologie und Bauwesen* 1931. Heft 4.
- 1931 Vennwald, H.: „Der Reibungswiderstand in trüben Flüssigkeiten unter besonderer Berücksichtigung der Setzarbeit in der nassmechanischen Aufbereitung”. *Glückauf* Jhrg. 67 p. 857, 1931.
- 1932 De Heer, A.: „De zware herstelling aan de Van der Wijck-leiding na de uitbarsting van den Merapi in December 1930”. *De Waterstaatsingenieur* No. 5. 1932.
- 1932 Mössner, A. B.: „Die Gleichfälligkeit von Körnern in beliebigen Mitteln und ihre Anwendung in der Aufbereitung”. *Glückauf* 1932. p. 181.

- 1933 Neumann van Padang, M.: „De uitbarsting van den Merapi (Midden-Java) in de jaren 1930 — 1931”. Dienst van den Mijnbouw in Ned.-Indië. *Vulk. en Seismol. Mededeelingen* Nr. 12. 1933.
- 1933 Hartmann, M.: „Bijdrage tot de kennis van gassen, sublimatie en inkrustatie-produkten, en thermale wateren in de Merapiladoes”. Dienst van den Mijnbouw in Ned.-Indië. *Vulk. en Seismol. Mededeelingen* Nr. 12. 1933.
- b. Manuscripte.**
- 1931, 24/1 Grondijs, H.: Verslag over de katastrofe en het herstel van de waterleiding van Djokjakarta.
- 1931, 27/1 Rietveld, R. Th.: (Waterschap „Opak-Progo”). Rapport betreffende den invloed van de Merapi-eruptie op de bevoeiing in het Waterschap „Opak-Progo”.
- 1931, 16/2 en 25/3 Neumann van Padang en Nelissen: Verslag over de verbetering van den steen- en zandafvoer in den z.g. Worodriehoek van het Waterschap „Dengkeng”.
- 1931, 14/3 Blaser: Voorloopig rapport over de mogelijkheid en de wijze van herstelling van capteering van de Kali Koeningsbronnen en van de waterleiding tusschen de capteering en den eersten ontlastkelder.
- 1931, 11/6 Geesink, H. A. O. W.: (Waterschap „Opak-Progo”). Rapport voor het wd. Hoofd van het Centraal Waterschapskantoor voor de Vorstenlanden betreffende den tegenwoordigen bevoeiingstoestand uit de Kali's Koening en Gendol-Opak.
- 1931, 15/6 I. M. E. B.: Beschouwingen omtrent de door het Waterschap „Dengkeng” ter beteugeling van de Worobandjirs sedert Januari 1931 in en nabij den z.g. Worodriehoek getroffen maatregelen.
- 1931 Klein, F.: Beschouwingen omtrent het rapport ddo. 15 Juni van de I. M. E. B. betreffende de door het Waterschap „Dengkeng” ter beteugeling van de Worobandjirs in en nabij den z.g. Worodriehoek getroffen maatregelen.
- 1931, 23/10 Schmidt, K. G.: Notitie over een registreer-apparaat voor regenval over langen afstand.
- 1931, ?/11 Grondijs, H.: Rapport over de diverse mogelijkheden van het herstel van de Waterleiding van Jogjakarta.
- 1931, 14/11 Schmidt, K. G.: Voorloopig rapport over den zandafvoer op de zuidelijke en westelijke helling van den G. Merapi.
- 1931, 15/12 Schmidt, K. G.: Nota omtrent het bandjiralarm op de westhelling van den Merapi.
- 1931, 20/12 Blaser: Rapport over de wijze van herstelling en beveiliging der capteering van de Kali Koeningsbronnen en van de waterleiding tusschen de capteering en den eersten ontlastkelder.
- 1931 Adriaanse, J.: Aktennotizen zur Uebergabe der Dienstleitung im 3. Distrikt P. W.
- 1932, 15/2, 15/8, 8/12 de Jager, P. K.: „Merapiramp”. 1930.
- 1932, 29/2 Schmidt, K. G.: Vervolg van rapport dd. 14/11-1931.
- 1932 20/4 Neumann van Padang, M.: „Het gloedwolkgevaar voor het tuindorp Kalioerang”.
- 1932, 1/5 Schmidt, K. G.: Nota omtrent den bandjir in de K. Batang ddo. 7 April 1932.
- 1932, 27/6 Schmidt, K. G.: Rapport over de resultaten van het op den 23sten en 24sten Juni gehouden terreinonderzoek inzake de verzanding van de Kali Simpang (zuidhelling van den G. Merapi).
- 1932 ?/6 Geesink, H. A. O. W.: Rapport over den lahar ddo. 7 April 1932.
- 1932, 12/8 Schmidt, K. G.: 59 stellingen over de zandafvoeren en hun invloed op het rivierstelsel van den Merapi voor een discussie-avond ddo. 12/8-1932 van het Kon. Instituut van Ingenieurs te Semarang.

Anmerkung.

Die vorliegende Arbeit wurde im August und September 1932 als Dienstpublikation niedergeschrieben. Die Rapporte De Jager vom 15/2 und 15/8 wurden am 11/8 empfangen und konnten mit verarbeitet werden. Der Rapport vom 15/8 war unvollständig, und wurde unter dem Datum 8/12 umgearbeitet neu herausgegeben. Er wurde Mitte Januar 1933 empfangen und gab Anlass zu einigen Fussnoten. Die Arbeiten von Adriaanse und Cool wurden im Nov. 1932 empfangen und konnten zu Textänderungen bei der Beschreibung der Brücken auf der Westseite und der Laharzusammensetzung Verwendung finden.

Im Jahre 1933 musste der ursprüngliche Text wegen Schwierigkeiten bei der Drucklegung verkürzt werden.

I. Was geschah.

Der Ausbruch.

Am 18. und 19. Dezember 1930 brach der Goenoeng Merapi ¹⁾ aus. Jahrelang war der Vulkan ruhig geblieben, Ende November war ± 300 m unter dem Gipfel Lava ausgetreten, nun brach die Westflanke auf, wobei eine 100—250 m breite Bresche entstand. Heisse trockene Schuttströme mit hohem Sandgehalt eilten durch die Schluchten der Flüsse Senowo-Pabelan, Lamat, Poetih und Blongkeng ²⁾ und breiteten sich unterhalb der 1000 m Linie über das Gelände. Die letzten Ausläufer gelangten bis zu 500 m Höhe.

Als Begleiter der Schuttströme fuhren Glutwolken den Westhang herab, legten viel Wald um und versengten bis ± 750 m n.m. ein grosses Gebiet. Eine $\pm \frac{1}{2}$ m dicke Sand- und Aschenlage bezeichnete die Spur der Wolken. Wirbelstürme erhoben sich und richteten, vor allem auf der Südseite, Verheerungen im Waldbestand des Gipfelgebietes an. 1369 Menschen verloren bei der Katastrophe das Leben, 2100 Stück Grossvieh kamen um, 22 km² Kulturland und 36 Dörfer wurden verwüstet.

Nähere Mitteilungen über diesen Ausbruch hat Neumann van Padang veröffentlicht (1933).

Vulkanische Nachwirkungen.

Die vulkanischen Nachwirkungen waren nicht bedeutungsvoll. Ein neuer Lavadom stieg langsam aus der Wunde und streckte sich später als Zunge über den Westhang. Mehrere Abstürze fanden noch statt und verursachten kleinere Glutwolken. Verluste jedoch waren nicht mehr zu verzeichnen.

Nasse Schuttströme.

Viel gefährlicher wurden in der Folgezeit die nassen Schuttströme, die den dichtbevölkerten Vulkanfuss bedrohten. An den Nord- und Osthängen blieb alles innerhalb normaler Grenzen. Hier traten nur Wildwässer auf. In den grossen Tälern der West- und der Südseite aber brausten verheerende Schuttströme, Gemenge von Wasser, Asche, Sand und Andesitbrocken herab. Innerhalb weniger Minuten bewirkten sie die unglaublichsten Veränderungen des Landschaftsbildes. Dörfer wurden weggefegt, Strassen unterwühlt, Dämme durchbrochen. Eiserne Brücken wichen der Kanonade von Felsblöcken und schwammen wie Spielzeug dahin. Wo gestern dunkle Talfurchen zwischen grünen Reisfeldern waren, streckten sich heute unabsehbare Schuttwüsten. An andern Stellen wurden in wenig modellierten Flächen phantastische Schluchten gerissen.

Die ersten Schuttströme im Lamat und Blongkeng

1) In dieser Arbeit wird der amtlichen holländischen Schreibweise gefolgt:

Oe sprich u, ij sprich ei, ji sprich j i.

Goenoeng (mal.) = Berg. Merapi (jav.) = feurig.

2) Blongkeng (jav.) = Blattstiel der Kokospalme.

Lamat (jav.) = schmal, kraftlos.

Poetih (jav.) = weiss. Senowo (jav.) = Holzart.

Pabelan (jav.) = Hilfe.

waren heiss. Viele Augenzeugen berichten von schwefelg riechenden Wolken, die aus den Sandmengen aufstiegen. Oft wurde der Schutt durch Dampfexplosionen hoch in die Luft geschleudert, und noch heute kann man im Blongkeng die Trichter dieser kleinen Ausbrüche beobachten.

Die Schuttströme in allen andern Flüssen waren kalt.

Die beiden schwersten Fluten kamen am 2. und 14. Januar 1931 herab, sehr grosse am 19. und 20. Dezember 1930, am 11. Januar, 19. und 20. März und 27. April 1931. Ferner am 17. Februar und 7. April 1932. Einige kleinere Schuttströme hatten weniger Bedeutung.

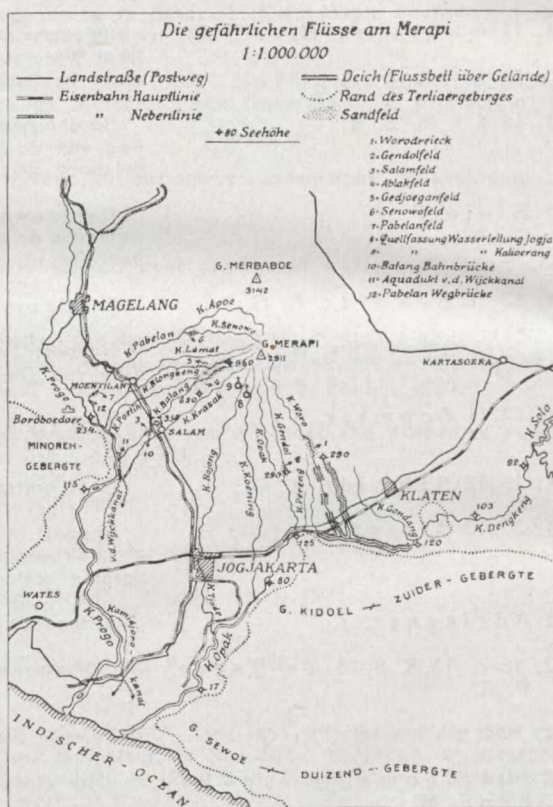


Abb. 1. Nur in den grossen Flüssen der West- und der Südseite traten gefährliche Schuttströme auf.

Der Schaden.

Der Schaden war gross (s. Abb. 1).

Im Unterlauf des Pabelan wurde eine Strassenbrücke weggeschlagen. Weiter stromauf breitete sich der Sand über die Reisfelder und vernichtete 70 ha (Pabelanfeld). Auch beim Zusammenfluss von Senowo und Pabelan wurden einige Felder vom Sand überströmt (Senowofeld).

Im Blongkenggebiet beschränkte sich der Hauptschaden auf den Ober- u. Mittellauf. Weiter flussabwärts wurde nur ein Stück der Postwegbrücke weggeschlagen und gerieten einige Reisfelder unter Sand. Ausserdem wurde das ganze Bewässerungssystem unbrauchbar gemacht.

Im Lamatgebiet wurde der Schuttstrom vom 2. Januar gefährlich. Dieser verbreitete sich über das Gelände der Missionsgebäude bei Moentilan und schlug eine kleine Brücke weg.

Der Batang ³⁾ hat sich von 1000 m Höhe ab eine neue tiefe Talschlucht gegraben. Er brachte Anfang Januar gewaltige Mengen von Schutt bis in den Progo ⁴⁾. Am 19. Dezember füllte er seinen Unterlauf ungefähr 7 m auf, am 2. Januar wurde ± 20 m oberhalb des Zusammenflusses mit dem Progo ein eisernes Aquadukt des Van der Wijck-Irrigationskanals weggeschlagen und ungefähr 60 m weit mitgeschleppt. Dadurch wurde die Bewässerung von 6783 bouws = 48 km² Zuckerfeldern in Frage gestellt. Gleichzeitig wurden unterhalb des Postweges einige Reisfelder versandet. Am 27. April 1931 wurde die Eisenbahnbrücke zum ersten Mal vernichtet, am 7. April 1932, zum zweiten Male. Dabei entstand ein grosses Schuttfeld bei Salam.

Der Krasak ⁵⁾ blieb ruhig. Erst bei der späteren Untersuchung ergab sich, dass ein Schuttstrom bis ungefähr 1200 m Höhe gekommen war.

Im Bojong ⁶⁾ wurde die Rohrleitung der Trinkwasserversorgung von Kalioerang bei ± 900 m Seehöhe beschädigt, weiter flussab fiel nichts besonders auf.

Gross war der Schaden im Koenig ⁷⁾. Hier wurde nicht nur die neue Quellfassung für die Trinkwasserleitung von Jogjakarta bei ± 900 m Höhe vernichtet, die Fluten rissen auch alle Dämme der umfangreichen Bewässerungsanlagen bis zu Seehöhen von 148 m (Sambisari) weg. Ausserdem blieb weiter unterhalb noch soviel Sand im Flussbett, dass die abzweigenden Leitungen nicht arbeiten konnten. (Störung bis Seehöhe 100 m, Blendangan).

Auch im Gendolgebiet ⁸⁾ hatte die Bewässerung der wertvollen Zuckerkulturen stark zu leiden. Zwischen Seehöhe ± 400 und ± 200 m wurden 2,77 km² Felder mit Sand bedeckt (Gendolfeld), einige Kampoenghäuser ⁹⁾ wurden weggespült, alle Dämme bis 120 m Seehöhe (Modjosari) fielen den Schuttströmen zum Opfer.

Im Worodreieck, einem alten Sandfelde, brachen am 2/1, 14/1, 2/2, 14/2 Deiche durch, was für einige Dörfer sehr gefährlich wurde.

Kurz, es war für die Behörden und die Ingenieure der verschiedensten Aemter Ursache genug, auch am Fuss des Berges eine fieberhafte Tätigkeit zu entwickeln. Innerhalb weniger Tage konnten die Trinkwasserleitungen wieder Dienst tun, nach drei Monaten war der Van der Wijckkanal in einem starken Tunnel unter den Schuttmassen durchgeführt. Im Woro wurden verschiedene neue Dämme angelegt, für die Bahnlinie wurde eine Hilfsbrücke über den gefährlichen Batang gebaut.

Nicht genug Bewunderung kann man für das finden, was damals in kürzester Zeit geleistet wurde.

3) Batang (jav.) = eine Erwartung haben von etwas.

4) Progo (jav.) = Geschwister.

5) Krasak (jav.) = brausend.

6) Bojong (jav.) = umziehen, einen andern Platz suchen.

7) Koenig (jav.) = gelb.

8) Gendol (jav.) = anhängen.

9) Kampoeng (jav. und mal.) = Dorf.

Gutachten.

Von Geologischen Landesdienst (Opsporingsdienst zum Dienst van den Mijnbouw gehörig) wurden damals Gutachten durch Grondijns und Neumann van Padang ausgebracht.

Auftrag.

Inzwischen erwies es sich nötig, eine mehr umfassende Untersuchung über Ursachen und Wirkung mit dem Hauptgewicht auf der Technologie an zu stellen. Dabei wurde besonders auf die Beantwortung dieser Fragen Wert gelegt:

1. Muss man auf dem dichtbevölkerten Westhang weiterhin mit Gefahr für die Bevölkerung rechnen?
2. Sind noch technische Werke auf den West- und Südhängen bedroht?
3. Wenn ja, was kann geschehen um die Gefahr zu vermindern?

Mancherlei Berichte über indische Schuttströme finden sich in der Literatur zerstreut, vor allem Kemmerling hat sich wiederholt mit diesem Problem beschäftigt. Die Ingenieure der verschiedensten, am Merapi tätigen Dienste hatten wertvolle Einzelbeobachtungen gesammelt. Nur in Einzelheiten jedoch war das Material so verarbeitet, dass sich Gesetzmässigkeiten heraushoben. Um Voraussagen für die Zukunft machen zu können, war vielfach Synthese notwendig, deren Richtigkeit erst durch die Ereignisse bestätigt werden konnte.

Ende Juli 1931 wurde Verfasser mit dieser Aufgabe betraut.

Die Resultate der Untersuchung wurden in verschiedenen Gutachten und Berichten niedergelegt, die im Literaturverzeichnis näher aufgeführt sind. Die vorliegende Arbeit versucht, die Ergebnisse nach allgemeineren Gesichtspunkten zusammenzufassen.

Besondern Dank schuldet Verfasser einer Reihe von Diensten und Körperschaften, durch deren bereitwillige Hilfe diese Arbeit sehr gefördert wurde. Die Behörden stellten die Hilfe der Regierungsorgane zur Verfügung. Die Dienste der Irrigatie des P. W., der verschiedenen Wasserschäften, der Wasserleitung Jogja, der N. I. S. führten Messungen aus, das Meteorologische Observatorium und die Telegraphenverwaltung halfen beim Aufstellen des elektrischen Regenmessers. Last not least gilt der Dank des Verfassers den Chefs und verschiedenen Kollegen des eigenen Dienstes, des Vulkandienstes inbegriffen, die ihm stets mit Rat und Tat zur Seite standen.

II. Glutwolke—Ladoe—Bandjir—Lahar.

Es dürfte zweckmässig sein, gleich zu Beginn der Untersuchung eine kurze Beschreibung der hier behandelten Erscheinungen zu geben und die Bedeutung der in Anwendung kommenden Begriffe festzusetzen.

Entstehung der Glutwolken.

Die trockenen, heissen Schuttströme, die während des Ausbruches auf der Westseite auftraten, sind direkte Folgeerscheinungen der Eruption selbst. Die Ränder der aufbrechenden Bergspalte stürzten nieder

und bilden zusammen mit den Erzeugnissen des zerspritzenden Lavakerns eine Schuttmasse, die in den Furchen abfließt. Grössere, aus dem Kern herausgeschleuderte Blöcke explodieren noch während des Abrollens und erhöhen so die Turbulenz der Masse. Es löst sich eine Wolke von Asche, Sand und heissen Gasen aus dem Schutt. Eine Glutwolke, eine „nuée ardente“ ähnlich der des Mont Pelée ist entstanden.

Mechanik Glutwolke.

Diese Schuttströme sind bewegungsmechanisch durchaus zu vergleichen mit denen von gewöhnlichen grösseren Felsstürzen. Die wichtigsten Unterschiede bestehen in dem belangreichen Anteil feinen Materials, sowie in der Gegenwart heisser Gase, die in der Masse eingeschlossen sind und die Beweglichkeit des Stromes vergrössern (siehe pag. 114), wie dies Perret auch von heissen Aschenlawine des Vesuvs beschrieben hat (1924 pag. 90).

Alle Schuttströme der Südseite, sowie die, welche am Fusse der Westseite ankamen, waren jedoch nass.

Nur wenige Beobachter zweifelten an einem Ursächlichen Zusammenhang zwischen dem Erwachen der vulkanischen Tätigkeit und dem Auftreten dieser Ströme.

Nasse Schuttströmen nach Ausbrüchen.

Das Tal des Kali Koenig z.B. war früher so dicht bewachsen, der kleine darin laufende Bach sah so harmlos aus, die Menschen erinnerten sich so wenig an grössere Wasserfluten, dass man das maximale Abfuhrdebit auf 3 bis 4 m³/sec. schätzte und die Quelfassung für die Wasserleitung im Tale selbst anlegte (Sie war noch bei 5 m³/sec. geschützt). Nach dem Ausbruch jedoch jagten mehrmals Wassermengen durch die Schlucht, die später auf mehrere hundert m³ berechnet wurden. Von andern Beispielen sei nur der Galoenggoeng und der Merapiausbruch von 1822/23 erwähnt (Van Es 1924, Junghuhn 1854, II. 452). In beiden Fällen setzt die Schuttstrombildung kurz nach dem Ausbruche ein.

Sehr gut kommt das zeitliche Zusammenfallen von Ausbruch und Bandjirtätigkeit bei einem Vergleich der im Batang an der Bahnbrücke durch die N. I. S. und der von Neumann van Padang (1933) aufgestellten Kurve der vulkanischen Aktivität zum Vorschein. Nach der lebhaften Tätigkeit im Dezember und Januar trat sowohl am Berg als in den Flüssen eine Ruhepause ein, die bis Mitte März anhielt. Die Zunahme der vulkanischen Erscheinungen am 19. und 20. März war von heftigen Schuttströmen begleitet. (Abb. 2)¹⁰⁾

Besonders bemerkenswert ist jedoch, dass am Merapi von April 1931 ab die vulkanische Tätigkeit praktisch erloschen war, während noch eine Reihe von schweren Fluten niederkam.

Für die Beurteilung der Zusammenhänge jedoch ist es in erster Linie wichtig, die Herkunft des mit den Schuttströmen ablaufenden Wassers zu kennen.

Schuttstrom und Kratersee.

Kraterseen, die z.B. das Wasser für die Schlammströme der Soufrière von St. Vincent (Lacroix 1904) des Keloet auf Java (Kemmerling 1921) oder des Schirane auf Japan (Neumann 1883) geliefert haben, fehlen beim Merapi.

Primäre Schlammausbrüche.

Sapper (1915) berichtete über primäre Schlamm- ausbrüche von Lanzarote (Kanaren). Wichmann hat sich 1925 sehr bemüht, grosse Schuttströme in Niederländisch Indien durch entsprechende Wasserausbrüche zu erklären. Seine Anschauungen haben gute Aufnahme in der Literatur gefunden (verg. Sapper 1927). Mit aller Schärfe sei jedoch betont, dass die Beweisführung Wichmanns ungenügend und gesucht ist. Die Berichte von Ternate, sowie der Name „verbrande hoek“ deuten darauf hin, dass dort u.a. mehrfach Glutwolken aufgetreten sind. Vom 7. Sept. 1897 erzählt der eingeborene Führer, ausserdem, dass der „Krater eine Menge Steine ausgestossen“ habe, „die durch heftige Regengüsse in die Brangka Togorara sowie in die Brangka Toloko abwärts befördert worden waren“ (Wichmann 1925 pag. 50).

Nach den topographischen Untersuchungen von Van Nouhuys kann ein Schlammstrom nicht aus dem Krater zur Br. Toloko geflossen sein, nach seiner Ansicht ist der Strom als Folge von Regengüssen in der Brangka selbst entstanden (Wichmann pag. 51). Einem Schuss aus dem Krater widerspricht die Trockenheit einer, zwischen Krater und Toloko gelegenen Schlucht (Wichmann pag. 52). Die Schlammströme von Ternate können daher zwanglos mit den heissen, nassen Schuttströmen des Merapi verglichen werden.

Vom, an sich unbedeutenden, Ausbruch des Tangkoeban Prahoe von 1846 hat Junghuhn (1854, II, 60) bereits gezeigt, dass das Hauptgewicht auf den Aschenausbruch zu legen ist. Nur die nähere Umgebung des Kraters wurde mit dem Schlamm der ausgeblasenen Kraterpfütze bespritzt. Auch Bleeker schreibt (1846 pag. 572), dass „offenbar der Schlammauswurf von einer Ascheneruption begleitet war, wodurch sich erklärt, dass der weiter unten gelegene Wald mit Asche bedeckt war“. Das Hauptargument Wichmanns, das Bleeker nur an den Kraterändern Asche bemerkt hätte, ist demnach hinfällig.

Ebenso willkürlich umgedeutet wurden die Berichte über den Roeang im Sangi Archipel, aus dessen „Krater“ am 24. Mai 1905 ein 4 Faden breiter Wasserstrom geflossen sein soll. In der Quelle Wichmanns, dem Rapport des Residenten vom 30. Juni von Menado (Magnetisch Observatorium 1906) steht jedoch zu lesen, dass in jener Nacht ein „Wasserstrom der auf seinem Lauf Steine, Bäume und Sand

10) Bodentiefe und Wasserhöhe nach Messungen von N. I. S., P. W. und Irrigatie. Vergl. Kap. X und XI.

mitriss, vom Gipfel des Berges herabkam". Zwei Nächte zuvor hatte ein Aschenausbruch stattgefunden. Niemand hat die Entstehung des Schlammstroms be-

obachtet. Wichmann hat „Gipfel“ in „Krater“ umgedeutet.

Vom Makian erfahren wir nur, dass überhaupt Schlammströme aufgetreten waren.

Die Junghuhn'sche Beschreibung des Merapiausbruches und der durch Regengüsse erzeugten Schlammströme von 1823 ist schliesslich von so klassischer Klarheit, dass es merkwürdig anmutet, ihre Richtigkeit durch Wichmann angezweifelt zu sehen.

In jüngster Zeit hat Taverne kleine Schlamm- ausbrüche beim Papandajan beschrieben (1924, 1925), wobei zu bemerken ist, dass der tätige Papandajankrater auf der Bergflanke liegt und viel vadoses Wasser enthält.

Grosse primäre Wasserausbrüche, aus dem Gipfel von Vulkanen ohne oberflächlichen Wasseransammlungen, die verheerende Schlammströme zur Folge hatten, sind bis heute aus dem Archipel nicht nachgewiesen.

Auch die Beobachtungen beim jüngsten Merapiausbruch schliessen dergleiche Erscheinungen aus. Am ersten Ausbruchstag sind überhaupt keine nassen Schuttströme aufgetreten, die Tage der stärksten Schuttstrombildung zeichneten sich durchaus nicht immer durch starke vulkanische Tätigkeit aus; niemals sah man „Schlamm“ aus der Kraterbresche hervorberechen, obgleich der Gipfel Tag und Nacht unter Kontrolle stand; schliesslich waren auf der Südseite wohl nasse Schuttströme, doch keine vulkanischen Erscheinungen zu verzeichnen.

Eis- und Schlammströme.

Eis- und Schneekappen, bei deren Schmelzen in gemässigten und kalten Zonen oft Schuttströme entstehen, fehlen den Bergen Niederländisch Indiens.

Regen und Schlammströme.

Das Wasser der Schlammströme muss daher von hef-

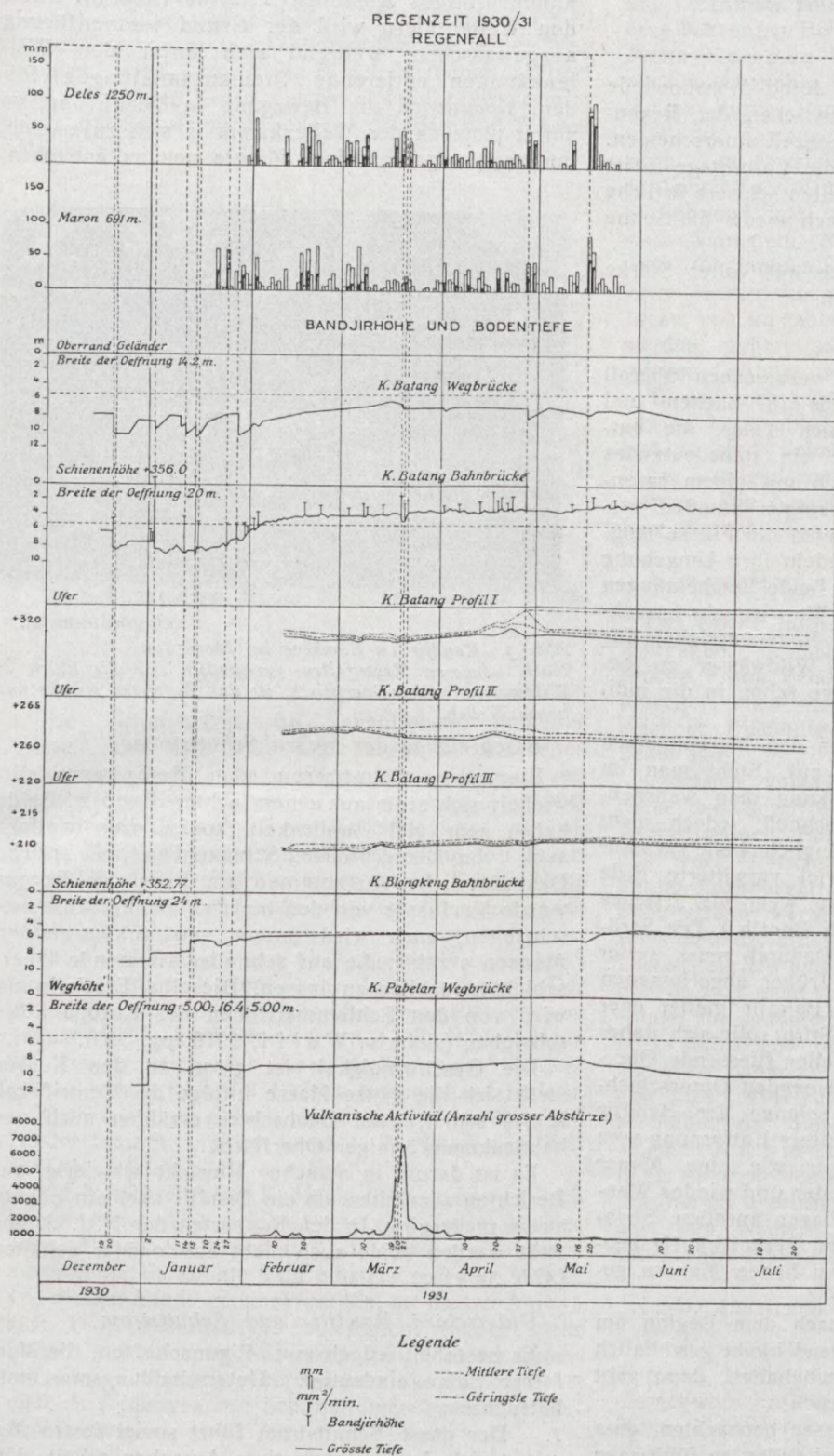


Abb. 2. Die grössten nassen Schuttströme liefen in den ersten Wochen nach dem Ausbruch ab. Eine Belebung der vulkanische Aktivität im März brachte wieder starke Schuttströme mit sich. Vom April ab erscheinen Schuttströme bei völliger Ruhe des Vulkans. Im Batang erodieren die erste Schuttströme bei den Brücken; die späteren sanden auf. Im Blongkeng wird sofort aufgesandet.

tigen Regengüssen rühren, während das feste Material den Böschungen entstammt.

Ueber den Zusammenhang mit dem Vulkanismus soll im Kap. V weiteres ausgeführt werden.

Regenzeit.

Das Klima Mitteljavas wird durch Monsunwinde beherrscht, man kann scharf zwischen der Regen- (Oktober — April) und der Trockenzeit unterscheiden.

Auch in der Regenzeit sind die Vormittage meist klar, zwischen 12 und 17 Uhr fallen schwere örtliche Güsse, während am Abend vielfach wieder die Sonne durchbricht.

Die Regen setzen gewöhnlich mit voller Stärke ein, um dann rasch nachzulassen.

Bandjirs.

Solche tropische Regenfälle verursachen überall ein Steigen des Wasserspiegels in Bächen und Flüssen. Im Gebirge füllen sich Täler, die entweder trocken sind oder nur ein unbedeutendes Wasserärdchen führen, plötzlich mit einem rasenden Strom, der jedoch nach wenigen Stunden verschwunden ist. In der Ebene treten die Flüsse langsam über die Ufer und verwandeln ihre Umgebung für mehrere Tage in einen See. Beide Erscheinungen nennt man in Java Bandjir. Das Wort ist sehr brauchbar um vor allem die, in ihrer Regelmässigkeit für die Tropen so bezeichnenden Wildwässer zu beschreiben und wurde daher lange schon in die indische Literatur aufgenommen.

Dergleiche Bandjirs treten an den Merapihängen in der Regenzeit fast täglich auf. Steht man im Niederschlagsgebiet selbst, so kann man wahrnehmen, dass das Wasser sehr schnell, jedoch nicht sprunghaft, steigt. Das ursprünglich helle Wasser wird trübe — gelb, wenn es viel verwitterte Erde enthält (Kali ¹¹⁾ Koenig !), grau, wenn viel frisches Material mitgeführt wird (Kali Poetih!). Die Strömungsgeschwindigkeit wächst. Dadurch muss weiter flussab das Bandjirwasser die früher abgeflossenen Wassermassen überholen. Der Bandjir gleitet über das ältere Normalwasser. Die Stirn rollt sich daher ein. Dieser Vorgang, dass schneller fliessende Oberschichten über die am Boden reibenden Unterschichten gleiten, wiederholt sich, solange der Bandjir wächst. Die Folge ist, dass in einiger Entfernung vom Niederschlagsgebiet der Bandjir wie eine Mauer angesetzt kommt, und dass wieder und wieder Wasserscheiben über die tieferen Lagen anrollen. Stirnhöhen von 1 — 2 m wurden am Merapi häufig beobachtet, es wird selbst von 4 m hohen Mauern gesprochen.

Die Bandjirhöhe ist kurz nach dem Beginn am grössten. Der höchste Wasserstand bleibt gewöhnlich nicht länger als $\frac{1}{2}$ Stunde beibehalten, dann geht er langsam bis Normalpeil zurück.

Konnte man im hellen Wasser beobachten, dass nur wenig Sand über den Grund rollte, so fühlt man beim Eintauchen der Hand in einen Bandjir sehr deutlich, dass darin grössere Mengen groben Sandes mittreiben, während Steine bis $\frac{1}{2}$ m ϕ über den Boden rollen. Sehr bezeichnend ist, dass sich in der

Hauptstromlinie eine Reihe hintereinanderliegender spitzer Wellen entwickelt, die der Oberfläche des Bandjirs über eine grosse Länge hahnenkammförmiges Aussehen verleiht (Abb. 3). Unter den Wellentälern wird der Grund wannenförmig ausgewaschen, während sich unter den Wellenkämmen rotierende Steinansammlungen bilden. Kommt da die Bewegung in Verwirrung, so stürzt plötzlich der Wellenkamm in sich zusammen, um nach ungefähr einer Minute neu zu entstehen.



Aufnahme Schmidt.

Abb. 3. Bandjir im Blonkeng bei Moentilan. Nach schweren Regenfällen verwandeln sich die Flüsse in Wildwasser. Charakteristisch ist das Auftreten spitzer und hoher Wellen.

Beschreibung der nassen Schuttströme.

Ein nasser Schuttstrom vom Merapitypus entwickelt sich stets aus einem echten Bandjir. Beide haben sehr viel Ähnlichkeit, sodass man vielfach auch von Sand- oder Schlamm-Bandjirs spricht. Das plötzliche Aufkommen am Fuss des Berges wurde Verfasser von den meisten Beobachtern beschrieben, auch wird immer von ankommenden Mauern erzählt, die auf schneller fliessende Oberschichten schliessen lassen. Dieselbe Erscheinung wird von den Schlammströmen des Cotopaxi beschrieben (siehe v. Wolff, 1919, pg. 399).

Die Geschwindigkeit ist gross. In den Kurven stellt sich die ganze Masse infolge der Zentrifugalkräfte schief, zwei Beobachter erzählen auch von hahnenkammförmiger Oberfläche.

Es ist darum in mancher Hinsicht schwierig, aus Berichten abzuleiten, ob ein Bandjir oder ein Schuttstrom niederging. In den Rapporten der N. I. S. von 1931 wurden beide auch nicht auseinander gehalten (Abb. 3).

Unterschied Bandjir- und Schuttstrom.

Es bestehen jedoch zwei Eigenschaften, die Verfasser als eindeutige Unterscheidungsmerkmale betrachtet:

1. Der nasse Schuttstrom führt soviel festes Material, dass er breiartiges Aussehen erhält. Alle Beobachter sprechen von sirupartiger Beschaffenheit.
2. Selbst grosse und grösste Steine rollen nicht mehr über den Boden, sondern treiben frei in der Masse.

11) Kali (jav.) = Fluss.

Bewegung Schuttstrom.

Mit gewaltigem, weit hörbarem Gepolter und grosser Fahrt geht ein solcher Schuttstrom ab. Uferwände werden weggeschlagen, der Flussboden aufgeschürft, was an menschlichen Werken in den Weg kommt, wird vernichtet. Plötzlich jedoch verliert der Strom alle Kraft, die Geschwindigkeit vermindert, der Schutt wird niedergeschlagen und Wasser fliesst ab.

Absätze der Schuttströme.

In jedem Aufschluss von so sedimentiertem Material kann man beobachten, dass nicht die geringste Klassierung nach der Korngrösse stattgefunden hatte. Asche, Sand und Steinchen bilden eine Grundmasse, worin die grösseren Felsbrocken ohne Regelmässigkeit verteilt sind. Nur bei genauerem Studium fällt auf, dass die mitgeführten Blöcke im Unterlauf nicht mehr so gross wie im Mittellauf sind. Oben liegen sehr viele Steine bis zu 5 m Durchmesser während die des Unterlaufs in der Regel nicht grösser als 2,5 m sind.

Verbreitet sich ein Schuttstrom über die Ufer, so entsteht ein Schuttfeld.

In Schuttfeldern findet man gelegentlich Blockansammlungen.

Schuttstrom und Mure.

Die Schuttströme an javanischen Vulkanen müssen mit den von Lacroix beschriebenen Schlammströmen der Montagne Pelée verglichen werden. Lacroix hat bereits (1904) auf die Ähnlichkeit dieser Erscheinungen mit alpinen Muren (Laves) hingewiesen. Wenn Passarge (1920) die javanischen vulkanischen Schuttströme unter die Erdrutsche aufnimmt, ist dies ein grundsätzlicher Fehler.

Sand und Schuttströme als Folge von Regengüssen sind am Merapi schon sehr lange bekannt. Der Junghuhn'sche Bericht über den Ausbruch vom Januar 1823 (Junghuhn 1854, II, 452) könnte als Beschreibung der Katastrophen von 1930/32 gelten, würde man die Namen entsprechend ändern.

Auch von einer ganzen Reihe von andern Vulkanen Niederländisch Indiens wurden im Lauf der Zeit ähnliche Schuttströme erwähnt.

Mit fortschreitender Kenntnis Insulindes zeigt sich immer mehr, dass Schuttströme und deren Absätze grundsätzlich ein Bestandteil aller hiesigen Vulkane ausmachen. Es könnte kein einziger rezenter Vulkan aus diesem Lande genannt werden, an dessen Aufbau sich keine Schuttströme beteiligten. Immer mehr bürgert sich auch die Auffassung ein, dass ein Grossteil der z.T. mächtigen tertiären vulkanischen Breccien als Bildungen von Schuttströmen betrachtet werden müssen.

Nasse Schuttströme charakteristisch für tropische Vulkane.

Sicherlich verdankt ein grosser Teil dieser Schuttströme seine Entstehung der Regenspülung, es

kann selbst angenommen werden, dass derartige Schuttströme typisch für die tropische Regenzone sind. Sieht man von gelegentlichen Schlammströmen am Vesuv und Aetna ab, so fällt sehr auf, dass die best bekannten Beispiele von Mont Pelée und Santa Maria (Sapper 1927) in dieser Zone liegen. Auch am Äquatornahen Cotopaxi sind zahlreiche Schlammströme durch Regengüsse verursacht. Ueberblickt man die Sappersche Vulkanliste (1927), so kann man feststellen, dass eine ganze Reihe von Schlammstromvulkanen, von denen eine nähere Beschreibung nicht vorliegt, im Tropengürtel verteilt sind. Nauvalum (Neuguinea), Niuafo (Pacific), Puracé (Columbien), Taal (Philippinen), Goenoeng Awoe (Sangi) können hier hergestellt werden. Auch Japan, von wo zahlreiche Schlammströme beschrieben werden, gehört schliesslich zu den niederschlagsreichen Gebieten der Erde.

Es soll noch gezeigt werden, dass in Indien Schuttströme gesetzmässig an vulkanische Ausbrüche gebunden sind. Schuttströme an Vulkanen verdienen daher von anderen Schuttströmen unterschieden zu werden. Die Namengebung ist jedoch nicht immer befriedigend.

Namengebung.

Das Wort Schuttstrom selbst ist ein Sammelbegriff: Mürgänge, Gletscherbrüche, Moorbrüche, Dammbrüche, Frana, Felsstürze können „Schuttströme“ verursachen, auch werden die polaren Blockströme bezeichnet. Eindeutig definierte Spezialausdrücke sind daher nötig.

Trockene vulkanische Schuttströme kennt man unter den Begriffen Glutwolke (*nuée ardente*) und Aschenlawinen. Für einen Teil der nassen hat sich das Wort Gletscherlauf (*avenida*, *lodazole*, *Yökullhlaup*) eingebürgert. Alle übrigen nassen vulkanischen Schuttströme werden meist als Schlammströme (*torrents boueux*, *crués boueux*, *mud flows*) bezeichnet. Diese Begriffe sind irreführend, denn vielfach handelt es sich nicht um Schlamm sondern um Suspensionen von sandigem Grottschutt in Wasser. In Indien ist es üblich geworden, für vulkanische Schuttströme das Wort Lahar zu benutzen. Junghuhn erwähnt das Wort (1854) zum ersten Male als javanische Bezeichnung der Sandströme und ihrer Absätze vom Keloed. Kemmerling hat (1921) die Bezeichnung übernommen und auch auf die Schuttströme des Merapi übertragen, obschon dieselbe Erscheinung dort den Namen Ladoe führt. Kemmerling gebrauchte daher (1921) beide Worte nebeneinander.

Ladoe und Lahar.

Nach dem Ausbruch von 1930 soll im indischen Dienstgebrauch das Wort Ladoe für die schwere Fraktion der trockenen Glutwolken, das Wort Lahar für die eigentlichen vulkanischen „Schlammströme“ vorbehalten bleiben. Sicherlich sind beide Begriffe mit Nutzen auch ausserhalb Indiens zu gebrauchen. Sie sind kurz und haben den Vorteil aus einem Lande zu stammen, in dem die betreffenden Erscheinungen dauernd und gründlich studiert werden.

Heisse und kalte Lahars.

Die Bezeichnungen heiss, warm, kalt, die gelegentlich als Einteilungsprinzip gebraucht werden, können nur die Bedeutung von beschreibenden Beiworten haben. Bei der Keloeteruption 1919 war der von den obersten, kalten Wasserlagen stammende Stirnteil der Lahar kalt, während später erst das heisse Wasser vom Grunde des Kratersees nachfloss (Kemmerling 1921). Beim Merapi waren 1930 die mit abgespültem Ladoematerial vermengten Lahars heiss, während alle andern kalt waren.

Primäre und sekundäre Schuttströme.

Vielfach wird von den Bezeichnungen primäre und sekundäre Schlammströme Gebrauch gemacht. Nach der Auffassung Sappers (1927) ist primär alles das, was unmittelbar mit dem Ausbruch zusammenhängt, also Glutwolke, Kratersee-auswürfe usw. Sekundär das, was durch Schneeschmelzen, Regengüsse usw. verursacht wurde. Die bezeichnungen sind sehr brauchbar, solange man extreme Typen vor Augen hat, können jedoch nicht den Anspruch erheben, eine scharfe Definition zu sein. Die ersten grossen Glutwolken, die am Mont Pelée und am Merapi auftraten, sind ohne Zweifel als primäre Schuttströme aufzufassen. Am Merapi 1931 sind jedoch später zahlreiche kleine Glutwolken durch örtliche Abstürze von noch heissen Lavamassen entstanden. Sie standen im Zusammenhang mit unbedeutenden vulkanischen Bewegungen. Wo ist jedoch dann die Grenze gegen Felsstürze, Aschenlawinen und Schlammströmen, die durch Beben erzeugt wurden? Erfolgt diese im Anschluss an vulkanische Beben, müsste man sie als primär bezeichnen, waren sie die Folge

tektonischer Beben muss man sie als sekundär auffassen. Schliesslich ist die Anwesenheit von Wasser im Krater genau so gut eine klimatisch bedingte Zufälligkeit, wie das Zusammenkommen von heisser Lava und Eis. In beiden Fällen wird das Wasser durch eine rein vulkanische Erscheinung in Bewegung gebracht.

Verfasser möchte daher von der Verwendung dieser Begriffe als Einteilungsprinzip Abstand nehmen.

Die Frage, ob primäre Schlammausbrüche stattgefunden haben, wird immer schwierig zu entscheiden sein. Man kann daher zweckmässig alle Lahars, die aus Kratern oder Vulkangipfeln zum Vorschein kommen, gleichgültig ob das Wasser juvenil ist, aus vadosen Quellen oder aus Seen stammt, als Kraterlahars bezeichnen und den durch Regenspülung entstandenen Böschungslahars gegenüberstellen. Die Unterscheidung von Eruptions- und Regenlahars (Taverne 1925 pag. 136) ist weniger treffend, da die ersten Böschungslahars an Eruptionen gekoppelt sind. Ueber „frühe“ und „späte“ Böschungslahars soll später berichtet werden.

Schliesslich hält es Verfasser für notwendig, alle die Erscheinungen besonders zu bezeichnen, die mehr oder weniger zufällig bei Vulkanen auftreten. Hierher gehören alle möglichen Sorten von Rutschen und Felsstürzen (Poas in Costa Rica 1912: Sapper 1927 p. 79; Carihuairazo, Ecuador 1698: Wolf 1919; Durchbrüche von Seeabdämmungen bei Kraterseen: Keloet 1875: Kemmerling 1921; und in Tälern, Merapi 1932). Sie fallen unter die Terminologie der Felsstürze, Rutsche und Muren.

Einteilung.

Man erhält so folgende Zusammenfassung:

VULKANISCHE SCHUTTSTRÖME					
	Trocken	N a s s			
		Juveniles Wasser	Kratersee-wasser	Schmelz-wasser	Regenwasser
	Weltweit		Vorwiegend tropisch	Subpolar, Alpin	Vorwiegend tropisch
Primär	Glutwolke—Ladoe Vulk. Felssturz	Kraterlahar		Gletscherlauf	Frühe Böschungslahar (Dammbruchmure)
↓	↓	Dammbruchmure			
Sekundär	Felssturz Aschenlawine				Späte Böschungslahar

III. Morphographie, Hydrographie und Laharbildung.

Orographie und Flussbild.

Als südlichster Berg einer Vulkanreihe erhebt sich der Merapi mit einer Höhe von 2911 m über die fruchtbaren Ebenen der Fürstenländer und von Kedoe, den Kernlandschaften alt-

javanischer Kultur. 800 Ackerbauer leben dort auf einem km² Land. Der Vulkanfuss streckt sich 34 — 37 km weit ungehindert in die Ebene von Jogjakarta im Süden und nach dem niederen Sologebiet im Osten. Im Südosten werden die abgespülten Massen durch die unvermittelt aufsteigenden Wände des Zuidergebirges aufgehalten. Der niedrigste Punkt ist dort 120 m Meereshöhe. Im Westen stauen die Ketten des Minorehgebirges die Flussablagerungen auf bis

zu 230 m Meereshöhe, sodass eine Stufe gegen die Ebene von Jogjakarta entsteht. Im Norden verhindert die Nähe des erloschenen Merbaboe gänzlich die Entwicklung eines Fusses. Schon bei 1560 m Seeshöhe in 4 km Gipfelabstand treffen sich die Abhänge beider Berge (Abb. 13).

Die nach Norden abgehenden Flussläufe (Abb. 1) werden darum jäh nach Osten und Westen abgelenkt. Der heutige Merapi sitzt ein wenig westwärts vom Zentrum eines älteren Vulkanes (Kemmerling 1921), dessen Reste den Rand des G. Poesoenglondon bilden. Die nach Osten fließenden Wässer des Kali Woro folgen dem Innenrand des G. Poesoenglondon und werden so nach Südosten abgelenkt. Im weiteren Verlauf werden sie durch das Zuider-



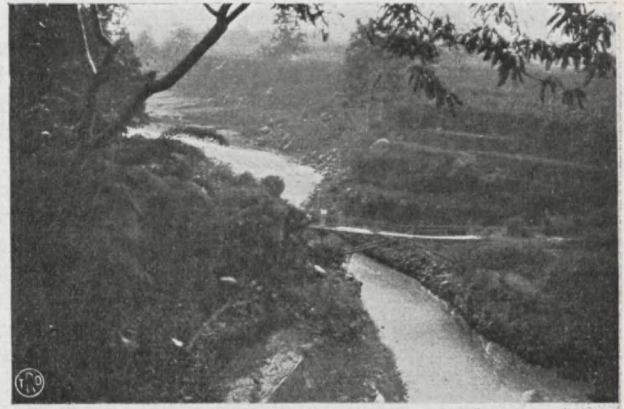
Aufnahme Schmidt.

Abb. 4. Unterlauf des Woro-Simping (bei Poststrasse). Auf der Südostseite liegen die Flussbette der Unterläufe über dem Gelände. Der Fluss liegt auf Dämmen.

gebirge vom benachbarten Ozean abgeschnitten und sind somit genötigt den Flüssen Dengkeng und Solo bis in die Nordostecke von Java zu folgen.

Gendol, Koenig und Bojong, die Flüsse des Südens vereinigen sich mit dem unbedeutenden Opak und fließen direkt zum indischen Ozean. Krasak, Batang, Blongkeng, Lamat und Pabelan werden vom wasserreichen Progo aufgenommen, der ebenfalls sein Wasser zum indischen Ozean bringt.

Die Stauung am Zuidergebirge brachte es mit sich, dass die Flüsse der Worogruppe ihr Bett bis 8 m über die Umgebung aufhöhten, das Wasser läuft eingedeicht auf der Krone von Dämmen (Abb. 4). Umgekehrt gab im Westen die Stufe am Minorehgebirge Veranlassung, dass der Progo sich örtlich tief in das Gelände einschnitt (Abb. 5). Hiermit war eine Austiefung der untersten Flussstrecke der Gruppe Blongkeng — Batang — Krasak ver-



Aufnahme Schmidt.

Abb. 5. Unterlauf des Blongkeng. Auf der Westseite sind die Unterläufe tief in das Gelände eingeschnitten. Die Unterläufe sind schmal.

bunden. Die Flussprofile sind dort schmal (10—20 m).

Mittelläufe.

Zwischen 250 und 400 m Höhe sind häufig breite Sandfelder entwickelt, auf denen der Fluss, oft sein Bett wechselnd, in unbedeutenden Gräben fließt (Abb. 6).

Zwischen 400 und 1200 m Meereshöhe finden sich breite Flächen mit wenigen, sehr tiefen und 60 — 100 m breiten Haupttälern. Die meist lotrechten Uferwände wachsen auffallend rasch aus dem Vorland und gewinnen in manchen Tälern bis 100 m Höhe (Abb. 7). Nach Ausbrüchen vom Typus 1930 sind diese Talabschnitte mit Schutt erfüllt. Häufig finden sich Terrassenreste früherer Füllungen. In den ebenen Talböden ist bei allen Flüssen, mit Ausnahme des Woro eine Normalwasserrinne entwickelt.



Aufnahme von Wiederhold.

Abb. 6. Gendolfeld. Am untern Ende der Mittelläufe pendelt der Fluss vielfach in flachen Rinnen über breite Schuttfelder.



Aufnahme Schmidt

Abb. 7. Unterer Mittellauf des Gendol bei Prof. 100.
Die unteren Mittelläufe sind breit und wenig tief.

Oberläufe.

Im Oberlauf besteht der Fluss aus zahllosen Armen, die den Bergkegel in schmale, hohe Grate zerteilen (Abb. 8). Lavabänke, die vielfach vom darüberliegenden Schutt eine Art Gletscherschliff (Vergl. Stiny 1910) erhalten haben, verursachen unüberwindliche Wasserfälle. Kein Wunder, dass dies unzugängliche Gebiet dem Urwald überlassen blieb.

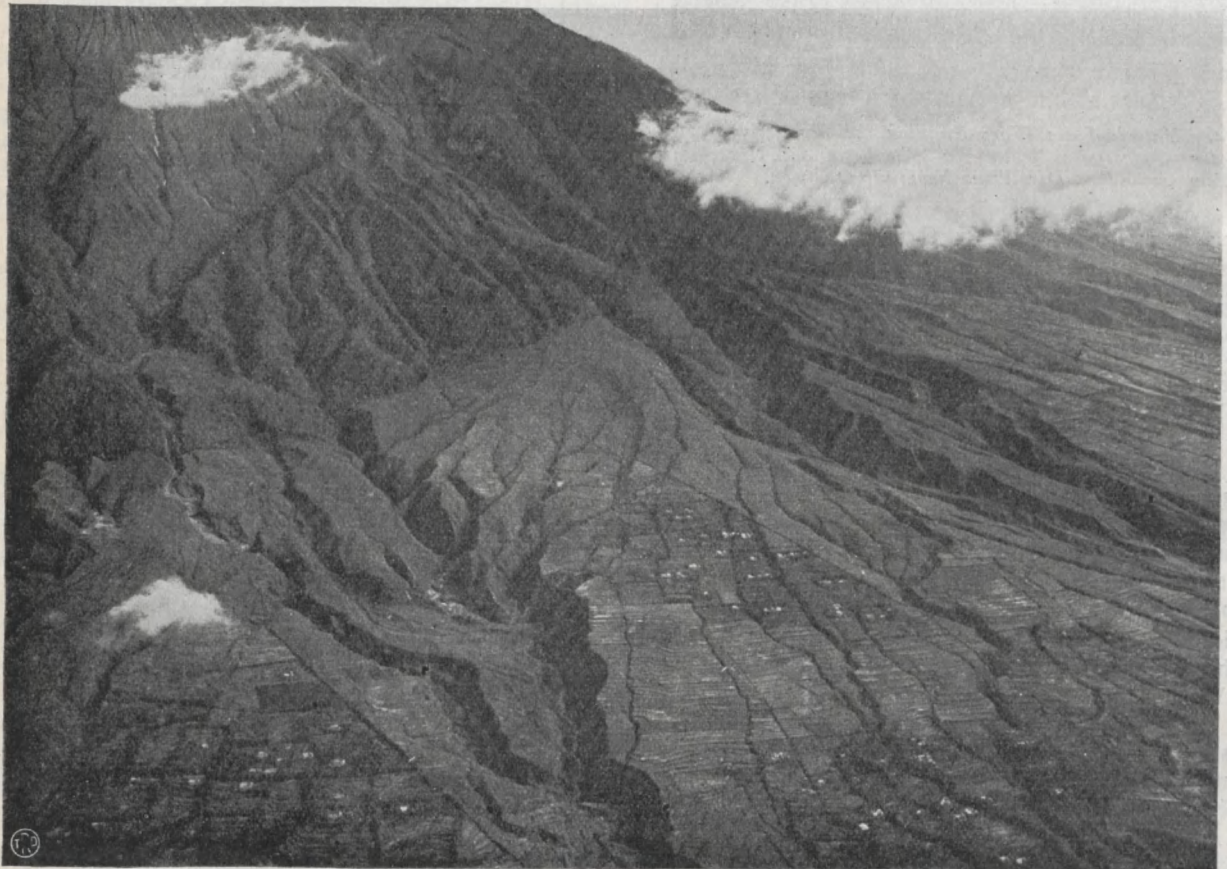


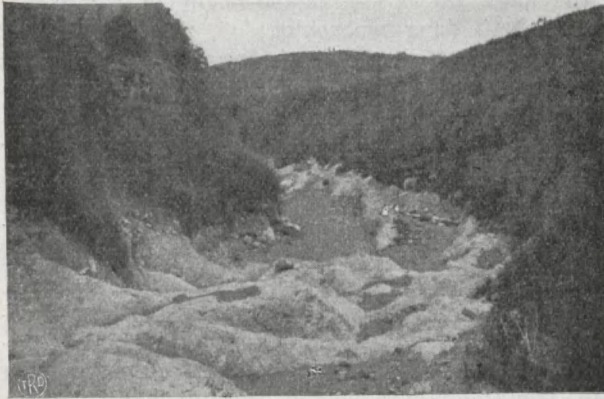
Foto Militaire Luchtvaartafdeeling.
Toestemming tot reproductie verleend.

Abb. 8. Merapi von der SW Seite aus.
Die oberen Mittelläufe bilden breite und tiefe Schluchten.

Der eigentliche Gipfel ist nackt, die Furchen haben bei ± 2300 m Seehöhe noch 15 — 20 m Tiefe; noch höher findet man nur unbedeutende Gräben, sodass das Queren keine Schwierigkeiten macht. Diese Verhältnisse führten dazu, dass in Fachkreisen wohl das oberste Gipfelgebiet und der leichte Anstieg von Norden her bekannt war, dass man jedoch über die Oberläufe der Flüsse wenig Sicheres wusste. Die topographische Karte gab an, dass Woro, Gendol, Bojong, Krasak, Batang, Blongkeng Gipfelflüsse sind, während der Koenig als Hangfluss bei etwa 1350 m entspringen sollte. Die Tatsache, dass von den erstgenannten Bojong und Krasak nahe zu ruhig blieben, während im Koenig schwere Lahars abliefen, war jedoch erstaunlich und unverständlich, da früher schon die Erfahrung gemacht wurde (vergl. Kemmerling, Semeroe 1922, pag. 12), dass vor allem Gipfelflüsse lahargefährlich sind.

Untersuchungen.

Grondijs und der Direktor der Djokjaschen Wasserleitung Riis verfolgten daher im Januar 1931 den Koenig bis oberhalb der Waldgrenze und sahen, dass wirklich einige Quellflüsse des Koenig vom Gipfel kamen, wie dies Taverne 1923 gezeichnet hatte. Zur weiteren Klärung der Verhältnisse unternahm Verfasser im August und September 1931 mehrere Aufstiege. Ein Auf-



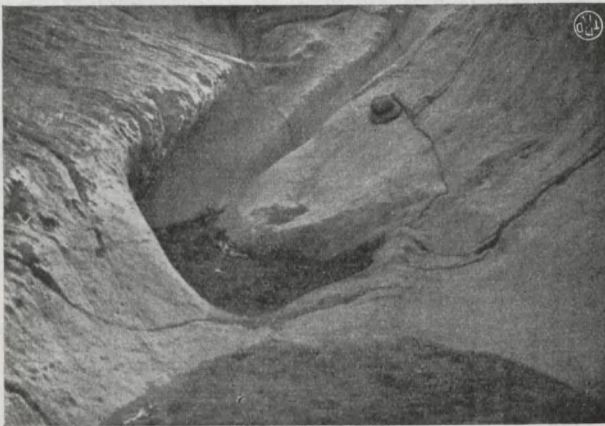
Aufnahme Schmidt.

Abb. 9. Lavabett im Koenig.
Wo Lavabänke vorhanden, sind nur untiefe Täler entwickelt.

stieg wurde zusammen mit Riis, dessen Sohn, sowie dem Topographen Peperzak, ein anderer, bei welchem zum ersten Mal die neue Kraterbresche untersucht werden konnte, zusammen mit De Katarsky vom Vulkandienst ausgeführt. Dabei leisteten Flugzeugaufnahmen des Heeres sehr wertvolle Führerdienste. Es konnte folgendes festgestellt werden.

Topographie und Laharbildung.

Bei 850 m Höhe fließen Bepeng und Gendol zusammen. Der östliche Arm (der Bepeng) sollte am Berg entspringen. Er hat keine Lahar geführt. Der westliche Arm, der Gendol, sollte ein kleines Seitenflüsschen sein, er hat schwer gebandjirt. Es erwies sich, dass der Oberlauf des angeblichen Bepeng zum Gendol gehört, und den oberen echten Bepeng bei ± 1200 m Höhe köpft. Recht interessant ist, dass auch die javanischen Flussnamen auf eine Aenderung hinweisen: Bepeng bedeutet nämlich festsitzen, nicht mehr weiter können, während Gendol das ist, was sich anhängt. Wann die Köpfung stattgefunden hatte, ist unbekannt. (Abb. 8).



Aufnahme Schmidt.

Abb. 10. Wasserschliff auf Lavabanken (Koenig).
Das Schuttbeladene Wasser schleift Rinnen und Kolke in die Lavabänke. Im Oberlauf findet man Schrammen, die an Gletscherschliff erinnern.

Der gesamte, angebliche Oberlauf des Bojong gehört zum Koenig, die echten Oberläufe von Bojong und Krasak werden bei ± 2000 m durch den Batang geköpft, sodass am Gipfel Koenig und Batang nebeneinander liegen (Abb. 12).

Das Lageverhältnis zwischen Koenig und Bojong muss schon sehr lange so wie heute sein. Bei einer Höhe von ± 1200 m, wo die beiden Flüsse sich einander am meisten nähern, läuft der Koenig über die oberste Lavabank und ist 6—8 m in das Gelände eingeschnitten. Ob jemals eine Verbindung zwischen Koenig und Bojong bestanden hatte, wurde nicht näher untersucht. Der Name Bojong, der „Umziehen“, „seinen Platz verlegen“ bedeutet, weist darauf, hin, dass der Bojong früher anders lief.

Est ist sehr wohl möglich, sogar wahrscheinlich, dass die Köpfung des Bojong durch den Batang bei 2000 m erst während der Eruptionsperiode 1930 ge-



Aufnahme Schmidt.

Abb. 11. Wasserfall im Gendol.
Lavabänke erzeugen hohe Wasserfälle in allen Merapitälern.

schah. Der abschneidende Batangarm war nur $1\frac{1}{2}$ bis 2 m eingetieft und der dabei geköpft Bojongarm war im September noch nicht bewachsen. Krasak, der „Brausende“, war früher als sehr bandjirreicher Fluss bekannt, während seine spätere Harmlosigkeit jederman auffiel.

Nach späteren von Stehn ausgeführten Untersuchungen ist eine junge Köpfung beim Krasak nicht feststellbar (mündl.).

Der untere Teil des Batangoberlaufes, sowie das ganze Blongkengsystem stimmt mit der Karte überein. Der nördlichste Lamatarm hat (wahrscheinlich im Januar 1931) die abschliessende Wand gegen den Blongkeng durchbrochen und entspringt nun beim oberen Hügel des G. Dengkeng. Alle Flüsse der Ostseite, die auf dem Poesoenglondon entspringen, waren ruhig geblieben.

Aus dieser Zusammenstellung wird sehr deutlich, dass in allen Flüssen, die im Gipfelgebiet entspringen, gefährliche Lahars abgelaufen sind, während die Hangflüsse, die höchstens von $\frac{3}{4}$ Höhe kommen, ruhig geblieben waren.

Das merkwürdige Benehmen von Bojong und Krasak wird so verständlich.

IV. Pflanzenwuchs, Gesteine und Laharbildung.

Das oben Beschriebene erlaubt den Schluss, dass nur die Regenmengen, welche im Gipfelgebiet gefallen sind, an der Laharbildung wesentlich mitgewirkt haben. Sucht man die Ursachen hierfür, so wird man in erster Linie auf den Pflanzenwuchs aufmerksam.

Wald und Laharbildung.

Die Zusammenhänge werden sehr auffällig beleuchtet durch die Tatsache, dass gerade im Gebiet der ruhigen Flüsse Bojong und Krasak der Wald den grössten Anteil an der Oberflächenbedeckung nimmt (Abb. 14). Sicherlich auch ist die Bewaldung des Poesoenglondon eine der Hauptursachen für die gefahrlosigkeit des Ostanges. Umgekehrt bestehen Zusammenhänge zwischen der völligen Entwaldung der Westhänge und der dort sehr grossen Lahargefahr.

Nicht ganz klar ist die Weise, wie der Wald auf die Laharbildung einwirkt. Der Geschwindigkeit, womit sich das Wasser in den Ablaufgräben vereinigt, ist eine gewisse Rolle zuzuschreiben. Das zusammenlaufende Wasser findet im Waldgürtel zahlreiche Widerstände und vereinigt sich viel weniger plötzlich in den Abfuhrgräben, als dies im Gebiet der nackten Felswände der Fall ist.

Die im Wald entstehenden Bandjirs müssen daher länger dauern, sind aber weniger hoch, haben weniger Kraft und sind offenbar auch weniger geeignet, sich in Lahars zu verwandeln als die, durch denselben Regen am Gipfel verursachten Wildwässer.

Man muss sich jedoch hüten, auf diese Verzögerung der Ablaufgeschwindigkeit einen zu grossen Wert zu legen. Wang (1901) hat gezeigt, dass sehr gefährliche Hochwässer auch in Gebieten mit prächtigem Waldbestand entstanden sind. Andererseits macht Wang darauf aufmerksam, dass im Waldgebiet als Folge der Verwurzelung weniger leicht Wasserrisse in den Boden geschlagen werden als ausserhalb. Aus dem Waldgebiet muss also weniger schuttbeladenes Wasser abfliessen, was ungünstig für Laharbildung ist. Auch Asche wird im Waldgebiet stärker zurückgehalten. Im Gegensatz zum Gipfelgebiet fanden sich Ende 1931 im Wald noch grosse Massen von puderförmiger Asche.

Gartenland und Laharbildung.

Die Garten- und Graslandschaft unterhalb des Waldgürtels ist weniger geeignet, verheerende Lahars aufkommen zu lassen, da sie meist bis zum Waldrande künstlich terrassiert ist, auch wo sie heute dem Wildgras überlassen bleibt.

In Tälern, die in Gartenland beginnen, wurde niemals Laharbildung beobachtet.

Wer sich nur einmal durch den schuhtiefen lockeren Sandstaub der terrassierten Mais- und Tapiokafelder emporgearbeitet hat, kann sich nicht vorstellen, dass hier der Regen schnell und vollkommen abfließt. Noch weiter unten verzögern Reisfelder den Wasserabfluss.

Derselbe Regen, der im Gipfelgebiet eine Lahar erzeugen würde, dürfte also im Fussgebiet nur ein weniger gefährliches Hochwasser zustande bringen.

Der Wald besteht im unteren Teil aus hochstämmigem Urwald. Nur wo Stürme oder unverstündige Verhiebe kahle Stellen geschaffen haben, hat sich eine undurchdringliche Dornbuschdecke breitgemacht. Nach oben zu nehmen Baumfarne immer grösseren Anteil, hohe Gräser stellen sich ein, bis man sich schliesslich bei 1600 — 1800 m in einer Berglandschaft mit wenigen einzelstehenden Baumfarnen befindet. Zähe Strauchgewächse tauchen auf (mannshohe Alpenrosen, Himbeeren, javanisches Edelweiss) und diese ziehen sich schliesslich als letzte Krüppelhölzer an den Wasserscheiden bis 2300 m hinauf.

Berggras und Laharbildung.

Sehr interessant ist nun, dass offenbar nur hoher und dichter Wald genügend Schutz gegen Lahargefahr bietet, während Berggras diese Eigenschaft nicht besitzt. Auch hierfür müssen Bojong und Krasak wieder als Kronzeugen herangezogen werden. Beide haben noch in geringem Masse Lahar geführt; gerade in ihrem Oberlauf fällt die grosse Verbreitung der Berggraslandschaft besonders auf.

Neue Ablaufrinnen und Lahargefahr.

Die Erkenntnis, dass der Sammelgeschwindigkeit des Regenwassers eine grosse Bedeutung für die Laharbildung zukommt, führt dazu, noch einer anderen Tatsache Bedeutung beizumessen: Der Ausbildung neuer Ablaufrinnen.

Ausserhalb der Glutwolkenzone wurden im Gipfelgebiet zahllose neue Rinnen geschlagen und alte ausgetieft. Grössere Sammelgeschwindigkeit des Regenwassers und dadurch grössere Bandjirmächtigkeit sind die Folge. Dies bedeutet eine geringe, allgemeine Vergrösserung der Lahargefahrlichkeit der Flüsse.

Fels und Sand.

Betrachten wir nun die Beschaffenheit des kahlen Gipfels. Naturgemäss hat hier — im Gegensatz zum Waldgebiet — die Gesteinssorte auf den Wasserhaushalt entscheidenden Einfluss. Der Vulkanologe, der den Aufbau des Berges beschäftigt, wird eine grosse Mannigfaltigkeit von Gesteinstypen feststellen müssen. Für diese Arbeit genügt es, grundsätzlich zu unterscheiden, ob der Grund steinig oder sandig ist.

Felsgebiete.

In Abb. 14 wurden mit demselben Zeichen angegeben: die Schlackenlava der Zunge von 1931 und



Foto Militaire Luchtvaart-Afdeeling. — Toestemming tot reproductie verleend.

Abb. 12. Der Merapi von Südwesten aus. In der neuen Bresche zahlreiche Solfataren; unter der Batangbresche von 1923 ein Grottschuttfeld. Deutlich die weisse Schlackenlava von 1930 zu erkennen. Andesitfelsen am Gipfel. Steinig brecciöse Lavafelder über Batang und Koenig. Der Bojong entspringt einer bewaldeten Mulde zwischen Batang und Koenig. Das grosse Sandfeld des Gendol im Hintergrunde. Ueber dem Batang ein kleines Sandfeld. Ein grösseres auf der Wasserscheide zwischen Batang und Sat. Das Blongkengfeld ist heute teilweise von neuer Lava überdeckt. Im Hintergrund der Wall des alten Poesoenglondon-vulkans.



Foto Militaire Luchtvaart-Afdeeling. — Toestemming tot reproductie verleend.

Abb. 1. Der Merapi von Süden aus. Der wenig zertalte Kegel des Merapi bildet einen deutlichen Gegensatz zum Kegel des erloschenen Merbaboe. Brecciöse Lava über Batang, Koenig und Woro. Sandfelder am Gendol und Woro. Der Bojong entspringt einer Mulde zwischen Batang und Koenig.

Aus dieser Zusammenstellung wird sehr deutlich, dass in allen Flüssen, die im Gipfelgebiet entspringen, gefährliche Lahars abgelaufen sind, während die Hangflüsse, die höchstens von 3/4 Höhe kommen, ruhig geblieben waren.

Das merkwürdige Benehmen von Bojong und Krasak wird so verständlich.

IV. Pflanzenwuchs, Gesteine und Laharbildung.

Das oben Beschriebene erlaubt den Schluss, dass die Regenmengen, welche im Gipfelgebiet gelten, an der Laharbildung wesentlich mitgerückt haben. Sucht man die Ursachen hierfür, so wird man in erster Linie auf den Pflanzenwuchs aufmerksam.

Wald und Laharbildung.

Die Zusammenhänge werden sehr auffällig betrachtet durch die Tatsache, dass gerade im Gebiet der ruhigen Flüsse Bojong und Krasak der Wald den grössten Anteil an der Oberflächenbedeckung nimmt (Abb. 14). Sicherlich auch ist die Bewaldung des Poesoenglondon eine der Hauptursachen für die Gefährlichkeit des Osthangs. Umgekehrt bestehen Zusammenhänge zwischen der völligen Entwaldung der Westhänge und der dort sehr grossen Laharfahr.

Nicht ganz klar ist die Weise, wie der Wald auf die Laharbildung einwirkt. Der Geschwindigkeit, mit der sich das Wasser in den Ablaufgräben vereinigt, eine gewisse Rolle zuzuschreiben. Das zusammenfassende Wasser findet im Waldgürtel zahlreiche Widerstände und vereinigt sich viel weniger plötzlich in den Abfuhrgräben, als dies im Gebiet der nackten Lawände der Fall ist.

Die im Wald entstehenden Bandjirs müssen daher länger dauern, sind aber weniger hoch, haben weniger Kraft und sind offenbar auch weniger geeignet, sich in Lahars zu verwandeln als die, durch denselben Regen am Gipfel verursachten Wildwässer.

Man muss sich jedoch hüten, auf diese Verzögerung der Ablaufgeschwindigkeit einen zu grossen Wert zu legen. Wang (1901) hat gezeigt, dass sehr gefährliche Hochwässer auch in Gebieten mit prächtigem Waldbestand entstanden sind. Andererseits macht Wang darauf aufmerksam, dass im Waldgebiet als Folge der Verwurzelung weniger leicht Risse in den Boden geschlagen werden als ausserhalb. Aus dem Waldgebiet muss also weniger unentlastetes Wasser abfliessen, was ungünstig für Laharbildung ist. Auch Asche wird im Waldgebiet stärker zurückgehalten. Im Gegensatz zum Gipfelgebiet fanden sich Ende 1931 im Wald noch grosse Massen von puderförmiger Asche.

Gartenland und Laharbildung.

Die Garten- und Graslandschaft unterhalb des Waldgürtels ist weniger geeignet, verheerende Lahars hervorzubringen zu lassen, da sie meist bis zum Waldrand künstlich terrassiert ist, auch wo sie heute noch mit Wildgras überlassen bleibt.

In Tälern, die in Gartenland beginnen, wurde niemals Laharbildung beobachtet.

Wer sich nur einmal durch den schuhtiefen lockeren Sandstaub der terrassierten Mais- und Tapiokafelder emporgearbeitet hat, kann sich nicht vorstellen, dass hier der Regen schnell und vollkommen abfließt. Noch weiter unten verzögern Reisfelder den Wasserabfluss.

Derselbe Regen, der im Gipfelgebiet eine Lahar erzeugen würde, dürfte also im Fussgebiet nur ein weniger gefährliches Hochwasser zustande bringen.

Der Wald besteht im unteren Teil aus hochstämmigem Urwald. Nur wo Stürme oder unverständliche Verhiebe kahle Stellen geschaffen haben, hat sich eine undurchdringliche Dornbuschdecke breitgemacht. Nach oben zu nehmen Baumfarne immer grösseren Anteil, hohe Gräser stellen sich ein, bis man sich schliesslich bei 1600 — 1800 m in einer Berglandschaft mit wenigen einzelstehenden Bäumen befindet. Zähe Strauchgewächse tauchen auf (man sieht Alpenrosen, Himbeeren, javanisches Edelweiss) und diese ziehen sich schliesslich als letzte Krüppelholzer an den Wasserscheiden bis 2300 m hinauf.

Berggras und Laharbildung.

Sehr interessant ist nun, dass offenbar nur hoher und dichter Wald genügend Schutz gegen Lahargefahr bietet, während Berggras diese Eigenschaft nicht besitzt. Auch hierfür müssen Bojong und Krasak wieder als Kronzeugen herangezogen werden. Beide haben noch in geringem Masse Lahar geführt; gerade in ihrem Oberlauf fällt die grosse Verbreitung der Berggraslandschaft besonders auf.

Neue Ablaufrinnen und Lahargefahr.

Die Erkenntnis, dass der Sammelgeschwindigkeit des Regenwassers eine grosse Bedeutung für die Laharbildung zukommt, führt dazu, noch einer anderen Tatsache Bedeutung beizumessen: Der Ausbildung neuer Ablaufrinnen.

Ausserhalb der Glutwolkenzone wurden im Gipfelgebiet zahllose neue Rinnen geschlagen und alte ausgetieft. Grössere Sammelgeschwindigkeit des Regenwassers und dadurch grössere Bandjirmächtigkeit sind die Folge. Dies bedeutet eine geringe, allgemeine Vergrösserung der Lahargefährlichkeit der Flüsse.

Fels und Sand.

Betrachten wir nun die Beschaffenheit des kahlen Gipfels. Naturgemäss hat hier ein Gegensatz zum Waldgebiet — die Gesteinssorte übt einen entscheidenden Einfluss. Der Vulkanologe, der den Aufbau des Berges beschäftigt, wird eine grosse Mannigfaltigkeit von Gesteinstypen feststellen müssen. Für diese Arbeit genügt es, grundsätzlich zu unterscheiden, ob der Grund steinig oder sandig ist.

Felsgebiete.

In Abb. 14 wurden mit denselben Zeichen angegeben: die Schlackenlava der Zunge von 1931 und

© MERBARD



Foto Militaire Luchtvaart-Afdeeling. — Toestemming tot reproductie verleend.

Abb. 12. Der Merapi von Südwesten aus. In der neuen Bresche zahlreiche Solfataren; unter der Batangbresche von 1923 ein Grobschuttfeld. Deutlich die weisse Schlackenlava von 1930 zu erkennen. Andesitfelsen am Gipfel. Steinig brecciöse Lavafelder über Batang und Koenig. Der Bojong entspringt einer bewaldeten Mulde zwischen Batang und Koenig. Das grosse Sandfeld des Gendol im Hintergrunde. Ueber dem Batang ein kleines Sandfeld. Ein grösseres auf der Wasserscheide zwischen Batang und Sat. Das Blongkengfeld ist heute teilweise von neuer Lava überdeckt. Im Hintergrund der Wall des alten Poesoenglondon-vulkans.



Foto Militaire Luchtvaart-Afdeeling. — Toestemming tot reproductie verleend.

Abb. 1. Der Merapi von Süden aus. Der wenig zertalte Kegel des Merapi bildet einen deutlichen Gegensatz zum Kegel des erloschenen Merbaboe. Brecciöse Lava über Batang, Koenig und Woro. Sandfelder am Gendol und Woro. Der Bojong entspringt einer Mulde zwischen Batang und Koenig.

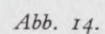


Abb. 14.

des alten Worodomes, die vom Absturz 1903 herührenden Schuttmassen am Fusse des letzteren, die glatten Andesitfelsen über Gendol — Batang und Blongkengbresche, sowie an den Hängen des Poesoenglondon, die brecciöse oder sandsteinartige Lava des Koeniggebietes und die Blockschutthalde unter der Batangbresche (vom Ausbruch des 4/5 April 1922 stammend. *Vulk. Ber. XXI*).

Der Widerstand dieser Gesteine gegen das Abfließen des Wassers dürfte in dieselbe Grössenordnung fallen. Die grossen, glatten Andesitplatten sind auch auf der Südseite von breiten und sehr tiefen Spalten durchzogen, die Brecciengebiete mit Blöcken übersät, sodass die Ablaufgeschwindigkeit nicht viel grösser als in der Schlackenlava sein dürfte. Im Ganzen genommen, kompensiert der grosse Böschungswinkel viele Widerstände.

„Gleitbahnen“.

Im Gegensatz zu diesen steinigen Böden wurden die Sandgebiete hervorgehoben. Alle grösseren Sandhäufungen im Gipfelbezirke werden als „Gleitbahnen“ beschrieben. Es handelt sich dabei um grossartige Haldenstürze, entstanden am Fusse der alten, langsam emporsteigenden und abbrockelnden Gipfel-dome. Die Oberfläche dieser Halden ist nahezu glatt, jedoch von zahlreichen 1 — 3 m tiefen, radialverlaufenden Rillen durchfurcht (*Abb. 16*), sodass aufstürzende oder aus den Furchenwände herausfallende grössere Steine ungebremst mit sausender Fahrt abrollen und sich am Fusse der „Gleitbahn“ anhäufen. Die Gleitbahn selbst besteht vorwiegend aus sandigem Material.

Diese Haldenstürze sind von beträchtlicher Wasserdurchlässigkeit. Sind sie jedoch oberflächlich ge-



Aufnahme Schmidt.

Abb. 16. Oberhalb der Waldgrenze auf der Gendolgleitbahn. An den Rinnenwänden sind Lagen von Grobschutt und Sand entblösst. Die Rinnenböden werden von losem Sand bedeckt.

sättigt, so kann das Regenwasser in den geraden Rinnen sehr schnell abfließen, sodass hinsichtlich der Abflussgeschwindigkeit kaum ein Unterschied gegen die Felsgebiete bestehen dürfte.

Materiallieferung.

Die grundsätzliche Andersartigkeit der Gleitbahnen und der Felsgebiete muss in der Materiallieferung gesucht werden. Alle Sandflächen beschicken das zu ihnen gehörige Flussgebiet mit Sand, während die Felsgebiete vorwiegend grobes Material liefern. Dies ist jedoch für den Charakter des Flusses von grundsätzlicher Bedeutung, wie später ausgeführt werden soll. Woro, Gendol und Blongkeng sind „Sandflüsse“. Der letztere empfängt dabei einen grossen Sandzuschuss aus dem mit Ladoematerial aufgefüllten unteren Oberlauf. Alle andern Flüsse wurden im Gegensatz hierzu als „Wasserflüsse“ bezeichnet.

V. Eruption und Laharbildung.

Eruptionsregen.

Im Kapitel II wurde gezeigt, dass die Laharbildung als Folge von Regenspülung kurz nach dem Ausbruch einsetzt. Es bleibt zu untersuchen, wo die ursächlichen Zusammenhänge zwischen beiden Erscheinungen liegen. Man ist geneigt, besonders schwere Regenfälle für die Laharbildung verantwortlich zu machen. Neumann van Padang führte jedoch 1933 aus, dass „Eruptionsregen“ nicht auftraten, da Ausbrüche und Regenfälle nicht auf Tag und Stunde zusammenfielen. Nach Ansicht Verfassers beweist diese letzte Tatsache nur, dass in den Exhalationsprodukten Wasserdampf eine untergeordnete Rolle spielt. Grondij's suchte (Januar 1931) den



Aufnahme Schmidt.

Abb. 15. Am Gipfel im Gebiet des Kali Koenig. Am Berggipfel sind zahlreiche flache Rinnen entwickelt. Die Rinnenböden sind mit Sand und Geröll bedeckt. Die Zwischenrücken sind mit einer harteren Kruste versehen, welche aus eingewaschenem verklebten Flugsand und Asche entstanden ist.

Zusammenhang zwischen Regengüssen und Ausbruch in der Gegenwart von schwebenden Aschteilchen in der Luft, die als Kondensationskerne wirken und so die Regenbildung befördern. Es ist gut möglich, dass Aschteilchen, die in Regenwolken geblasen werden, zu einer schnelleren und vollständigeren Kondensation Verlassung geben, als dies ohne Asche der Fall wäre.

Auf die Abkühlung im Schatten der schwebenden Exhalationsprodukte wird in jeder Vulkankunde aufmerksam gemacht.

Ein weiterer Gesichtspunkt dürfte dieser sein: Auf Grund einer am G. Gedeh gemachten Beobachtungsreihe wurde die These aufgestellt, dass an freistehenden Vulkanen die Regenintensitäten von unten nach oben erst zu, dann abnehmen (B r a a k 1925 pag. 198). Während einer Ausbruchsperiode entstehen jedoch kräftige, gipfelwärts gerichtete Luftströme, welche die atmosphärische Feuchtigkeit in höhere und kühlere Luftschichten als normal bringen. Ausserdem wird die feuchte Bodenluft aus grösserem Umkreise angesaugt und über dem Vulkan zur Kondensation gebracht ¹²⁾.

Beide Vorgänge können abnormal kräftige Regengüsse über dem Gipfelgebiet zur Folge haben. Als besonders wirksam wird der stetige zentripetale Luftstrom betrachtet, der durch Wärmeausstrahlung heisser Aschdecken, frischer Lava, sowie durch heisse Exhalationen verursacht wird. Der Einfluss vertikaler Explosionen kann durch Schuttregen wieder vernichtet werden. Glutwolken erzeugen Wirbelwinde, deren Wirkung ganz unregelmässig ist, sodass man Saugwirkung nicht voraussetzen darf. Unter Ausbruchsperiode wird also hier die Zeit wesentlich erhöhter Wärmeabgabe verstanden.

Um diesen Gedanken nachzuprüfen, wurden vom kgl. Meteorologischen Observatorium zu Batavia Listen der täglichen Regenfälle am Merapi in den Monaten Dezember — Januar der Jahre 1920 — '31 erbeten. Für jeden Monat wurde eine „Gewitterzahl“ als Summe der täglichen Gewitterzahlen berechnet, wobei jeder Regentag nach folgender Liste bewertet wurde:

bei Regenfall von	Gewitterzahl
0 — 39 mm	0
40 — 79	1
80 — 119	2
120 — 159	3
160 — 199	4
200 — 239	5

Für Dezember der Jahre 1922 — 1929 und Januar der Jahre 1922 — 1930 wurde die mittlere monatliche Gewitterzahl berechnet. (Die Ausbruchsjahre 1920 und 1921 zeigten starke Unregelmässigkeiten und wurden darum weggelassen). Die Summe dieser beiden Zahlen wurde von der Summe der monatlichen Gewitterzahl von Dezember 1930 und Januar 1931 abgezogen und so ein „Gewitterzahl Ueberschuss“ gebildet. Ausserdem wurde das Mittel der monatlichen Regenmengen für dieselben Zeitab-

12) Auch W. C o o l (1931) betrachtet die Ansaugung von Feuchtigkeit als wesentlichen Faktor. Verfasser erhielt den Abdruck jener Rede erst nach Abschluss des Manuskripts.

schnitte berechnet und wieder der Ueberschuss vom Regenfall Dezember 1930 + Januar 1931 gegenüber der Summe der Mittel von Dezember 1922 — 1929 und Januar 1922 — 1930 berechnet (Abb. 17).

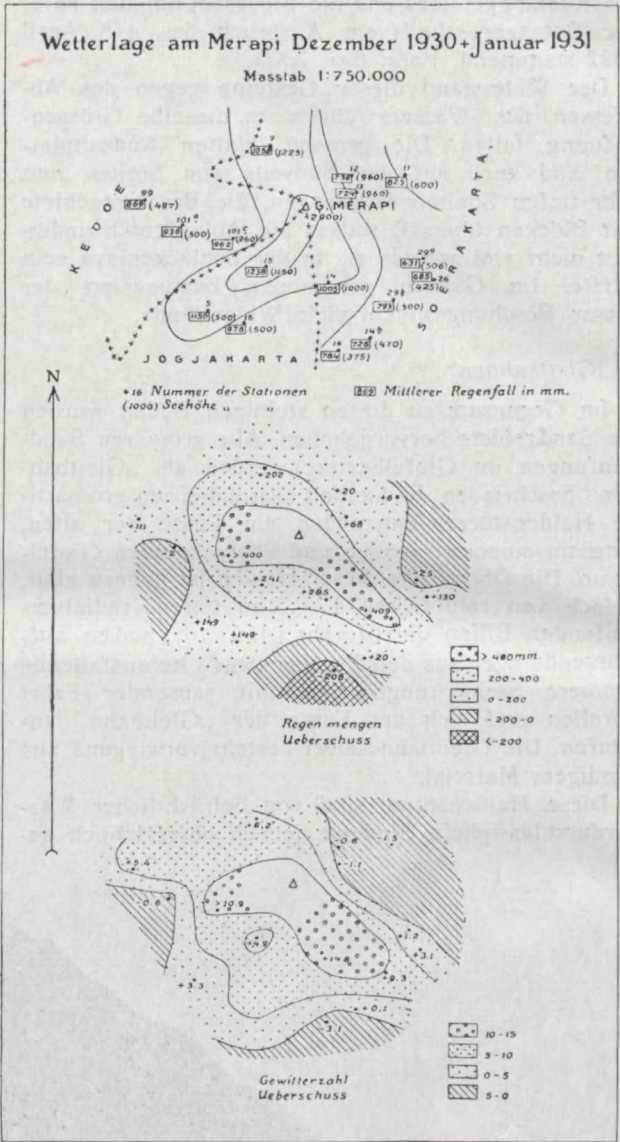


Abb. 17. Während der Ausbruchsperiode hatten die hochgelegenen Stationen einen Regenüberschuss auf Kosten der Fussstationen.

In normalen Zeiten bringt der Monsunwind die Feuchtigkeit aus W und SW. Er steigt am Merapi empor, wird im Norden durch den Merbaboe abermals gestaut, kann jedoch ungehindert über den südlichen Fuss in die Solofläche einfallen. Die regenreichsten Gebiete sind daher im SW bei Kalioerang (Station 15), die regenärmsten im Osten und Nordosten.

Während der Ausbruchsmonate traten gerade im regenreichsten Gebiet weniger Ueberschüsse auf, als in gleich hohen Gebieten der Umgebung. Es ist daher möglich, dass die Kalioerangdepression weiter ins Gipfelgebiet reicht, als in der Darstellung angenommen wurde. Wir wissen darüber nichts.

Gewitterzahl und Regenhöhe in den Monaten Dezember und Januar.

No.	Höhe im m	Resident- schaft	Platz	Monat	Anzahl Regentage								Gewitterzahl				Monatsmittel Regenfall			
					Mitteler Wert.				Monatswert				Mittel	Dez. 1930	Ueberschuss		I	II	III	Ueberschuss
					Dez. 1922—'29 Jan. 1922—'30				Dezember 1930 Januar 1930				Dez. 1922—'29 Dez. 1922—'30				1879— 1928	1922— 1930	1929— 1930	III—II
7	1225	Soerakarta	Djerakah	Dez.	4,2	0,4	0	0	8	1	0	0	5,0	10	+ 5		505	487	697	+ 210
				Jan.	4,1	0,7	0,1	0	3	2	0	0	5,8	7	+ 1,2	+ 6,2	553	597	589	+ 8
15	1150	Jogjakarta	Kalioerang	Dez.	4,6	1,1	0,5	0	6	1	0	0	8,3	8	— 0,3	+ 4,9	677	661	699	+ 38
				Jan.	3,3	1,1	0,1	0	7	2	0	0	5,8	11	+ 5,2		561	545	748	+ 203
14	1000	Soerakarta	Gemampir II	Dez.	3,6	0,8	0,2	0	5	3	0	0	5,8	11	+ 5,2	+ 14,8	516	517	595	+ 78
				Jan.	2,3	0,6	0,3	0	9	1	1	0	4,4	14	+ 9,6		489	396	603	+ 207
101c	960	Kedoe	Maron	Dez.	3,1	0,9	0,4	0	3	2	0	1	6,1	17 *)	+ 10,9	+ 10,9	526	559	900 **)	?
				Jan.	2,5	0,8	0,1	0	?	?	?	?	4,4	?	—		436	465	—	?
13	960	Soerakarta	Zuid Soekab	Dez.	2,9	0	0	0	1	0	0	0	2,9	1	— 1,9	— 1,1	350	318	238	— 80
				Jan.	1,3	1,0	0	0	4	0	0	0	3,2	4	+ 0,8		374	299	447	+ 148
12	960	Soerakarta	Tjepogo	Dez.	2,4	0,1	0	0	0	0	0	0	2,6	0	— 2,6	— 0,6	349	310	185	— 125
				Jan.	1,0	0	0	0	3	0	0	0	1,0	3	+ 2,0		387	273	418	+ 145
11	600	Soerakarta	Gawar	Dez.	2,6	0,5	0,1	0	0	0	0	0	3,9	0	— 3,9	— 1,5	405	406	199	— 207
				Jan.	2,9	0,2	0,1	0	6	0	0	0	3,6	6	+ 2,4		420	355	568	+ 213
29a	506	Soerakarta	Keposong	Dez.	2,6	0,4	0	0	2	0	0	0	3,4	2	+ 1,4	+ 1,2	300	363	230	— 127
				Jan.	1,8	0,3	0	0	3	1	0	0	2,4	5	+ 2,6		331	348	450	+ 102
29b	500	Soerakarta	Dragan	Dez.	2,5	0,5	0	0	3	1	1	0	3,5	8	+ 4,5	+ 9,3		422	563	+ 141
				Jan.	2,0	0,6	0	0	5	2	0	0	3,2	9	+ 4,8			371	639	+ 268
101a	500	Kedoe	Moesoek	Dez.	3,5	1,4	0	0	1	1	0	0	6,3	3	— 3,3	— 0,6	521	530	418	— 112
				Jan.	2,3	0,5	0	0	2	2	0	0	3,3	6	+ 2,7		415	421	531	+ 110
99	497	Kedoe	Sawangan	Dez.	2,0	1,2	0	0	3	0	1	0	4,4	6	+ 1,6	+ 5,4	449	464	469	+ 5
				Jan.	2,7	0,1	0,1	0	1	3	0	0	3,2	7	+ 3,8		420	425	531	+ 106
5	500	Jogjakarta	Dadapan	Dez.	3,1	1,1	0,4	0,1	1	1	0	0	6,9	8	+ 1,1	+ 3,3	634	627	690	+ 63
				Jan.	2,9	0,8	0,1	0	7	0	0	0	4,8	7	+ 2,2		516	482	568	+ 86
14a	500	Jogjakarta	Wringin	Dez.	2,4	0,6	0,1	0	3	0	0	1	3,9	7	+ 3,1	+ 5,7	493	456	507	+ 51
				Jan.	2,2	0,1	0	0	5	0	0	0	2,4	5	+ 2,6		485	348	446	+ 98
14b	470	Soerakarta	Kemalang	Dez.	2,3	0,3	0	0	2	0	0	0	2,9	2	— 0,9	+ 0,1	348	340	269	— 71
				Jan.	1,8	0,1	0	0	3	0	0	0	2,0	3	+ 1,0		378	287	378	+ 91
26	425	Soerakarta	Bodeh	Dez.	2,6	0,5	0,1	0	2	0	0	0	3,9	2	+ 1,9	+ 3,1	338	367	252	— 115
				Jan.	1,1	0,3	0,1	0	3	2	0	0	2,0	7	+ 5,0		347	298	543	+ 245
16	375	Soerakarta	Genengsari	Dez.	2,4	0,6	0,3	0	2	0	0	0	4,5	2	— 2,5	— 3,1	373	411	260	— 151
				Jan.	2,1	0,1	0,1	0	2	0	0	0	2,6	2	— 0,6		411	339	282	— 57
					mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm								
					40-	80-	120-	160-	40-	80-	120-	160-								
					79	119	159	199	79	119	159	199								

*) Interpolierter Wert. Bis 17 Dez. Gewitterzahl II.

**) Interpolierter Wert. Bis 17 Dez. waren 640 mm gefallen.

Aus den vorhandenen Messungen gehen jedoch zwei wichtige Veränderungen hervor: im Westen und Süden fielen in der kritischen Zeit die Niederschläge weiter bergwärts. Im Südosten streckt sich das Gebiet vergrößerter Niederschläge noch auf den Fuss hinaus, ein Hinweis, dass die nach NO abfliessenden feuchten Winde einen Widerstand fanden.

Im Windschatten geschahen wenig Veränderungen.

Die beobachteten Störungen in der Regenverteilung lassen sich zwanglos durch gipfelwärts gerichtete Luftströmungen erklären. Es ist nicht anzunehmen, dass diese im eigentlichen Gipfelgebiet, von wo keine Messungen vorliegen, wirkungslos geblieben sind.

Es ist im Gegenteil sehr wahrscheinlich, dass im Gipfelgebiet als direkte Folge der erhöhten vulkanischen Tätigkeit mehr schwere Regenfälle als in normalen Zeiten auftraten. Gerade die Gipfelregen jedoch sind besonders lahargefährlich.

Es braucht nicht hervorgehoben zu werden, dass die schwersten Regenfälle an solchen Tagen auftreten müssen, die auch ohne vulkanische Tätigkeit regenreich wären, da ohne genügende Feuchtigkeitszufuhr sowohl Konzentrationskerne als zentripetale Luftströmungen ohne Einfluss bleiben müssen (vergl. Kap. X).

Vergrößerung des Ablaufkoeffizienten durch Aschdecke.

Ausser dem erhöhten Regenfall wurde in allen Abhandlungen und Rapporten der Vergrößerung des Ablaufkoeffizienten als Folge einer frischen Aschschicht grosse Bedeutung beigemessen. *G r o n d i j s* wies (Jan. 1931) darauf, dass die heisse Asche, die nach dem Ausbruch den Berg bedeckte, beim ersten Regenfall zusammensackte und verkrustete, sodass eine sehr wasserundurchlässige Schicht entstand. *H a r t m a n n* hat (1933) im Blongkeng durch den Nachweis von angeschmolzenen Schwefelkristallen gezeigt, dass eine Kruste auf heisser Ladoe gebildet wurde. Ein Grossteil des Wassers, das normalerweise im porösen Bergmantel verschwindet, muss deshalb oberflächlich abgeführt werden. *S a p p e r* schrieb der Asche eine ähnliche Rolle beim Ausbruch von Santa Maria 1902 zu (1927 pag. 223).

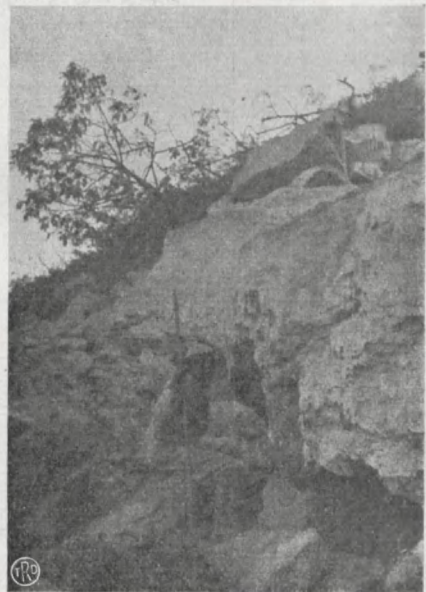
H a r l o f f wies (1931) darauf, dass die Asche auch in die Poren der älteren Gesteine eindrang, diese verstopfte, verklebte und von dort kaum abgespült werden konnte. *N e u m a n n v a n P a d a n g* betrachtet (1933) diese Erscheinung fast als alleinige Ursache der Laharbildung.

Obschon grundsätzlich der geschilderte Einfluss anerkannt werden muss, kann doch eine Ueberschätzung der Erscheinung zu verhängnisvollen Trugschlüssen führen. Die Aschdecke war niemals dick. Auf der Südseite lagen nur 2 — 3 cm, auf der Westseite einige dm. Im Gebiet der Glutwolke wurde auch in grösserer Höhe ein sehr poröser grober Tuff abgelagert. Eine Wasserprobe zeigt, dass verkrustete Ladoe durchlässiger als der alte Bergmantel ist, also sehr viel Wasser aufzunehmen vermag.

Schon bei den ersten Regenfällen wurde die meiste

Asche abgetragen. Auf der Südseite war in der Trockenzeit am Gipfel fast nichts mehr zu sehen. Nur in kleinen Löchern und Vertiefungen war etwas Asche zusammengeschwemmt; unter dem Schutz von Blöcken waren Aschkissen erhalten.

Etwa bei 1000 m fand man jedoch an allen überhängenden Wänden eine Haut und tropfsteinartige Zäpfchen aus verschwemmter Asche (*Abb. 18*), auf der Westseite war die Ladoe von zahllosen Rinnen bis auf die alten Gesteine zerfurcht, auf der Oberfläche der Relikte sassen alle grösseren Steinchen auf 1 — 3 cm hohen Sandpfeilern. Auch die „Kruste“ war demnach zerstörbar. Verkrustete Asche konnte also schon bald nach dem Ausbruche nur noch eine geringe Vergrößerung des Wasserablaufs verursachen. Wie steht es nun mit der Verkrustung des Bergmantels selbst im Sinne *H a r l o f f s*?



Aufnahme Schmidt.

Abb. 18. Verschwemmte Asche im Gendol bei 2000 m Seehöhe. Bei der Eruption wurde der Bergkegel mit Asche bedeckt. Die nachfolgenden Regen spülten die Asche rasch ab. Auf allen Felswänden entstanden für kurze Zeit tropfsteinartige Gebilde.

Auf der alten Schuttoberfläche konnte man eine 2 — 3 cm dicke Zone eventuell als neu mit Asche infiltriert betrachten. Diese Verkittung hat jedoch die Wasseraufnahmefähigkeit des Bergmantels nicht wesentlich verschlechtert, da die Bergoberfläche mit einer jahrzehntealten Kruste bedeckt ist.

Vergrößerung des Ablaufkoeffizienten durch Verkrustung des Bergmantels.

Jedes Merapigestein backt nach einiger Zeit auch in kaltem Zustand zusammen. Im alten Material kann man einigermassen klettern, auch wenn es frisch



Aufnahme Schmidt.

Abb. 19. Glutwolkenrelikt mit Aschenkruste im Blongkeng. Die vom Regen verschwemmte Asche bildet auch in kaltem Zustand eine Kruste.

zerschnitten ist (Batangschlucht), im neuen Ladoe-material nicht. Der kalt in den v.d. Wijckkanal gespülte Sand konnte nur mit Mühe entfernt werden (mündl. de Heer). Aschenkrusten bilden sich auch aus verschwemmter Asche (Abb. 19). Das Merapi-material hat also hydraulische Eigenschaften. Diese Verhärtung ist tiefgehend. Grundsätzlich verschieden ist die Kruste von älteren Haldenstürzen und Schuttfeldern. Geht man über das Worofeld oder über Gleitbahnen, so fällt der Unterschied zwischen den losen sandigen Massen der Furchenböden und Wände einerseits und den harten Oberflächen der Zwischenrücken andererseits sehr auf (Abb. 15). Beim Entstehen dieser Kruste spielen Sonnenexposition und Verkittung durch die Rückstände verdampfenden Kapillarwassers eine Rolle, ausserdem findet Verklebung durch Staub statt. Aus den Rinnen wird feines Material aufgenommen und durch den Wind jahraus, jahrein über die Flächen geweht. An trockenen Tagen kann man regelrechte Sandstürme erleben. Regen spült den Staub in die Poren, sodass auf die Dauer eine bessere Dichtung entsteht, als einmaliger Aschfall es bewirken könnte.

Uebrigens machte De Jager (1932) darauf aufmerksam, dass der Ablaufkoeffizient bei Hängen von 40° normaler Weise schon so gross ist, dass allein eine relative Erhöhung keine katastrophalen Folgen haben kann.

Gänzlich vernachlässigt wurde jedoch in früheren Diskussionen eine andere Aschenwirkung, der Verfasser ausschlaggebenden Einfluss zuschreibt.

Die vom Regen mitgeführte Asche verwandelt das abfliessende Wasser in Schlamm. Dadurch wird

1. die abfliessende Masse vergrössert,
2. die Dichte dieser Masse erhöht.

Wie später gezeigt werden soll, bedingt beides Verstärkung der Erosionskraft und des Transportvermögens.

Unmittelbar nach der Eruption wurde demnach auch ohne vergrösserte Wasserabfuhr jeder Querschnitt jedes Ablaufgrabens übermässig beansprucht und angegriffen, bedeutet jedoch für den Bandjir neue Materialaufnahme, Massen- und Dichtevergrösserung. Hat sich erst eine kleine Lahar gebildet, so muss sie im Ober- und im Mittellauf ins Ungemessene wachsen.

Ein Modellbeispiel sah Verfasser am G. Lawoe. In einem der Seitentäler waren im Februar 1933 nach heftigem Regenfall zahlreiche Abschürfungen entstanden. Jeder dieser Rutsche umfasste nur wenige dutzende m^3 Verwitterungsdecke. Wo sich der Schutt ausbreiten konnte, bildete er einen unbedeutenden Kegel. Wo er jedoch in eine Wasserrinne floss, riss er diese tief auf, es entstand ein Feilenbruch (Stiny). Die Bachbette der Sammelrinnen wurden 5—10 m aufgetieft, es entstand schliesslich eine Mure, die weiter unten viel Schaden anrichtete. Alle Sammelrinnen ohne Schutzzufuhr zeigten normales Aussehen.

Frühe und späte Lahars.

Man kommt also zum Schlusse, dass bei tropischen Vulkanen nach Ausbrüchen mit starkem Aschfall während der Regenzeit die Voraussetzungen für vorübergehende Bildung von Lahars gegeben sind. Sie sollen frühe Lahars genannt werden. Wir werden später sehen, dass die Füllung der Täler mit Ladoemassen, sowie die Veränderung der Flussprofile beim Durchlauf früher Lahars Ursache für die Entstehung später Lahars ist.

VI. Laharmechanik.

Mit der Mechanik von Gesteinsbreien hat sich die exakte Naturwissenschaft noch sehr wenig beschäftigt. Für die Flussbaukunde liegt das Thema zu weit abseits. In neuerer Zeit interessieren sich jedoch Bergleute für die Physik von dicken Suspensionen, sodass wir in der bergmännischen Literatur manche Anregung finden können. Die erzielten Ergebnisse zeigen jedoch, dass auch die Bergleute noch nicht über die Anfangsgründe hinweggekommen sind. (Vergl. Finkey 1924, Vennwald 1931, Mössner 1932). Eine umfassende, exakte Behandlung des Laharproblems ist daher zur Stunde noch nicht möglich. Es eröffnen sich jedoch eine Reihe interessanter Ausblicke, wenn man versucht, das zur Verfügung Stehende anzuwenden.

Lahargeschwindigkeit.

Ueber die Geschwindigkeit von Lahars ist wenig bekannt. Adriaanse hat im Batang bei der Wegbrücke eine Oberflächengeschwindigkeit von 5 bis 6 m/sec gemessen.

Zwischen Kemiren und Batangbrücke (6 km Abstand) wurden aus Beobachtungen von P. W. folgende Geschwindigkeiten berechnet:

Datum	Bandjirhöhe m	Laufzeit min	Geschwindigkeit m/sec
6.III.'33	1,—	40	2,5
8.III.'33	1,—	24	4,2
9.III.'33	0,8	35	2,9
13.III.'33	0,7	40	2,5
13. IV.'33	0,6	20	5,0
20.IV.'33	1,35	17	5,9

Die Ursache der Unterschiede war nicht ersichtlich.

Ing. Riis beobachtete im Januar 1931 eine Lahar im Kali Koning bei 1000 m Höhe und schätzte die Geschwindigkeit auf 6—7 m/sec.

Sehr interessant ist eine Mitteilung von ir. Klein von der Wasserschafft Dengkeng, dass man im Worodreieck vor einer ankommenden Lahar weglaufen könne, dass sie also kurz vor ihrem Niederschlag höchstens eine Geschwindigkeit von 2—3 m/sec besitzt.

Lahardichte.

Eine weitere, sehr belangreiche Frage ist die nach der Dichte der Lahar. Lacroix gibt an (1904 pag. 448), dass die Mure von Faucon zu 3/4 Volumteilen aus festen Stoffen, zu 1/4 aus Wasser bestand. Stiny schreibt 1910 pag. 3, dass die Masse des festen Materials in Muren, die des flüssigen überwiegt, ergänzt jedoch 1922 pag. 389 diese Bemerkung dahin, dass wohl die Masse, nicht aber das Volum grösser ist.

1922 pag. 454 gibt Stiny folgende Aufstellung:

Sohlengefälle des Wildbaches	Gewichtshundert- stel Geschiebe		Raumgewicht der Mure	
	mindest.	höchst.	mindest.	höchst.
15°	45	50	1,34	1,38
20°	50	60	1,38	1,46
25°	55	65	1,42	1,49
30°	60	68	1,46	1,52
35°	65	70	1,49	1,53
40°	65	70	1,49	1,53

Demgegenüber berichtet Wang (pag. 173), dass die Dichte der Muren bis 1,8 steigen kann.

Verschiedene Europäer haben am Merapi eine Bestimmung der Laharzusammensetzung vorgenommen. Ein Mitglied des Lehrkörpers der Missionsschule zu Moentilan fischte mit einem Eimer¹³⁾ Material aus einer Lamatlahar, füllte in einen Glaszylinder und stellte 90 Volum % (Schüttungsvolum unter Wasser) Sinkstoffe fest.

Herren der Wasserschafft Opak-Progo schätzen mehr als 60 Vol. Prozent fester Stoffe. Adrianae (1931) fing mit einem Eimer¹³⁾ Material aus der

Batanglahar vom 27/1-'31 auf. Die Probe stammte aus den obersten Lagen der Strommitte bei der Wegbrücke. Er ergab sich Folgendes:

Gewicht des Gemenges: 20,50 kg
 Volum „ „ : 9,75 l
 Trockenrest : 16,99 kg } (nach Verdampfen
 Volum des Trockenrestes 9,00 l } des Wassers)

Hieraus berechnet sich:

Dichte des Gemenges: 2,1
 Gew. % Sinkstoffe: 83 %
 Vol. % Schüttung: 92 %
 Vol. % abs. Sinkstoffe: 64 %

Die beiden Werte aus Lamat und Batang stimmen recht gut überein.

Um Vergleichszahlen zu erhalten, wurde aus dem Worodreieck an verschiedenen Stellen Laharmaterial entnommen, durch ein Sieb von 20 mm Maschenweite die Steine ausgehalten und mit Wasser je 500 cm Gemenge von verschiedener Zusammensetzung hergestellt. Gewicht von Trockensubstanz und Gemenge wurden bestimmt.

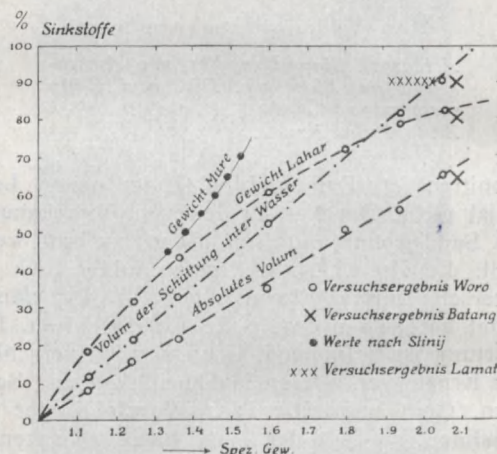


Abb. 20. Gewicht, Schüttungsvolumen und absolutes Volumen der Sinkstoffe bei verschiedener Laharzusammensetzung.

Das Schüttungsvolum wurde unter Wasser gemessen, nachdem der feste Stoff besunken und das Gefäß einige Male auf der Hand sacht aufgestossen war. Die Bestimmungen wurden im Laboratorium des Opsporingsdienstes 2 mal ausgeführt (Fehler < 0,1 %).

Trotz des groben Materials gruppieren sich die Versuchswerte ausgezeichnet um Kurven, aus denen folgende Gleichungen abgeleitet wurden:

$$\text{Dichte} = 1 + 0,0115 \times \text{Volum \% der Schüttung.}$$

$$\text{Dichte} = 1 + 0,0160 \times \text{Volum \% absolut.}$$

Mit Hilfe dieser Kurven ergibt sich, dass die untersuchte Lamatlahar eine Dichte von 2,03 hatte.

Rechnet man daher für grosse Lahars mit einer Dichte von 2,0, so befindet man sich in gesicherten Grenzen.

Die vom Batang erhaltenen Werte liegen dicht bei unsern Kurven, deuten jedoch auf eine etwas grössere Dichte des Batangmaterials. Die Ursache hierfür ist im grösseren Anteil groben Materials zu suchen. Die Grundmasse ist etwas weniger fein (s. unten); auch waren die Steine nicht abgesiebt. Jeder Andesit-

13) Die Methode der Probenahme ist nicht ganz einwandfrei, da beim Mitgeschlepptwerden des Eimers Sandanreicherung stattfindet. Das Gefäß befand sich jedoch nur einen kurzen Augenblick in der Lahar. Auch spricht die gute Uebereinstimmung aller Ergebnisse sehr für die Brauchbarkeit der Werte.

brocken (Spez. Gew. 2,8) erhöht jedoch die Dichte des Gemenges.

Die Werte liegen höher als die von Stiny für Muren angegebenen Zahlen. Es ist keine Frage, dass auch hier der Einfluss des schweren Gesteins spürbar ist. Ausserdem scheint bei dem Stiny'schen Material viel mehr verwittertes Gestein beteiligt gewesen zu sein.

Lahargrundmasse.

Die Proben von Adriaanse und Schmidt wurden klassiert. Analyse I (Worodreieck) wurde ausgeführt vom Laboratorium des Op-sporingsdienstes, Analyse II (Batang) stammt von Adriaanse. Die Ergebnisse sind in Abb. 21 zusammengestellt.

Die Grundmasse des Laharmaterials besteht aus $\pm 35\%$ Steinen, $\pm 50\%$ Sand und $\pm 15\%$ Asche.

Lahartransport.

Die erstaunliche Erscheinung, dass riesige Feldblöcke frei in der Grundmasse treiben, wird verständlicher, wenn man die hohe Dichte der Suspension berücksichtigt.

Im Grunde genommen kann in keiner Suspension grobes Material „schwimmen“. Bleibt die Aufschlammung ruhig stehen, so sinken die festen Bestandteile unter dem Einfluss der Schwere zu Boden. Die Geschwindigkeit, mit der dies geschieht, wächst mit dem Durchmesser der Steine und deren spezifischem Gewicht und nimmt mit der Dichte des Suspensionsmittels ab¹⁴⁾. Es ist nun ganz klar, dass ein Stein frei schweben muss, wenn die Geschwindigkeit eines von unten kommenden, vertikalen Wasserstroms ebenso gross ist wie die Fallgeschwindigkeit des Steines. Bei grösserer Wassergeschwindigkeit wird der Stein mit emporgerissen. Wenn nun in einem Gesteinsbrei „Treiben“ der Blöcke wahrgenommen wird, heisst dies, dass so viele von unten kommende Wasserstösse den Stein emporreissen, dass die Sinkbewegung gegenüber der Horizontalbewegung vernachlässigt werden kann.

Die nach oben gerichteten Wasserstösse sind in jeder turbulenten oder welligen Wasserbewegung vorhanden.

Nach dem oben Gesagten, muss die Schwimmfähigkeit eines Blockes der Fallgeschwindigkeit umgekehrt proportional sein. Es ist darum besonders bezeichnend, dass selbst in der Lahar sehr grosse Steine langsam zurück bleiben (pag. 101). Berechnet man die Fallgeschwindigkeit eines $d=2$ m ϕ messenden

Andesitblockes (spez. Gew. $\gamma = 2,8$) in einer Suspension von der Dichte $\rho = 2,0$ so erhält man die Fallgeschwindigkeit $v = 0,84$ m/sec¹⁵⁾.

Nimmt man nun eine Bandjirgeschwindigkeit von 6 m/sec an, wobei im Abstand von je 3 m eine Welle von ein Meter Höhe auftritt, so muss das Wasser hier pro Sekunde 2 mal einen Meter steigen und sinken, sodass eine vertikale Geschwindigkeit von

Siebanalyse von Laharmaterial.

— Worodreieck (I) — — Batanglahar (II)

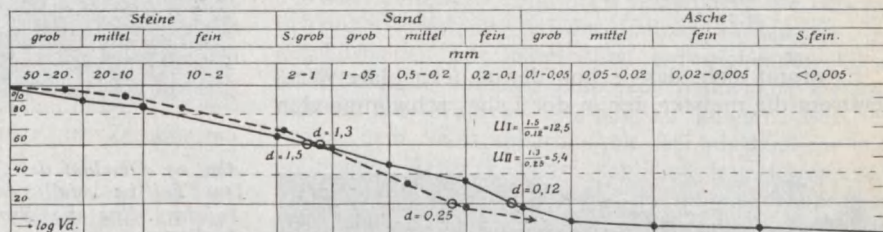


Abb. 21.

4 m/sec entsteht. Die verlangte Grössenordnung von 0,84 m/sec wird also leicht erreicht.

Suspensionsbildung.

Eine andere Frage ist nun, wie eine Suspension von der verlangten hohen Dichte erreicht wird. Dies Problem wird sehr interessant beleuchtet, wenn man berechnet, welche Kornklassen durch einen Vertikalstrom von der oben erhaltenen Grösse $v = 0,84$ m/sec bei zunehmender Suspensionsdichte emporgerissen werden können. Mit Hilfe der früher erwähnten Formeln erhält man:

15) Alle Rechnungen geschehen unter der Annahme, dass die Steine Kugelgestalt haben. Für die Berechnung der Endfallgeschwindigkeit stehen drei Formeln zur Verfügung. Bei gänzlich vernachlässigter dynamischer Wirkung des Wassers (Strömungsdruck) gilt die Formel von Stokes (Finkey 1924 pag. 39); für vernachlässigte Reibung die Formel von Rittinger (Finkey 1924 pag. 31); eine Zwischenstellung nimmt die Formel von Allen ein (Taghart, „Handbook of ore dressing“ 1927, pag. 552). Die drei Formeln geben Tangenten an die von Lord Rayleigh veröffentlichte, allgemein gültige ψ/R Kurve an. (ψ = Widerstandskoeffizient; R = Reynold'sche Zahl = $\frac{v \cdot d}{\nu}$; v = Geschwindigkeit; d =

Durchmesser der Kugel; ν = kinematische Zähigkeit = η/ρ : Zähigkeit/Dichte der Suspension.). Die Formel von Rittinger gilt für $R=1000-100000$, die von Allen für $100 > R > 10$, die von Stokes für $R < 1$ genauer (vergl. Mössner 1932).

Da es sich im vorliegenden Falle um grosse Körper handelt, kann nur die Formel von Rittinger Anwendung finden. In der von Madel („Taschenbuch für Berg- und Hüttenleute“ 1929 pag. 289) gegebenen Form lautet diese:

$$v_0 = 2,44 \sqrt{\frac{d \cdot (\gamma - \rho)}{\rho}}$$

Da der Felsblock nicht im freien Wasserstrom, sondern in dem durch die umgebenden festen Teile beengten Räume fällt, muss man bei einem Volum Anteil des festen Stoffes von 61% setzen:

$$v = v_0 \cdot (1 - 0,61) \text{ (nach Finkey 1924 pag. 61).}$$

14) Die Fallgeschwindigkeit, genauer Endfallgeschwindigkeit stellt sich als Gleichgewichtszustand ein, wobei Fallbeschleunigung einerseits, dynamische und reibende Widerstände des Wassers andererseits einander entgegen wirken.

Suspensionsdichte	Durchmesser der Schwimmenden Körper m
1,1	0,086
1,2	0,116
1,3	0,154
1,4	0,210
1,5	0,293
1,6	0,40
1,7	0,56
1,8	0,82
1,9	1,24
2,0	2,00
2,1	3,38

Es ergibt sich, dass schon der nahezu klare Wasserstrom die meisten der in der Lahar schwimmenden



Aufnahme Schmidt, 1931.

Abb. 22. Batang bei Normalwasser (bei Berokan 500 m). Bei Normalwasser gleicht der gefürchtete Fluss einem kleinen Bach. In den Kurven werden die Wände unterschritten. Bei übernormaler Abfuhr stürzen diese ein.

Kornklassen aufnehmen kann. Es ist also theoretisch vorstellbar, dass sich eine Lahar ganz allmählich aus einem starken Bandjir, einfach durch zunehmendem Sandgehalt entwickelt. Mit steigendem Sandgehalt wächst die Suspensionsdichte, was wieder die Aufnahme groberer Materials erlauben würde.

Dieser Theorie widersprechen jedoch die Erfahrungstatsachen. Starke und rasch fließende Bandjirs kommen im Mittellauf jährlich vor, ohne sich in Lahars zu verwandeln. Man muss daher annehmen, dass im Klarwasser die emporgelassenen groben Sandmassen und die Steinchen wieder so viel Zeit haben, auf den Boden zu sinken, dass niemals eine genügend dichte Suspension entstehen kann.

In normalen Zeiten können sich nur am Gipfel Lahars allmählich entwickeln. An Sand-

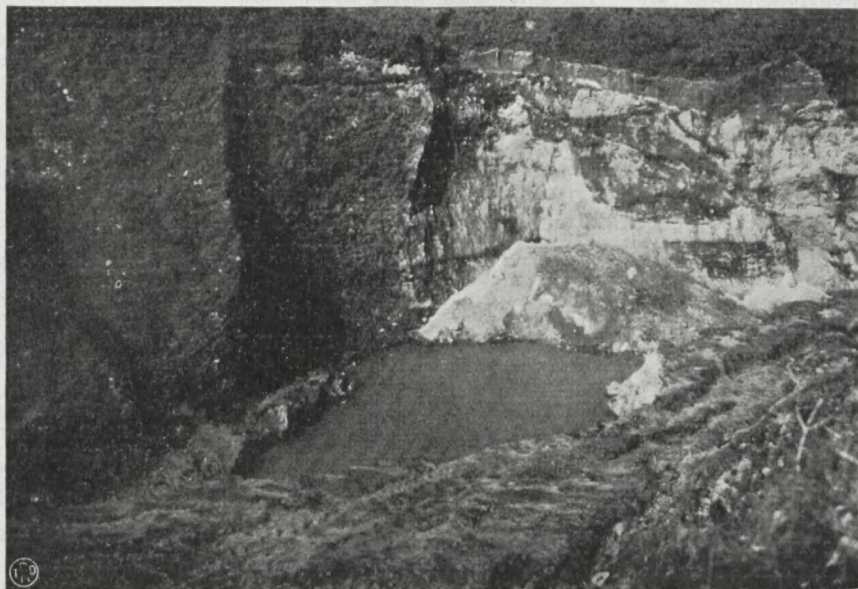


Aufnahme Schmidt, 1931.

Abb. 23. Oberlauf des Gendol bei 800 m. Blick stromab. Das Tal ist erfüllt von den Sedimenten der ersten Lahars. In der Mitte die Erosionsrinne der späteren Lahars. Die Prallhänge werden unterwaschen, stürzen ein und vermehren die Sinkstoffmasse der Lahar.

böschungen von 30 — 40° Neigung muss jeder Platzregen Material abspülen. Zahlreiche Wasserfälle sorgen für die Suspensionsbildung, sodass man annehmen muss, dass jeder starke Gipfelregen eine Mure erzeugt. Tatsächlich finden sich auch Beweise (Siehe Kap. VIII), die zumindest in den Sandflüssen für jährlich auftretende Muren sprechen. In normalen Jahren werden diese jedoch im breiten Mittellauf gebremst und festgehalten. Im Unterlauf ist nichts von ihnen zu spüren. Nur die grösseren Lahars nach Ausbrüchen laufen durch bis zum Vulkanfuss.

Gelangen jedoch plötzlich grosse Schuttmassen in den Bandjir, wie es beim Einstürzen von unterwaschenen Wänden, beim Aufnehmen von alten Absturzmassen, beim Durchbruch von alten Abdämmungen geschieht, dann dreht sich der Vorgang ge-



Aufnahme ? August 1932.

Abb. 24. Oberlauf des Senowo mit Abdämmung bei 1000 m. Wenn 80—100 m hohe Wände einstürzen, kann das ganze Tal abgedämmt werden. Dahinter bildet sich ein Stausee, bei dessen Durchbruch neue Lahars entstehen.

wissermassen um. Das feste Material wird nun nicht mehr vom Wasser aufgenommen, sondern saugt sich mit Wasser voll und wird flüssig, die Suspension kann sich nicht mehr entmischen.

Diese Auffassung scheint auch Wang vorgeschwebt zu sein, der schreibt: „Von der ersten Vorbedingung, Heftigkeit und Plötzlichkeit der Niederschläge abgesehen, sind die Ursachen des Murgangs stets in Bergstürzen, starker Erosions- oder Corrosionswirkung, in sonstiger Unterwühlung..... in Verkläuerungen, wohl auch in der allmählichen Aufspeicherung und schliesslichen Inbewegungsetzung bedeutender Massen von Verwitterungsprodukten zu suchen“ (pag. 66). Auch aus Stinys Erfahrungen (1910) kann man ableiten, dass die meisten Murgänge mit erdrutschartigen Erscheinungen, Uferbruch, Dammbruch, Blattbruch usw. im Zusammenhang stehen.

Grundsätzlich haben wir also zwei Sorten von Suspensionsbildung: Die am Gipfel vorhandene, bei der sich Lahars oder Muren allmählich entwickeln und die im Mittellauf auftretende plötzliche Verwandlung von Bandjirs in Lahars, die jedoch nur bei grossen Veränderungen des Flussprofils möglich ist. Wir werden sehen, dass diese zweite Art als Hauptursache für das Entstehen der späten Lahars angesprochen werden muss.

Bewegungsmechanik.

Laharartige Gesteinsbreie müssen ihre eigene Bewegungsmechanik haben.

Stiny betont (1922 pag. 389) zwar sehr scharf, dass die Bewegungsenergie der Muren restlos vom Wasser abkommend ist. Nach Auffassung Verfassers kann dies nur zum Teil richtig sein. Im Wasser wird ein grosser Stein dadurch fortbewegt, dass die Flüssigkeit beim Umfliessen des Widerstandes im „Stromschatten“ einen Raum mit Unterdruck erzeugt, in welchen der Stein hineingesaugt wird. Diese dynamische Wirkung des Wassers muss stark unterbunden werden, wenn die Zähigkeit des Breis die Beweglichkeit der Grundmasse hindert. Der Brei bewegt sich viel eher als Ganzes fort. Es ist auch schon rein vorstellungsgemäss schwierig zu begreifen, wie die lebendige Energie des Wassers eine gewichtsmässig mehr als 4 mal so grosse Masse fortbewegen soll. Viel eher muss man annehmen, dass die Beweglichkeit des Gesteinsbreis an sich gross genug ist, um beim Gefälle der Mittel- und Oberläufe ein Abfliessen zu gestatten ¹⁶⁾.

Man kann Lahar etwa mit Schwimmsandmassen vergleichen, obgleich nach der Definition Terzaghis 1929 (pag. 476) kein Schwimmsand vorliegt.

Echter Schwimmsand hat die Ungleichförmigkeitsziffer 2 bis 5, während die Grundmasse der Worolahar $U=12,5$ die der Batanglahar $U=5,4$ hat (Abb. 21).

Man darf schliesslich bei Betrachtung der ganzen Erscheinung nicht vergessen, dass die rollende Rei-

bung im Innern der bewegten Massen viel geringer ist, als die Nullreibung der ruhenden und in sich verzahnten Körner. Auch die trockenen Gesteinsströme von grossen Felsstürzen können sich fortbewegen, wenn die bewegten Massen nur gross genug sind. A. Heim hat schon festgestellt, dass der Flusscharakter eines Schuttstromes umso ausgeprägter wird, je grösser die bewegte Masse. In der Mure und in der Lahar muss dann das Wasser vor allem als aufreibendes Agens wirken, welches das Gewicht und damit die gegenseitige Reibung der schwimmenden oder rollenden Teile noch vermindert, die Beweglichkeit also erhöht. Bei den Ladoes würden die eingeschlossenen und nach oben entweichenden Gase dieselbe Rolle spielen, ohne jedoch dieselbe Beweglichkeit wie Wasser verleihen zu können. Bei der Frana, dem Schlammstrom mit viel plastischem und kolloidem Material findet schliesslich vollkommene Suspension und weitgehende Reibungsverminderung statt. Man würde also vom mechanischen Gesichtspunkt aus eine Reihe: trockener Schuttstrom — Ladoe-Lahar, Mure — Schlammstrom i.e.S. — Wasserstrom mit Schlepptransport, erhalten.

Erosionswirkungen. Schleppkraftgesetze.

Da die Festigkeit jungvulkanischer Agglomerate meist sehr gering ist, geschieht die Erosion nicht langsam schleifend, sondern erfolgt plötzlich durch Losreissen und Mitschleppen der Komponenten. Die Erosionswirkungen in Vulkantälern sind daher in erster Linie eine Transportfrage. Die Schleppkraftgesetze der Flussbauingenieure müssen auf die Erosionswirkungen Anwendung finden. Beim Ablauf von Massen durch ein Tal wird potentielle Energie in Arbeit umgesetzt. Innere und äussere Widerstände müssen soviel Energie verbrauchen, dass ein Gleichgewichtszustand eintritt, den man mit folgender Formel ausdrücken kann:

$$v = k \sqrt{\frac{F}{u}} \sqrt{i}$$

(hierin bedeutet v = Geschwindigkeit des Stromes, k = Widerstandsziffer, F = Querschnitt des Stromes, u = Umfang des benetzten Talprofils, i = Gefälle).

Verändert sich eine der Grössen, so muss durch Aenderung einer anderen ein Ausgleich eintreten. Jede Vergrösserung der Massen bedeutet bei gleichbleibender Profilbreite ¹⁷⁾ eine Vergrösserung von $\frac{F}{u}$, was bei gegebenem i Vergrösserung der Geschwindigkeit zum Gefolge hat.

Je grösser die abfliessende Masse, desto grösser die Geschwindigkeit.

Nun jedoch wirkt das abfliessende Wasser kraft seines Strömungsdrucks und seiner Reibung auf die festen Bestandteile von Boden und Wänden, reisst Stücke weg und bewegt sie abwärts. Das Transportvermögen des Wassers wird in der Hydromechanik Schleppkraft genannt. Bei grösser werdendem v wächst die Schleppkraft, bei kleiner werdendem v vermindert sie. Auf kleine Körper wirkt vornehmlich die Reibung des Wassers, auf grosse der Druck. Je

16) Die Erosionswirkungen von Lahars müsste man also nach W. Penck (1924) als Korrosionswirkungen bezeichnen.

17) Vulkantäler haben in der Tat rechtwinkliges Profil.

grösser die Geschwindigkeit, desto grösser der Durchmesser der bewegten Körper. Da die rollende Reibung geringer ist als die gleitende, wird mit zunehmender Wassergeschwindigkeit die rollende Bewegung der Körper in eine gleitende, treibende übergehen. Kleine Körper schon treiben, solange grosse noch rollen. Im allgemeinen bleibt die Geschwindigkeit des fortbewegten Materials hinter der des Wassers zurück. Alle diese Erscheinungen weisen darauf, dass der Materialtransport Arbeitsaufwand von Seiten des Wassers erfordert. (Siehe u.a. de Vos 1925).

Man muss dabei zweierlei Stadien unterscheiden:

- a. Die Arbeit, die aufgebracht werden muss, um die Trägheit eines Steines zu überwinden, wenn er vom Zustand der Ruhe in den der Bewegung übergeht.
- b. Die Arbeit, die zur Beibehaltung der Geschwindigkeit also zur Ueberwindung der Reibungswiderstände erforderlich ist.

Als Nebenwirkung kommt hinzu, dass mit zunehmender Materialaufnahme die inneren Reibungswiderstände vergrössert werden. Aehnlich kann man ableiten, dass bei Abgabe von festen Material Arbeitsfähigkeit gewonnen wird. Für den Energiehaushalt des Wassers bezeichnet dies, dass Wasser durch Materialaufnahme überschüssige lebendige Energien vernichten kann, während es durch Materialabgabe lebendige Energie gewinnen kann. Praktisch bezeichnen die obigen Gesetze, dass das freie Arbeitsvermögen des Wassers, die Erosionskraft also, mit zunehmendem Sinkstoffgehalt abnimmt. Diese Schleppkraftgesetze sind für Lahars im Unterlauf gültig.

Man beobachtet, dass eine Lahar totläuft, alles feste Material niederschlägt, während das ablaufende entlastende Wasser am unteren Ende des Schuttfeldes eine neue Rinne schlägt.

In den Oberläufen stimmen jedoch die Gesetze nicht.

Mit Hilfe der Wang'schen Formeln (p. 166) würde man z.B. berechnen, dass eine Lahar von der Dichte 2 und einer Geschwindigkeit von 6 m/sec aus einem Wasserstrom von 24 m/sec hervorgegangen sein müsste. Vom geologischen Gesichtspunkt aus, muss man annehmen, dass im Oberlauf Materialaufnahme Erhöhung des Arbeitsvermögens bedingen, dass also die Schleppkraftgesetze der Flussbauingenieure nicht direkt Anwendung finden können.

Denn:

1. Es ist eine feststehende Tatsache, dass Muren und Lahars im Oberlauf ganz gewaltig und in kürzester Zeit erodieren. Das Stürmische dieses Vorganges deutet darauf hin, dass durch Materialaufnahme die Wucht des Stromes vergrössert, nicht aber verkleinert wird.
2. Die Tatsache, dass im Waldgebiet, wo Klarwasser abfloss, keine frühen Lahars entstanden sind, spricht für die geringere Erosionskraft des Klarwassers.
3. Die Beobachtungen am Lawoe zeigten, dass während eines Gewitters Sammelrinnen mit Schuttfuhr vertieft wurden, während solche ohne Schuttfuhr normal blieben.

Bei näherer Nachprüfung ergibt sich, dass dieser

Gedankengang auch hydromechanischer Beweisführung zugänglich ist, obschon in theoretischen Arbeiten immer nur vom Kraftaufwand zur Ueberwindung der inneren Reibung gesprochen wird (Vergl. de Vos 1925).

Man muss sich vor Augen halten, dass die abfließende Masse 4—5 mal grösser ist als die, des in ihr eingeschlossenen Wassers ist. Es ist selbstverständlich, dass bei der Lahar das Arbeitsvermögen dieser vergrösserten Masse nicht vernachlässigt werden darf.

Die geringere Geschwindigkeit des abrollenden Steins gegenüber dem Wasser ist nur ein Sonderfall, der allerdings für den Flussbauingenieur fast ausschliesslich in Betracht kommt. In Finkey 1924 pag. 72 findet man den Nachweis, dass bei Berücksichtigung der Eigenarbeit eines in Wasser abrollenden Steines folgender Satz gilt: die Geschwindigkeit des im Wasserstrom über eine schiefe Ebene rollenden oder gleitenden Körpers ist grösser als die des Wassers, wenn der Sinus des Neigungswinkels der Ebene grösser als der Reibungskoeffizient und kleiner, wenn der Sinus des Neigungswinkels kleiner als der Reibungskoeffizient ist.

Damit ist die Theorie vom Arbeitsverbrauch mitgeschleppter Steine grundsätzlich durchbrochen. Bei genügend grossen Neigungswinkel, d.h. Flussgefälle, kann ein abrollender Stein auch Arbeit an den Gesamtstrom abgeben. Der Winkel, bei dem dies geschieht, ist vorläufig einer theoretischen Betrachtung nicht zugänglich, da man über Reibungskoeffizienten in der Lahar nichts weiss.

Betrachtet man den Laharstrom als homogene Flüssigkeit von hoher Dichte und hoher Zähigkeit, so kann man folgende Ueberlegung anstellen: die abfließende Lahar hat im Oberlauf grosse, im Unterlauf kleine Geschwindigkeiten. Bei gleichbleibendem $\frac{F}{u}$ und gleichbleibender Zusammensetzung hat die Lahar also im Oberlauf eine grosse, im Unterlauf eine kleine Reynold'sche Zahl. (Für Flüsse $R = \frac{v \cdot F}{u \cdot \nu}$. Nun ist es jedoch ein Grundgesetz der modernen

Hydromechanik, dass bei grossem R die Reibungseinflüsse gänzlich gegen die Trägheitseinflüsse zurücktreten¹⁸⁾).

Das besagt, dass im Oberlauf der Flüsse die Wucht der grösseren Masse sich voll auswirken kann, während im Unterlauf bei geringer werdender Geschwindigkeit die Reibung grösseren Einfluss gewinnt. Die Erscheinung, dass eine Lahar im Oberlauf sich wie ein Bandjir von ungeheurer Kraft benimmt, um im Unterlauf plötzlich alle Wucht zu verlieren, scheint demnach auch theoretisch erfassbar zu sein. Näher

18) In dieser Form wurde das Gesetz von Prandtl im „Handbuch der Naturwissenschaften“ IV. Pag. 116 ausgesprochen. Dieselbe Gesetzmässigkeit kommt auch in der Anmerkung pag. 113 dieser Arbeit zum Ausdruck, wonach bei grossem R die dynamische Wirkung, bei kleinem die Reibung auf eine fallende Kugel grösseren Einfluss hat. Es lässt sich schliesslich auch zeigen, dass k der Formel von der Widerstandsziffer abhängig ist, diese wieder von R und dass mit kleiner werdendem k , also mit grösser werdenden Widerständen, R abnimmt. (Hütte I pag. 351, Hütte III pag. 489).

hierauf einzugehen liegt ausserhalb des gesteckten Rahmens.

Es sei, um Missverständnissen vorzubeugen, bemerkt, dass eine Lahar weniger freies Arbeitsvermögen besitzen dürfte, als ein Bandjir, dessen Masse ebenso gross, als die der Lahar ist.

Gleichgewichtskurve.

Es ist nun für das bessere Verständnis von Flussprofilen sehr vorteilhaft, diese Verhältnisse von vorn herein bildlich zum Ausdruck zu bringen.

Nach den Ergebnissen von Messungen haben die Merapitälär etwa die Form AB. Im Oberlauf sind

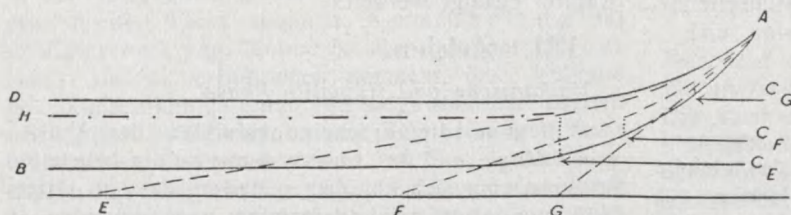


Abb. 25. Ist AB die Gleichgewichtskurve für Normalwasser, so sind bei gleichem Querprofil die idealen Gleichgewichtskurven AD für einen grossen Bandjir, AE für eine grosse, AF für eine kleine Lahar, AG für eine Ladoe.

dabei die Lavabänke mit ihren Wasserfällen weglassen, im Mittellauf und Unterlauf sind tatsächlich knikfreie stetige Kurven vorhanden. Wir wollen annehmen, dass die Querschnitte so beschaffen sind, dass längs dieser Kurve die mittlere Normalwassermenge abfliessen kann, ohne zu erodieren, oder zu sedimentieren (die Wassermenge ist dabei im steilen Oberlauf kleiner als im flachen Unterlauf). Das Profil ist also eine Gleichgewichtskurve für das Normalwasser.

Jeder ablaufende Bandjir versucht nun, dieses „Normalprofil“ durch Erosion und Sedimentation umzugestalten. Man kann jedoch eine „ideale Gleichgewichtskurve“ suchen, nach der, — bei gleichbleibendem Querprofil — das Längsprofil beschaffen sein müsste, um einen Ablauf ohne Materialaufnahme oder Abgabe zu gestatten, d.h. in der Formel pag. 115

soll eine Veränderung von $k \sqrt{\frac{F}{u}}$ im wesentlichen durch Veränderung von i kompensiert werden. Ein sehr starker Bandjir müsste dann, dank seiner grösseren Masse, eine ideale Gleichgewichtskurve haben, die überall weniger Neigung als das Flussbett besitzt. Man gelangt dann etwa zur Kurve AD.

Die ideale Gleichgewichtskurve einer Lahar würde im Oberlauf ungefähr mit jener des starken Bandjirs zusammenfallen. Im Unterlauf, wo die Reibung stets zunehmenden Einfluss ausübt, muss die jedoch wesentlich steiler, sogar steiler als die Gleichgewichtskurve des Normalwassers sein (AE). Es ist leicht einzusehen, dass mit zunehmendem Sinkstoffgehalt die Steilheit der Kurve wachsen muss.

Im Ganzen ist also die ideale Gleichgewichtskurve einer Lahar gestreckter als die eines Bandjir von gleicher Masse. Ganz allgemein kann man dann folgende Sätze aufstellen. Die mittlere Neigung der idealen Gleichgewichtskurve ist umso geringer, je grösser die ablaufende Masse, ihr Krümmungsradius ist im Oberlauf umso grösser, je grösser die Dichte.

War AE die Kurve einer grossen Lahar, so würde AF die einer kleinen Lahar, und AG die einer gleich grossen Ladoe vorstellen.

Die Erosionsgrenze hat umso grösseren Gipfelabstand, je grösser die ablaufende Masse, umso kleineren, je grösser die Dichte des Schuttstroms. Die Punkte C_E, C_F, C_G der Abb. 25 bringen diese Gesetzmässigkeit genügend deutlich zum Ausdruck.

Verfolgen wir eine Lahar, die in einem Normalprofil abläuft: Sie braucht weniger Verhang als Normalwasser und muss darum erodieren. Durch die Erosion jedoch vergrössert sich die Masse, was wiederum Verstärkung der Erosion zur Folge hat. Während des halbstündigen Lahardurchlaufs wird das Gleichgewicht immer mehr gestört, man erhält eine Kette ohne Ende.

Unterhalb der Erosionsgrenze beginnt die Lahar Material niederzuschlagen. Sie gewinnt dadurch in zunehmendem Masse Bandjircharakter. Vom Punkt C ab in Abb. 25 wird ihre ideale Gleichgewichtskurve weniger steil. Es muss genau so viel Material niedergeslagen werden, dass die ideale Gleichgewichtskurve parallel zum Flusslängsprofil AH verläuft. Im Unterlauf befindet sich also die Lahar im Gleichgewicht mit dem Flussprofil. Daher kommt es, dass Lahars zwischen Uferwänden sehr weit fliessen können (vergl. Kap. VIII).

Ähnliche Ueberlegungen gelten für Bandjirs und für Ladoes.

Beim Sedimentieren wird der Boden des Flussbettes aufgehöhht, was im obern Teil des Niederschlagsgebiets Verminderung des Gefälles zur Folge hat. Eine folgende Lahar von genau gleicher Stärke findet noch grösseren Widerstand vor und muss mehr Sand abgeben. In Zeiten mit Laharbildung wird also der Keim eines Niederschlagsgebiets immer umfangreichere Absätze erzwingen.

Hobelnde und rückwärtsschreitende Erosion.

Sehr interessant ist nun ein Seitenblick auf die Art der Erosion. Die Lehre von der rückwärtsschreitenden Erosion ist so sehr in unsere Vorstellung eingewurzelt, dass man kaum an eine andere Möglichkeit denkt.

Wo jedoch das Flussbett für eine ablaufende Masse zu steil ist, kann die Erosion auch hobelnd, von oben nach unten arbeiten. Stiny schreibt von Muren, dass die Massen meist von unten nach oben fortschreitend in Bewegung geraten, dass jedoch „unter gewissen Umständen“ die Erosionswirkung auch hobelnd sein kann (1910 p. 40). Bei Laharerosion werden in kürzester Zeit kilometerlange Stücke ausgehoben, was bei rückwärtsgreifender Erosion schwer vorstellbar ist. Die Gendolgeschichte zeigt, dass dort tatsächlich eine Austiefung des Oberlaufs von oben nach unten fortschreitend stattfand.

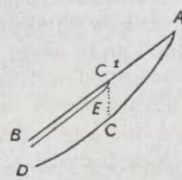


Abb. 26.

Das will natürlich nicht besagen, dass rückwärtsschreiten-

de Erosion ganz ausgeschaltet sei. Findet sich durch zufällige Umstände ein übersteiles Stück in der Profillinie, so muss hier die Erosion ganz besonders stark angreifen, wodurch selbsttätig dieses Stück immer weiter rückwärts wandert.

Soll sich an einem Hang, AB , ein Normalprofil ACD entwickeln, das von A bis C steiler, von C bis D flacher als der Hang ist, so kann „hobelnde“ Erosion erst vom Punkte C' ab stattfinden. Durch die beginnende Talbildung wird auf dem kurzen Stückchen $C'E$ ein übersteiler Hang erzeugt, der sich nun stetig flussauf verlegt. Dieser Vorgang wiederholt sich, bis das Normalprofil erreicht ist. Das Profilstück AC muss also durch rückwärtsschreitende Erosion ausgebildet werden.

Einfluss von Querprofiländerungen.

In der vorstehenden Ausführung wurde angenommen, dass die ablaufende Lahar überall das gleiche Querprofil vorfindet, wie es dem Normalwasser zur Verfügung stand. Sehr oft ist dies in der Natur nicht der Fall. Die Veränderung der Profilbreite hat jedoch auf die Geschwindigkeit einen ganz erheblichen Einfluss. Schon um den gleichmässigen Durchfluss der Mengen zu gestatten, muss die Geschwindigkeit in schmaler werdenden Profilen zu, in breiter werdenden abnehmen, was vielfach mit Erosion, bzw. Sedimentierung verknüpft ist. Die Grösse des Ausdrucks $\frac{F}{u}$ erreicht im rechteckigen Querprofil bei konstantem F ein Maximum für den Wert $b = 2t$ (b = Breite, t = Tiefe des Stroms). Da in den meisten Fällen b grösser als $2t$ ist, wird mit zunehmender Profilbreite $\frac{F}{u}$ kleiner, was Verkleinerung von v oder ein Steilerwerden der idealen Gleichgewichtskurve

Ideal schema eines tropischen Vulkanprofils.

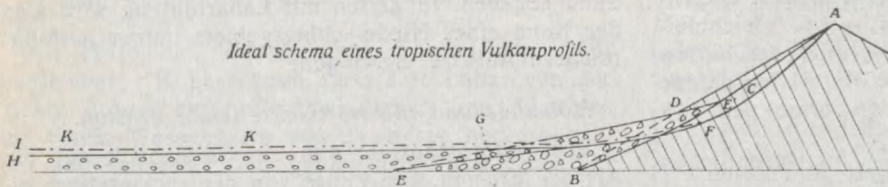


Abb. 27. Idealprofile von trockener Schüttung (AB), Lahar (ACE) und von Bandjirs (AFH) beteiligen sich am Aufbau der Vulkane. Dadurch entstehen im Vulkanprofil Knicke bei G und D.

zur Folge hat. Die Lahar vom Gleichgewichtsprofil AE würde z.B. bei freier Ausbreitmöglichkeit die Kurve AF haben.

Diese Ueberlegung gewinnt vor allem dann Bedeutung, wenn Laharmassen aus dem Flussbette heraustreten und sich über das Gelände verbreiten. Dieser Teil der Lahar kommt ungleich schneller zum Stillstand, als der im Flussbett verbleibende. Durch den Massenverlust wird die Gleichgewichtskurve steiler, was erneut bremsend auf die Lahar wirkt.

Entstehung späte Lahars.

In diesen Ueberlegungen findet man eine weitere Ursache für das Entstehen der späten Lahars. Der

Mittellauf der sandführenden Flüsse ist ausserhalb der Normalwasserrinne so breit, dass die jährlichen kleinen Muren (vergl. pag. 114) genügend Platz haben, um sich tot laufen zu können. Beim Durchfluss der frühen Lahars nun wurde in einer Reihe von Flussbetten (siehe Kap. VIII) eine enge und tiefe Rinne geschlagen. In dieser Rinne werden die jährlichen Muren an der Breitenentwicklung gehemmt, sie fliessen nicht nur weiter, sondern erhöhen durch Materialaufnahme von den Furchenwänden noch ihre Wucht. Dieser Vorgang dauert so lange, bis das normale Querprofil erreicht ist. Eine dritte Ursache für das Entstehen der späten Lahars soll im folgenden Kapitel gezeigt werden.

VII. Zyklen.

Vulkanische und fluviatile Phase.

Will man die Erscheinungsformen der Vulkanmorphologie und der Flusssysteme richtig beurteilen, so muss man sich vor Augen halten, dass an tätigen Vulkanen stets zwei Prinzipien gegeneinander arbeiten. Die aufbauende Tätigkeit des Vulkans und die abtragende Wirkung des fliessenden Wassers. Beide sind in stetem Kampfe miteinander und stören die restlose Ausbildung eines Gleichgewichtszustandes.

In Zeiten starker vulkanischer Tätigkeit nähern sich die Formen einem vulkanischem Gleichgewichtszustand, in Zeiten der Ruhe bilden sie sich nach dem abtragenden Prinzip um und nähern sich einem fluviatilen Gleichgewichtszustand. Man muss also in der Entwicklungsgeschichte eines Vulkans die vulkanische, meist kurzfristige und die fluviatile Phase der Ruhepausen unterscheiden.

Die Uebergangszeit nimmt eine Zwischenstellung ein.

Berg- und Talprofile.

Die ideale Bergform für die rein vulkanische Phase ist bei Aschen- oder Lapilischüttung ein Kegel mit einer Profillinie, die — genau wie bei grossen Berghalden von Bergwerken — eine Gerade mit der Neigung des maximalen Böschungswinkels des Materials (Abb. 27 AB) ist. Beim Aufbau durch Glutwolken und Ladoes formt sich ein Kegel mit schwach konkavem Profil. Derartige

Idealförmungen sind jedoch in den Tropen niemals bestandfähig, da sich selbst bei sehr rasch fortschreitendem Aufbau sofort das fluviatile Prinzip geltend macht. Es entstehen frühe Lahars, die dem Berg ihr Gepräge geben.

Sie werden im oberen Teil des Berges Furchen einschneiden und den Fuss verbreitern, dabei eine Form anstrebend (ADE), welche der idealen Gleichgewichtskurve einer, nicht im Flussbett eingeschlossenen Lahar entspricht. Im Einzelnen wird der Vorgang so sein, dass zunächst auf die S. 117 und 118 besprochene Weise von A nach B ein Tal ausgeschliffen wird (ACB). An der Erosionsbasis bei B , wo das Gefälle plötzlich Null wird, muss die Lahar alles Material niedergeschlagen und dadurch von unten

nach oben einen Fuss aufbauen, bis die Form *ADE* erreicht ist. Der Vulkanmantel besteht nun aus zwei Stücken, dem unzertalten Fuss *DE* und dem mit untiefen Furchen versehenen Gipfel *DA*. Wächst der Vulkan ununterbrochen im gleichen Tempo weiter, so wird annähernd stets die Form *ADE* beibehalten. Man kann sagen, dass Profil *ADE* den Gleichgewichtszustand für rasch aufgebaute tropische Vulkane gegenwärtigt.

Tritt eine grössere Ruhepause ein, so gewinnt die Abtragung durch Wasser immer grösseren Einfluss. Die nun auftretenden Wasserbandjirs werden sich, entsprechend ihrer Gleichgewichtskurve immer tiefer in den Berg einschneiden, jedoch von *E* aus einen sehr breiten Fluss anbauen. Kemmerling hat im Keloetwerk pag. 23 und im Merapirapport pag. 21 (1921) darauf aufmerksam gemacht, dass Vulkane mit Laharbildung einen aussergewöhnlich breiten Fuss haben. Allgemeiner und auch richtiger muss man seinen Gedanken durch den Satz ausdrücken, dass sich Vulkane in der tropischen Regenzone durch einen breiten Fuss auszeichnen. Tatsächlich sind auch grosse Teile des Fusses aus fluviatilen Sand- und Geröllablagerungen aufgebaut. Der Fuss müsste noch breiter werden, wenn nicht schon im Mittellauf eine Mäanderbildung beginnen würde. Dadurch kann sich auf dem Talprofil *AFH* das der Gleichgewichtskurve entsprechende Flussprofil *AFI* entwickeln.

Die ausserordentlich grosse Standfestigkeit von Laharmaterial bewirkt, dass sich der Talweg *GFA* in den alten Laharmaterial *GDA* einschneiden kann, ohne dass sich die Wände abböschten. Der grösste Teil des Mantels bleibt erhalten, es entsteht die Landschaft der breiten Flächen mit canyonartigen Schluchten (*Abb. 8*). Da der alte Vulkankegel symmetrisch aufgebaut war, muss man die Anwesenheit eines tiefen Mittellaufs geradezu als Gleichgewichtszustand für die fluviatile Phase betrachten.

Die Mäanderbildung bei der immer wieder die Wände der Prallhänge unterschritten werden, bewirkt, dass die Täler so auffällig breit sind.

Die Einteilung Unterlauf, Mittellauf, Oberlauf erhält so ihren entstehungsgeschichtlichen Sinn: Aschfall und Ladoe, Lahar und geschiebereiche Bandjirs schaffen Gipfel, Mantel und Fuss, die Bauelemente der Bergform. Geschiebearme Bandjirs bestimmen die Gestalt der Täler.

Morphologische Dreiteilung.

Der untere Bergmantel ist aus Schuttkegeln aufgebaut. Das Bergprofil besteht nun aus drei Stücken: *AD*, *DG*, *GH*, die mit ausgesprochenen Knicken aneinandergrenzen. Die oft geäusserte Behauptung, Vulkanprofile seien stetige, mathematisch definierbare Kurven, ist für die Tropen nur unter bestimmten Voraussetzungen gültig (s. unten). An sehr vielen indischen Vulkanen ist die Unterteilung in nahezu geradlinige Profilstücke deutlich sichtbar.

Das Talprofil ist jedoch unterhalb der Lavabänke ausgeglichen, knickfrei. Zahlreiche gut gemessene Längsprofile beweisen dies. Die Morphologie des erloschenen Merbaboe zeigt auch, dass sich die Täler entsprechend der Kurve *AFH* bis zum Gipfel hinaufziehen, wenn Zeit genug zur Verfügung steht.

Die Laven bilden ein vollkommen selbständiges Bauelement. Sie können dem Gipfel eigenes Gepräge verleihen (Dome). Im übrigen bilden sie bis in die Mittelläufe Absätze ohne charakteristische Gleichgewichtskurve. Sie beschränken sich auf Erhaltung zufällig angetroffener Formen.

Am Woro und Gendol, auch beim Batang, kommen nun Laharfelder als weitere Bauelemente hinzu. Bei Bergen mit abgeschlossener Talbildung wird die, zwischen hohen Wänden eingeschlossene Lahar weitgehend verhindert sich auszubreiten und zu sedimentieren.

Schuttfeldbildung.

Die untere Erosionsgrenze verlegt sich in den Mittellauf oder gar in den Unterlauf *und erst wenn sie überschritten ist*, kann Sedimentation beginnen. Die Mechanik des Laharniederschlags ist grundsätzlich anders als die der Schuttkegelbildung. Während dort ein Gefälleknick plötzliche Entlastung des geschiefbeführenden Stromes erfordert, wird von der Lahar langsam die Erosionsgrenze überschritten. Die obersten Absätze liegen bald weiter oben, bald weiter unten im Längsprofil, je nach Grösse und Zusammensetzung der Lahar (s. pag. 117). Solange die Massen zwischen Ufern eingeschlossen bleiben, wird gleichmässig aufgesandet. Im Woroh Loesah ist so eine kleine Lahar bis zum Rande des Zuidergebirges gelaufen. Im Batang erreichten die ersten Lahars den Progo. Ist jedoch an irgend einem Punkte die Lahardicke grösser als die Bettiefe, so fliesst Material zu beiden Seiten über die Ufer und wird niedergeschlagen. Der plötzliche Massenverlust wirkt bremsend auf die Gesamtlahar. Auch im Flussbett wird nun unverhältnismässig viel Material festgelegt. Die Rinne verstopft rasch, mit der Folge, dass nachkommende Lahars aus dem Bett heraus und über die Ufer getrieben werden. Damit ist eine Fläche geschaffen, die alle gleichgrossen oder kleineren Lahars zur Ausbreitung zwingt. Nur grössere Lahars können durchlaufen, obgleich auch diese stark gebremst werden. Der Unterlauf ist geschützt.

Die von oben ankommenden Lahars werden auf der Fläche nur allmählich zum Stillstand gebracht. Sie breiten sich nur langsam aus. Dadurch wird die Form des Feldes ein langgestrecktes Dreieck (Worodreieck) mit bergwärts gerichteter Spitze. Legt sich das Laharfeld in einer flachen Geländedepression an, so läuft das untere Ende schlauchförmig wieder in dem Tale aus (Ablakfeld, Salamfeld).

Ein Laharfeld ist stark konvex. Ohne menschliches Eingreifen brechen daher nachfolgende Bandjirs und Lahars stets nach rechts und links aus. Das Feld wächst nach beiden Seiten. Später kommende Lahars finden daher stets grösseren Widerstand. Sie werden immer höher zum Niederschlage ihres Schutts gezwungen, die Spitze des Feldes verlegt sich immer mehr stromauf.

Die Erfahrung zeigt, dass Laharfelder meist im oberen Unterlauf entstehen (Batang, Gendol). Wenn die Erosionsgrenze im unteren Mittellauf liegt, muss sich das Feld dort formen, wo die Schuttmassen aus der Enge des Mittellaufs auf den flachen Fuss treten (Worodreieck). Diese Laharfelder, ungefähr an der

Grenze zwischen Mittel- und Unterlauf, sind ein charakteristisches Bauelement für Vulkane mit komplexer Talbildung.

Da Ladoemassen unbeschränkt gross sein können, vermögen sie selbst tiefe Täler zu füllen. Ladoefeld werden daher weiter bergwärts geformt.

Das Bergprofil verliert so seine ursprüngliche strenge Gliederung und nähert sich einer stetigen Kurve, die vielfach als „Idealprofil“ angegeben wurde.

Ausschaltung der Schuttfelder.

Die Schuttabsätze von Lahars und Ladoes bedeuten eine Störung des fluviatilen Gleichgewichts. Wasserbandjirs versuchen daher, den Zustand der Ruhepausen wiederherzustellen, wobei sie am meist steilen unteren Ende des Schuttes angreifen können. Bei dieser Normalisierungsarbeit sind teilweise wiederum die Voraussetzungen gegeben, die für das Entstehen von späten Lahars günstig sind.

Die Lahargefahr erscheint unter diesem Gesichtspunkt nur als Stadium beim Uebergang von der vulkanischen zur fluviatilen Phase. Die stetige Verän-

derung der Flussprofile erweist sich als tiefere Ursache für die Gefährlichkeit tropischer Vulkane.

Zyklus der Flussgestalt.

Bei der Abfuhr der Asche entstehen frühe Lahars, bei der Ausschaltung der Ladoefelder späte Lahars, die in Laharfelder aufgefangen werden können. Bei der Ausschaltung der Laharfelder entstehen Sandbandjirs, die Sandabsätze im Unterlauf verursachen. Praktisch wandert also der Ort des Sandniederschlage langsam nach unten. Man kann je nach der vorherrschenden Erscheinung und dem Platz der grössten Niederschläge Stadien unterscheiden: Eruptionsstadium, Laharstadium, Sandwasserstadium, Klarwasserstadium, die zeitlich natürlich nicht scharf gegeneinander abgegrenzt sind. Die Flussgestalt macht Zyklen durch, die jeweils von einem Ausbruch eingeleitet werden. Im Ablauf des Zyklus nimmt die Heftigkeit der Erscheinungen ab, die Dauer der Stadien zu. Damit wächst die Möglichkeit menschlichen Eingreifens.

Ein derartiger Zyklus lässt sich schematisch so darstellen:

Phase:	vulkanisch				→ fluviatil
Wirkung:	aufbauend				→ abtragend
Stadium, vorherrschende Erscheinung:	Eruption	frühe Lahar	späte Lahar	Sandwasser	Klarwasser
Bauelement:	Lavadom Aschdecke Ladoefeld Lapillibank	Laharfeld		Sandbank	sandfreies Flussbett
Ort des Niederschlage:	Oberlauf-Mittellauf	Mittel/Unterlauf		Unterlauf	
Dauer:	kurzfristig	wenige Jahre		einige Jahre	fortwährend
menschliche Stellungnahme:	ausweichen		beeinflussen		leiten

Irgendwelche Schutzmassnahmen zu treffen, ist nur dann mit Erfolg möglich, wenn man die kommende Entwicklung beurteilen kann. Dies jedoch setzt eine genaue Kenntnis der für den Fluss charakteristischen Entwicklung und des Augenblickszustandes im Ablauf des Zyklus voraus. Den Ablauf der

Entwicklung im Einzelnen zu verfolgen, daraus eine Verfeinerung der allgemeinen Grundregeln abzuleiten und die Mittel zur Abwehr von Unheil zu suchen, sei die Aufgabe der nächsten Kapitel.

(Wordt vervolgd).

Astridiet, een chromrijk gesteente van Nieuw-Guinea

door

ir. H. W. V. WILLEMS,

Conservator aan het Geologisch Instituut der Universiteit van Amsterdam.

Op het emplacement op een afstand van 100 m van den steiger te Manokwari werd door dr. ir. J. K. van Gelder omstreeks 1910, een los blok gevonden, in hoofdzaak gevormd door een zeer fraai

donkergroen, met lichte aders doortrokken gesteente; een kleiner deel van het blok bestaat uit een wit of zwak groen getint, aplietachtig materiaal. De oorspronkelijke vindplaats is niet bekend, vermoedelijk

werd het met booten door de bevolking aangevoerd om er steenen bijlen van te maken en zou het van de Humboldtsbaai (Cycloopeberge) afkomstig kunnen zijn.

Het donkergroene, zeer vaste gesteente, hetwelk verreweg het grootste gedeelte van het blok vormt, bestaat uit een dofgroene massa, waarin tal van lichtgroene tot soms bijna witte aders, en een zeer fijnkorrelig, bijna zwart mineraal, hetwelk macroscopisch niet nader is te bepalen. Door de lichter gekleurde aders, en doordat het fijnkristallijne zwarte mineraal op onregelmatige wijze door het gesteente is verdeeld, is de kleur van het gesteente als geheel wisselend, varieerend van lichtgroen bijna wit, tot donker zwartgroen. Een deel van het blok vertoont een donkerder gekleurde, zwartgroene tot bijna zwarte randzone; macroscopisch is, afgezien van de kleur, deze donkere randzone echter niet verschillend van de lichter gekleurde hoofdmassa van het gesteente.

Onder het microscoop blijkt het groene gesteente voor het overgrootste deel te bestaan uit een dicht, vezelig mineraal, min of meer intensief groen, alsmede uit bruinen picotiet, blijkbaar secundair, uit kwarts, opaal en op limoniet gelijkende aggregaten. De structuur van het gesteente vertoont een zóó sterke overeenkomst met die, welke ontstaat bij de omzetting van olivijn in serpentijn, dat men, ondanks het feit dat er geen olivijnresten in zijn gevonden en niettegenstaande het vezelige mineraal, ofschoon het veel op serpentijn lijkt, toch blijkens de chemische samenstelling van het gesteente geen serpentijn zijn kan, niettemin tot de opvatting zal neigen, dat het oorspronkelijke gesteente geheel of voor een groot gedeelte uit olivijn moet hebben bestaan. Deze meening wordt nog versterkt, doordat hier en daar het vezelige groene mineraal, tezamen met den picotiet, als het ware pseudomorphosen naar olivijn vormt.

Dit lichtgroene, zeer fijnvezelige mineraal, welks vezels steeds ongeveer loodrecht staan op barsten of op de omtrekken van den picotiet, vertoont een matige lichtbreking en een lage dubbelbreking. De vezeltjes zijn zoo klein, vaak dooreengegroeid en gebogen, dat het niet mogelijk bleek met zekerheid den uitdoovingshoek te bepalen; in elk geval is deze zeer klein, hoogstens $7^\circ - 8^\circ$, terwijl steeds de vezelas bleek samen te vallen met α . Pleochroïsme is zeer duidelijk, met

// α geelbruin-groen
 $\perp$ α blauwgroen.

Het mineraal lijkt veel op een (Cr_2O_3 -rijken) *jadeiet*, en de chemische samenstelling van het gesteente, als hieronder aangegeven, wijst ook in die richting. De vergroeiing met picotiet, kwarts, opaal en op liconiet gelijkende aggregaten is echter zoo innig, dat het niet mogelijk zal zijn het mineraal zuiver af te zonderen om het te analyseeren en nader te bepalen.

De analyse van het gesteente leverde het volgende in percenten:

SiO_2	48,10	$\text{H}_2\text{O} +$	1,28
Al_2O_3	5,25	$\text{H}_2\text{O} -$	0,28
Fe_2O_3	6,48	CO_2	0,08
FeO	0,80	TiO_2	0,08
MnO	0,13	ZrO_2	geen
NiO	geen	$\text{CeO}_2, \text{YO}_2$	geen
CoO	geen	P_2O_5	geen
MgO	6,63	Cr_2O_3	19,20
CaO	0,23	V_2O_5	geen
SrO	geen	S	0,01
BaO	0,06	SO_3	geen
Na_2O	10,86	Cu	geen
K_2O	0,30		
Li_2O	geen		99,77
Rb_2O	geen	Anal. H. W. V. Willems.	
Cs_2O	geen	Spec. gew. 3,351 bij $23,7^\circ \text{C}$.	

De picotiet is blijkbaar geen primair bestanddeel van dit gesteente, aangezien dit mineraal in het geheel geen eigen vorm bezit, maar ruimten opvult in het groene vezelige mineraal en in de barsten, welke dit omzoomen. Het mineraal is geelbruin doorzichtig, heeft een hooge lichtbreking en is isotroop. Hier en daar is de picotiet omgezet in op limoniet gelijkende aggregaten. De door het gesteente loopende lichtgroene aders bestaan, behalve uit het groene vezelige mineraal, uit fijnkorreligen kwarts, met hier en daar een weinig isotrope opaal.

De hier en daar voorkomende, reeds vermelde donkere randzone is het gevolg daarvan, dat ter plaatse in het gesteente alle picotiet geheel is omgezet in de reeds vermelde, op limoniet gelijkende aggregaten.

Voor het overige bestaat het beschreven handstuk uit een wit, eenigszins groenig aplietachtig gesteente, waarin macroscopisch geen afzonderlijke mineralen zijn te herkennen. Microscopisch blijken zoowel de mineralogische samenstelling als de structuur eenigermate van die van een echten apliet te verschillen; het gesteente bestaat namelijk uit een innig vergroeid, fijnkorrelig aggregaat voornamelijk van kwarts, zuren plagioklaas (oligoklaas), en orthoklaas.

Samenvatting.

Beschreven wordt een fraai donkergroen gekleurd gesteente van Nieuw-Guinea, hetwelk grootendeels bestaat uit een op jadeiet gelijkend, Cr_2O_3 -rijk mineraal en picotiet. Bij het polijsten verkrijgt het gesteente een hoogen glans en vertoont een fraaie donkergroene kleur, met lichter groen tot bijna wit gekleurde aders, welke het geheele gesteente doortrekken. Als siersteen (halfedelsteen) zal dit gesteente ongetwijfeld veel aantrekkelijks bezitten, en als zoodanig wordt voor dit gesteente voorgesteld de naam *astridiet*, ter eere van H. M. Koningin Astrid van België, die eenige jaren geleden Z. M. Koning Leopold op diens reis door onzen archipel vergezellende ook Nieuw-Guinea aandeed, en die later, tijdens Haar bezoek aan het Geologisch Laboratorium te Bandoeng op 21 Mei 1932, eene bijzondere belangstelling voor dit fraaie gesteente aan den dag legde.

ECONOMISCHE MEDEDEELINGEN.**Productiecijfers van Aardolie in kg tonnen.**

	1934		1933	
	Mei	t/m Mei	Mei	t/m Mei
Java en Madoera.	44 139,7	215 164,7	42 363,4	198 920,3
Noord-Sumatra..	90 090,6	404 123,5	61 455,7	300 340,1
Palembang	190 194,5	916 721,8	171 310,7	810 667,5
Djambi	25 829,4	122 454,1	20 515,2	100 044,4
Oost-Borneo.....	94 782,9	460 229,7	99 275,4	508 987,6
Tarakan.....	66 828,9	332 541,6	80 872,6	356 676,3
Boenjoe.....	821,8	4 131,3	539,2	5 037,4
Ceram.....	3 159,-	15 125,-	3 270,1	16 773,6
Nederlandsch-Indië.....	515 846,8	2470491,7	479 602,3	2 297 447,2

Productiecijfers van Steenkolen in kg tonnen.

	1934		1933	
	Mei	t/m Mei	Mei	t/m Mei
Gouvernements-mijnen	52 918,-	253 991,-	62 260,-	268 873,-
Steenkolen Mij. „Parapattan”..	19 040,-	96 355,-	19 769,3	104 404,9
Oost Borneo Maatschappij.	9 042,-	43 977,-	7 749,-	39 645,-

Mijnbouw Maatschappij „Redjang Lebong”.

Gedurende de maand Mei 1934 werden:

8 010 tons erts vermalen van { 5,01 dwts. goud per ton.
gemiddeld { 28,9 „ zilver „ „
1 870 „ sands en
6 100 „ slimes behandeld.

Geëxtraheerd werden:

door amalg. ca. — ozs. goud en ca. — ozs. zilver
uit de sands „ 501 „ „ „ „ 2 014 „ „
„ „ slimes „ 1 354 „ „ „ „ 8 060 „ „

Totaal ca. 1 855 ozs. goud en ca. 10 074 ozs. zilver

ter gezamenlijke waarde van ± f 100 000,—

Bovenstaande taxatie is gebaseerd op een zilverprijs van f 0,60 per ons.

De bedrijfskosten over Mei j.l. bedroegen ± f 71 000,— terwijl voor prospecteeren werd uitgegeven ± „ 6 000,—

De in het loopende jaar gerealiseerde producties leverden een surplus op van ± f 16 000,— boven de vroeger gepubliceerde taxaties.

Mijnbouw Maatschappij „Simau”.

Gedurende de maand Mei 1934 werden:

7 629 tons erts vermalen van { 10,6 dwts. goud per ton.
gemiddeld { 151,- „ zilver „ „
2 720 „ sands
4 618 „ slimes en
282 „ concentraten behandeld.

Geëxtraheerd werden:

uit de sands ca. 434 ozs. goud en ca. 7 904 ozs. zilver
„ „ slimes „ 1 134 „ „ „ „ 23 864 „ „
„ „ concentraten „ 2 337 „ „ „ „ 20 553 „ „

Totaal ca. 3 905 ozs. goud en ca. 52 321 ozs. zilver

ter gezamenlijke waarde van..... ± f 229 000,—

Bovenstaande taxatie is gebaseerd op een zilverprijs van f 0,60 per ons.

De bedrijfskosten over Mei j.l. bedroegen ± f 125 000,— terwijl voor montage werd uitgegeven ... ± „ 1 000,— en voor prospecteeren der Nieuwe Ver-
gunningen ± „ 3 000,—

De in het loopende jaar gerealiseerde producties leverden een surplus op van ± f 37 000,— boven de vroeger gepubliceerde taxaties.

PERSONALIA.

Ir. H. J. van Lohuizen, benoemd tot Hoofd van den Dienst van den Mijnbouw, met bepaling dat hij tevens belast blijft met de functie van hoofd der Bedrijfsafdeeling bij dien Dienst.

A. F. W. Freusberg, werkzaam gesteld bij den Dienst van den Mijnbouw, teneinde te worden belast met werkzaamheden van scheikundig ingenieur, laatstelijk ambtenaar op wachtgeld, tevoren ambtenaar ter beschikking van het Hoofd v. d. Dienst van den Mijnbouw, belast met werkzaamheden van scheikundig ingenieur 1e klasse.

Ir. A. Ch. D. Bothé, benoemd tot ingenieur bij den Dienst van den Mijnbouw, ambtenaar van buitenlandsch verlof teruggekeerd, laatstelijk ingenieur 1e kl. bij dien dienst.

Dr. Ch. E. A. Harloff, benoemd tot geoloog bij den Dienst van den Mijnbouw, ambtenaar van buitenlandsch verlof teruggekeerd, laatstelijk geoloog 2e klasse bij dien dienst.

IN NEDERLANDSCH-INDIË

V. VERKEERSWEZEN.

INHOUD: Het dynamometerrijtuig der S. S., door ir. P. de Gruyter.

Het dynamometerrijtuig der S. S.

door

ir. P. DE GRUYTER, w.i.

Hoofd van het Proefbureau voor Rollend Materieel der Staatsspoorwegen.

Voordracht, den 17en April 1934 gehouden voor den Kring Bandoeng van het K. I. v. I., ter inleiding van een meetrit op den 18en April.

Een overzicht wordt gegeven van de, in het meetrijtuig aanwezige instrumenten en de verschillende, verplaatsbare meettoestellen, waarover het proefbureau beschikt. Tevens is aangestipt voor welk soort onderzoekingen zij dienstig zijn. Tenslotte wordt een meer gedetailleerde beschrijving gegeven van den Amsler-dynamometer en de, op de meettafel gemonteerde Amsler-bolinstrumenten.

De constructie van het Indische meetrijtuig vertoont veel overeenkomst met de normale, vierassige S. S.-rijtuigen van 14 m lengte. Alleen werd het onderstel extra zwaar uitgevoerd om ook bij de grootste trek- en stootwerkingen de, voor de krachtmetingen hinderlijke vormveranderingen praktisch uit te sluiten.

Aan de zgn. dynamometerzijde of voorzijde van het rijtuig bevindt zich de meetkamer met uitkijkpost. Deze ruimte beslaat meer dan de helft van het grondvlak. Hierachter is een rustkamer, een werkkamer en een W. C. met waschtafel en douche gelegen. Het rijtuig bezit voor het meerendeel de normale S. S.-vensters, met uitzondering van een zestal hoog uitgevoerde ramen om de meettafel, welke een sterkere belichting van het instrumentarium beoogen (zie *fig. 1*).

Aanwezig is een elektrische, 24-Volts verlichtingsinstallatie, systeem Brown Boveri, met een totale capaciteit der accubatterijen van 300 Ampère-uren. Zij dient tevens voor de stroomlevering aan enkele, tot de apparatuur behorende motoren en contactinrichtingen, en verder bij cilinderindiceringen van de locomotief voor elektrische afstandsbediening van de stoomindicatoren.

Tot de uitrusting behoort nog een normaal S. S.-model vacuumremwerk. Alleen is het tweede wielstel van het voorste draaistel ongeremd gelaten, om de slijtage van de loopvlakken dezer wielbanden zoo klein mogelijk te houden. Dit is van belang, daar van de astap van dit wielstel de hoofdaandrijving van de meettafel afgeleid wordt. Op den linkerdraagpot van deze as is daartoe een raderkast met ontkoppelinrichting aangebracht. De asdraaiing wordt verder

naar de meettafel overgebracht via een, in alle richtingen buigzame koppeling. Deze werd bij het S. S.-rijtuig voor het eerst — in afwijking van de, tot toen steeds door Amsler toegepaste Cardan-koppeling — als gummimembraankoppeling uitgevoerd. Van deze, in *fig. 6* weergegeven uitvoering, heeft men nooit eenig ongenoegen ondervonden. Een tusschengeschakelde, onder het meettafelblad gemonteerde, automatische omkeerbeweging met meenemer heeft ten doel om de draaiingsrichting van de, boven het tafelblad gelegen hoofdas van de meettafel steeds dezelfde te doen blijven, onafhankelijk van de rijrichting van het rijtuig.

De dynamometer met meettafel is geleverd door de firma Amsler uit Schaffhausen. Deze firma heeft reeds meerdere tientallen soortgelijke meetwagenuitrustingen gebouwd voor Europeesche, Russische en andere landen, o.m. nog niet lang geleden voor de Great Indian Peninsula Railway, terwijl sedert kort de Fransche spoorwegen over vier, zeer volledig door Amsler uitgeruste rijtuigen beschikken. Ook het kern-instrumentarium van den nieuwsten Franschen proefstand in Vitry-sur-Seine werd door Amsler geleverd.

Op de **meettafel** zijn de volgende registreerinrichtingen aanwezig (zie de *figuren 2 en 3*):

Groep 1 (op één ordinaat liggend).

1. De snelheid: 1 mm ord. = 1 of 2 km/h;
2. de positieve en negatieve traagheidskracht: 1 mm ord. = 1,2 of 5 kg/t;
3. de dynamometer-drukkraft: 1 mm ord. = 80, 120 of 240 kg;

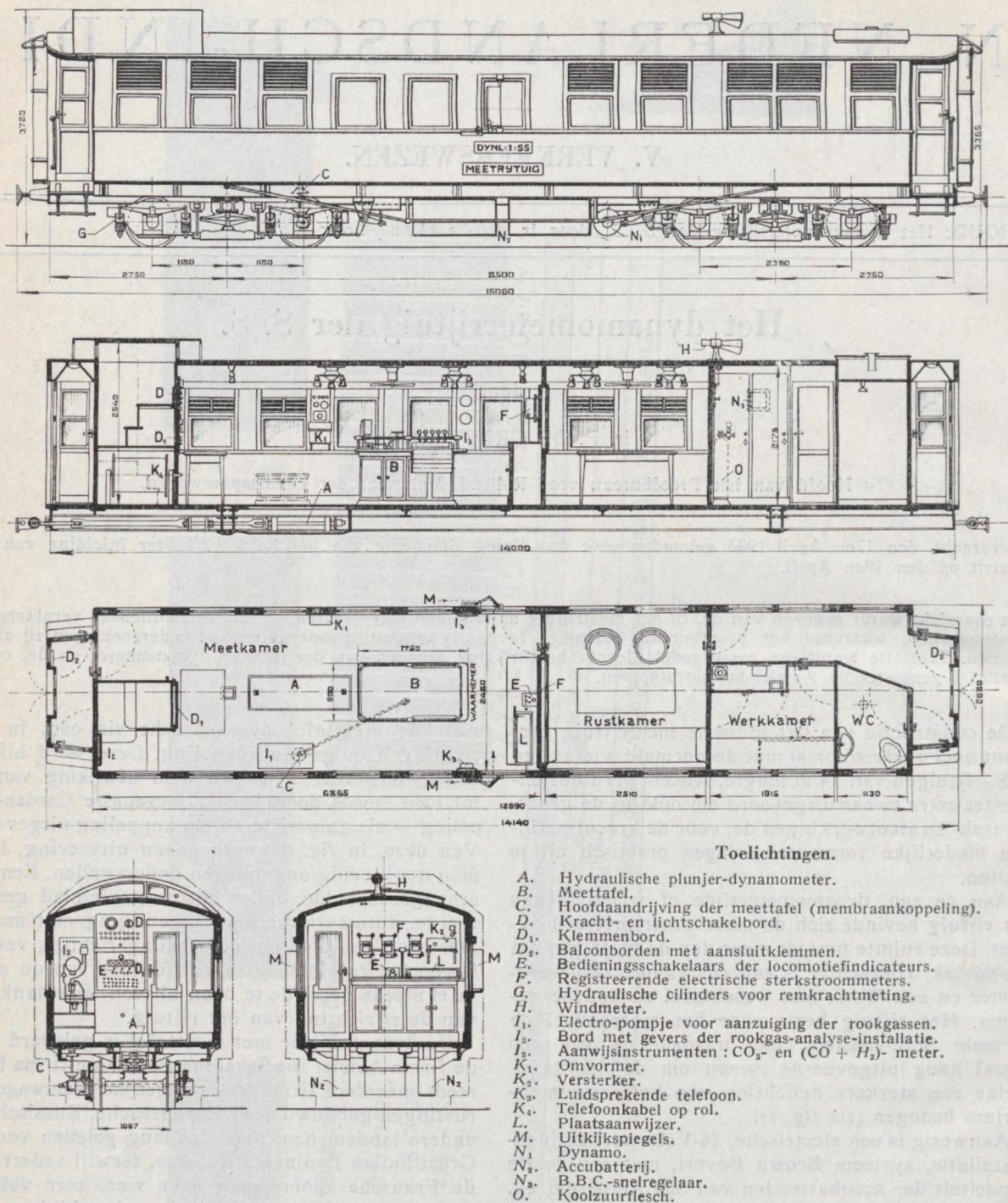


Fig. 1. Overzicht van het S. S.-meetrijtuig. Schaal 1 : 100.

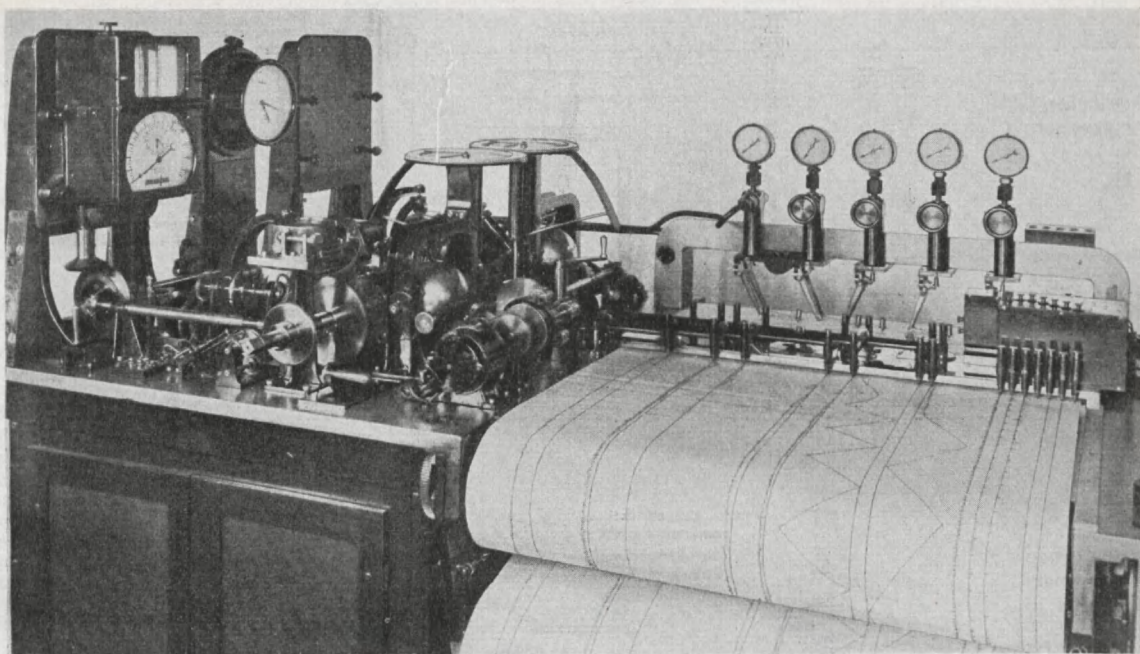


Fig. 2 Meettafel. Aanzicht van links.

4. de dynamometer-trekkraft: 1 mm ord. = 80, 120 of 240 kg;
5. het dynamometer-vermogen: 1 mm ord. = 20, 30 of 60 pk;
6. de positieve en negatieve traagheidsarbeid: 1 mm ord. = 100 mkg/t;
7. de dynamometer-arbeid: 1 mm ord. = 8000, 12000 of 24000 mkg;
8. 2, 6 of 12 seconden-contact;
9. 1 minuten-contact;
10. kilometer- of hectometer-contact en bijzondere merken;
- 11 tot 14. beschikbare contactschrijvers;
- 01 tot 07. nullijnen.

Groep 2 (op één ordinaat liggend).

23. De tangentialaalkracht van de remblokken;
24. de radiaalkracht van de remblokken;
25. het vacuum in den remcilinder, bovenkamer;
26. het vacuum in den remcilinder benedenkamer;
27. het vacuum in de treinleiding;
28. 2, 6 of 12 seconden-contact (remtijd);
29. 5 meter-contact (remweg).

Groep 3 (op één ordinaat liggend).

- 31 — 36. Veerbewegingen van:
- 31 en 32. resp. de linker- en de rechterdraagveer van de voorste as;
- 33 en 34. resp. de linker- en de rechterdraagveer van de achterste as;
- 35 en 36. resp. de linker- en de rechterwiegeveer;
37. de wiegschommeling;
38. de beweging van de dwarsslinger.

De schrijfpennen van de eerste groep zijn gelegen en bewegen zich in de langs-hartlijn van het 1750 mm lange en 900 mm breede meettafelblad. De registreering van de verschillende meetwaarden geschiedt op een 650 mm breede papierstrook. De voeding van deze is omschakelbaar, óf te koppelen met de hoofdaandrijving vanuit het ongeremde wielstel, óf met een, onder het tafelblad gemonteerden electromotor met centrifugaalreguleur, wat dus beteekent, dat de papierbeweging kan zijn óf evenredig met den afgelegden weg, óf constant d.i. evenredig met den tijd. Met behulp van een wisselraderkast zijn in beide gevallen drie snelheden bereikbaar, n.l. van 20, 100 en 600 mm per km en van 1,5 en 30 mm per sec.

De nullijnen voor de registreerinrichtingen 1 — 7 worden met andere kleur inkt door een stel, vast op een lineaal aangebrachte pennen geschreven. De merkpennen 8 — 14 zijn electromagnetische contactschrijvers; de automatische contactgevers der drie eerste zijn op het meettafelblad gemonteerd, de vier andere merkschrijvers zijn op willekeurige, b.v. op de locomotief geplaatste contactinrichtingen aan te sluiten.

De groote krachtcilinder van den dynamometer is onder een luik in den vloer, vlak vóór de meettafel gemonteerd. De beide meetcilindertjes met differentiaalzuigers voor de afzonderlijke registreering der trek- en drukkracht (4 en 3), met de verdeelkraan, waarmede de drie meetbereiken ingesteld kunnen worden, zijn beneden tegen het tafelblad aangebracht. Boven het voorste gedeelte van dit blad zijn de vier Amsler-bolinstrumenten opgesteld, t.w. de snelheids- (1), vermogen- (5), traagheidsarbeids- (6) en trekhaak-arbeidsmeter (7).

Als eigenlijk meetwerktuig voor den traagheidsarbeid en de traagheidskracht (2) wordt een, onder het tafelblad, in langsrichting van het rijtuig op-

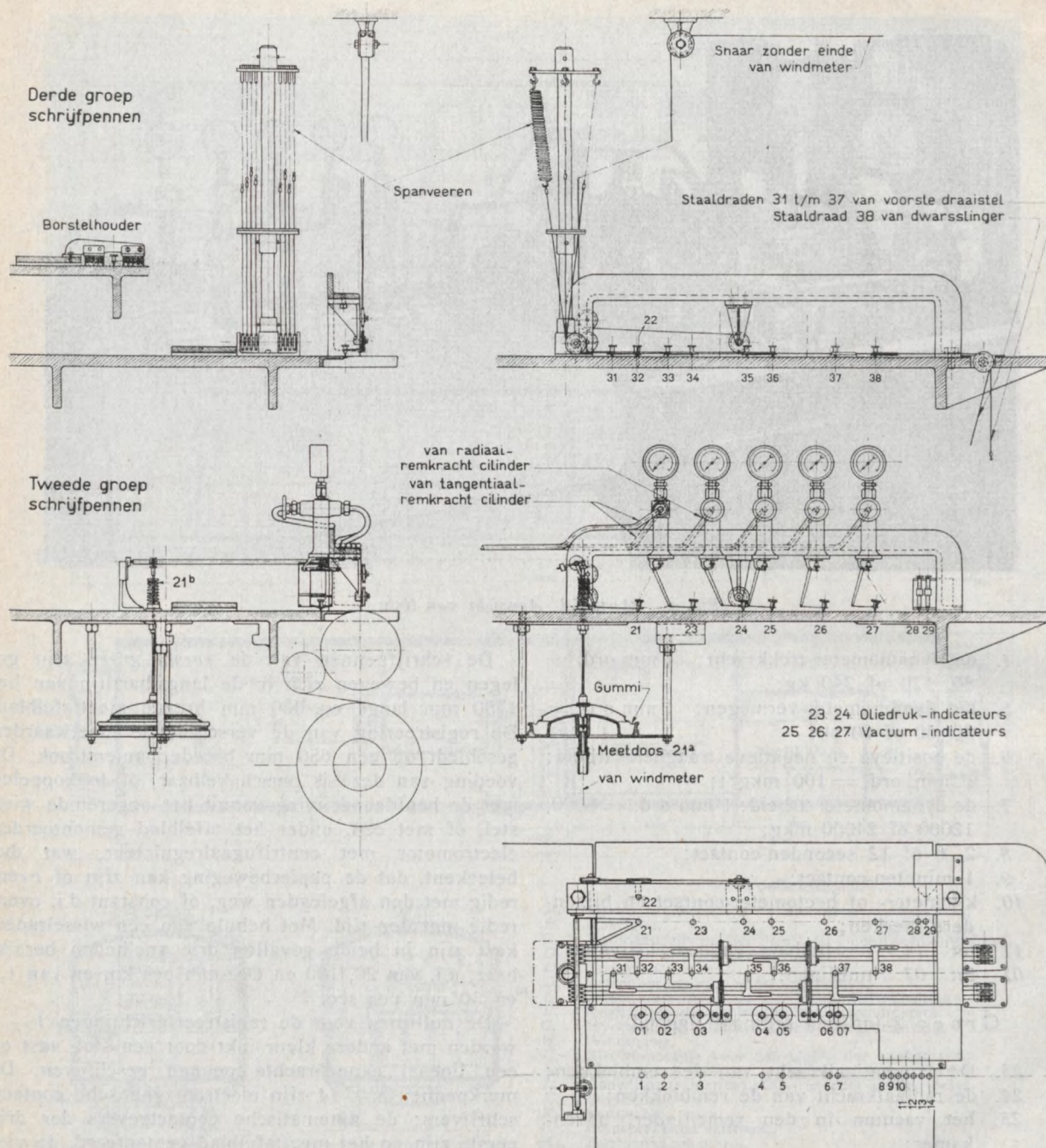


Fig. 3. Meettafel. Overzicht der schrijfinrichtingen. Schaal 1 : 12,5.

gehangen slinger gebruikt. Bij eenparige beweging van den trein op een horizontale baan zal de slinger verticaal t.o.v. het tafelblad hangen. Bij treinversnelling of op een klimming zal de slinger massa achterblijven, resp. bij vertraging of op een daling naar voren uitslaan. Met dezen ergometer is men in staat om den optredenden traagheidsarbeid en hellings- of zwaartekrachtsarbeid, resp. traagheidskracht en baanhelling te registreeren. Opgeteekend worden zoowel positieve, als negatieve waarden in mkg en kg per ton treingewicht.

Met uitzondering van de arbeidslijnen zijn de geschreven meetkrommen onmiddellijk volgens bekende schalen van de strook op te meten. De beide arbeidsmeters teekenen de steeds aangroeiende waar-

den der ontwikkelde meter-kilogrammen op. Tusschen deze meters en hun schrijfpennbeweging is een automatisch omkeerwerk ingeschakeld, waardoor de bewegingsrichting der pen regelmatig omgekeerd wordt, wanneer een zekere papierbreedte beschreven is. De doorloopen arbeids-diagrammen verschijnen ten gevolge hiervan als zig-zag-lijnen op de strook. De totaal, over een bepaald weggedeelte van den proefrit gepresterde arbeid, wordt gevonden door optelling van de, over het beschouwde baangedeelte door de schrijfpennen in op- en neergaande richting afgelegde afstanden.

De eerste groep van meetinstrumenten wordt in het bijzonder bij locomotiefonderzoekingen mobiel gemaakt. Het rijtuig is hierbij tusschen de locomotief

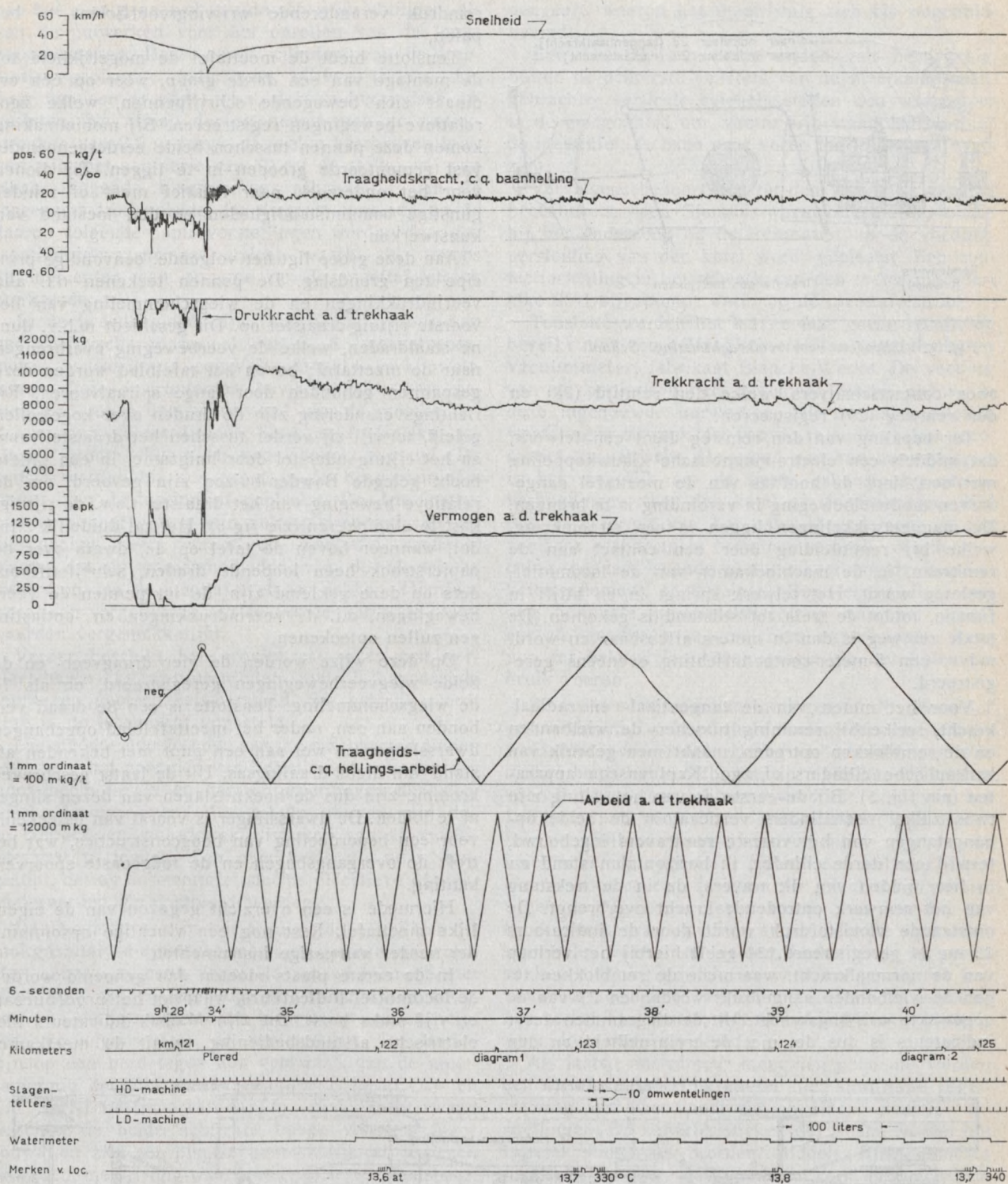


Fig. 4. Registrering van een locomotiefbeproeving. Schaal 1 : 3.

en den trein geplaatst en wel met den dynamometer gekoppeld aan den tenderhaak van de machine. De meters leveren dus de waarden op van de, effectief door de locomotief gepresteerde trekkracht, vermogen en arbeid aan den trekhaak. Het meetrijtuig maakt deel uit van den aangehangen trein. In fig. 4 is een gedeelte van zoodanig meetresultaat gereproduceerd.

Verder zijn boven de papierstrook, uiterst rechts, een vijftal indicateurs gemonteerd, welke dienen

voor rembeproevingen. De schrijfpennen van deze tweede groep van instrumenten bewegen zich weer op één ordinaat. Achtereenvolgens zijn aanwezig twee meters voor het hydraulisch opnemen, resp. van de tangentiaal- (23) en radiaalkracht (24) van het remblok tegen den wielband, en een drietal vacuummeters, resp. aangesloten op de boven- (25) en benedenkamer (26) van den remcilinder en de laatste op de treinleiding (27). Tevens liggen in deze groep nog

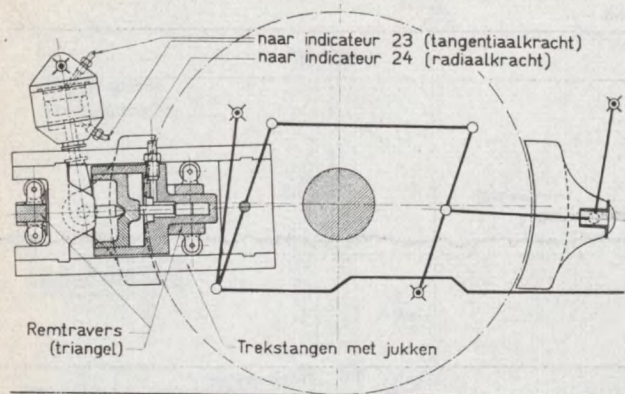


Fig. 5. Cilinders voor remkrachtmeting. Schaaf 1 : 15.

twee contactschrijvers, welke den remtijd (28) en den remweg (29) registreeren.

Ter bepaling van den remweg dient een telwerk, dat middels een electro-magnetische klauwkoppeling met een, door de hoofdas van de meettafel aangedreven tandwielbeweging in verbinding is te brengen. De magneetwikkelingen liggen in een stroomkring, welke bij reminleiding door een contact aan de remkraan, in de machinekamer van de locomotief, gesloten wordt. Het telwerk springt in en blijft in functie, totdat de trein tot stilstand is gekomen. De totale remweg is dan in meters afleesbaar en wordt m.b.v. een 5-meter-contactinrichting eveneens geregistreerd.

Voor het meten van de tangential- en radiaal-kracht, welke bij remming tusschen de wielbanden en de remblokken optreden, maakt men gebruik van hydraulische cilinders of zgn. Kapteynsche apparaten (zie fig. 5). Bij de eerste as van het rijtuig zijn twee zulke meetcilinders verticaal in de beide ophangstangen van het voorste remtravers ingebouwd, terwijl een derde cilinder, in horizontalen stand en in het midden van dit travers, de in de trekstang van het remwerk optredende kracht overbrengt. De ontstaande vloeistofdruk wordt door de indicateurs 23 en 24 geregistreerd. 24 geeft hierbij het verloop van de normaalkracht, waarmede de remblokken tegen de wielbanden aangedrukt worden en 23 van de opgewekte wrijvingskracht. Uit de diagrammen dezer indicateurs is dus de, met de treinsnelheid en den

remdruk veranderende wrijvingscoëfficiënt te bepalen.

Tenslotte biedt de meettafel de mogelijkheid tot de montage van een *derde groep*, weer op één ordinaat zich bewegende schrijfpennen, welke zgn. relatieve bewegingen registreeren. Bij mobielmaking komen deze pennen tusschen beide eerdergenoemde, vast gemonteerde groepen in te liggen. Zij dienen voor het onderzoek naar relatief meer of minder gunstige baanomstandigheden en den toestand van kunstwerken.

Aan deze groep ligt het volgende, eenvoudige principe ten grondslag. De pennen tekenen n.l. alle veerindrukkingen en de wiegenschommeling van het voorste rijtuig-draaistel op. Dit geschiedt m.b.v. dunne staaldraden, welke de veerbeweging overbrengen naar de meettafel; boven het tafelblad worden deze gespannen gehouden door lange spiraalveeren. Bij richtingsverandering zijn de draden over kogelrollen geleid, terwijl zij verder tusschen het draaistelframe en het rijtuigonderstel door buigzame, in een groote bocht gelegde Bowden-buizen zijn gevoerd, om de relatieve beweging van het draaistel t.o.v. de rijtuigkast te elimineeren (zie fig 6). Het zal duidelijk zijn, dat, wanneer boven de tafel op de, dwars over de papierstrook heen loopende draden, schrijfstifthouders op deze geklemd zijn, de inktpenen de veerbewegingen, d.i. de veerindrukkingen en -ontlastingen zullen opteekenen.

Op deze wijze worden de vier draagveer- en de beide wiegveerbewegingen geregistreerd, en als 7e de wiegenschommeling. Tenslotte is een 8e draad verbonden aan een, onder het meettafelblad opgehangen dwarsslinger en wel aan een punt met bekenden afstand van diens draaiingsas. Uit de laatst geschreven kromme zijn dus de hoekuitslagen van dezen slinger af te leiden. De dwarsslinger is vooral van beteekenis voor een beoordeeling van boogconstructies, wat betreft de overgangsbogen en de toegepaste spoorverkanting.

Hiermede is een overzicht gegeven van de eigenlijke meettafel. Rest nog een vluchtige opsomming der verder aanwezige instrumenten.

In de eerste plaats moeten dan genoemd worden de **locomotief-indicateurs**, waarvan het proefbureau er vijf stuks bezit. Dit zijn Maihak-indicateurs met electrische afstandsbediening vanuit de meetkamer

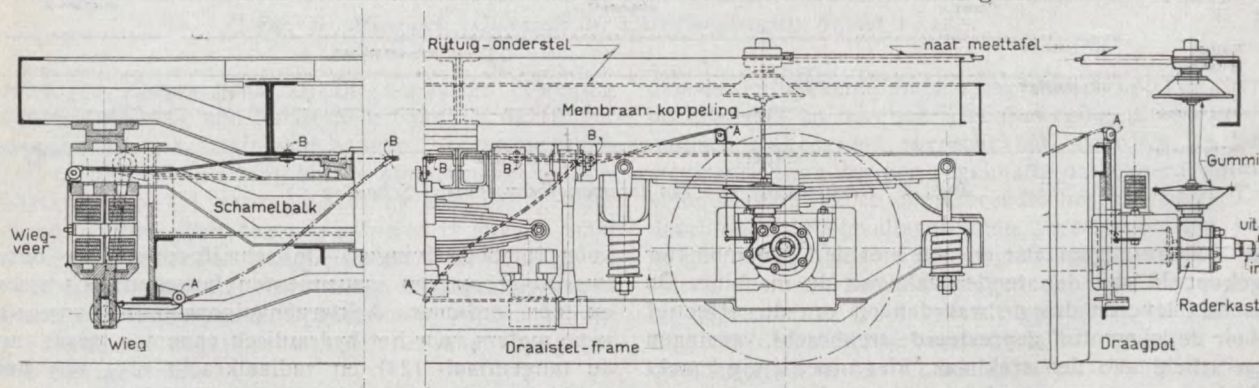


Fig. 6. Hoofdaandrijving voor de meettafel en meetplaatsen der relatieve bewegingen. Schaaf 1 : 25.

- A. Rollen aan draaistelframe bevestigd.
- B. Rollen aan rijtuigonderstel bevestigd.

van het rijtuig, zoowel van de schrijfinrichtingen, als van de palwerken voor het oprollen van de lange papierstrooken. Deze, op de cilinders van de locomotief geplaatste indicateurs blijven tijdens den duur van een proefrit m.b.v. deksels hermetisch afgesloten. Na afloop der rit neemt men de papierstrooken van 2,5 m lengte af, welke beschreven kunnen zijn met een serie van 30 tot 40 stuks, vrij van elkaar liggende diagrammen, afhankelijk van de toegepaste trommelslag. De diagram-opnamen en de daarop volgende papiervstellingen werden door den meetrijtuig-waarnemer verricht, waarbij hij tevens de momenten van opname op de meettafelstrook markeerde.

In de tweede plaats zijn voor het onderzoek van het elektrische materieel der S. S. **sterkstroom-meters** aanwezig, n.l. een Volt-, Ampère- en kilowattmeter. Deze instrumenten bevinden zich vast gemonteerd tegen den achterwand van de meetkamer. Zij werden geleverd door Siemens & Halske, inclusief groote shunts en voorschakelweerstand. De laatste worden bij een proef in de hoogspanningsruimte van de locomotief geplaatst. De drie instrumenten in het rijtuig zijn zelfregistrerend; de papiervoeding heeft vanuit de meettafel zoodanig plaats, dat de papiersnelheden van de elektrische meters en van de meettafel elkaar dekken. Hierdoor wordt een vergelijking van de overeenkomstige meetwaarden vergemakkelijkt.

Verder beschikt het proefbureau over een verplaatsbaren kilowatt-urenteller met bijbehorende shunts en voorschakelweerstand. Bij gebruik wordt deze in de locomotief opgesteld.

Laatstgenoemde groepen van meet-apparaten dienen resp. voor het opnemen van het cilindervermogen der stoomlocomotieven en het motorvermogen der elektrische locomotieven. Met behulp hiervan zijn dus de cilinder- en motorkarakteristieken van de machines vast te leggen. Ten overvloedige zij t.d.p. aangestipt, dat op de meettafel slechts effectieve of trekhaakwaarden geregistreerd worden.

Dan bevindt zich in het rijtuig nog een Siemens-**rookgasanalyse-apparaat** met aanwijsinstrumenten. Het, onder een bank opgesteld tandwielpompje met elektrische aandrijving zuigt de gassen uit de rookkast van de te onderzoeken locomotief aan en perst deze vervolgens door de zgn. gevers. De laatste zijn op een bord tegen den voorwand van de meetkamer, in de uitkijkpost, gemonteerd. De (CO_2)- en ($\text{CO} + \text{H}_2$)-meters werden in den rechterwand tusschen de beide achterste hooge vensters ingebouwd en zijn ter plaatse gemakkelijk af te lezen door den meetrijtuig-waarnemer. Een verplaatsbaar, op de persleiding der rookgassen aan te sluiten Orsat-apparaat dient voor controle der meteraanwijzingen.

Tevens is op de wandtafel, achter in de meetkamer, een plaatsaanwijzer aanwezig. Een, onder dit tafelblad gemonteerde, horizontale schroefstang wordt door de hoofdas van de meettafel aangedreven. Op de, zich langs deze stang bewegende moer is een wijzer bevestigd, welke over het lengteprofiel op kleinen schaal van het te berijden proeftraject heen glijdt en zoo steeds de juiste plaats van het baanvak

aangeeft, waarop het meetrijtuig zich elk oogenblik bevindt.

Een tweetal, aan beide zijden van het rijtuig, buiten de achterste vensters van de meetkamer aangebrachte, verticale spiegels stellen den waarnemer in de gelegenheid om, vanuit zijn standplaats achter de meettafel, de baan naar voren toe te kunnen overzien.

Vervolgens behoort nog tot den inventaris van het proefbureau een Siemens-**warmwatermeter**, welke bij het onderzoek op de locomotief, in de voedingpersleiding van den ketel wordt geplaatst. Een contactinrichting in het telwerk van den meter markeert elke 25 l bijgepompt water op de meettafelstrook.

Tenslotte werden het laatste jaar goede resultaten bereikt met een zelfregistrerenden **tegendruk- en vacuummeter**, fabrikaat Blancke-Werke. De voeding van de papiertrommels geschiedt hierbij m.b.v. in deze ingebouwde uurwerken. Dit tweetal toestellen wordt tegen de rookkast van de te onderzoeken locomotief aangebracht. Op grond van hun aanwijzingen is het mogelijk om de beste exhaust-schoorsteenverhoudingen voor den ketel uit te probeeren. Met een verbetering van het exhaust-rendement is een voelbare besparing in het stoomverbruik van de machine, gepaard gaande met een verhooging van het ketelrendement, te bereiken. Deze eenvoudige, met een minimale personeelsbezetting van het proefbureau, goedkoop te verrichten experimenten kunnen tot belangrijke bezuinigingen in het kolenverbruik voeren.

De druk- en temperatuurmetingen op de locomotief geschieden m.b.v. de normale manometers en Siemens & Halske pyrometers. Ijking en controle van alle meters heeft het proefbureau in eigen handen, alleen voor buitengewone ijkingen wordt de hulp van het Laboratorium voor Materiaalonderzoek ingeroepen. De verschillende aanwijsinstrumenten zijn in de machinekamer opgesteld; tijdens een volledig experiment noteert een assistent ter plaatse op gezette tijden de afgelezen meetwaarden, waarvoor hij gebruik maakt van speciale staten. De te verstoken steenkolen voert men op den tender mede in goenizakken à 50 kg gewicht en voor het geval, dat bricketten als brandstof worden benut, telt de assistent het verbruikte aantal; het gemiddeld stukgewicht is weer door weging bekend.

Als laatste instrument moet nog genoemd worden een Cambridge-**accelerometer** met simultane registrering van twee loodrecht op elkaar staande versnellingen. De karakteristieken der uitslagen van het tweetal slingertjes worden middels fijne naaldjes ingekrast op een, door een uurwerk bewogen celluloid strookje. Het apparaat is electrisch op afstand bedienbaar. Dit gemakkelijk verplaatsbare toestel in doosvorm leent zich, behalve voor onderzoekingen naar het meer of minder rustig rijden van elk willekeurig voertuig, tevens voor beproevingen van de baan, incl. kunstwerken.

In het bovenstaande werd een zoo volledig mogelijk résumé gegeven van het instrumentarium, waarover het Indische proefbureau beschikt. Tot besluit zullen nog enkele der meest typische Amsler-toestellen meer in detail behandeld worden.

De dynamometer. — De firma Amsler koos voor den dynamometer op grond van haar groote ervaring met verschillende typen hydraulische meet-apparaten — vooral op het gebied van materiaalbeproevings-werktuigen — het hydraulische plunjersysteem.

Andere, niet hydraulische meetwagendynamometers met gec calibreerde blad- of spiraalveeren, o.m. in Engeland en Italië toegepast, hebben het bezwaar, dat zij regelmatig herijkt moeten worden.

Ook hydraulische trekkrachtmeters met membraandoos, o.m. in Duitsland, Rusland, momenteel Holland en algemeen in Amerika toegepast, vereischen een geregelde ijking, daar bij wegglekken van olie de variabele membraanspanning tot miswijzingen aanleiding kan geven.

De, in Indië opgedane ervaring met het, in het S. S.-rijtuig aanwezige plunjer-systeem is, dat dit praktisch geen contrôle noodig heeft. De, aan den

riaalonderzoek bleek deze veer van prima materiaal dan ook, na jarenlangen bedrijfsduur, een volkomen onveranderde karakteristiek behouden te hebben. Bij goede inspelning van de schrijfpennen, d.i. klemvrijen gang van de groote plunjers en de meetzuigertjes, kan men dus steeds verzekerd zijn van een grooten nauwkeurigheidsgraad der aanwijzingen.

De, onder een luik in den vloer, vlak vóór de meettafel gemonteerde dynamometer bestaat uit een grooten cilinder, voorzien van twee oliekamers met tusschengelegen scheidingswand (zie fig. 7a). Aan beide zijden diep ingedompeld, bevinden zich de plunjers voor meting, resp. van trek- en drukkracht. Zij zijn zoodanig passend geslepen, dat een praktisch zeer bevredigende afdichting tusschen plunjers en cilinder is bereikt bij te verwaarloozen wrijvingsweerstand. Een paar, tegen de cilindereinden aan-gebrachte, leeren manchetten beoogen alleen een be-

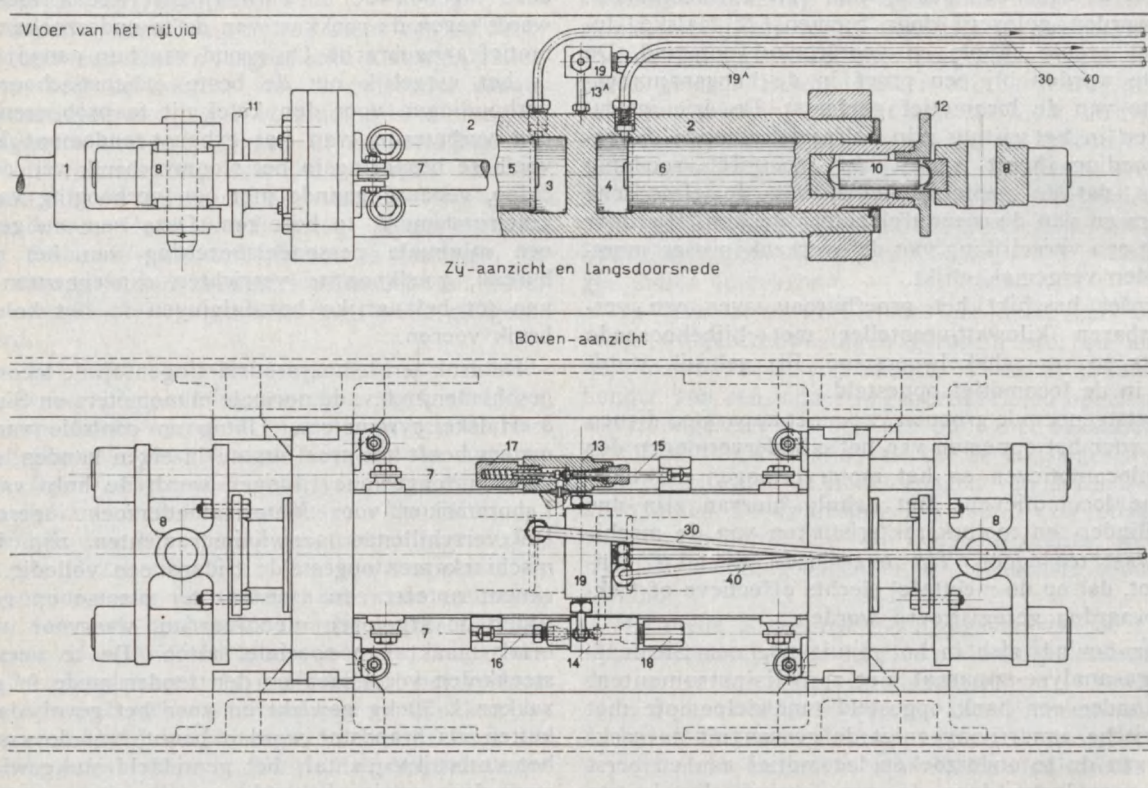


Fig. 7a. Dynamometer. Krachtcilinder. Schaal 1 : 12,5.

voorsten buffer van het rijtuig optredende trek- en drukkrachten worden hierbij overgebracht op groote plunjers, welke zich in een, met olie gevulden en in het rijtuigonderstel stevig gemonteerden cilinder kunnen bewegen. De, door deze plunjers op de vloeistof uitgeoefende druk plant zich door pijpleidingen voort op kleine, onder het meettafelblad aangebrachte meetzuigertjes. De beweging dezer zuigertjes, met daaraan verbonden schrijfpennen, is begrensd door een nauwkeurig gec calibreerde spiraalveer. De groote, op den eigenlijken krachtcilinder uitgeoefende belastingen worden langs dezen weg zoodanig verkleind op de meetveer overgebracht, dat deze belangrijk beneden haar elasticiteitsgrens belast blijft. Bij enkele herijkingen door het Laboratorium voor Mate-

scherming der loopvlakken tegen het indringen van stof.

De uitstekende einden van de, tegenover elkaar gelegen plunjers zijn door een om den cilinder heengrijpend raamwerk met elkaar verbonden. Hierdoor zijn beide plunjers gedwongen om zich gemeenschappelijk voor- of achteruit te bewegen. Genoemd raam is aan de voorzijde gekoppeld met het trek- en stootwerk van het rijtuig. Tusschen den buffer en den dynamometer is nog een normaal model bufferveering ingeschakeld. Alle stangen, inclusief het plunjerraam, zijn alzijdig door kogelrollen ondersteund om de wrijving van het geheele overbrengingssysteem zooveel mogelijk te beperken.

De beide oliekamers van den krachtcilinder zijn

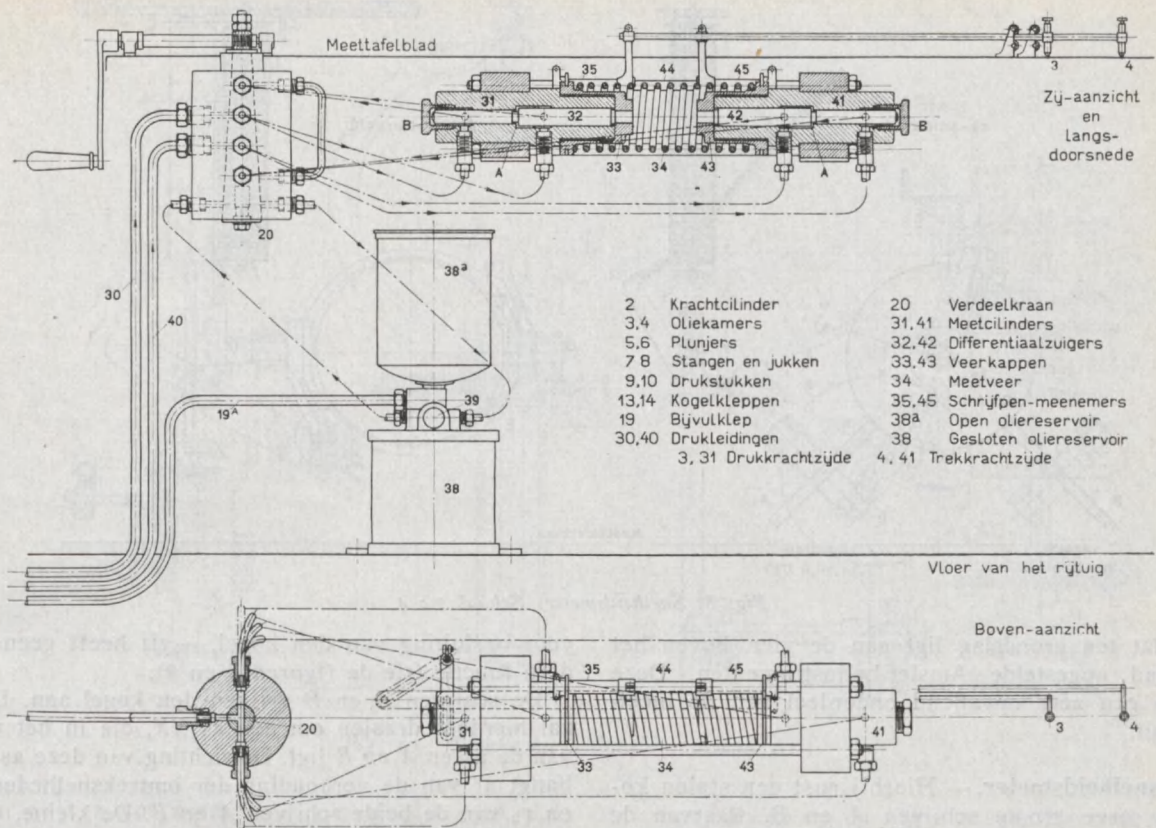


Fig. 7b. Dynamometer. Meetcilinders met verdeelkraan Schaal 1 : 12,5.

door een tweetal pijpen met een, onder tegen het meettafelblad opgehangen verdeelkraan verbonden (zie fig. 7b). Van deze kraan loopt een pijpennest naar de verschillende olieruimten achter de differentiaalzuigers van het tweetal meetcilindertjes, resp. voor trek- en drukkracht. Bij bepaalde standen van de verdeelkraan kan de vloeistofdruk van den dynamometer werkzaam zijn, resp. op $1/3$ of $2/3$ of het totale oppervlak van elk differentiaalzuigertje. Daar de meter ingericht is voor het opteekenen van een grootste kracht van 24 t, is men dus in staat om de registreerinrichting in te stellen op een meetbereik van resp. 24000, 12000 of 8000 kg.

De olieruimten van de meetcilinders, welke t.g.v. een zekeren stand van de verdeelkraan niet op den dynamometer aangesloten zijn, bevinden zich daarbij, via afzonderlijke pijpen en speciale kanaaltjes in de kraan, in verbinding met een open, onder de tafel opgesteld oliereservoir.

Tevens loopt van dit reservoir een derde olieleiding naar den eigenlijken dynamometer. Hierdoor kan olie, langs een centraal klepkastje en via één van twee aanwezige, zijdelingsche kanaaltjes met kogelklep, toestroomen naar die oliekamer van den krachtsilinder, waarin de plunjer zuigend werkzaam is. Een, aan het plunjerraam bevestigde drukstift zorgt ervoor, dat bij terugloopen van dezen plunjer genoemde kogelklep geopend blijft, totdat het geheel in den middenstand is teruggekomen, zoodat de aangezogen olie terug kan vloeien naar het open reservoir.

Het centraal, boven den dynamometer aangebrach-

te klepkastje dient om bij lekverliezen langs den, onder druk staanden plunjer, voor automatische bijvulling van de betreffende oliekamer zorg te dragen. Dit geschiedt bij wisseling der belasting, dus b.v. van trek- op drukkracht. Dit constructiedetail zij slechts aangestipt, doch zal ter bekorting niet beschreven worden. Alleen valt hierbij op te merken, dat zelfs gedurende de zwaarste meetritten dit lekverlies nooit zoodanig was, dat de functionneerende plunjer tegen haar aanslag opliep, ondanks aanhoudend opgetreden oliedruk tot ca. 100 at.

Een gesloten oliereservoir, dat met behulp van een, in het rijtuig aanwezige koolzuurflesch onder druk is te brengen, dient voor het vullen en eventueel bijvullen van alle olieruimten en -pijpen, bij buiten werking gestelden dynamometer. Dit bijpersen geschiedt bij een bepaalden stand van de groote verdeelkraan.

Op de meetcilindertjes terugkomende: deze zijn onder het meettafelblad tegenover elkaar opgehangen. Tusschen de, zich naar elkaar toebewegende differentiaalzuigertjes ligt de meetveer opgesloten binnen een tweetal, aan de zuigertjes bevestigde kappen. Treedt trekkkracht op, dan zal het achterste zuigertje werkzaam zijn en de veer naar voren indrukken; bij drukkracht grijpt de veerindrukking door het voorste zuigertje naar achteren plaats. De afzonderlijke, voor trek- en drukkrachtschrijving bestemde pennen zijn verbonden aan de kappen, resp. van het trekkkracht- en drukkrachtzuigertje; de meenemers bewegen zich in sleuven van het meettafelblad.

Tenslotte zal dan nog het principe behandeld wor-

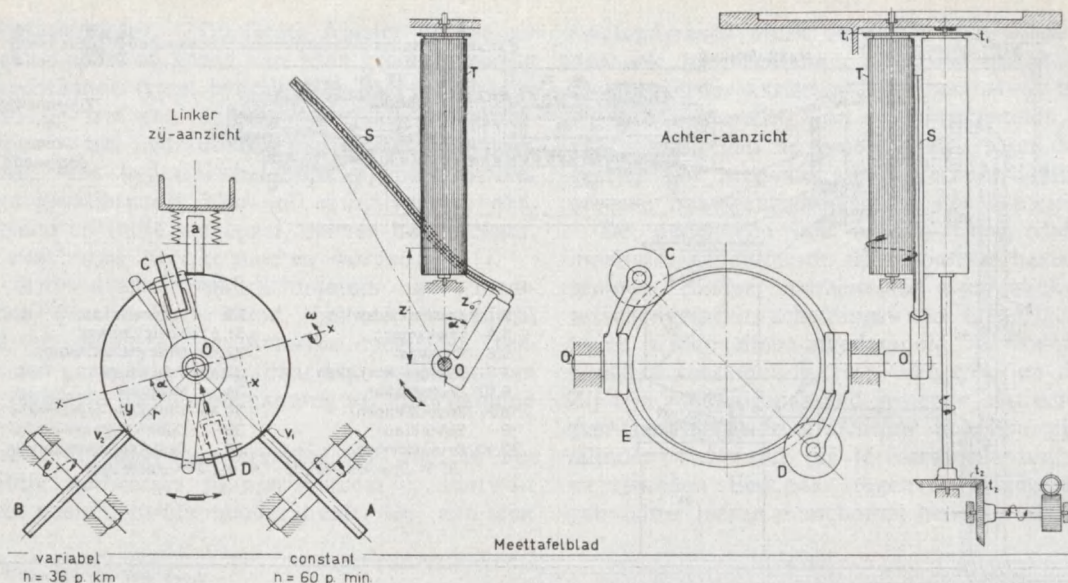


Fig. 8. Snelheidsmeter. Schaal 1 : 4.

den, dat ten grondslag ligt aan de vier, boven het tafelblad opgestelde Amsler-bolinstrumenten. Deze maken een zeer opvallend onderdeel van de meet-tafel uit.

De snelheidsmeter. — Hierbij rust een stalen kogel op twee groote schijven A en B, waarvan de assen — welke in het verticale langsvlak liggen, dat door het middelpunt van den bol gaat — loodrecht op elkaar staan. Zijdelings is de kogel opgesloten tusschen twee kleinere, diametraal tegenover elkaar liggende rollen C en D; deze zijn gemonteerd in een frame E, dat — vrij van den bol — om een horizontale, door het middelpunt van den bol gaande as OO draaibaar is. Deze draaiingsas staat loodrecht op het genoemde vlak, waarin de assen der beide groote schijven liggen. Een vijfde, veerend tegen den bovenkant van den bol aanloopende rol a dient alleen

voor opsluiting van den kogel, — zij heeft geen andere functie (zie de figuren 8 en 9).

De schijven A en B drijven den kogel aan. Deze zal hierdoor draaien om een as XX, die in het vlak van de assen A en B ligt. De richting van deze as XX hangt af van de verhouding der omtreksnelheden v_1 en v_2 van de beide schijven A en B. De kleine, door den bol aangedreven rollen C en D zullen zich steeds instellen in het equatorvlak van den kogel, daar alleen, wanneer hun assen evenwijdig aan de draaiingsas XX van den bol blijven, zuiver rollende wrijving op zal treden. Bij de geringste afwijking van dezen equatorialen stand treedt tevens sleepende wrijving op, die de rollen en het frame E, waarin zij gelagerd zijn, in genoemden evenwichtsstand dwingt.

Wijzigt zich de verhouding der omtreksnelheden v_1 en v_2 van de schijven A en B, dan verandert de richting van de resulteerende draaiingsas XX van den kogel en met haar de, van deze afhankelijke instelling van het frame E. Het zal duidelijk zijn, dat ook de bol steeds zoodanig aangedreven wordt, dat tevens in zijn aanrakingspunten met de groote schijven alleen rollende wrijving optreedt, bij eenmaal bereikten evenwichtstoestand.

Is nu:

- v_1 de omtreksnelheid van schijf A,
- v_2 de omtreksnelheid van schijf B,
- r de straal van den bol,
- ω de hoeksnelheid van den bol om zijn draaiingsas,
- α de hoek, welke de as van schijf A met de draaiingsas XX van den bol maakt,

dan gelden voor een bepaalden evenwichtstoestand de betrekkingen:

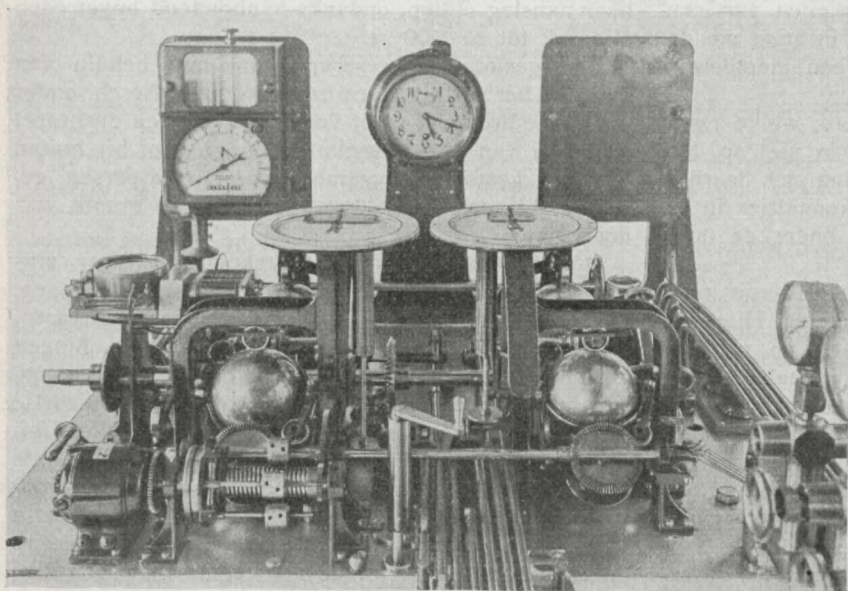


Fig. 9. Meettafel. Snelheids- en vermogensmeter.

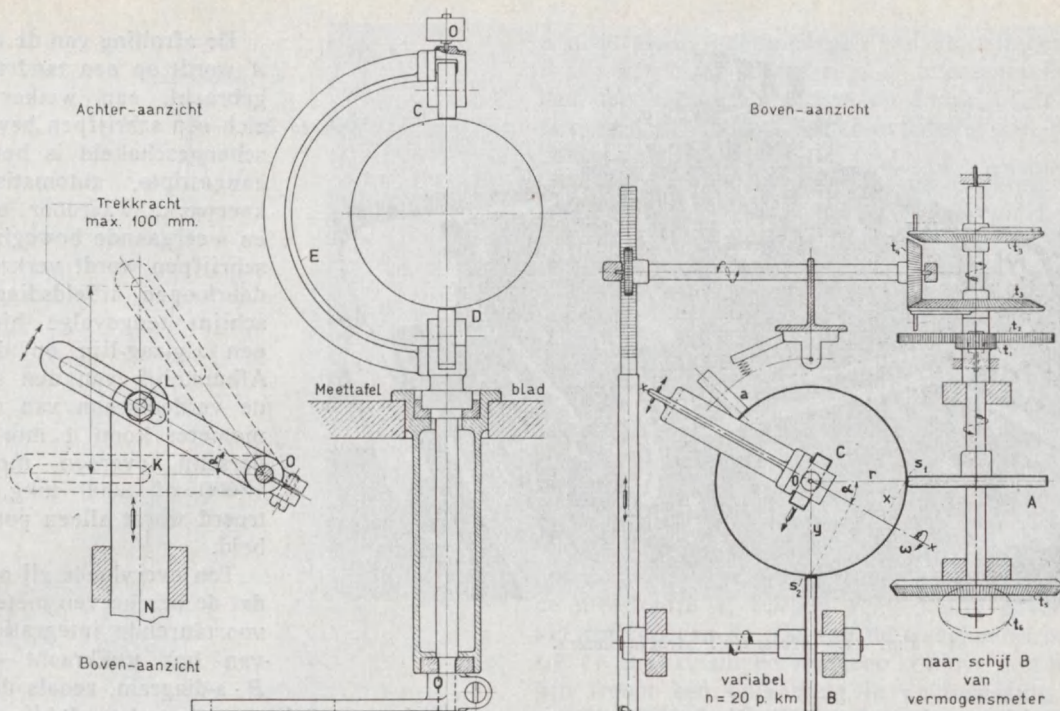


Fig. 10. Trekhaakarbeidsmeter. Schaal 1 : 4.

$$v_1 = \omega \cdot r \cdot \cos \alpha \text{ en}$$

$$v_2 = \omega \cdot r \cdot \sin \alpha$$

$$\text{of } \frac{v_2}{v_1} = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \tan \alpha$$

$$\text{d.i. } v_2 = v_1 \cdot \tan \alpha$$

Of, daar schijf A door een electromotor met snelheidsreguleur met constante omtreksnelheid v_1 wordt gedraaid:

$$v_2 = v_1 \cdot \tan \alpha = C \cdot \tan \alpha$$

Dus is de waarde van $\tan \alpha$ recht evenredig met de omtreksnelheid v_2 van schijf B. Deze laatste wordt via eenige tandradoverbrengingen gedraaid door de, vroeger genoemde hoofdaandrijving vanuit het ongeremde wielstel van het rijtuig, d.i. de omwentelingssnelheid van deze schijf is evenredig met den, door den trein afgelegden weg per tijdseenheid. Dus is tenslotte de waarde van $\tan \alpha$ evenredig met de treinsnelheid.

De instelling van het frame E loodrecht op de momentane draaiingsas van den kogel wordt naar een wijzer en tevens een schijfstift overgebracht en wel op de volgende wijze. Aanwezig is een gebogen tandstang S, welke met haar verbindingsarm Z_0 loodrecht staat op de as van het frame E en door dit frame bewogen wordt. De tanden zijn zeer fijn en alle gericht op het punt O. Deze tandstang draait de getande trommel T. Een, aan de achterzijde tegen de tandstang aanlopende, gladde trommel dient om een goed contact tusschen de tanden te verzekeren.

Bij een hoekverdraaiing $d\alpha$ van de tandstang, draait het oppervlak van de tandtrommel over een lengte $Z \cdot d\alpha$. Draait de tandstang over een hoek α , dan is de trommeldraaiing $\int Z \cdot d\alpha$. De tandstang heeft nu een zoodanigen vorm, dat

$$\int Z \cdot d\alpha = v_1 \cdot \tan \alpha \text{ of gedifferentieërd}$$

$$Z \cdot d\alpha = \frac{v_1}{\cos^2 \alpha} \cdot d\alpha$$

$$\text{dus } Z = \frac{v_1}{\cos^2 \alpha}$$

Doordat de tandstang volgens een kromme, voorgesteld door laatstgenoemde vergelijking, gevormd is, zal dus de hoekdraaiing van trommel T evenredig zijn met $\tan \alpha$ van de frame-instelling, d.i. evenredig met de treinsnelheid.

Boven op de as van trommel T is een wijzer aangebracht, welke op een wijzerplaat met gelijkmatige verdeling de treinsnelheid aangeeft. Tevens drijft de trommelbeweging via een stel tandwielen een heugelrad aan; dit laatste is in contact met een horizontale tandstang. Een, aan het uiteinde van dezen tandheugel aanwezige schijfstift teekent dus een continue kromme op, welker ordinaten evenredig zijn met de snelheid van het rijtuig.

Het meetbereik van dit instrument bedraagt resp. 150 of 75 km/h, afhankelijk van de instelling van een tusschen de hoofdas van de meettafel en schijf B aanwezig stel wisselraden.

De trekhaakarbeidsmeter. — Deze meter teekent een diagram op, waarvan de ordinaten evenredig zijn met den trekhaakarbeid $A = \int P \cdot ds$, waarin P de dynamometer-trekkracht en s den afgelegden weg voorstelt. Dit geschiedt als volgt.

De stalen kogel rust op een rol D en wordt door een veerende rol a tegen de twee schijven A en B aangedrukt, waarvan de assen in het horizontale vlak liggen, dat door het middelpunt van den bol gaat; de assen van de schijven A en B staan verder loodrecht op elkaar. De rol B ligt met een, diametraal boven haar gelegen rol C gemonteerd in een vrij

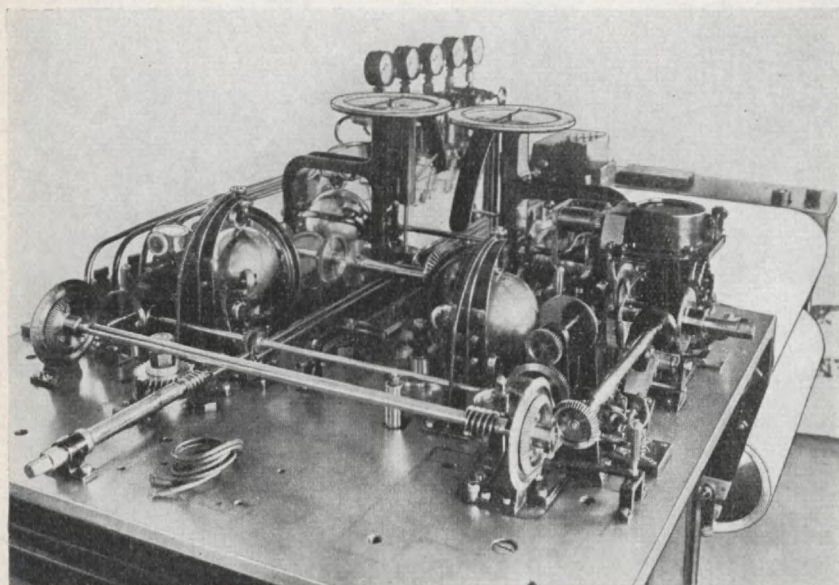


Fig. 11. Meettafel. Arbeidsmeters.

om den bol beweegbaar frame *E*. Dit frame is draaibaar om een verticale, door het middelpunt van den kogel gaande as *00* (zie figuren 10 en 11).

De bol wordt aangedreven door schijf *B* en zal hierbij draaien om een horizontale as *XX*, evenredig met de momentane draaiingsassen van de rollen *C* en *D*. Wil n.l. alleen rollende wrijving optreden, dan zal de beweging van den kogel zich steeds zoodanig instellen, dat evenwijdigheid van zijn draaiingsas met die van de rollen *C* en *D* optreedt.

Frame *E* is onder het tafelblad gekoppeld aan de beweging van het differentiaalzuigertje van den meetcilinder voor de trekkracht en wel als pen-sleufverbinding. De stang *KN* volgt de beweging van het meetzuigertje. Haar verplaatsing *KL* is dus evenredig met de trekkracht *P*. Nu geldt:

$$KL = OK \cdot \operatorname{tg} \alpha \text{ of } KL = C \cdot \operatorname{tg} \alpha,$$

omdat *OK* bij deze koppeling een constante lengte heeft. D.w.z., dat ook de waarde van $\operatorname{tg} \alpha$ recht evenredig is met de trekkracht *P*.

Is nu:

s_1 de afrolling aan den omtrek van schijf *A*,

s_2 de afrolling aan den omtrek van schijf *B*,

en hebben *r*, ω en α dezelfde beteekenis als hooger aangegeven (alleen is bij α voor: de as van schijf *A*, te lezen: de as van schijf *B*), dan gelden bij zeer kleine draaiingen de volgende betrekkingen, resp. voor de aandrijving van den bol door schijf *B*:

$$ds_1 = r \cdot \cos \alpha \cdot \omega \cdot dt$$

en voor de aandrijving van de meetschijf *A* door den kogel:

$$ds_1 = r \cdot \sin \alpha \cdot \omega \cdot dt$$

$$\text{of } ds_1 = ds_2 \cdot \operatorname{tg} \alpha.$$

De totale afrolling van schijf *A* is dus evenredig met de uitdrukking $C \int \operatorname{tg} \alpha \cdot ds_2$ of $\int P \cdot ds$, d.i. met den totalen, aan den trekhaak gepresteerden arbeid. Schijf *B* is n.l. weer met de hoofdaandrijving van de meettafel gekoppeld, d.i. de draaiing van deze schijf is evenredig met den, door het rijtuig afgelegden weg.

De afrolling van de meetschijf *A* wordt op een tandstang overgebracht, aan welker uiteinde zich een schrijffpen bevindt. Tusschengeschakeld is het, vroeger aangestipte, automatische omkeerwerk, waardoor een heen- en weergaande beweging van de schrijffpen wordt verkregen. Het doorloopen arbeidsdiagram verschijnt tengevolge hiervan als een zig-zag-lijn op de strook. Afhankelijk van den stand van de verdeelkraan van den dynamometer komt 1 mm ordinaatverschil overeen met 24000, 12000 of 8000 mkg. Geregistreerd wordt alleen positieve arbeid.

Ten overvloede zij opgemerkt, dat de beschreven meter dus een voortdurende integratie oplevert van het trekkracht — weg- of *P* · *s*-diagram, zooals dit door de

trekkrachtpen reël geregistreerd wordt bij een voeding van de papierstrook evenredig met den afgelegden weg.

De vermogensmeter. — Deze meter is volkomen gelijk van opbouw aan den snelheidsmeter.

Bij den snelheidsmeter wordt uit de combinatie van een constante beweging en een beweging, evenredig met den, door het rijtuig afgelegden weg, de snelheid verkregen: $\text{snelheid} = \frac{\text{weg}}{\text{tijd}}$. Bij den paardekrachtmeter wordt een constante beweging gecombineerd met een beweging, evenredig met den verrichten arbeid, n.l. vermogen = $\frac{\text{arbeid}}{\text{tijd}}$.

Schijf *A* wordt hierbij weer aangedreven door den electromotor met snelheidsreguleur. Schijf *B* is gekoppeld aan de meetschijf *A* van den arbeidsmeter; zij draait dus evenredig met den ontwikkelden arbeid. De waarde van $\operatorname{tg} \alpha$ is hier evenredig met het vermogen, d.i. met den ontwikkelden arbeid per tijds-eenheid; dit wordt, evenals bij den snelheidsmeter, op een wijzer en een schrijffpen overgebracht.

Afhankelijk van den stand van de verdeelkraan van den dynamometer, heeft dit instrument een meetbereik van resp. 4800, 2400 of 1600 pk.

De traagheidsarbeidsmeter of ergometer. — Deze meter komt in opbouw geheel overeen met den trekhaakarbeidsmeter.

Geregistreerd wordt een diagram, waarvan de ordinaten evenredig zijn met den ontwikkelden traagheids- of hellingsarbeid $A = \int P \cdot ds$. Hierin stelt *P* voor de traagheidsweerstand of de klimmingsweerstand van het materieel in kg per ton treingewicht, welke overwonnen werd; *s* is weer de afgelegde weg.

Als eigenlijk meetinstrument voor de traagheidskracht wordt een slinger benut, die onder het meettafelblad is opgehangen en slingeren kan in langsrichting van het rijtuig.

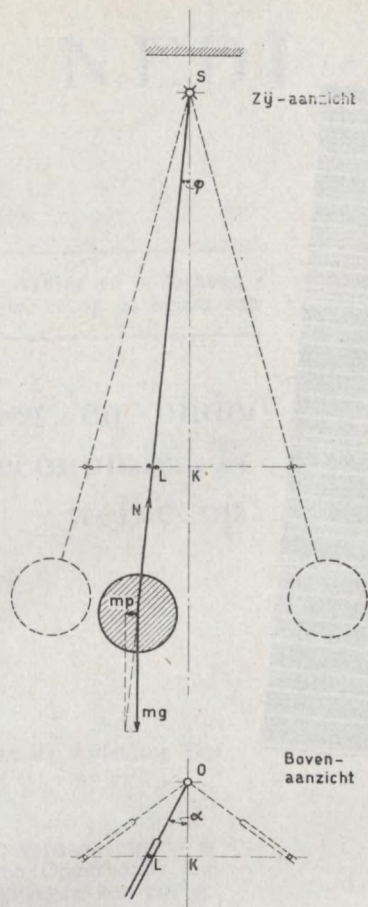


Fig. 12. Schema van den traagheidsslinger. Schaal 1 : 10.

Wordt de trein b.v. aangezet met een versnelling p , dan zal de slinger massa iets achterblijven en wel over een kleinen hoek φ zóó, dat de traagheidsweerstand $m \cdot p$ van het slinger gewicht in evenwicht is met de zwaartekracht $m \cdot g$ van dit gewicht en de kracht N in de ophangstangen. De tg van den uitslaghoek φ zal dus evenredig zijn met $\frac{m \cdot p}{m \cdot g} = \frac{P}{G}$, d.i. met de traagheidskracht per eenheid van gewicht (zie fig. 12).

Het frame E met de beide rollen C en D is bij dezen bolintegrator m.b.v. een gaffelvormigen hefboom OK gekoppeld aan de slingerbeweging. Door een bepaalde keuze der hefboomlengten SK en OK

zijn de kleine hoekuitslagen van den slinger belangrijk vergroot op het frame E overgebracht. De tg van den hoekuitslag α van dit frame blijft door de toegepaste koppeling echter evenredig met de traagheidskracht.

Het zal duidelijk zijn, dat de werking van den ergometer volkomen overeenstemt met die van den trekhaakarbeidsmeter. De meter levert in dit geval een voortdurende integratie op van het traagheidskracht-weg-diagram in mkg per ton treingewicht. Genoemd P - s -diagram wordt tevens door een pen geregistreerd, welke m.b.v. een afzonderlijke, dubbele gaffeloverbrenging aan de slingerbeweging gekoppeld is.

Bij den ergometer komt 1 mm ordinaatverschil overeen met 100 mkg/t. Opgeteekend wordt zoowel positieve, als negatieve arbeid. Bij analyse van het diagram dient men de algebraïsche som van de verplaatsingen van de pen te nemen. Omkeerpunten in het diagram, t.g.v. omkeeringen in de beweging van de meetschijf A , worden gemakkelijk gevonden uit het verloop van de lijn van de traagheidskracht (vgl. fig. 4). Bij kruisingen van deze kromme met haar nul-lijn treedt een omkeering in de beweging van de arbeidsschijf op; in fig. 4 zijn een paar zoodanige omkeerpunten op het arbeidsdiagram met een cirkeltje aangegeven.

In verband met drie mogelijkheden van instelling der lengte OK van de gaffel tot overbrenging van de slingerbeweging op de traagheidskrachtpen, komt 1 mm ordinaat bij de, door deze laatste geregistreeerde kromme overeen met een kracht van 1, 2 of 5 kg/t of een versnelling van 0,001 g, 0,002 g of 0,005 g m/sec².

Met den ergometer is men o.m. in staat, om directe metingen te verrichten van de, met verschillende typen van locomotieven bereikbare aanzetversnellingen, of bij remmingen te verwerkelijken treinvertragingen. Tevens biedt deze meter de mogelijkheid, om gedurende een enkelen rit de karakteristiek van den totalen weerstand van een bepaalde treinformatie, inclusief de locomotief, als functie van de snelheid vast te leggen. Men sluit hiervoor bij verschillende snelheden den stoomregulateur op de locomotief af en laat den trein over korte stukken uitloopen. De gemeten vertragskrachten zijn dan niet anders dan de opgetreden, totale treinweerstand in kg per ton materieelgewicht, bij de gemiddelde snelheden met welke elke uitloopproof plaats heeft.

INHOUD: Het herstellen van een verzakten pijler onder het beton-aquaduct „Pakoembahan” over de Tjimanoeek, door ir. F. H. J. J a n s s e n. — *Korte technische berichten*: Diepe caisson-fundeering te New-Orleans.

Fig. 1. Plattegrond en doorsnede van het aquaduct „Pakoembahan”.

Van de binnen damwanden gefundeerde pijlers werden de damplanken alle ongeveer tot op een diepte van 6 m beneden den rivierbodem ingeheid. De grond binnen den put werd er vervolgens ongeveer tot op een diepte van 5 m met een baggerwerktuigje uitgehaald, waarna een laag beton onder water gestort werd. Na verharding van dit beton werd de put leeggepompt en de pijler verder tot boven bandjirpeil in den droge opgebouwd.

De baggerspecie bestond tot op fundeeringsdiepte uit zuiver grof zand; dieper komende werden echter tusschen het zand vele harde kleibonken aangetroffen.

De pijlers E en D zijn uit het midden van den put opgetrokken, omdat men bij het inheien van de damplanken niet aan een bepaalde plaats gebonden wilde zijn en liever den put wat breeder nam, om voldoende speling te hebben den pijler zelve op de juiste plaats op te bouwen.

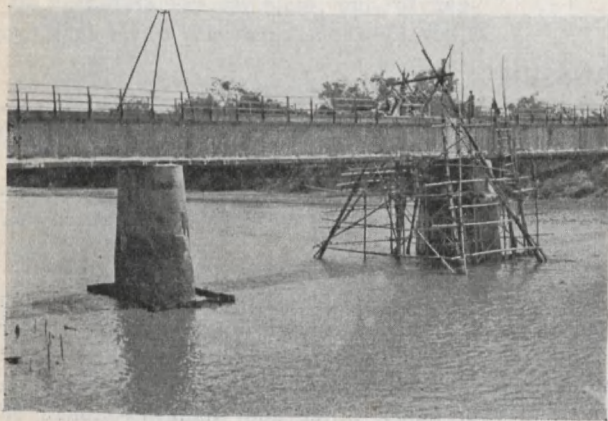


Fig. 2. Bij pijler E — links — is de damwand nog geheel aanwezig, terwijl bij den verzakten pijler — rechts — de damwand nog slechts aan de benedenstroomsche zijde wordt aangetroffen.

Het landhoofd op den rechteroever werd vanwege de daar aangetroffen slechte grondsoort op palen gefundeerd.

Geeft het bovenstaande dus in het kort iets weer omtrent de fundeeringswijze, thans volgen enkele bijzonderheden over de verzakking van één der pijlers: pijler D.

Het was reeds eerder opgevallen, dat het aquaduct tusschen de aangrenzende pijlers E en C een weinig was doorgebogen; begin Juni 1931 werd echter geconstateerd, dat het aquaduct niet meer op den pijler rustte. Bij nader onderzoek bleek, dat de pijler volkomen rechtstandig gezakt was en dat zich tusschen aquaduct en pijler een vrije ruimte bevond van ± 2 cm. Aan de onderzijde van het aquaduct werden links en rechts van den verzakten pijler haarscheurtjes opgemerkt, loopende in een richting loodrecht op de as, terwijl in de aquaductwanden nabij de aangrenzende pijlers scheurtjes werden geconstateerd, loopende onder een hoek van $\pm 45^\circ$, welke dus kennelijk een gevolg waren van te hoog opgelopen schuine trekspanningen (zie fig. 3).

Bij een waterpassing van den onderrand bleek, dat de grootste doorzakking t.o.v. de lijn, die de



Fig. 3. Scheurtjes in den aquaductwand bij pijler E.

beide aangrenzende pijlers verbindt, ± 10 cm bedroeg.

Eenigen tijd later, bij een zeer lagen waterstand, werd waargenomen, dat de ijzeren damwand om de pijlerfundering zoowel aan de bovenstroomsche als aan de beide langsijden verdwenen was en alleen nog aan de benedenstroomsche zijde was blijven staan.

Aan de ijzeren damwanden om de pijlers E en B viel echter niets te bespeuren.

Een berekening van de momenten, oplegreacties en spanningen toonde aan, dat het aquaduct tengevolge van het wegvallen van het bewuste steunpunt in een zeer precair toestand was geraakt.

Het is aan de soliede uitvoering, doch voornamelijk aan een overmaat van wapening in den onderstrand terplaatse van den verzakten pijler te danken, dat het euvel geen grotere nadeelige gevolgen met zich bracht.

De resultaten van deze berekeningen, die zich beperkt hebben tot den middenligger, omdat de beide buitenliggers toch in overeenkomstige conditie verkeerden, zijn aangegeven in bijgaande momenten- en dwarskrachtenlijnen, die bepaald zijn voor een ligger op 6 en voor denzelfden ligger op 5 steunpunten (zie fig. 4).

De invloed van het weggevallen steunpunt op de momenten en daardoor ook op de spanningen is niet gering. Voor eenzelfde gelijkmatige belasting over den geheelen ligger worden de overgangsmomenten boven de pijlers C en E daardoor ongeveer tot het 3 à 4-voudige opgevoerd.

De trapjeslijnen geven de momenten aan, welke de ligger kan opnemen bij een indertijd aangenomen toelaatbare ijzerspanning van 900 kg/cm^2 en een betonspanning van 30 kg/cm^2 , inderdaad dus zeer lage spanningen, welke lage aannamen in het onderhavige geval echter van groot voordeel zijn geweest.

Voor een oplegging op vijf steunpunten is, behalve de momentenlijn bij volbelasting, ook nog die voor het eigen gewicht ingeteekend, waardoor een goede vergelijking met de toelaatbare momenten is te maken.

Op te merken valt, dat de gevaarlijkste doorsneden even links en rechts van den verzakten pijler liggen.

Niettegenstaande de gelukkige omstandigheid, dat

op deze plaatsen nog een vrij aanzienlijke onderwapening was aangebracht, hebben de berekeningen uitgewezen, dat de grootste ijzertrekspanningen alleen reeds tengevolge van het eigen gewicht waren opgelopen tot $\pm 3500 \text{ kg/cm}^2$, bij welke berekeningen echter, zooals gebruikelijk, geen rekening is gehouden met de aanwezigheid van een verdeelwapening in langsrichting.

Welhaast als zeker kan men echter aannemen, dat op meerdere plaatsen de elasticiteitsgrens en op enkele punten de vloeigrens van het ijzer werd overschreden, met als gevolg meer belangrijke blijvende vormveranderingen.

Dat deze blijvende vormveranderingen inderdaad zijn opgetreden wordt bevestigd door het feit, dat de waargenomen doorzakking van $\pm 10 \text{ cm}$ zeer veel grooter is dan de berekende, die bij een elastische vormverandering slechts $3,5 \text{ cm}$ zou zijn geweest.

Uit de dwarskrachtenlijnen blijkt, dat de dwarskrachten bij de pijlers C en E door het wegvallen van steunpunt D ongeveer tweemaal zoo groot werden.

Alleen reeds door het eigen gewicht werden deze maximum dwarskrachten grooter dan die bij een oplegging op 6 steunpunten bij volbelasting. Bovendien nemen deze krachten, tengevolge van een belasting alleen door het eigen gewicht, naar het midden toe veel minder snel af, waardoor op enkele plaatsen de schuine wapeningsstaven bijna twee keer zoo zwaar belast werden, nog niet te spreken van die plaatsen, waar in het geheel geen opgebogen staven voorkwamen.

Het is dan ook geen wonder, dat zich tengevolge van deze hoog opgelopen schuine trekspanningen haarscheurtjes in het beton vertoonden.

Voor het kiezen van de juiste oplossing tot herstel van het steunpunt diende thans eerst te worden nagegaan, wat eigenlijk wel de oorzaak van het zakken kon zijn geweest.

Hierbij deden zich twee mogelijkheden voor:

- 1e. De druk op den funderingsgrond was te groot.
- 2e. De fundering werd ondermijnd door het loswoelen van den grond er rondom heen.

Wat eerstgenoemde mogelijkheid betreft het volgende.

Zooals reeds in het begin werd opgemerkt, zijn de pijlers op behoorlijken grond gefundeerd, n.l. op zand, vermengd met vele harde kleibonken.

Waar bovendien de maximum bodemdruk slechts $1,5 \text{ kg/cm}^2$ kon bedragen, is de kans, dat het verzakken van den pijler door te hoogen bodemdruk zou zijn veroorzaakt al heel gering te achten.

Echter dient er hier op gewezen te worden, dat het landhoofd op den rechteroever, op $\pm 40 \text{ m}$ af-

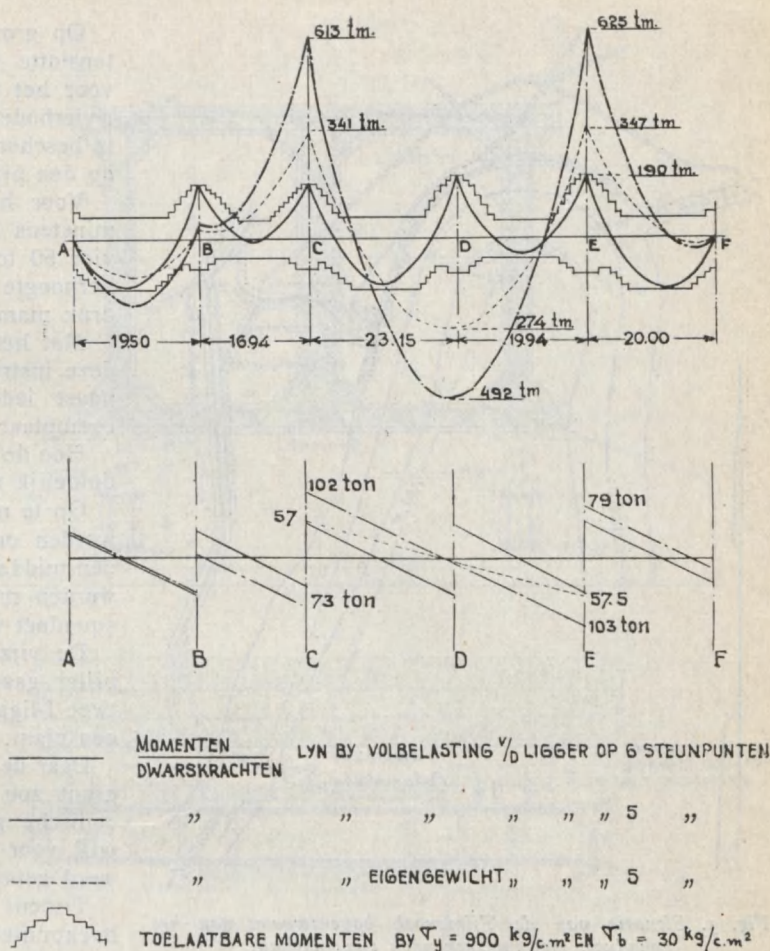


Fig. 4. Momenten- en dwarskrachtenlijnen.

stand van den betrokken pijler, vanwege den daar aangetroffen slechten grond op palen gefundeerd moest worden.

Daar deze slechte grond zich ook ter plaatse van den bewusten pijler bevond, doch op grotere diepte onder de aangetroffen klei-zandlaag, was dus niet geheel en al uitgesloten.

Het feit echter, dat de zakking eerst in den laatsten tijd plaats had, nadat het kunstwerk reeds zoovele jaren geleden voltooid was, doet bovengenoemde veronderstelling niet zeer waarschijnlijk voorkomen.

Ook had men in dat geval tevens bij de andere pijlers eenige zakking kunnen verwachten, in de eerste plaats bij pijler E.

Voor de tweede veronderstelling valt echter veel meer te zeggen, vooral ook in verband met het feit, dat de damplanken zoowel aan de bovenstroomsche zijde als aan de beide zijkanten van den pijler totaal verdwenen waren, hetgeen er wel op wees, dat bij bandjirs de grond tot op groote diepte werd omgewoeld.

Dat juist bij dezen pijler de uitkolkling het sterkst is geweest, is geen toeval, doch hangt ten nauwste samen met het feit, dat daar ter plaatse bij bandjirs de grootste stroomsnelheid optreedt. Deze ongunstige omstandigheid dateert vermoedelijk eerst uit de laatste jaren en is een gevolg van een wijziging in de stroombaan, veroorzaakt door aanleg van een bocht-

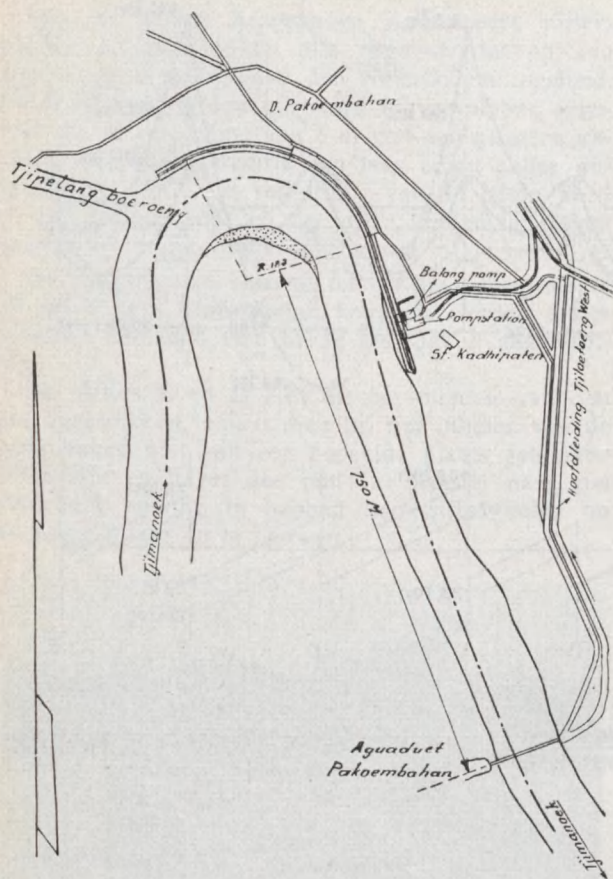


Fig. 5. Situatie van de Tjimanoeek bovenstrooms van het aquaduct, met ingetekenden stroomdraad.

verdediging op ± 750 m bovenstrooms van het aquaduct (zie fig. 5).

In verband met de steeds verder gaande uitschuring moest deze bocht n.l. in 1929 verdedigd worden, terwijl deze verdediging korten tijd daarna nog verlengd werd met een recht gedeelte ter bescherming van het kostbare pompstation van de s.f. Kadipaten.

Dat de stroomdraad zich nadien inderdaad gewijzigd heeft en zich b.v. bij het aquaduct van den linker- naar den rechteroever verplaatste, wordt nog bevestigd door het feit, dat thans de bescherming van het rechterlandhoofd voortdurende aandacht vergt, terwijl dit voorheen juist bij het linkerlandhoofd het geval was.

Hoewel dus de verzakte pijler ten opzichte van den andere in een minder gunstige positie verkeerde, zou het vermoedelijk met dezen pijler toch niet zoover gekomen zijn, indien de damwand zich maar staande had kunnen houden. Toen echter eenmaal het onderlinge verband tusschen de damplanken verbroken was, heeft de vernieling steeds krachtiger om zich heen kunnen grijpen.

Het is zeer wel aan te nemen, dat bij het verdere losrukken en losschudden, deze planken, die met hun ondereinde bijna 1 m dieper reikten dan de pijlerfundeering, den grond daaronder in sterke beroering gebracht hebben, waardoor zakkingen niet konden uitblijven.

Op grond van deze laatste beschouwingen, welke tenslotte de meest aannemelijke verklaring gaven voor het zakken van den pijler, werd besloten den rivierbodem rondom den pijlervoet zoo goed mogelijk te beschermen en het aquaduct na opvijzeling weder op den pijler te laten rusten.

Voor het opvijzelen, waartoe een hefkraft van minstens 150 ton uitgeoefend moest worden, werden vier 50 tons hydraulische vijzels toegepast met een hefhoogte van 17 cm, die voorzien waren van hoogedruk manometers.

Met het oog op de geringe bedrijfszekerheid van deze instrumenten werd op 100% reserve gerekend; naast iedere vijzel kwam dus nog een reserve-exemplaar te staan.

Hoe de opstelling van de vijzels plaats vond, blijkt duidelijk uit bijgaande tekening (zie fig. 6).

Op te merken valt, dat de vijzels slechts geplaatst werden onder de beide buitenliggers en niet onder den middenligger. Deze kon n.l. door de beide andere worden medegenomen; bodem en dekplaat van het aquaduct waren hiervoor sterk genoeg.

De vijzels kwamen te rusten op dwars door den pijler gaande ijzeren balken, elk geconstrueerd uit twee I-liggers No. 38, onder en boven gekoppeld door een plaat.

Daar de druk van den perscilinder op het beton te groot zou worden, werden voor de drukoverdracht conische gietijzeren tusschenstukken toegepast, terwijl voor een gelijkmatige drukverdeling bladlood werd gebruikt.

Tijdens het opvijzelen zou het aquaduct op de 4 hoekpunten van den pijler worden onderstept met stapeltjes 1 cm dikke houten plankjes.

Na afloop zou de ruimte tusschen aquaduct en pijler weer worden opgevuld met beton.

Voor de bediening van de vijzels was rondom den pijler, op $\pm 1,80$ m onder het aquaduct, een 1,50 m breede werkvloer aangebracht, rustende op een bamboestellage.

Voor de controle der verticale verplaatsingen van het aquaduct en mogelijk ook van den pijler, waren aan boven- en benedenstroomsche zijde zoowel op het aquaduct als op den pijler baken bevestigd.

Deze werden waargenomen met twee waterpas-instrumenten op den rechteroever, waar tevens twee vaste merken waren aangebracht, ieder op denzelfden afstand vanaf het bijbehorend instrument gelegen als dit van den pijler verwijderd stond.

Op den 14en September 1931 werd met het opvijzelen begonnen, waarbij al direct bleek, dat de getroffen maatregel om extra vijzels in reserve te houden niet overdreven was.

Nadat gedurende enkele dagen het aquaduct telkens over hoogten van slechts 1 cm opgedrukt was, werd op den 16en September door de gezamenlijke vijzels een hefkraft van 150 ton bereikt.

De totale hefhoogte bedroeg toen 3,1 cm, dus ongeveer overeenkomende met de berekende waarde.

Hoewel tijdens het opvijzelen niet de minste zakking van den pijler werd waargenomen, werd toch besloten met het opvijzelen nog iets verder te gaan om bij mogelijke nog verdere zakkingen van den pijler eenige reserve te hebben.

Tijdens dit verdere opvijzelen gebeurde er een klein ongeluk, dat dank zij de groote veerkracht van de houten onderstopplankjes nog goed afliep.

Plotseling raakte n.l. één van de beide vijzels op één der liggeruiteinden defect, waardoor de andere zoo zwaar belast werd, dat ze tengevolge van den hoogen druk (380 at) uit elkaar spatte. Door het algeheele wegvallen van den druk op dit einde van den ligger wipte het andere uiteinde naar beneden, met het gevolg, dat alle 4 vijzels op één zijde van het aquaduct ineens buiten gevecht gesteld waren. Het aquaduct zakte daardoor aan die zijde op de houten plankjes neer, welke op schitterende wijze den schok opvingen.

Als slotresultaat werd bereikt, dat de oorspronkelijke doorzakking van ± 10 cm over een hoogte van 5,4 cm werd weggenomen bij een oplegreactie van ± 250 ton.

Te voren was nagegaan of de middenligger zonder ernstige bezwaren over deze hoogte kon worden meegenomen.

De ruimte tusschen aquaduct en pijler werd vervolgens volgestort met fijne beton (1 : 2 : 3), waarbij, ter voorkoming van aanhechting, gezorgd werd, dat dit vulbeton niet in directe aanraking kwam met het aquaduct.

Tot beveiliging van den rivierbodem tegen uitkolkling werden aan de bovenstroomsche zijde van den pijler — ter breedte van 4 m — en langs de zijkanalen — ter breedte van 3 m — 1 m dikke lagen met steenen gevulde ijzerdraadmattressen aangebracht, ingekast in den rivierbodem.

Tegen half October 1931 waren deze werkzaamheden afgeloopen, doch de bakens op den pijler bleven gehandhaafd ter contrôle van eventuele verdere zakkingen.

Bleef aanvankelijk alles rustig, reeds na het optreden van enkele flinke bandjirs werden weder kleine zakkingen geconstateerd. In Januari 1932, dus ± 3 maanden later, bedroeg deze zakking reeds in totaal 7 mm, terwijl in Februari d.a.v. de zakking nog belangrijk toenam.

Ten einde eenig inzicht te verkrijgen in de mate van uitkolkling van den rivierbodem, werden toen proeven genomen met, van onder van een platformpje voorziene, ijzeren staven, die, geleid door ijzeren ringen, de bodemzakkingen tijdens uitkolkling konden volgen.

Helaas is van deze proeven niets terecht gekomen, daar de staven bij den eersten den besten bandjir grondig werden vernield.

Wel werd geconstateerd, dat de met steen gevulde matrassen gemiddeld 1,30 m dieper gezakt waren.

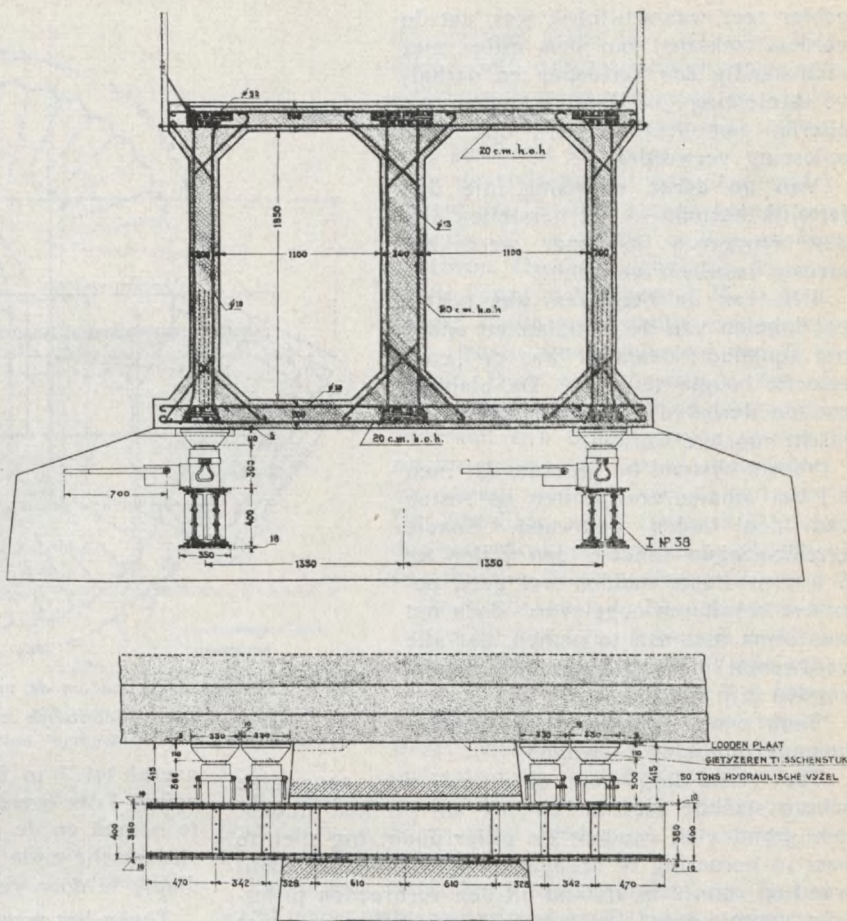


Fig. 6. Opstelling der vijzels.

Na deze teleurstellende waarnemingen, waaruit bleek, dat de getroffen voorzieningen blijkbaar nog niet voldoende waren, werd besloten tegen het verder zakken van den pijler afdoende maatregelen te treffen.

Hiervoor werden de volgende oplossingen aan de hand gedaan:

- 1e. Het verzwaren en uitbreiden van de bodemverdediging.
- 2e. Het plaatsen van permanente schroefvijzels tusschen pijler en aquaduct.
- 3e. Het aanbrengen van een nieuwen damwand om den pijler.

De eerste methode gaf te weinig zekerheid, daar men feitelijk nog niets afwist van den omvang en de diepte der uitkolkling bij zeer hooge bandjirstanden.

De aangebrachte bodemverdediging, die oogen-schijnlijk ruim voldoende leek, had blijkbaar niet aan de verwachtingen voldaan.

Laboratoriumproeven hadden hier eenige aanwizing kunnen geven, doch in verband met de urgentie van de herstelling was daar geen tijd meer voor.

De tweede methode is o.a. toegepast voor een brug over de Tribbe in Duitschland, waarbij het landhoofd op opgehoogden grond is gefundeerd. Daar het

echter zeer waarschijnlijk was, dat de verdere zakking van den pijler niet rechtstandig zou verlopen en derhalve aanleiding zou kunnen geven tot allerlei complicaties, werd ook deze oplossing verworpen.

Van de derde oplossing, die dus feitelijk bestond in het herstellen van den vroegeren toestand, werd het meeste resultaat verwacht.

Eén van de bezwaren was echter het inheien van de damplanken onder het aquaduct; daarvoor was de „constructie” hoogte te klein. De planken zouden derhalve in lengterichting gelascht moeten worden.

Voorts bestond het gevaar, dat men bij het inheien zou stuiten op resten van den ouden damwand. Enkele grondboringen rondom den pijler tot 5 à 6 m diepte hadden wel geen positieve resultaten opgeleverd, doch het was bijna niet aan te nemen, dat alle verdwenen planken door den stroom zouden zijn meegevoerd.

Toch werd besloten deze laatstgenoemde oplossing te volgen.

Ter vermindering van eventueel nog aanwezige schuin staande planken en ook om bij het inheien den grond vlak rondom de pijlerfundering niet te veel in beroering te brengen, werd de nieuwe damwand op ruim 2 m afstand uit den verbreedten pijlervoet geprojecteerd; de ruimte daartusschen zou met een laag beton in zakken worden afgedekt.

Was oorspronkelijk gedacht den nieuwen damwand

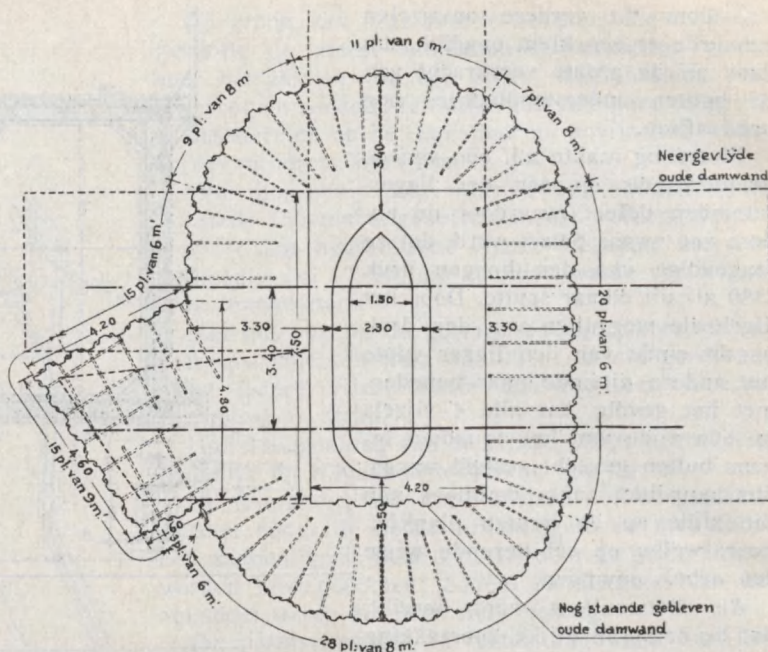


Fig. 8. Nieuwe damwand om de pijlerfundeering, met links een uitbouw om den nog gedeeltelijk schuinstaanden ouden damwand.

overal tot 7 m diepte onder den rivierbodem in te heien, later werd besloten deze diepte nog grooter te nemen en de planken aan de boven- en benedenstroomsche zijde tot 8 m en aan de zijkanten tot 9 m diepte te doen reiken.

Tegen het wegrukken van de planken zouden deze in de laag afdekbeton verankerd worden.

Het heikwerk en het storten van het beton werden uitgevoerd door de Hollandsche Beton Maatschappij, die dit werk in ongeveer anderhalve maand beëindigde.

Op de figuren 8 en 9 ziet men, hoe de uiteindelijke toestand tenslotte geworden is.

Bij het heien aan de bovenstroomsche zijde en op de zijkanten stuitte men op ± 6 m diepte vrijwel overal op den ouden damwand, die zich op die diepte nagenoeg horizontaal had neergevlijd. Slechts op één plaats stonden de planken nog schuin overeind, daar moest toen omheen geheid worden.

Deze in het geheel niet verwachte toestand bracht in zooverre wijziging in den opzet van de beveiligingsmethode, dat de horizontale gedeelten oude damwand met den verticaal daarop aansluitenden nieuwen damwand evenzoo één beschermend geheel vormden. Daartusschen bevonden zich dan de gedeelten nieuwe damwand, op grootere diepte ingeheid (zie *fig. 8*).

In de uitvoeringswijze werd dan ook geen wijziging gebracht, integendeel werd die nu eenvoudiger, doordien bijna geen planken gelascht behoeften te worden.

Na voltooiing van het heiwerk werd rondom het geheel een eenvoudigen kistdam gebouwd. Nadat de ruimte daarbinnen was leeggepompt, werd de grond tusschen pijlervoet en damwand uitgegraven en vervolgens volgestort met een 1 m dikke laag beton in

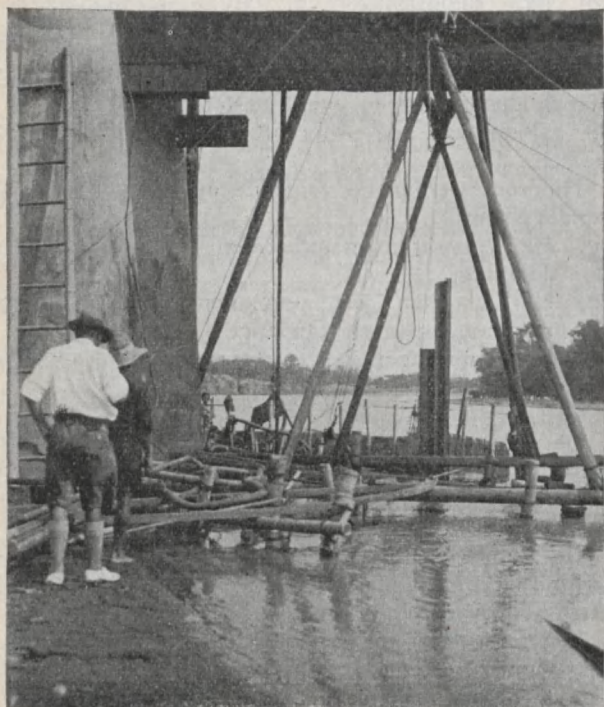


Fig. 7. Heistelling onder het aquaduct.

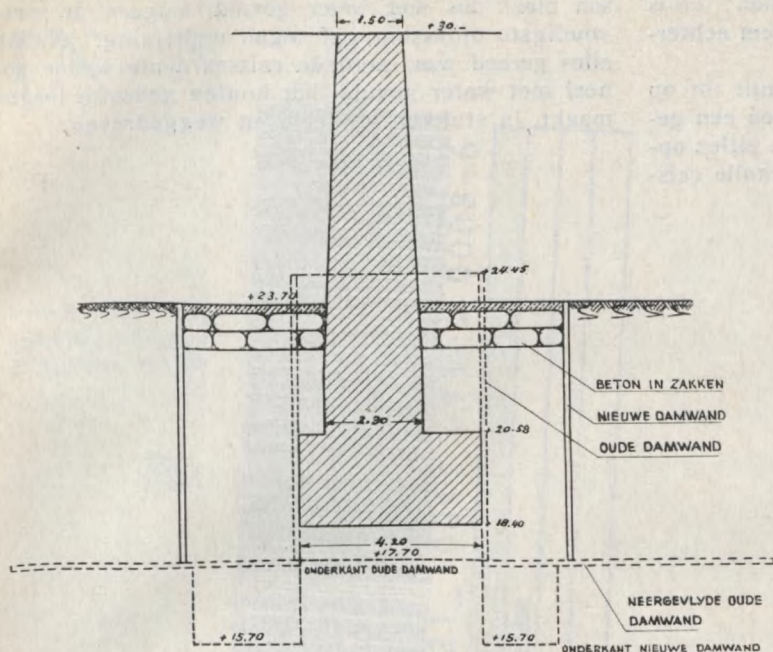


Fig. 9. Doorsnede over pijler en nieuwe omwanding, welke laatste over gedeelten verticaal aansluit op den horizontaal neergevlijden ouden damwand.

zakken, nog afgedekt met een 0,15 m dikke laag stort-beton.

De planken werden om de andere in de zakken beton verankerd, terwijl de boven den rivierbodan uitstekende deelen werden afgebrand.

Tot heden, dus na verloop van twee westmoessons, zijn geen verdere zakkingen van den pijler meer waargenomen.

Vermeld zij nog, dat schrijver dezcs in Februari 1932 werd overgeplaatst en dat nadien de verdere contrôle- en herstellingswerkzaamheden werden ver- richt onder direct toezicht van ir. P. Westbroek.

KORTE TECHNISCHE BERICHTEN.

Diepe caisson-fundeering te New-Orleans.

De nieuwe brug over de Mississippi in de nabijheid van New-Orleans kenmerkt zich door een zeer diepe caisson-fundeering voor eenige pijlers. De volgende bijzonderheden zijn ontleend aan *Engineering News Record* van 10 Mei 1934 No. 19.

De totale lengte van de brug bedraagt bijna 7 km, waarvan 1057 m over de rivier, gevormd door 8 overspanningen variërende van 237 tot 81 m. Van de 9 pijlers zijn er 6 op caissons gefundeerd: 4 tot 51 m beneden laagwater, 1 tot 34 m en 1 tot 24 m. De overige pijlers zijn gefundeerd op gewapend beton palen. In Mei j.l. waren twee caissons reeds tot de vereischte diepte gezonken, terwijl men met twee andere doende was. De twee gereed zijnde pijlers behooren tot de diepst gefundeerde.

De werkwijze bestaat in het vormen van een kunstmatig zandeiland, waarin de caisson door ontgraving wordt gezonken. Alvorens echter tot het maken van dit eiland over te gaan, wordt de rivierbodan ter plaatse eerst afgedekt met zinkstukken om erosie van

den zachten grond te voorkomen. Het eiland zelf wordt omsloten door een cirkelvormigen ijzeren wand, die ringsgewijze wordt opgebouwd. Dit opbouwen geschiedt als volgt.

In de rivier wordt een steigerwerk geheid van ± 40 m lange grenen palen, die 7,5 m in den bodan worden gedreven. Op dit steigerwerk, dat een cirkel vormt met ongeveer 35 m doorsnede, wordt met behulp van kranen een ijzeren wand gebouwd van 9 m hoogte. Deze wand bestaat in het algemeen uit ringen van 3 m hoogte; onderaan zijn echter eenige smallere ringen aangebracht om bij het lichten zoo weinig mogelijk ijzer te verliezen. De ijzerdikte wordt beheerscht door den waterdruk, die op den wand komt; de minimum dikte bedraagt 12 mm.

De wand van 9 m hoogte wordt na voltooiing met behulp van 12 hyschtorens langzaam afgelaten. Vervolgens wordt een tweede wand van 9 m hoogte gebouwd, die op den voorgaanden wordt geplaatst, enz. Tenslotte rust de onderste ring op den met zinkstukken

bedekten bodan; bij de reeds gereed zijnde pijlers was daarvoor 30 m wand nodig, bij de overige zal 21 m voldoende zijn.

Vervolgens wordt het zinkstuk binnen den ijzeren wand onder water verwijderd en de ruimte volgestort met zand. Gebleken is, dat de zetting van het geheel, die daarmede gepaard gaat, betrekkelijk gering is; maximum werd 1,50 m geconstateerd.

In het op deze wijze gevormde zandlichaam werd nu op de gebruikelijke wijze een caisson van gewapend beton gezonken. Het zand werd daarbij met grijpers onder water ontgraven. De zakking verliep zeer regelmatig; maatregelen waren getroffen om zoo nodig vóór te kunnen spuiten, doch dit is niet noodig geweest.

De caisson werd tijdens het zakken regelmatig opgetrokken met zgn. glijdformeelen. Daar tot 15 m diepte geen zijdelingsche uitsteeksels buiten de pijlers toegelaten waren, is de bovenste 16 m van hout gemaakt, teneinde dit na voltooiing van den pijler te kunnen wegdrijven.

Nadat de caisson tot op de vereischte diepte was gezonken, werd op den bodan een betonlaag gestort van ongeveer 7,5 m dikte. Dit storten geschiedde onder water met behulp van een aantal 10 inch pijpen, die onder het beton uitmondden. Bij het nemen van proefstukken bleek het beton van goede kwaliteit te zijn; ontmenging of uitwassching trad niet op.

Na het storten van de betonlaag werd het zand uit de ijzeren omwanding verwijderd en deze langzaam opgehaald en afgebroken. Daarbij werden de onderste ringen, die zich in den bodan vastgewerkt hadden, door duikers losgemaakt van de rest; zij waren daartoe van speciale bouten voorzien. Door onderaan smalle ringen toe te passen, hoopte men het ijzerverlies tot het hoogst noodzakelijke te be-

perken. Deze verwachting is uitgekomen; er is slechts zeer weinig ijzer in den rivierbodem achtergebleven.

Tenslotte werd de caisson drooggepompt tot op het betongedeelte, over de tusschenwanden een gewapend beton vloer gelegd en daarop de pijler opgebouwd. Het onderste gedeelte van de holle caisson

bleef dus met water gevuld, hetgeen de eenvoudigste oplossing gaf tegen opdrijving. Nadat alles gereed was, werd de caissonruimte weder geheel met water gevuld, het houten gedeelte losgemaakt, in stukken verdeeld en weggedreven.

F.