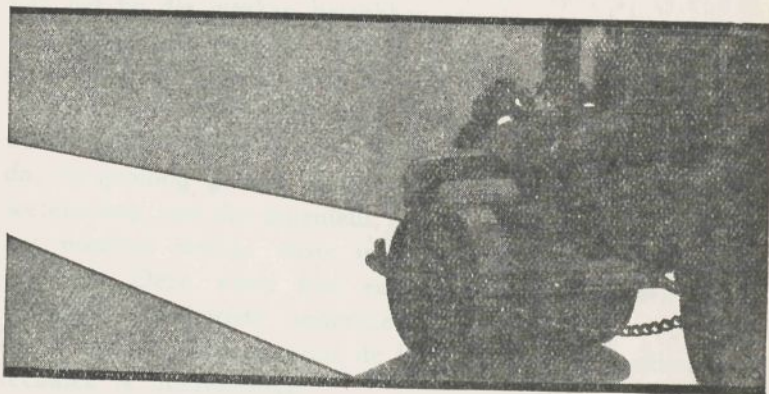


PUBLICATIE
VAN DE
NEDERLANDSCH-INDISCHE
WEGENVEREENIGING



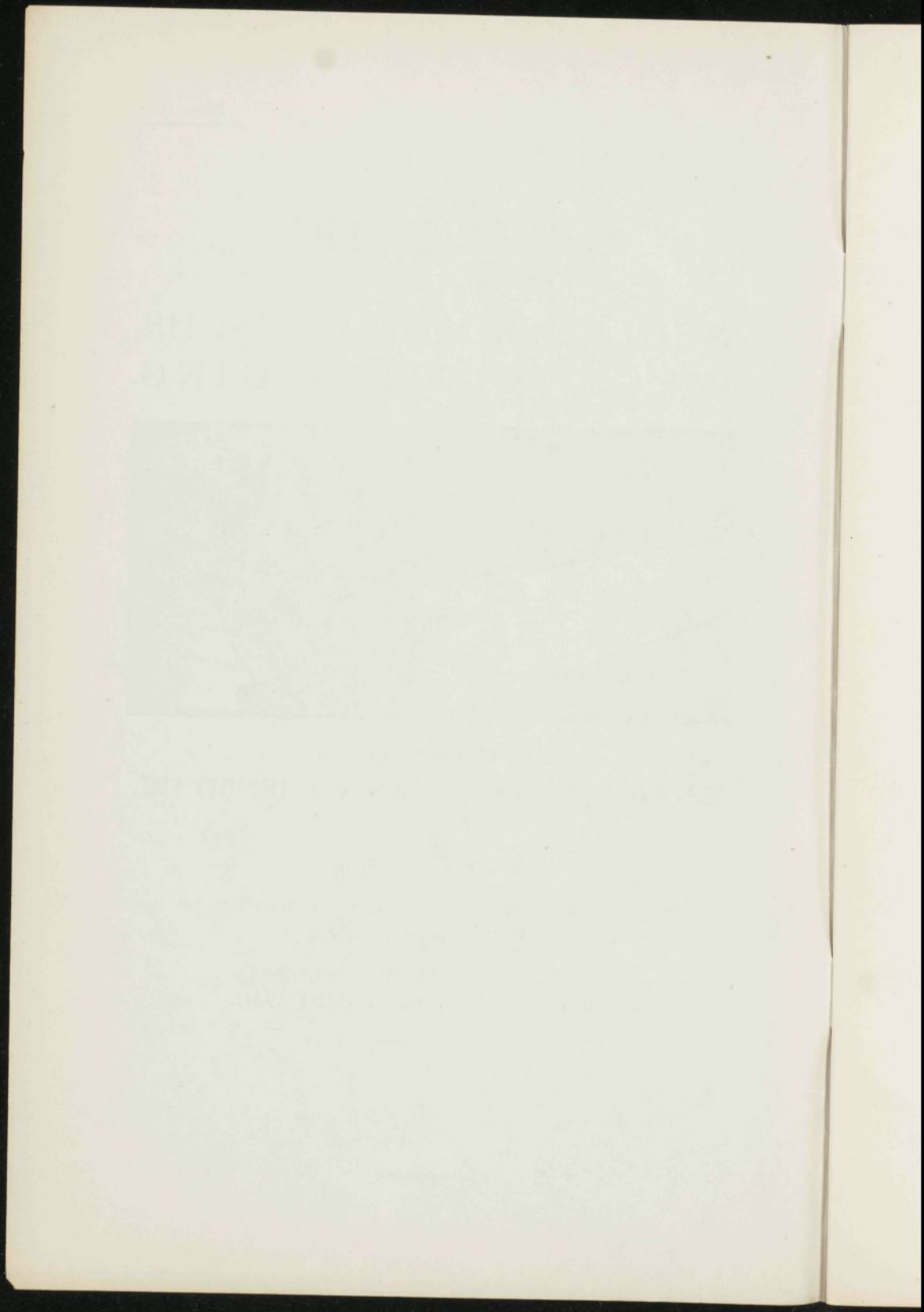
INZICHTEN OVER
GRONDWERKINGEN EN WEGENBOUW.

van

Ir. H. GRONDIJS

Leider der Geologisch Technische onderzoeken bij den
Mijnbouw-Opsporingsdienst.

Voorgedragen ter 7de Alg. Vergadering
v/d N. I. W. V. op 29 JUNI 1931.



GRONDWERKINGEN EN WEGENBOUW.

Meer en meer heeft zich de overtuiging baan gebroken, dat aan het ontwerpen en uitvoeren van eenigszins belangrijke technische werken een grondig geologisch onderzoek van het bij die werken betrokken terrein vooraf behoort te gaan, daar bij gebreke hiervan groote, vaak onherstelbare fouten gemaakt kunnen worden. De tijd ligt echter nog niet zoo heel ver achter ons, dat geologen en technici meenden het buiten elkaar te kunnen stellen. De reden hiervan was, dat de geoloog geheel vreemd stond tegenover de praktische wetenschap van den ingenieur, terwijl omgekeerd de ingenieur het noodige inzicht miste in de arbeidsmethoden van den geoloog. Deze kloof kon eerst overbrugd worden toen technisch geschoolde onderzoekers erin slaagden om een groot aantal geologen voor de belangrijke vraagstukken der techniek te interesseeren.

Want het tooneel der werkzaamheden van zoowel ingenieurs als geologen is tenslotte hetzelfde, n.l. de aardkorst, waarvan de geologische, hydrologische en physische eigenaardigheden het studieobject van beiden behoort te zijn. Op den weg tot vruchtbare samenwerking was een eerste groote schrede gezet toen men inzag, dat tusschen de arbeidsvelden der geologie en der bouwtechniek zich een grensgebied bevindt, dat slechts door het samengaan van ingenieurs en geologen met vrucht kon worden bewerkt.

Dit gebied is dat der technische geologie, een nog jonge, maar niettemin reeds krachtig uitgegroeide tak van wetenschap, die haar snelle ontwikkeling der laatste decaden dankt aan den arbeid van tal van onderzoekers.

Ook in Nederlandsch-Indië heeft men langzamerhand leeren inzien, dat geologen en ingenieurs elkaar niet kunnen ontberen, en dat samenwerking alleen dan goede resultaten kan ople-

veren, wanneer eerstgenoemden zich op de hoogte stellen van de moeilijkheden, waarmede de ingenieur bij het ontwerpen en uitvoeren van technische werken te kampen heeft, terwijl aan den anderen kant de uitvoerders van bouwwerken het niet zullen kunnen stellen buiten eenig inzicht in de werkmethoden van den geoloog of op geologisch gebied geschoolden ingenieur.

Daarnet werd de aardkorst genoemd als het studieobject van zoowel geologen als ingenieurs. Wij zullen ons nauwkeuriger moeten uitdrukken en aangeven welk deel van die aardkorst ons speciaal interesseert; en wij kunnen dan niet beter doen dan de woorden aanhalen van Prof. Mohr in de inleiding van zijn hoofdzakelijk voor landbouwkundigen geschreven belangrijke werk over „De Grond van Java en Sumatra”:

„De losse grond, de huid van het aardoppervlak, is voor degenen die in contact staan met den landbouw, het allervoornaamste; de vaste aardkorst eronder heeft voor hen slechts indirecte waarde. Maar de geologen bestudeeren juist in de eerste plaats de dieper gelegen vaste gesteenten en voor hen heeft het oppervlakte-materiaal slechts indirecte waarde als vingerwijzing omtrent het eronderliggende; zij zien als anatomen door de huid heen en denken haar voor hun eigenlijke werk weg. De agrogeologen zijn dan meer de huidspecialiteiten; zij moeten natuurlijk ook wel de anatomie, enz. kennen, maar het object van hun studie is toch de huid, de grond”.

Deze grond, dit losse materiaal — „de rommel” gelijk het door sommige diepte-geologen wordt genoemd — dat het vastere deel van de aardkorst overdekt, is, evenals voor den agrogeoloog, ook voor den technischen geoloog en voor den ingenieur het voornaamste studie-object. Ook wij zijn huidspecialiteiten of moeten althans trachten het te worden.

Het is een verblijdend teeken, dat ook de Wegenraad het groote belang der samenwerking van technische geologen en ingenieurs heeft ingezien. Tot dusver heeft in de meeste

landen, ook in Nederlandsch-Indië, de werkzaamheid van den wegeningenieur zich uitsluitend beperkt tot het wegdek en is de ondergrond eigenlijk nimmer het onderwerp geweest van systematisch onderzoek.

Gebouw en fundeering behooren één geheel te vormen. Deugt de fundeering niet, dan kan het gebeuren, dat de meest solide bovenbouw groote schade lijdt of zelfs vroeg of laat geheel vernietigd wordt als gevolg van onvoldoende inzicht in de verhoudingen van den ondergrond bij den bouwmeester. Ook een straatweg is een bouwwerk, waarbij men — de bovenbouw moge zoo hecht zijn als men wil — niet straffeloos de eigenschappen van den ondergrond onvoldoende waardeert. Hiervan zullen aan het eind van dit opstel eenige voorbeelden uit de praktijk van den wegeningenieur worden gegeven.

De *juiste* waardeering van de eigenschappen van den grond, dat is de hoofdzaak. Hoe gedragen zich die honderden en duizenden grondsoorten onder de in de natuur steeds wisselende voorwaarden van druk en vochtgehalte? Welke gronden hebben geprononceerde schuifeigenschappen en welke niet? Welk talud moet men geven aan de wanden van een ingraving of ophooging? Welke gronden hebben de onprettige eigenschap van sterke krimp in den drogen moesson en welke maatregelen moeten dan genomen worden om bij den aanleg van bouwwerken in deze gronden het gevaar voor schade zooveel mogelijk te beperken? Wat is de invloed van het humusgehalte op het physisch gedrag van een kleisoort? Is het verantwoord om een bouwwerk te fundeeren op een veenbodem en welke maatregelen moeten in een dergelijk geval getroffen worden? Ziedaar enkele vragen, die schering en inslag zijn bij het ontwerpen en uitvoeren van technische werken in het algemeen en bij die van wegen in het bijzonder.

Het is de onzekerheid, waarin men telkens verkeert, wanneer een positief antwoord verlangd wordt, dat door het ontbreken van voldoende en betrouwbare gegevens niet gegeven kan worden — die dit onderdeel van de technische geologie vaak zulk een teleurstellend studieobject doet zijn.

Het grondonderzoek, de bestudeering van de physische eigenschappen en in de voornaamste plaats van de bewegelijkheid van het losse materiaal, waaruit de allerbuitenste korst van onze aarde is samengesteld, vormt het jongste en tevens een der moeilijkste onderdeelen van de technische geologie.

Tot dusver is deze tak van de geologie, voor zoover hij betrekking heeft op den aanleg van wegen, eigenlijk alleen in de Vereenigde Staten van Amerika en in Sowjet-Rusland stelselmatig bestudeerd. De opgave van dezen tak van wetenschap bestaat in het onderzoek en de klassificeering van de bodemsoorten met betrekking tot haar geschiktheid om als onderlaag te dienen voor verkeerswegen en in de keuze van het goedkoopste wegentype, dat bij de gegeven geologische en klimatologische voorwaarden, juist nog kan beantwoorden aan de eischen van het moderne, zich steeds uitbreidende motorverkeer.

In Amerika heeft men al sinds bijna twintig jaar getracht normen vast te stellen voor een scherpere beoordeeling van de geschiktheid van den ondergrond voor den aanleg van wegen. Enkele ervaringen, welke men in den loop van dezen tijd opgedaan heeft, mogen hier volgen.

In Cleveland, (Ohio-U.S.A) gingen baksteenwegen met een 15 cm. dikke beton-onderlaag op een kleibodem in enkele jaren ten gronde, terwijl baksteenwegen met een slechts 10 cm. dikke betonlaag op een kleiarmen bodem zich goed hielden. In Californië heeft men een toestandsanalyse gemaakt van een wegnnet over een totale lengte van ca. 2000 kilometer. Men heeft hierbij de ervaring opgedaan, dat alle op een zandbodem geconstrueerde wegen zich in onberispelijken staat bevonden. Van de beschadigde wegen was, in kilometers lengte uitgedrukt, 24 % aangelegd op een leembodem en 76 % op een onderlaag van klei of zeer fijnkorrelig zand.

Uit deze en dergelijke ervaringen meende men de gevolgtrekking te mogen maken, dat de geschiktheid van den ondergrond in de eerste plaats afhangt van de hoeveelheid en den aard van de fijnste bodembestanddeelen en aldus geraakte men op grond van deze opvatting tot het opstellen

van zekere empirische regels, met behulp waarvan men uit de resultaten van laboratoriumonderzoekingen trachtte conclusies te trekken, omtrent de al of niet deugdelijkheid van den bodem. De ervaringen der laatste jaren hebben evenwel geleerd, dat de levensduur van een weg niet alleen van het bodemmateriaal afhankelijk is, maar eveneens in hooge mate van den toestand, waarin zich de bodem in de natuur bevindt en van de hydrologische verhoudingen, stand van den grondwaterspiegel, enz. Deze toestand verandert niet alleen met den aard van de bedekking door de vegetatie, maar ook met de jaargetijden.

Terzaghi deelt mede, dat aan een weg in den Staat New-York de waarneming werd gedaan, dat het wegdek in de insnijdingen van het uit kleien opgebouwde landschap totaal verbrokkeld was, terwijl de verharding, aangelegd op de met het uitgegraven materiaal gestorte ophoogingen, geheel intact bleef. Aan enkele andere wegen, die eveneens een kleiig terrein doorsneden, werd evenwel de tegengestelde ervaring opgedaan. Daar de proefnemingen in het laboratorium ons slechts inlichtingen over het materiaal van den bodem geven, moeten deze onderzoeksresultaten aangevuld worden door waarnemingen in het terrein. Het is immers mogelijk, dat een en dezelfde kleisoort in de natuur nu eens praktisch volkomen waterdicht is, dan weer doorzet is met wortelkanaaltjes en andere holten, waarin het water vrij circuleeren kan. Een poreuze bodem houdt zich goed, terwijl een ondoorlatende klei op den duur verpappen kan en aanleiding geven tot grondwerkingen, die den weg in gevaar brengen. Op deze eigenschappen van den grond zal straks teruggekomen worden.

Het is wel algemeen bekend, dat het water de voornaamste rol vervult onder al de factoren, die van invloed zijn op het gedrag van den bodem; de eigenschappen van den grond worden in hoofdzaak bepaald door het vochtgehalte. Na jarenlange onderzoekingen is tenslotte A t t e r b e r g erin geslaagd een klassificeering der grondsoorten op te stellen met betrekking tot haar fysisch gedrag.

Ook in Indië zijn eerst door Prof. Mohr in het agrogeologisch laboratorium te Buitenzorg en sinds 1922 ook in het onder leiding van Prof. van Alphen de Veer staande Laboratorium voor Materiaal-onderzoek der B.O.W. verschillende grondsoorten op haar physische eigenschappen onderzocht. Maar alleen door een veeljarige geologische terreinervaring bleek het aan de hand van het laboratorium-onderzoek mogelijk te zijn, om binnen ruime grenzen eenigszins een denkbeeld van het gedrag der verschillende grondsoorten te verkrijgen. Eerst sinds 1927 is het door onderzoek van in het terrein als specifiek gunstig of ongunstig bekend staande grondsoorten aan de hand van de daaruit verkregen resultaten mogelijk geweest uit analogie bepaalde gevolgtrekkingen te maken ten aanzien van andere grondsoorten.

Onze kennis van de Indische grondsoorten, en wel speciaal die van Java, met betrekking tot haar op geologisch-technisch gebied belangrijkste eigenschappen, heeft door de werkzaamheid van Ir. van Es, die over groote terreinervaring beschikt, een belangrijke uitbreiding gekregen. Het spreekt van zelf, dat de agrogeologische onderzoekingen van Prof. Mohr, die de geologisch-technische gedeeltelijk overlappen, hierbij van groot nut zijn geweest.

Van Es ging uit van twee bepaalde grondsoorten, n.l. geel of rood verweerde vulkanische grond (z.g. lixiviumgrond) en blauwgrijze of zwarte vette klei (z.g. schuifklei).

Bij de verweerde vulkanische gronden is veelal te zien, dat de wanden van diep ingesneden rivierdalen of waterleidingen weinig neiging tot afschuiven vertoonen en dikwijls zelfs over groote hoogte loodrecht blijven staan; ook in dijken langs irrigatieleidingen of in sawahterreinen kan dikwijls geconstateerd worden, dat ondanks doorsijpelend water, deze grondsoorten in steil talud niet afschuiven of wegzakken.

De zware kleigronden, welke men in de jong-tertiaire streken veel aantreft, vertoonen een geheel ander beeld. In den regentijd of bij aanwezigheid van bevoeiingswater wordt een sterke verpapping van den grond waargenomen. Zelfs

onder geringe hellingen komen zware afschuivingen voor. In drogen toestand is de grond zeer hard, maar sterk gescheurd.

Uitgaande van deze twee grondsoorten is het door vergelijking langzamerhand mogelijk geworden verschillende typen te leeren kennen, die natuurlijk weer door tal van overgangen met elkaar verbonden zijn. Het spreekt vanzelf, dat de bestudeering van het op wetenschappelijke wijze verkregen statistische materiaal nog telkens nieuwe vragen doet rijzen en elk afwijkend grondmonster weer een nieuw verschiet opent.

De beschikbare ruimte, legt eenige beperking op ten aanzien van de behandeling van de algemeene physische eigenschappen van de grondsoorten en de bepaling ervan in het laboratorium. Maar er zijn toch enkele fundamenteele zaken, die in het belang van een recht begrip van wat het grondonderzoek voor ons doel beteekent, niet geheel en al onbesproken gelaten kunnen worden. Heel in het kort zal een en ander medegedeeld worden over de *consistentiecijfers*, de *korrelgrootte van het materiaal*, de *doorlaatbaarheid* en de *krimp*.

De kleien vertoonen bij varieerend watergehalte zeer verschillende eigenschappen. Bij hoog watergehalte is een klei vloeibaar of half-vloeibaar. Verdampst een deel van het water dan gaat de klei langzamerhand over in een taaie, kleverige massa, die aan de vingers, metaal of hout blijft kleven. Deze kleverigheid verdwijnt bij verdere indroging. De klei laat zich nu goed kneden zonder aan de vingers te kleven en wordt plastisch genoemd. Bij voortgezette indroging houdt ook de kneedbaarheid op. De klei is dan nog wel vochtig, de kleibrokjes kunnen nu evenwel alleen onder druk tot een samenhangende massa vereenigd worden. Tenslotte wordt de klei na volledige uitdroging hard en kan zelfs zeer groote drukvastheid bereiken.

De diverse kleisoorten vertoonen intusschen niet geheel dezelfde eigenschappen. De eene klei blijft langer kleverig, de andere kleeft slechts weinig en laat zich gemakkelijker kneden. Om deze verschillen in cijfers te kunnen uitdrukken

moet men de grenzen opzoeken, waar de eigenschappen zich veranderen.

De Zweedsche onderzoeker Atterberg heeft aldus een aantal grenzen opgesteld, waarvan ik er slechts drie zal noemen, omdat die voor ons doel het belangrijkste zijn, n.l.:

- a. de vloeigrens;
- b. de kleefgrens; en
- c. de uitrolgrens;

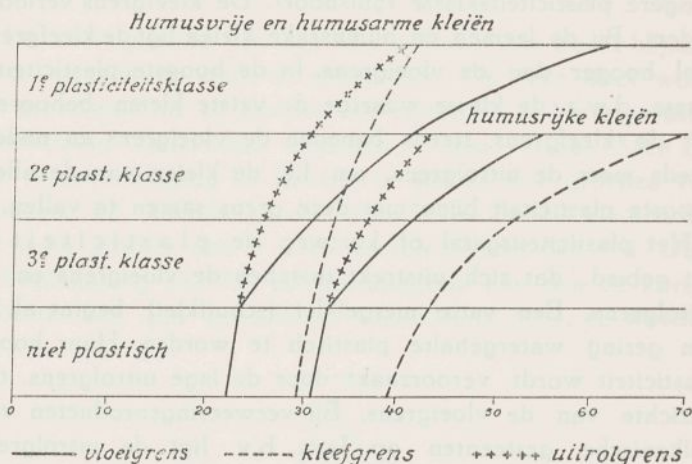
De *vloeigrens* is — uitgedrukt in percentage watergehaltes opzichte van het gewicht van de droge stof — de grens, bij welke twee naast elkaar in een schaal gelegen stukjes kleibrij, ook bij heftig stooten niet langer willen samen-vloeien.

De *kleefgrens* is de grens, waarbij de klei niet langer kleeft. De *uitrolgrens* is de grens, waarbij het kleideeg niet langer tot draden uitgerold kan worden, waarbij de plasticiteit dus verloren gaat.

Volgens Seger verstaat men onder plasticiteit de eigenschap van vaste lichamen om in de poriën water op te nemen, die vast te houden en er een massa mede te vormen, aan welke door kneden elke willekeurige vorm gegeven kan worden. Nadat de druk opgehouden heeft te werken en na verwijdering (bijv. door verdamping) van het watergehalte, blijft de éénmaal aangenomen vorm bewaard. Aan vochtig fijn zand kan wel een bepaalde vorm gegeven worden, maar toch is het niet plastisch, want na indroging valt het in korrels uiteen. De definitie van Seger is intusschen niet geheel correct. Alle plastische stoffen kunnen in plastischen toestand tot draden uitgerold worden, die in vochtigen toestand slechts dan hun vorm bewaren, wanneer ze op een onderlaag rusten.

De beteekenis der bovengenoemde grenzen, uitrol-, kleef-, en vloeigrens en het verband, dat tusschen deze grootheden gelegd kan worden, moge blijken uit onderstaand diagram, dat door Atterberg voor verschillende grondsoorten werd samengesteld.

Diagram van Atterberg



Atterberg onderscheidde vier plasticiteitsklassen. In de hoogste plasticiteitsklasse werden samengebracht de vette kleiën, die met het dubbele van haar gewicht aan zand gemengd konden worden, zonder haar plasticiteit te verliezen. De kleiën, die slechts de vermenging met hoogstens haar eigen gewicht aan zand konden verdragen, zonder haar plasticiteit te verliezen, werden in de tweede plasticiteitsklasse ondergebracht. Tot de derde plasticiteitsklasse werden gerekend te behooren de kleiën, die slechts vermenging met hoogstens de helft van haar gewicht aan zand konden verdragen. De vierde plasticiteitsklasse bevatte tenslotte die inherente materialen, welke ook zonder de geringste toevoeging van zand niet tot draden konden worden uitgerold.

Van een groot aantal Zweedsche klei- en leemsoorten — en nu zonder toevoeging van zand — heeft Atterberg de grenzen bepaald, waarbij de consistentie zich wijzigde. Het boven weergegeven diagram toont, dat de vloiegrens en de uitrolgrens bij de zandrijke kleiën en leemen, die niet

plastisch zijn, samenvallen en deze grenzen zich des te verder van elkaar verwijderen, al naar gelang de kleisoort in een hoogere plasticiteitsklasse thuishoort. De kleefgrens verloopt anders. Bij de leemen en humusrijke kleien ligt de kleefgrens veel hoger dan de vloeigrens. In de hoogste plasticiteitsklasse, d.w.z. de klasse waartoe de vetste kleien behooren, ligt de kleefgrens steeds beneden de vloeigrens en nadert steeds meer de uitrolgrens, om bij de kleien van de allerhoogste plasticiteit bijna met deze grens samen te vallen.

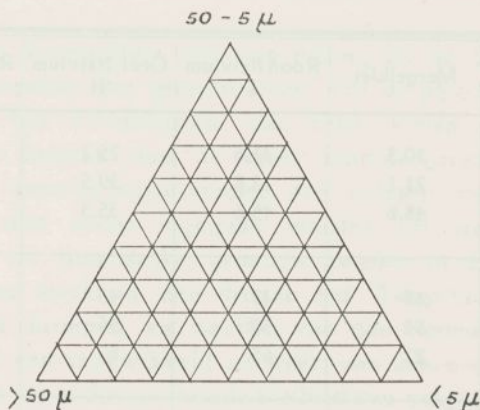
Het plasticiteitsgetal of kortweg de plasticiteit is het gebied, dat zich uitstrekt tusschen de vloeigrens en de uitrolgrens. Een vette mergelklei (schuifklei) begint al bij een gering watergehalte plastisch te worden. Haar hoge plasticiteit wordt veroorzaakt door de lage uitrolgrens, ten opzichte van de vloeigrens. Bij verweeringsproducten van vulkanische gesteenten op Java b.v. ligt de uitrolgrens veel hoger, en in het algemeen niet ver beneden de vloeigrens, waarvan derhalve eene kleine plasticiteit het gevolg is. Deze laatstgenoemde grondsoorten behouden, in tegenstelling tot wat bij de mergelkleien regel is, tot kort voordat het watergehalte tot de vloeigrens is toegenomen, een hoogen weerstand tegen afschuiving.

Het verschil tusschen de kleefgrens en de vloeigrens wordt in navolging van Prof. Mohr het *surplus* genoemd. In het diagram is te zien, dat dit surplus (kleefgrens minus vloeigrens) zoowel negatief als positief kan uitvallen. Dat de kleefgrens, zooals bij zandige magere grondsoorten en de meeste verweeringsproducten van vulkanische gesteenten op Java regel is, hoger kan liggen dan de vloeigrens, is een niet verwacht resultaat van de in het laboratorium verrichte onderzoekingen. Een bevredigende verklaring van deze interessante eigenschap is nog niet gegeven. Bij de mergelkleien ligt de kleefgrens meestal lager en vaak belangrijk lager dan de vloeigrens; het surplus is bij deze grondsoorten dus in den regel negatief.

Door het teeken van het surplus is men dus onmiddellijk georiënteerd omtrent den aard der grondsoort. In de praktijk is in het algemeen gebleken, dat grondsoorten met een ne-

gatief surplus schuifeigenschappen bezitten, die des te meer geprononceerd zijn, naar gelang dit negatieve bedrag grooter is.

De korrelgrootte van een klei of leemsoort wordt bepaald door afzeven en door de slibanalyse. Op deze wijze wordt de grondsoort in 10 fracties van verschillende korrelgrootten gescheiden, varieerende tusschen 2 mm. en nul. Men kan ter vereenvoudiging de fracties in slechts drie groepen vereenigen, n.l. korrels grooter dan $50\ \mu$, korrels kleiner dan $50\ \mu$ en grooter dan $5\ \mu$ en korrels kleiner dan $5\ \mu$. Door gebruikmaking van het driehoekdiagram kan dan de korrelgrootte van een grondsoort onmiddellijk overzien worden.



In deze driehoek stellen de hoekpunten 100% van een der drie korrelgrootten voor. Een bepaald punt binnen den driehoek stelt dus een zekere korrelgrootte-samenstelling voor, welke onmiddellijk kan worden afgelezen, aangezien de gelijkzijdige driehoek de eigenschap heeft, dat, wanneer uit een willekeurig punt binnen den driehoek lijnen evenwijdig aan de zijden getrokken worden, de som der afstanden tot die zijden gelijk is aan de zijde van den driehoek.

Wat is nu de invloed van de korrelgrootte op de fysische eigenschappen van een grondsoort? Men heeft vroeger den

invloed van de korrelgrootte wel overdreven en de minder gunstige eigenschappen van een grondsoort toegeschreven aan het groote gehalte aan fijne bestanddeelen. Zoo algemeen uitgedrukt is deze stelling zeker niet juist. Het is n.l. bij de vergelijking van grondsoorten van ongeveer gelijke geologische afkomst, maar van afwijkende korrelgrootten opgevallen, dat de physische eigenschappen dier gronden minder verschillen vertoonen dan die, welke bestaan tusschen grondsoorten van gelijke korrelgrootte, maar van een andere mineralogische samenstelling.

Zeer instructief is in dit opzicht de vergelijking van een monster mergelklei met eenige monsters lixivium, d.w.z. verweeringsproducten van vulkanische gesteenten.

Korrelgrootte	Mergelklei	Rood lixivium I	Geel lixivium II	Rood lixivium III
$> 50 \mu$	30.3	31.6	25.2	11.6
$50 \mu - 5 \mu$	21.1	22.8	39.5	28.3
$< 5 \mu$	48.6	45.6	35.3	60.1
uitrolgrens	18	47	48	40
vloeigrens	52	52	55	56
kleefgrens	27	65	67	64
plasticiteit surplus	34 -25	5 + 13	7 + 12	16 + 8
krimp	13.4	10.9	4.8	10.9
kleiballen- proef.	na 1 week alle kapot, doch niet uiteen- gevallen.	na 20 min. alle totaal uit- eengevallen.	na 10 min. alle totaal uit- eengevallen.	na 10 min. alle totaal uit- eengevallen.

Vergelijkt men de lixivium-monsters met hun tamelijk sterk wisselende korrelgrootte-samenstelling met elkaar dan valt

op, dat de consistentiecijfers slechts weinig uiteenloopen. Stelt men daarentegen het monster mergelklei naast het lixiviummonster No. 1, dan valt op, dat ofschoon de korrelgrootten vrijwel overeenstemmen, daarentegen de physische eigenschappen zeer sterke verschillen vertoonen. De vloeigrenzen zijn bij beide monsters toevallig precies even hoog, maar de kleefgrens is bij het kleimonster 25 lager dan de vloeigrens, terwijl de kleefgrens van het monster lixivium 13 hooger is dan de vloeigrens. Daarmede is tevens eene voor de praktijk van den wegeningenieur belangrijke eigenschap van deze grondsoorten gekarakteriseerd. Het sterk negatieve surplus van de mergelklei wijst op schuifgrond, terwijl het lixivium met zijn groot positief surplus niet schuift.

Ook de krimp cijfers zijn van belang bij de beoordeeling van het karakter der grondsoorten. Op de physische verklaring van het ervaringsfeit, dat vette kleien een hooger krimp cijfer hebben dan de meer zandige grondsoorten en de meeste verweeringsproducten der vulkanische gesteenten kan hier niet nader ingegaan worden. De zeer plastische kleien en de humusrijke gronden zwellen in den regentijd en krimpen sterk in den drogen tijd. Tengevolge van dit afwisselend krimpen en zwellen van den bodem kan in de grondsoort een ingewikkeld netwerk van scheuren ontstaan, waar langs de aldus gevormde kleibrokken neiging vertoonen ten opzichte van elkaar te gaan schuiven. Vaak ziet men aan de wanden der ontstane spleten gladde wrijf spiegels, waarlangs de kleibrokken gemakkelijk van elkaar loslaten. Dat dergelijke sterk werkende kleigronden weinig geschikt zijn om er een transportweg over te traceeren behoeft wel niet nader te worden toegelicht.

Een maat voor de doorlatendheid der grondsoorten wordt gevonden in het resultaat van de kleiballenproef. Bij kleiballen van bepaalde diameter en geformeerd bij een watergehalte van om en nabij de vloeigrens, wordt de tijd opgenomen die verstrijkt, voordat ze onder water totaal uiteenvallen. Deze toestand wordt pas bereikt, wanneer de hoeveelheid opgenomen water gelijk is aan de afdruipegrens. De zeer vette

kleien behoeven daartoe een periode van soms verscheidene weken, als gevolg van de geringe doorlatendheid van het materiaal en de daardoor veroorzaakte zeer langzame indringing van het water. De doordrenking van zandige grondsoorten heeft daarentegen veel sneller plaats; bovendien hebben deze laatste gronden een lagere afdruijpgrens, zoodat ook om die reden het vereischte kwantum water eerder wordt opgenomen.

Gelijk uit het bovenstaande te zien is, is de doorlatendheid van lixiviumgronden belangrijk grooter dan die van mergelkleien.

Het kan nu wel als bewezen worden beschouwd, dat de korrelgrootte van een grondsoort als zoodanig geen voldoende basis vormt voor de fysische eigenschappen. A t t e r b e r g heeft series proeven genomen met afgeslibd zand van mikroskopische afmetingen, n.l. zand met korrelgrootten van 50μ — 20μ , van 20μ — 10μ , van 10μ — 5μ , van 5μ — 2μ en van 2μ — 1μ . Deze zeer fijne zanden vertoonden de eigenschap, om na vermenging met een voldoende kwantum water, in een samenhangende taaie straal te kunnen vloeien. Zulke mengsels gedragen zich dus als mengsels van hooge viscositeit. Wordt meer zand bijgemengd, dan vloeit de zandstraal steeds trager, en valt tenslotte uiteen. Bij toevoeging van nog meer zand kleeft de massa niet meer aan de vingers. Het zand-water mengsel is dan evenwel niet plastisch, maar nog steeds vloeibaar. Bij een nieuwe toevoeging van zand voelt de massa hard aan, maar is nog steeds traag-vloeibaar. Ten slotte vloeien de klompjes bij voortgezette zandtoevoeging niet meer tezamen. Zij zijn dan hard, niet plastisch. Deze klompjes kunnen, voorzoover het vochtgehalte toereikend is, onder lichten druk weer verenigd worden.

Men heeft hier dus het merkwaardige verschijnsel, dat ook het zeer fijne zand — van 2μ — 1μ — geen werkelijke plasticiteit vertoont, d.w.z. het is een stof, die zich niet tot samenhangende draden kan laten uitrollen. Geen enkele der zandsoorten vertoonde de eigenschap der uitrolbaarheid —

een eigenschap, die klei wel bezit. Maar wát is klei dan? Door welke eigenschap, die klei wél en ook het allerfijnste zand niet bezit, heeft klei die allerbelangrijkste eigenschap der plasticiteit — vormbaarheid en vormvastheid —, welke, zooals wij gezien hebben, zand ook bij zeer fijne vermaling niet kan verkrijgen?

Atterberg heeft het eerst op deze vraag een antwoord gegeven, dat verschillende onderzoekers bevredigd heeft. Het is hem gelukt om door fijne vermaling van kristallijne mineralen met bladerige structuur, zooals mica, talk, e.a. een fijn poeder te verkrijgen, waarvan de eigenschappen met die van typische kleien overeenstemmen. Volgens Terzaghi moet dan ook het groote onderscheid, dat bestaat in de samendrukbaarheid en elasticiteit van zand eenerzijds en van klei anderzijds worden verklaard door den schubvorm van de kleideeltjes. In 1926 onderzocht Gilboy in Cambridge de samendrukbaarheid en elasticiteit van grofkorrelige mengsels van zand en mica. Hij kon aantoonen, dat de elastische eigenschappen van deze mengsels volkomen identiek zijn met die der kleien. De elastische eigenschappen van de vetste tot dusver onderzochte kleien komen ongeveer overeen met die van een grofkorrelig mengsel, dat voor ca. 75 % uit zand en voor 25 % uit mica bestaat. Aan deze verklaring van het gedrag van klei wordt steun gegeven door de resultaten van een onderzoek van professor Goldschmidt te Oslo, die aantoonde, dat de Noorsche kleien een gehalte hebben aan platte mineralen (talk, mica, chloriet enz.) varieerend tusschen 12 en 27 %.

Hier kan niet ingegaan worden op alle door tal van onderzoekers verrichte proefnemingen, die ten doel hadden het wezen van de technische eigenschappen van kleigronden tot klaarheid te brengen. Terzaghi wijst op de groote overeenkomst van klei, waarin schubvormige mineraalbestanddeelen voorkomen en de meer grofkorrelige zand-glimmermengsels. Hij vormde zich tevens een mechanisch beeld van de opzwellbaarheid van klei en de daarmee samenhangende plasticiteit en geringe inwendige wrijving.

Het geheel der ingewikkelde verschijnselen, die men waarneemt bij kleimassa's, kan echter slechts volledig worden

overzien wanneer men de resultaten der kolloid-chemische wetenschap daarbij in beschouwing neemt.

De kolloid-chemie omvat de kennis van de fysische en chemische eigenschappen van eene fijne verdeeling van materie in een medium. De fijn verdeelde materie, ook de disperse phase genoemd, kan uit deeltjes van verschillende grootte bestaan. Men noemt de verdeeling colloidaal, wanneer die deeltjes niet meer microscopisch waargenomen kunnen worden, maar toch nog aanmerkelijk grooter zijn dan moleculen.

Plasticiteit, opzwellbaarheid en vermindering der inwendige wrijving zijn slechts enkele der hier te vermelden technisch zoo belangrijke eigenschappen der materie, die tegenwoordig geheel van uit een kolloid-chemisch standpunt worden beschouwd.

Klei treedt in verschillende vormen op. Het hoofdbestanddeel is een verweeringsproduct van veldspaat (waterhoudend aluminiumsilicaat of kaolien), de grondslag van alles wat klei heet. Maar naast kaolien vindt men in kleien nog andere verweeringsproducten als aluminiumhydraten (allophaan) of ijzerhydraten (limoniet); vandaar de verschillen tusschen wat men klei noemt en lixivium. Dan is nog het kalk- en humusgehalte van invloed, zoodat het geen wonder is, dat de fysische eigenschappen onmogelijk uit de korrelgrootte van gronden kunnen worden afgeleid, die uit mengsels van allerlei mineralogischen aard bestaan.

Een juiste herkenning van het geologische voorkomen van den grond heeft het voordeel, dat bepaalde grondtypen onderscheiden kunnen worden. Bij vergelijking van grondsoorten uit eenzelfde type, dus van gelijke geologische herkomst, blijkt de invloed van de korrelgrootte wel te onderkennen.

Ter illustratie van het bovenstaande, zal hier een geval geciteerd worden, dat voor de praktijk van den wegeningenieur van belang is. Het betreft het onderzoek van 4 uit mergelklei bestaande grondmonsters, genomen op 0.50 m., 1 m., 1.50 m. en 2 m. diepte uit eenzelfde put, die gegraven

werd in het tracé van den weg Penaron — Lokop — Blangkedjeren in het Gouvernement Atjeh. De bedoeling hiervan was na te gaan, tot welke diepte de landhoofden van een over de Penaronrivier te leggen brug in het mergelgesteente moesten worden gefundeerd. Men had nl. opgemerkt, dat dit gesteente door atmosferische invloeden zeer snel verweert. Het materiaal bestaat uit een en dezelfde grondsoort, die naar boven toe telkens in een opvolgend stadium van verweering verkeert.

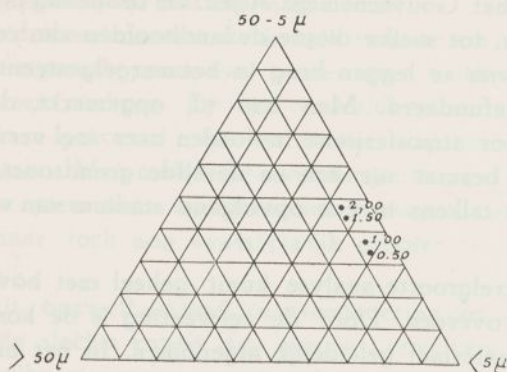
De korrelgrootte-analyse komt geheel met bovenstaande volgorde overeen. Door de verweering is de korrelgrootte van het materiaal geleidelijk afgenomen. In het bijzonder is dit te zien aan de ligging der vier monsters op een rechte lijn in den slibdriehoek.

Diepte-ligging v/h monster :		— 0.50 m.	— 1.00 m.	— 1.50 m.	— 2.00 m.
Slibanalyse in %					
deelen 2 — 1 mM : mM :					
" 1 — 0.5	" :	0.4 %	0.6 %	0.7 %	1.1 %
" 0.5 — 0.25	" :				
" 0.25 — 0.1	" :	5.1 "	4.6 "	8.3 "	7.4 "
" 0.1 — 0.05	" :				
" 50 — 20	μ :	35.1 "	38.2 "	43.7 "	48.5 "
" 20 — 5	" :				
" 5 — 2	" :	11.7 "	10.9 "	13.4 "	13.6 "
" 2 — 0.5	" :	16.6 "	17.8 "	16.1 "	15.1 "
" < 0.5	" :	31.1 "	27.9 "	17.8 "	14.3 "

De monsters bestaan alle vrijwel uit stof en slib, met slechts zeer weinig zand. De invloed van de verweering blijkt ook uit de consistentiecijfers van Atterberg.

In de grafiek op blz. 19 is het verband tusschen de afnemende korrelgrootte en de cijfers van Atterberg weergegeven. Men ziet daaruit de stijging der grenzen. Ook de krimp neemt toe. Als gevolg van de snellere stijging van de

Plaats in den slibdriehoek.

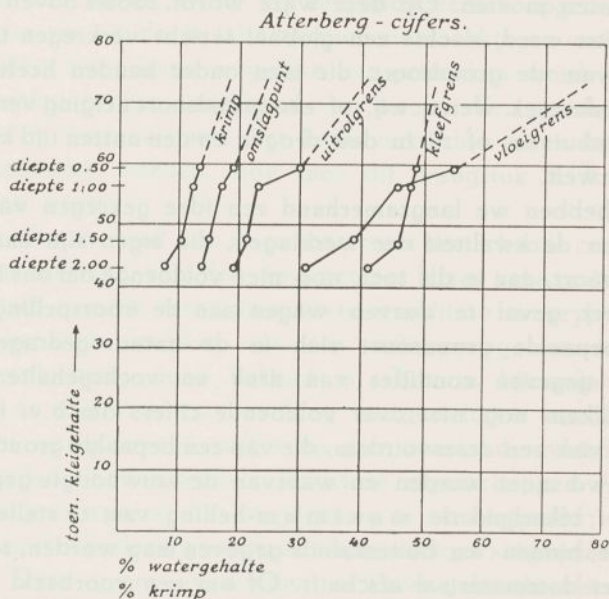


Diepte-ligging v h monster :	— 0.50 m.	— 1.00 m.	— 1.50 m.	— 2.00 m.
Uitrolgrens	30	23	21	19
Vloiegrens	55	46	39	31
Kleefgrens	49	48	46	41
Plasticiteit	25	23	18	12
Surplus	— 6	+ 2	+ 7	+ 10
Krimp	13.5	12.3	10.5	7.9
Kleiballen na 2 weken	goed	goed	kapot na 2 dagen	totaal uit- eengeval- len na 2 dagen.

vloiegrens ten opzichte van de kleefgrens daalt het surplus van resp. + 7 en + 2 tot — 6. De plasticiteit neemt toe van 12 over 18 en 23 tot 25.

Uit dit alles kan afgeleid worden, dat het weinig verweerde kleigesteente nog geen slechte eigenschappen heeft, maar dat door verweering de verhoudingen langzamerhand ongunstiger worden, zoodat het eindproduct een schuivende kleigrond wordt. Dit geschiedt niet alleen aan de oppervlakte, maar

in het bijzonder ook langs spleten. Daardoor ontstaat de mogelijkheid, dat oogenschijnlijk nog gave kleisteen door weke schuifklei in brokken gescheiden wordt, die langs



deze spleten gemakkelijk kunnen afschuiven. Zoodra men beneden den grondwaterspiegel komt, waar het mergelgesteente niet meer aan atmosferische invloeden is blootgesteld, heeft de verweering er ook zoo goed als geen vat meer op. Men zal dus goed doen, de landhoofden van de brug beneden het niveau van het grondwater te fundeeren.

Uit het voorgaande is gebleken, dat bij de beoordeeling van grondmonsters de geologische afkomst, welke uit het terreinonderzoek bekend kan zijn, in de eerste plaats maatgevend is. In het terrein kan men in den regel dadelijk onderkennen, of men met de verweeringsproducten van vulkanische gesteenten dan wel met die van kleigesteenten te maken heeft, b.v. mergels, waarvan het kalkgehalte geheel of gedeeltelijk is uitgeloozd.

Met het geologisch terreinonderzoek en de daarbij aansluitende onderzoekingen in het laboratorium, zooals deze

laatste zich tot dusver slechts uitgestrekt hebben tot de bepaling van de korrelgrootte, de consistentiecijfers, krimp en doorlaatbaarheid, zijn wij evenwel nog lang niet, waar wij wezen moeten. Op deze wijze wordt, zooals boven reeds geschetst werd, slechts een globaal inzicht verkregen in den aard van de grondsoort, die men onder handen heeft. Uit ons onderzoek weten wij, of een grondsoort neiging vertoont tot afschuiven, of zij in den drogen en den natten tijd krimpt en opzwelt.

Al hebben we langzamerhand een idee gekregen van den aard en de kwaliteit der werkingen, die eigen zijn aan een grondsoort, dan is dit toch nog niet voldoende om ons in een concreet geval te durven wagen aan de voorspelling hoe een bepaalde grondsoort zich in de natuur gedragen zal onder gegeven condities van druk en vochtgehalte. Wij beschikken nog niet over voldoende cijfers om b.v. in het geval van een reservoirdam, die van een bepaalde grondsoort gebouwd moet worden en waarvan de stuwhoogte gegeven is, met zekerheid de maximum-helling vast te stellen, die aan de binnen- en buitentaluds gegeven mag worden, zonder dat het dammateriaal afschuift. Of om een voorbeeld uit de praktijk van den wegeningenieur aan te halen: welke helling bij een weginsnijding in een kleiterrein aan de taluds gegeven moet worden, opdat geen afschuivingen optreden en toch het grondverzet niet onnoodig hoog wordt?

Hiermede is een onderwerp uit de technische geologie aangeroerd, waaromtrent onze kennis zeer onvoldoende is. Aangaande de inwendige wrijving en de cohesie van onze Indische grondsoorten: factoren, die variëren met het vochtgehalte en den druk, weten wij nog zeer weinig. Bepalingen van den weerstand tegen schuifkrachten, welke in coherente grondmassas optreden, zijn in Ned. Indië tot dusver eigenlijk nooit verricht.

Hierin moet verandering komen, en het is nu de taak van het bureau der Geologisch-Technische Onderzoekingen van den Opsporingsdienst om, in samenwerking met het Laboratorium voor Materiaalonderzoek, door tal van proefnemingen het noodige statistische materiaal te verzamelen, dat ons later

in staat zal stellen eene oplossing te vinden voor diverse vraagstukken in de bouwtechniek.

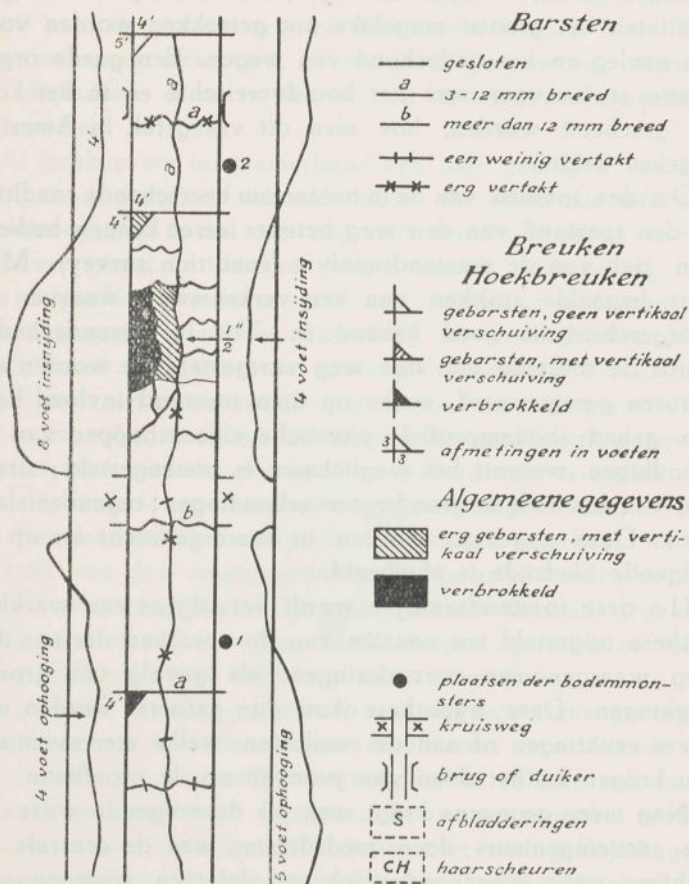
Hoe kan nu uit de bij het terreinonderzoek opgedane ervaringen en uit de bij laboratoriumonderzoekingen verkregen resultaten het grootst mogelijke nut getrokken worden voor den aanleg en het onderhoud van wegen. Een goede organisatie is hiervoor wel het hoofdvereischte en in het kort zal geschetst worden, hoe men dit vraagstuk in Amerika opgelost heeft.

Om den invloed van de in het terrein heerschende condities op den toestand van den weg beter te leeren kennen, bedient men zich van de toestandsanalyse (condition survey). Men kiest bepaalde stukken van een verkeersweg, waarvan de voorgeschiedenis goed bekend is. Tot in bijzonderheden wordt de toestand van den weg vastgesteld en worden alle factoren geregistreerd, welke op dien toestand invloed hebben gehad (bodemprofiel; physische eigenschappen van de grondlagen, waaruit het weglichaam is samengesteld; structuur van den bodem; grondwaterverhoudingen; regenneerslag; enz.). Deze gegevens worden in kaart gebracht als op de volgende bladzijde is afgebeeld.

Uit deze toestandsanalyse wordt vervolgens een werkhypothese opgesteld ten aanzien van de oorzaken der aan den weg waargenomen veranderingen, als gevolg van grondwerkingen. Deze hypothese kan dan getoetst worden aan latere ervaringen of aan de resultaten, welke men eventueel zou krijgen bij het doen van proeven op de proefbaan.

Nog meer gegevens krijgt men op de volgende wijze: De sectieingenieurs doen mededeeling aan de centrale inrichting voor wegenonderzoek van defecten, waargenomen aan het onder hun beheer staande deel van het wegennet en nemen grondmonsters, die in het wegenlaboratorium onderzocht en geklassificeerd worden. Grondsoorten, die in het laboratorium ongeveer gelijke eigenschappen blijken te hebben, worden in één klasse samengebracht, zonder dat rekening gehouden wordt met den toestand, waarin zij zich in het terrein bevinden. Worden evenwel met twee grondsoorten

van dezelfde klasse verschillende ervaringen opgedaan dan moeten door een vakman de oorzaken van dit verschillende gedrag in het terrein worden vastgesteld. Alleen langs dezen weg zal men langzamerhand den invloed leeren kennen,



die de plaatselijke, doch van het bodemmateriaal zelf onafhankelijke factoren (structuur, grondwaterstand, enz.) op den toestand van den weg hebben.

Het zwaartepunt van den arbeid ligt in het verzamelen van een groote massa statistisch materiaal door organisaties, die hun werkzaamheid uitstrekken over het geheele wegennet

en werken volgens een vast programma. In de Vereenigde Staten van Noord-Amerika is de opperleiding van het geheele wegenonderzoek in handen van een regeeringslichaam, het „Bureau of Public Roads”. Dit bureau heeft in Arlington (Va.) een bodemkundig laboratorium, waarin de loopende grondonderzoekingen verricht worden, terwijl de groote theoretische, wetenschappelijke onderzoekingen uitgevoerd worden in de laboratoria van het „Institute of Technology” van de Universiteit van Cambridge (Mas.). Het werkprogram voor den geologischen arbeid in het terrein wordt in Washington uitgewerkt met medewerking van het comité voor wegenonderzoek („Highway Research Board”) van den Nationalen Raad voor Wetenschappelijk Onderzoek („National Research Council”).

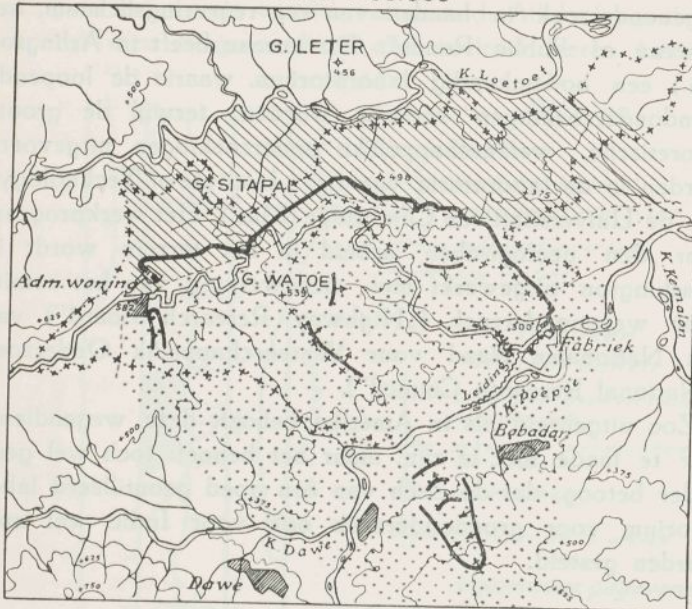
Zoo uitgebreid als in Amerika behoeft deze wegendienst hier te lande niet te zijn, maar het behoeft toch wel geen nader betoog, dat de eisch van een goed geoutilleerd laboratorium voor grondonderzoek ook voor Indië wel mag worden gesteld.

Hieronder zullen eenige typische voorbeelden worden gegeven uit de praktijk van den wegingenieur, waaruit wel duidelijk blijkt, dat bij wegaanleg de kennis der physische eigenschappen van den ondergrond van belang is.

1. De weg op de koffie-onderneming „Bandarredjo”
(Res. Semarang).

Het terrein strekt zich uit tusschen de rivieren Poepoe en Loetoet (ten Oosten van Tjandiroto, aan den weg Weleri — Magelang). De waterscheiding tusschen beide rivieren vormt tevens ongeveer de grens tusschen de vulkanische gronden in het Noorden en de tertiaire mergelterreinen in het Zuiden, waarin de hier en daar verspreide groote en kleine andesietblokken getuigenis afleggen van een vroegere overdekking dezer kleimergels door vulkanisch materiaal, dat overigens door afspoeling verdwenen is. In dit mergellandschap treden de meeste afschuivingen op. Door de min of meer poreuze

KOFFIEONDERNEMING BANDARREDJO BIJ PARAKAN
Schaal 1:50.000



Mergel

Grens beplant areaal

Lateriet

Transportweg naar de fabriek

Afschuiving

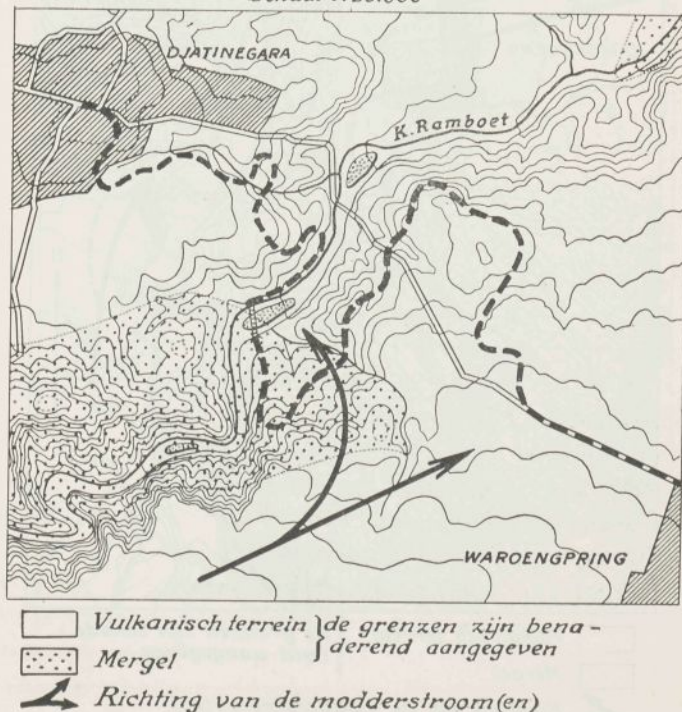
Gevolgde hoofdweg bij het onderzoek

bovenlagen, waar de grond losser is van structuur, dringt het regenwater gemakkelijk in den bodem totdat het in zijn benedenwaartsche beweging gestuit wordt door een impermeabele laag vette klei. Op dit grensvlak heeft op den langen duur verweking en tenslotte verpapping van de klei plaats. Is de vloeigrens bereikt, dan kan op hellend terrein — en een zeer geringe helling is vaak al voldoende — de klei onder invloed van het eigen gewicht uitzakken. Maar ook bij nog niet over groote dikte tot de vloeigrens doorweekte klei kan, wanneer zich aan het grensvlak slechts een smeerlaag heeft gevormd, door den druk der bovengelegen massa's, de grond al in beweging komen.

Op dit mergelterrain is de transportweg naar de fabriek aangelegd en deze weg is niet te herstellen. Het groote aantal doode bamboeboschjes bewijst hoezeer het terrein door aardschuivingen geleden heeft en ook geven talrijke scheuren dwars op en parallel aan den transportweg blijk van de aanhoudende werking van den grond in den regentijd. Het door een dikke zwarte lijn in de figuur aangegeven gunstiger tracé, dat grootendeels de waterscheiding tusschen de bovengenoemde rivieren volgt, loopt grootendeels over vulkanisch terrein, dat niet aan aardschuivingen onderhevig is. Alleen het oostelijk deel van dit tracé loopt over mergels, welke zandiger zijn dan die in het westen en derhalve meer weerstand bieden tegen schuifkrachten.

2. Provinciale weg Waroengpring – Djatinegara
(Residentie Pekalongan en Residentie Tegal).

Schaal 1:25.000

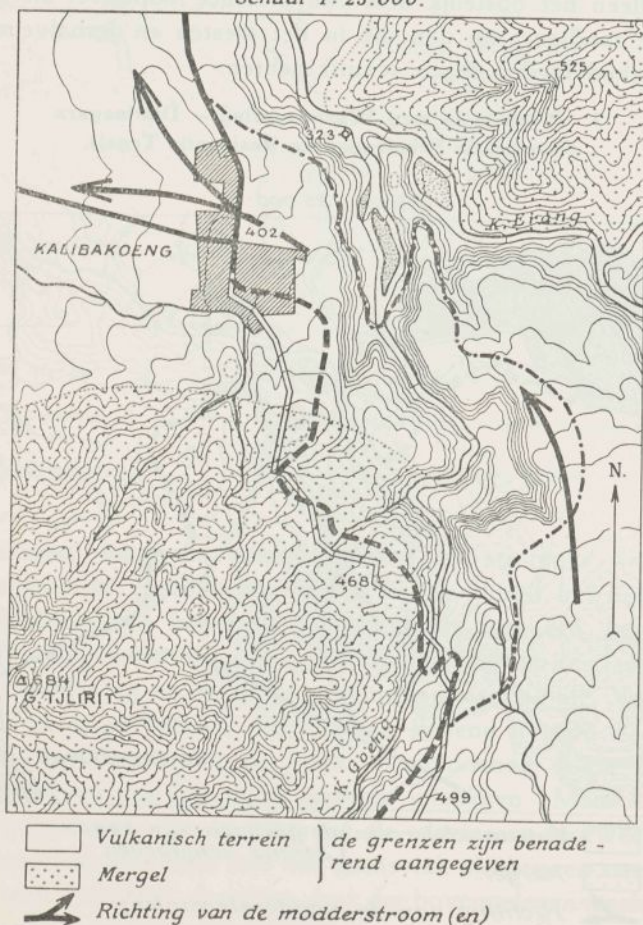


Het noordelijk landhoofd van de brug ligt op vulkanisch, het zuidelijk op mergelterrein.

Het weggedeelte op het met stippels aangegeven gebied ligt in schuifsterrein, dat men waarschijnlijk had kunnen vermijden, door de lengte-ontwikkeling van het weggedeelte op den rechteroever geheel binnen de grenzen van het vulkanisch terrein te houden.

3. Provinciale weg Kalibakoeng — Toewel
(Residentie Tegal).

Schaal 1:25.000.

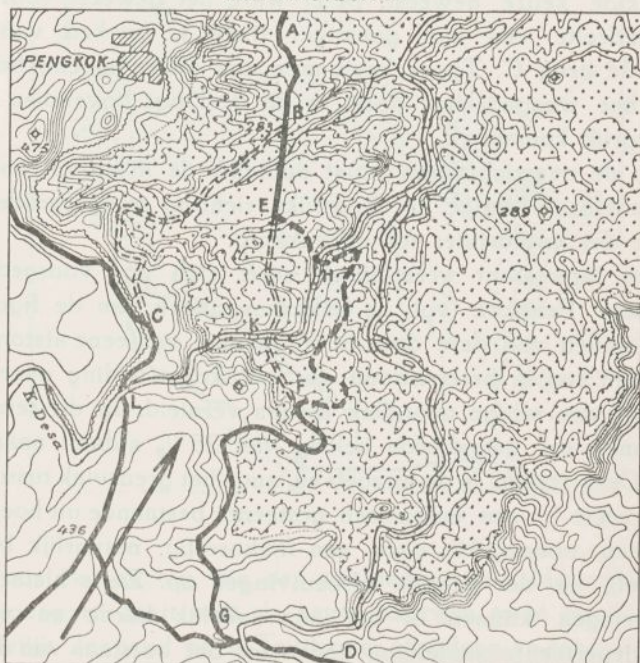


De vette pijlen geven de richting van de(n) modderstroom(en) aan, die, komende van de G. Slammat, zich een weg hebben gebaad door de depressie in den mergelrug van den G. Tjlirit. Het gedeelte van den nieuwen weg, dat op de mergels ligt geeft voortdurend last door afschuivingen. Reeds meer dan eens is door een afschuiving het verkeer langeren of korteren tijd gestremd geweest.

Waarschijnlijk ware het beter geweest bij den aanleg den nieuwen weg volgens de streep-punt lijn af te laten buigen noordelijk van Kalibakoeng en het geheele tracée te kiezen over vulkanisch materiaal.

4. Provinciale weg Weleri – Soekoredjo.
(Residentie Semarang).

Schaal 1:25.000



- | | | |
|--|----------------------------------|---|
| | Vulkanisch terrein | } de grenzen zijn benaderend aangegeven |
| | Mergel | |
| | Richting van de modderstroom(en) | |

De oorspronkelijke weg, zooals deze nog aangegeven staat op de Topografische detailbladen (hermeten in 1905—1906) liep als volgt: A — B — C — D. Omstreeks 1908 is de omlegging B — E — F — G tot stand gebracht en vervolgens in 1923 de (bestaande) omlegging EHF, omdat de brug K. toen verlaten moest worden.

Als bijzonderheid mag worden vermeld, dat de brug bij H. 30 m. lager ligt dan de weg bij E. De brug bij K. is grondig vernield; de onderkant van de fundeering ligt thans 2—3 m. boven het kalibed. De brug bij L., bestaande uit twee gemetselde landhoofden, waartusschen I-liggers, is en blijft geheel intact.

De oorspronkelijke omlegging B K G, in de plaats tredende voor het blijkbaar vernielde weggedeelte B. — C. is geen gelukkige keuze geweest. Beter ware het geweest voor dit weggedeelte een wat gunstiger tracé te zoeken van B. naar de brug C. Thans heeft men niet alleen moeilijkheden met het weggedeelte, doch in dit deel ligt bovendien een belangrijk kunstwerk.

Op de overzichtskaart komt duidelijk de in het vulkanisch dek hoefijzervormige, in Zuidelijke richting terugschrijdende erosie der hoofdrivier tot uitdrukking.

Een interessant verschijnsel heeft zich nog voorgedaan bij desa Pengkok (vgl. de linkerbovenhoek van de figuur). Ten zuiden van deze desa is tengevolge van eene afstorting aan den steilen brecciewand de Soerokonto-leiding over een lengte van eenige tientallen meters vernield. In dit terrein, dat met een gemiddelde helling van 25 % afdaalt naar de kali Desa treden in de mergels en langs het grensvlak tusschen de breccie (= een vulkanisch gesteente bestaande uit hoekige brokken samengekit door een fijnkorrelig, natuurlijk bindmiddel), en de mergels afschuivingen op. Zelfs kleine afschuivingen kunnen in het aanvankelijk harde en vaste brecciegesteente aanleiding geven tot het ontstaan van diepdoorgaande verticale scheuren, van waaruit zich het verweeringsproces in versneld tempo verder ontwikkelt. In het in alle richtingen met scheuren doorkliefde breccie-gesteente zelf treden dan afstorting (geen afschuivingen!) op.

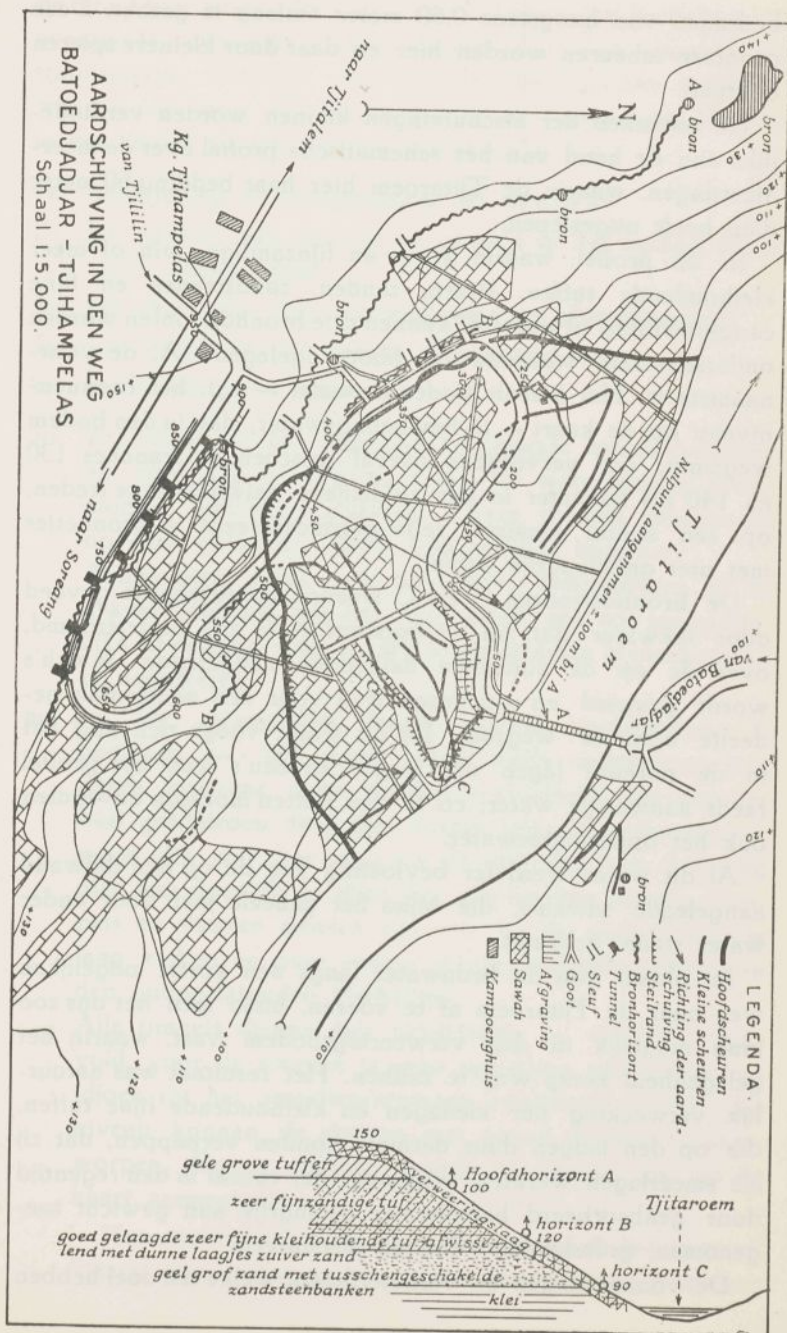
sterker geaccidenteerd terrein is getrokken dan het tweede, moet aan dit laatste, hoewel het langer is, de voorkeur gegeven worden.

6 Aardschuiving in den weg Batoedjadar — Tjihampelas
(Residentie Midden-Priangan).

Het aardschuivingsterrein is gelegen aan den linkeroever van de Tjitaroem bij de desa Tjihampelas. Langs een half-cirkelvormige randscheur van ca. 200 meter straal is een groote grondmassa dalwaarts afgeschoven, die door tal van parallel- en dwarsspleten in kleinere schollen is verdeeld. De horizontale en verticale bedragen der afschuivingen waren over het algemeen genomen niet aanzienlijk; men mag evenwel verwachten, dat indien geen bijzondere voorzieningen worden getroffen, de afschuivingen in volgende natte moessons grootere afmetingen zullen aannemen. De grootste afschuivingen en verzakkingen werden geconstateerd in het weggedeelte tusschen meter 250 en meter 500 (het nulpunt aangenomen op het zuidelijke landhoofd van de Tjitaroembrug).

Kleinere dwarsscheuren komen voor in het weggedeelte tusschen 0 en meter 250. Het landhoofd van de brug heeft weinig geleden, slechts werd de bovenste halve meter door een in ongeveer horizontale richting werkenden druk afgescheurd, waardoor het los-opgemetselde leimuurtje van zijn fundeeringsbodem werd afgeschoven en over een kleinen hoek verdraaid (vgl. op de kaart ingeteekende verschuiving, welke in de onmiddellijke nabijheid van het zuidelijke landhoofd begrensd wordt door een secundaire scheur, parallel aan de Tjitaroem).

Deze scheur heeft van een ZW-NO verloopenden hoogen rug, die het benedendeel van den weg scheidt van een sawahcomplex, een kleine grondschol afgebroken, waarvan de oorspronkelijke ligging der lagen tengevolge van de afschuiving sterk is verstoord. Eveneens in de richting ZW-NO treden aan weerszijden van de kamlijn van dezen rug ca. 150 meter lange, diepe scheuren op, waarlangs de tusschenliggende langwerpige grondschol tengevolge van de zijdelingsche uitwijking der aangrenzende massa's plaatselijk over



bedragen van hoogstens 0.60 meter omlaag is gezakt. Deze grootere scheuren worden hier en daar door kleinere spleten gekruist.

De oorzaken der afschuivingen kunnen worden verduidelijkt aan de hand van het schematische profiel over de meer-afzettingen, waarin de Tjitaroem hier haar bedding 60 meter diep heeft uitgeslepen.

In dit profiel, waarin grove en fijnzandige, min of meer kleihoudende tuffen, kleien, zanden, zandsteen en fijne conglomeraten afwisselen, kunnen drie bronhorizonten worden onderscheiden, waarvan de hoogst gelegene, A, de voor- naamste is. Het hieruit tredende water — vgl. het bronnen-niveau op de kaart — is bevoeiingswater, dat in den bodem wegzinkt, om vervolgens overal tusschen de tranches 130 en 140 als lekwater in den zuidelijken dalwand uit te treden, op een aantal plaatsen zelfs geconcentreerd in bronnetjes met niet onbelangrijk debiet.

De bronhorizonten B en C worden hoofdzakelijk gevoed door lekwater dat, na uit horizont A te zijn uitgestroomd, over de op de zuidelijke dalhelling aangelegde sawah's wordt gevoerd en op dezen weg voor een aanzienlijk gedeelte opnieuw wegzakt. Bij dit water voegt zich nog het in de poreuze lagen der lagere niveau's van het profiel reeds aanwezige water, en in den natten moesson bovendien ook het oppervlaktewater.

Al dit water werd ter bevoeiing van de op den dalwand aangelegde sawah's, die bijna het geheele jaar door onder water staan, gebruikt.

In plaats van dit bronwater langs den kortst mogelijken weg naar de Tjitaroem af te voeren, hield men het dus zoo lang mogelijk in den verweeringsbodan vast, waarin het gelegenheid kreeg weg te zakken. Het resultaat was natuurlijk verweeking der kleilagen en kleihoudende fijne tuffen, die op den langen duur dermate konden verpappen, dat zij als smeerlagen werkten, waarover de, vooral in den regentijd door geabsorbeerd hemelwater belangrijk aan gewicht toegenomen, grondmassa's konden afschuiven.

De voorzieningen en verbeteringen, welke ten doel hebben

de krachtige beteugeling van het gevaar voor herhaling en eventuele uitbreiding der afschuivingen, en daartoe de stabiliseering beoogen van dat gedeelte van den dalwand, waarop de weg en het landhoofd zijn aangelegd, kunnen in een vijftal punten worden samengevat, n.l.:

- 1e. onteigening en drooglegging der sawah's;
- 2e. het graven van sleuven en tunnels in het belang eener snelle ontwatering;
- 3e. het aanleggen van verzamelgoten en afvoerkanalen;
- 4e. het verrichten van eenige afgravingen, en
- 5e. het dichten van spleten.

ad. 1e. Al de op den dalwand aangelegde sawah's moeten als zoodanig verdwijnen, d.w.z. de waterrechten ervan moeten worden afgekocht. Tegen drogen akkerbouw op deze gronden bestaat geen redelijk bezwaar.

Aanbevolen werd, alle bestaande sawahdijkjes af te graven teneinde aan het regenwater een zoo snel mogelijke afvloeiing naar de boven aangeduide afvoerkanalen te verzekeren.

ad. 2e. De „gevaarlijke” lengte van den hoofdhorizont A bedraagt ca. 500 meter. Een snelle ontwatering van dezen horizont moet worden nagestreefd. Dit kan het best geschieden door den aanleg van lange sleuven, of, waar dit met het oog op de nabijheid van den weg niet wel doenlijk is, door het graven van tunnels. Tunnels en sleuven moeten tot ver in de watervoerende laag reiken en over eenige diepte ingelaten worden in den ondoorlatenden kleibodem.

Alle tunnels dienen met kalisteenen te worden opgevuld, voor de sleuven is eene opvulling met steenen en idjoek tot het grondwaterniveau voldoende. Boven dit niveau kunnen de sleuven met grond worden dichtgeworpen. De te graven tunnels en sleuven zijn op de kaart aangegeven.

Het middenstuk van het schuifgebied is het gevaarlijkste. Hier stroomt het water van horizont A onder-

gronds den boven reeds beschreven tusschenrug binnen, die gestrekt is in de richting van het zuidelijke landhoofd. De sleuven 6 en 7, resp. 10 en 30 meter lang, zijn erop berekend, het grootste gedeelte van het water uit het middenstuk van horizont A af te tappen. Het volledig ontwateren van den tusschenrug is geen eenvoudig vraagstuk. De beste en meest economische oplossing bestaat waarschijnlijk hierin, dezen rug in een zuidelijk en een noordelijk deel te scheiden door een lange sleuf, waarop beide deelen afwateren. De gunstigste plaats hiervoor is op de kaart aangegeven, waar de rug een laag zadel vormt.

- ad. 3e. Voor het verzamelen van het water, dat uit sleuven en tunnels afgetapt wordt en voor het opvangen van regenwater is een systeem van goten geprojecteerd, welke op de kaart zijn ingeteekend.

Het grootste deel dezer goten zal bemetseld moeten worden om het water zoo min mogelijk gelegenheid te geven in den vaak zandigen bodem weg te zakken.

- ad. 4e. In het belang eener drukontlasting van het benedendeel van den weg en van het landhoofd der brug werd aanbevolen, het op de kaart aangegeven, gearceerde gedeelte van den tusschenrug onder talud te brengen.

- ad. 5e. Het dichten van spleten is noodzakelijk om het regenwater te beletten daarin binnen te stroomen, waar het langen tijd kan worden vastgehouden en aldus aanleiding geven tot sterke verweeking van de grondmassa.
-

