

rivieren en bleef ten slotte zelfs daarbij ten achteren. Evenzoo is zeker door het aftrekkende water in de Geldersche vallei nog eene strooming ontstaan, en veel, wat men tot het zand-diluvium rekent, heeft zijnen oorspong aan het algemeen terugtrekken van het water, op het einde der laatste periode, te danken.

Er schiet nog over, onze verklaring van het diluvium aan oudere en nieuwere theoriën over dit onderwerp te toetsen.

De litteratuur is sedert meer dan eene halve eeuw sterk aangegroeid en zeer verspreid; maar zij is ook al weder verzameld en men vindt o. a. eene geschiedenis van die theoriën in de »Gekrönte Preisschrift von Dr. ALBR. PENCK, Die Vergletscherung der deutschen Alpen.»

Tot een eindresultaat is men nog niet gekomen, ofschoon vooral in den laatsten tijd de theoriën eene meer overeenstemmende richting hebben aangenomen.

Wij zullen de hoofdpunten aangeven.

De leer van een grooten vloed, den petridelaunischen vloed, werd in 1833 door N. G. SEFSTRÖM (1) ontwikkeld. Deze theorie vond geen bijval; het kind werd als het ware in de wieg gesmoord door LEOPOLD VON BUCH, ofschoon er een deel van waarheid in was. SEFSTRÖM kende nog geen ijstijd; hij wilde de toen bekende verschijnselen alleen door een grooten vloed over de geheele aarde verklaren, waarvan de oorzaak ons wel voor altijd zou verborgen blijven. Het is niet noodig bij deze theorie stil te staan.

De drift-theorie werd bij voorkeur door LIJELL het verst ontwikkeld en gedurende langen tijd voor juist gehouden. Ook deze leer bevat veel waarheid. LIJELL nam aan, dat Noord-Europa eene zee was en de Noordsche blokken zich daar verspreid hadden, zooals dit nog tegenwoordig bv. van Groenland uit plaats heeft.

Nu is gebleken, dat deze zoogenaamde actualiteitstheorie niet juist kan zijn; want in de eerste plaats was Noord-Europa in die periode voor een groot deel reeds land, bestaande uit de tertiaire-krijt-wealden- en trias-formatie, een feit, waarmede de verspreiding der blokken, volgens LIJELL's theorie, niet te vereenigen is.

Ten tweede: Wanneer Noord-Duitschland, enz. toch ééne zee waren geweest, moesten zij zeeschelpen bevatten, wat in het algemeen ten minste niet het geval is. Plaatselijk komen zeeschelpen voor bijv. de diluviale Noordzeefauna te Marienwerder aan den Weichsel met *Yoldia arctica*. (2)

Ten derde zijn de blokken niet zoodanig onder elkander vermengd, als bij deze theorie moest voorondersteld worden; maar zij vormen strooken van soortgelijke afkomst, die eenigszins waaivormig op Skandinavië en Finland als een centrum van afkomst wijzen.

De derde theorie is de leer van de glaciale periode, bij voorkeur door AGASSIZ het hoogst ontwikkeld.

Deze theorie bevat insgelijks veel waarheid en de tegenwoordige opvatting, die men de theorie van TORELL noemt, is slechts eene bepaling of verdere ontwikkeling er van.

Deze theorie, die tegenwoordig met eenige geestdrift door vele uitstekende geologen wordt voorgestaan, moeten wij een weinig nader bespreken.

Men neemt aan, dat bij voorkeur van Skandinavië uit het zoogenaamde inlandijs zich bij wijze van een reusachtige gletscher over Noord-Europa heeft verspreid en dat de geschiede-leem de grond-moraine van dat inlandijs is, waarvoor men veel feiten tot steun heeft opgespoord. Men wil dus alweër al de verschijnselen uit ééne oorzaak verklaren.

Op drie voorname feiten steunt deze theorie. Ten eerste: de richting der krassen van gletschers in Skandinavië en in Noord-Europa; ten tweede: de straalsgewijze verspreiding

(1) Untersuchungen über die auf Felzen Skandinaviëns in bestimmter Richtung vorhandenen Furchen und deren Entstehung. Pogg. Ann. 533.

(2) Zie A. JENTZSCH in Jahrb. d. k. Pr. geol. Landesanstalt.

der blokken; ten derde en één der belangrijkste: de groote verspreiding van het geschiebeleem met gekraste gesteenten of de grond-moraine.

Men is er verre van af te meenen, door deze theorie al de verschijnselen, die daarbij van gewicht zijn, te kunnen verklaren; men laat dit terecht aan verdere nasporingen over. Wij zullen slechts eenige punten vermelden, die voor eene toekomstige verklaring nog blijven weggelegd:

1°. Hoe kon de Skandinavische gletscher de Noord- en Oostzee overwinnen?

Wanneer een gletscher de zee bereikt, lost hij zich in blokken op.

Was het erratische gesteente in Nederland door een gletscher herwaarts vervoerd, dan moest die gletscher over de Noordzee. De Noordzee is ouder dan het kwartair, zooals onze tertiaire zeeschelpenlaag bewijst, want die is in de Noordzee gevormd.

2°. Een gletscher beweegt zich even als eene vloeistof naar het diepste punt, al komen plaatselijke opstuwingen voor; of men moet aannemen, dat de gletscher van den zeespiegel tot aan het gebergte, zoover als noordsche blokken voorkomen, dus tot den 50en breedtegraad en tot de hoogte, waar die blokken nog gevonden worden, omhoog vloeide, of men verdwaaft in andere even onbegrijpelijke hypothesen.

Niet alleen het diluvium helt in zijn geheel van zuid naar noord, maar ook de oude gletschervlakten vallen van zuid naar noord. Dit is onderander zeer duidelijk zichtbaar bij Dewitz, waar het porfier door een gletscher is afgeslepen. Ook bij Rüdersdorf is de rots met gletschervlakten van zuid naar noord hellende. Bij Lommatsch, waar geen rots voorhanden is, maar waar de gletscher, zoo die er geweest is, op bruinkool heeft gelegen, valt de bruinkool naar het noorden, zooals men aan het grondwater kan opmerken. Evenwel, wanneer van de gletschervlakten, die in Noord-Duitschland op steen bestaan, enkele van noord naar zuid hellen, dan zou dit toch wel verklaarbaar zijn. Zelfs in Noorwegen hellen de gletschers en rotsstrepn naar alle richtingen.

3°. Hoe is het diluvium te verklaren?

De diluviale grintheuvels liggen boven de geslepen rotsen. Hoe is dit mogelijk, wanneer het diluvium ouder is dan de gletscher?

Het diluvium ligt over geheel Noord-Europa, en toont altijd ronde, golvende vlakten, die niet door regenwater, nog minder door een gletscher kunnen gevormd zijn.

Hoe kon die noordsche gletscher zich over het diluvium voortbewegen zonder dit te storen, daar het toch in regelmatige, golfvormige banken voor ons ligt, even als ons Rijn-diluvium in de Veluwe?

De diluviale heuvelen moeten dus nog verklaard worden. Men tracht aan te toonen, dat zij door den gletscher omhoog geperst zijn. Bij Rüdersdorf heeft uitgestort gesteente eene veenlaag omhoog geperst; ook te Honswijk bij den rechter Lekdijk heeft volgens STARING eene uitpersing van veen plaats gehad. Volgens onze proeven biedt echter nat zand aan drukking een bijna onbegrensden weerstand, en nat moet het zand toch geweest zijn, als er een gletscher op lag. Is die verklaring bij eene veenlaag mogelijk, voor het Europeesch diluvium in het algemeen echter is zij niet aan te nemen.

Eenigen tijd geleden is eene verhandeling verschenen van G. BERENDT (1). BERENDT zegt daarin: » Der Geschiebesand erscheint immer deutlicher als der nothwendig sich bildende Rückstand einerseits des von den stürzenden und stark strömenden Schmelzwassern zerstörten gewissermassen ohne directe Umlagerung ausgeschlammten Diluvialmergels (der Grund-

(1) Die Sande im norddeutschen Tieflande und die grosse diluviale Abschmelzperiode. Jahrbuch der K. Pr. geol. Landesanstalt 1881.

moräne des Eises) andererseits des in der mächtigen Eisdecke selbst enthaltenen Gesteinsmaterials und wurde in diesem doppelten Sinne bereits früher als Rückstands-Rückzugs oder Abschmelzung-Moräne bezeichnet."

Onze Veluwe is echter geen » Abschmelzungsmoräne " en het materiaal was niet in een ijsdeken, die over de Veluwe zou gelegen hebben omvat, noch is het zonder directe » Umlagerung " uit een grondmoraine uitgeslibd, maar het materiaal is eene aanslibbing, afkomstig van den bovenloop van den Rijn.

De theorie van BERENDT heeft echter een punt van aanraking met onze opvatting, voor zoover hij aanneemt, dat het smeltwater van de ijsperiode medegewerkt heeft. BERENDT staat echter op het standpunt van de theorie van TORELL.

4°. De geheele vooronderstelling van zulk een gletscher, als de theorie van TORELL verlangt, in verband met de gedaante van land en zee en met het klimaat, verlangt nieuwe kosmische, meteorologische en geologische hypothesen, waarvan wij tot nog toe geen begrip hebben. Inderdaad is het ook meer het gemis van eene voldoende verklaring, dan de overtuiging van de juistheid der aangenomen hypothese, die haar zooveel voorstanders heeft verschafft.

Houdt men de glaciale, de diluviale en de erratische verschijnselen behoorlijk uit elkander, dan verdwijnen de moeilijkheden geheel.

De diluviale catastrophie heeft in Duitschland op soortgelijke wijze als in Nederland plaats gehad; maar het schijnt, dat het water in Duitschland met veel meer fijne slib vermengd was dan in ons Rijn-systeem, welke slib waarschijnlijk uit de tertiaire, krijt- en weeldenformatie afkomstig was.

Wanneer na eene groote overstrooming het water afvloeit, blijft de slib als eene brijachtige massa terug.

Toen gedurende de descensie-periode de rivieren meer eene bepaalde richting van zuid-oost naar noord-west en van zuid naar noord verkregen, werd het water tusschen de rivieren rustiger en er ontstond daar eene tegenovergestelde strooming. De ijsbergen met noordsch gesteente drongen tusschen de rivieren door.

De ijsbergen moesten bij afgaand water spoedig op den bodem stuiten en konden de rivieren niet overschrijden. Even als de erratische gesteenten bij ons niet over het gebied van de tegenwoordige Lek en Krommen Rijn zijn gekomen, omdat daar in den diluvialen tijd nog eene sterke strooming heerschte, zoo was het ook met de Duitse rivieren. Vandaar dat de erratische gesteenten straalsgewijze verspreid zijn. Het smeltende ijs liet eene groote hoeveelheid gruis en blokken vallen, die zich met de brijachtige nog veelvuldig door heen en weër gaande stroomingen bewogen slib vermengden. Het is licht te begrijpen, dat onder deze omstandigheden het geschiebeleem geene regelmatige lagen kon vormen, en thans een onregelmatig met gruis vermengd geheel uitmaakt.

Het bovenste geschiebeleem zou men wel driftleem kunnen noemen.

Onder het grintdiluvium ligt vervolgens de leemmergel, die een équivalent van onze Utrechtsche leemlaag vormt en tot de ascensieperiode behoort; zij is gewoonlijk vrij van gruis en blokken en komt niet algemeen verspreid voor. Dit leem toont op zijne oppervlakte dikwijls golfvormige uitdiepingen, die door den culminatiestroom zijn ontstaan. Onder het leem ligt meestal waterpas weer diluviaal zand. Zeer veelvuldig zijn ook de bovenste lagen van dit leem door zijdelingsche drukking van erratische ijsvelden verstoord (1) hetgeen nooit voor eene werking van gletschers is te houden, wanneer daaronder nog zanddiluvium wordt gevonden.

(1) F. WAHNSCHAFFE. Ueber einige glaciale Druckerscheinungen im norddeutschen Diluvium. Zeitschr. d. Deutschen geol. Gesellsch. 1882.

Verder vindt men het leem van de locale grondmorainen bijv. te Rüdersdorf en Velpke op kalksteen met gletscherpotten. In dit leem ziet men duidelijk de werking van ijsschuiving.

Op vele plaatsen bijv. te Stoke Newington bij Londen vindt men ook mergellagen, die ineengevouwen en door ijsdrukking zijn ontstaan, zoodat zij eveneens wel tot de locale grondmorainen zijn te rekenen, die aan den vloed weerstand hebben geboden en behouden zijn gebleven.

Eindelijk is hier nog het zoogenaamde blokleem te noemen, dat bijv. in het roode klif op het eiland Sylt voorkomt.

Dat blokleem ligt onder het grintdiluvium, als eene laag van 20 m. dikte met groote blokken.

Het blokleem zou men voor eene moraine kunnen houden, ofschoon het waarschijnlijker is, dat het tot het ascensielem van het diluvium behoort. Dit leem ligt iets boven den tegenwoordigen zeespiegel. De zee was in dien tijd reeds aanmerkelijk gerezen en deze noordelijk gelegen streek was veel meer aan de erratische werking blootgesteld. Latere zeevloedden in de alluviale periode hebben een groot deel er van verslonden en het steile klif gevormd. Het ligt niet in mijne bedoeling de diluviale vormen in het buitenland te verklaren, hetgeen aan de speciale onderzoekingen is overgelaten; ik wil alleen aantoonen, dat die ingewikkelde verschijnselen zeer wel op de glaciale werking in den ijstijd, op de drie perioden van het diluvium en op de driftverschijnselen te herleiden zijn. Deze menigvuldig in elkander grijpende oorzaken zullen in ieder speciaal geval tot eene oplossing der verschillende vormen leiden.

Een ander verschijnsel moet hier nog vermeld worden, namelijk de sterk van noord naar zuid vallende lagen, die door CREDNER »Schweife" genoemd zijn en voor uiteinden van morainen verklaard worden. Bij Lommatsch in Saksen heb ik Schweife gezien, maar dit waren de tegen den stroom gerichte kanten van banken, die altijd een tegenovergesteld vallen vertoonen van de in de richting van den stroom liggende einden der banken; zij bevatten ook geen noordsch gesteente.

Er schiet nog een belangrijk punt over, dat onze geheele verklaring van het diluvium omver zou kunnen werpen, als het niet opgelost werd.

Wij hebben aangenomen, dat de zeespiegel gedurende de culminatieperiode \pm 200 m. gerezen was. Als dit waar is, dan kunnen *noordsche* blokken, die over de zee gekomen zijn, en geschiebeleem met noordsch gruis op geen grooter hoogte voorkomen dan 200 m. + A.P.

200 meters zijn een globaal cijfer; het zou mogelijk zijn, dat de vloed nog iets hooger gerezen was, maar er zou bezwaar bestaan, als men moest aannemen, dat de waterstand der zee 300 en 400 meters had bedragen. (1)

Nu spreekt CREDNER van noordsch diluvium tusschen Zwikau en Lichtenstein op eene hoogte van over de 400 meters.

Bij Lichtenstein is het diluvium door eene afgraving ontbloot, welks hoogte ik tot 390 meters bepaalde, en dit diluvium bevat eene menigte van gruis van graniet en andere kristallijnen gesteenten en zeer vele vuursteen. Door uitzoeken van die keien heb ik daarin geen enkel karakteristiek noordsch gesteente kunnen ontdekken; geen noordsche sparagmiet, geen blauwkwarts, geen noordsch diorietporphyr, geen rapakivi, welk laatste toch bij Rüdersdorf onder 200 m. zoo veelvuldig voorkomt.

Het schijnt, dat de kristallijnen gesteenten uit het ertsgebergte, dat veel graniet bevat,

(1) In Canada zijn op eene hoogte van 134 m. boven de zee, deelen van een walvischskelet en zeeterrassen benevens post-plioceene zeeschelpen op 143 m. gevonden, J. W. DAWSON. The Amer. Journ. of Science, N^o. 147. March 1883, p. 200.

afkomstig zijn. Dit ligt daar veel nader dan Skandinavie en de diluviale stroom kwam uit groote hoogten van het gebergte af. Het geheele terrein ligt onder het bereik van de diluviale Elbe, die over een groot beloop door de krijtformatie stroomt, zoodat men de Elbe eene krijtrivier zou kunnen noemen. De Elbe vormde eens een groot binnenmeer in Bohemen en brak in den diluviaaltijd door de kwaderzandsteenformatie. De afkomst der vuursteen is dus veel waarschijnlijker uit de Pläner-melger van de Elbe dan uit het noorden, van de Oostzee.

Zelfs wanneer men aangevoerde granietblokken op groote hoogten vindt, moet men bedenken, dat uit het zuiden gletscher-ijs met blokken evenzeer als uit het noorden is aangevoerd en dat moraine-blokken tot op groote hoogte in de dalen der gebergten van Middel-Europa voorkomen, welke geenszins voor noordsch te houden zijn.

De silurische kalksteen met petrefacten (1) van noordelijken oorsprong bij Sadewitz bij Breslau ligt niet hooger dan 170 meters boven de zee, zooals ook RÖMER opgeeft. Op den Katzenberg bij Lommatsch in Saksen ligt op 273 m. + A.P. een granietblok uit het Ertsgebergte. Bij Dewitz ligt het terrein met granietblokken 145 m. hoog. Tot nog toe is mij geen plaats bekend, waar authentiek noordsche gesteenten boven een niveau van 200 m. voorkomen. Dit is echter een zeer belangrijk punt, dat nog een nauwkeurig onderzoek vordert. Het zal uit het medegedeelde duidelijk geworden zijn, waarin onze diluviale vloed verschilt van dien van Sefström; onze ijsdrijf van die van Lyell en onze glacialperiode van die van Agassiz. Deze bespreking was hier noodig, om aan te toonen, dat de verklaring van het Nederlandsch Rijn-diluvium niet met de feiten in strijd is, die door onderzoekers in het buitenland zijn waargenomen.

Eene voldoende opheldering over het diluvium in het buitenland en ook in het noord-oostelijk Nederland zal eerst mogelijk zijn, wanneer men uitvoerige profielen van het terrein heeft en den oorsprong van elke steensoort met zekerheid kan aanwijzen.

(1) Zie RÖMER. Die Fauna der silurischen Geschiebe von Sadewitz bij Öls.

III.

OVER HET ALLUVIUM.

De oppervlakte van het alluvium in de Betuwe vormt in de richting van oost naar west een hellend vlak. Nemen wij den loop van de Linge als as, dan helt dit vlak van + 9.2 m. bij Elst, tot + 3 m. bij Geldermalsen, tot 0 m. bij Gorinchem en daalt vervolgens onder A.P. Op de dwarsprofielen van Nijmegen—Arnhem, Opheusden—Dodewaard en Culemborg—Zalt-Bommel vertoont zich de oppervlakte bakvormig.

De onderkant van het alluvium beantwoordt aan deze ligging; doch de helling is in de richting oost-west sterker van + 2.2 m. bij Elst, tot — 3 m. bij Opheusden, — 9 m. bij Gorinchem en daalt vervolgens tot 16 m. — A.P.

De alluviale laag neemt dus naar het westen in dikte toe.

Op de dwarsprofielen is de onderkant van het alluvium insgelijks bakvormig, maar even als over de lengteprofielen met vele afwijkingen.

De ondervlakte van het alluvium is identisch met de oppervlakte van het diluvium.

Het alluvium heeft meer het karakter van eene periodieke, het diluvium dat van eene continuee aanslibbing.

Om tot een duidelijk begrip van het alluvium te komen, moeten wij van het diluvium uitgaan.

De meeste boringen dringen niet dieper door dan in de grintlaag, die zich op het einde van de laatste diluviale periode vormde. In het profiel Nijmegen—Arnhem hebben wij slechts twee boringen van 25 meters. De eerste bij Nijmegen bereikt den onderkant der grintlaag op 12 m. diepte. Van daar tot 20 m. gaat zij door eene leemlaag, die met grint vermengd is. Deze leemlaag van 12 tot 20 m. vinden wij nog meermalen in het profiel Culemborg—Zalt-Bommel van — 13.5 tot — 18.5 en in de lengteprofielen. Zij is waarschijnlijk dezelfde, die wij bij Gorinchem op — 42.2 m., bij Utrecht op — 44.8 m., bij Amsterdam op 52.19 m. — A.P. aantreffen. Deze laag helt dus in de richting van oost naar west, hetgeen aan de wijze van aanslibbing op het einde van de eerste of ascensie-periode van het diluvium beantwoordt.

Deze boring bij Nijmegen doordringt ook nog de leemlaag en gaat 1 m. in de laag van het witte Rijnzand, dat wij bruinkoolzand genoemd hebben. Dit witte zand maakt een deel uit van de eerste periode der diluviale Rijnaanslibbing, die, zooals boven is aangetoond, geheel en al uit wit zand bestaat.

In de tweede boring van 25 m. noordelijk van Nijmegen vinden wij reeds niets meer, noch van de leemlaag, noch van de witzandlaag; maar de boring staat in de grintlaag van de laatste diluviale periode. De twee genoemde oudere diluviale lagen zijn hier waarschijnlijk weggeslibd. Wij moeten ons herinneren, dat juist tusschen Nijmegen en Rhenen de groote doorbraak plaats had, toen de Rijn zich het eerst naar het westen wendde. De groote laterale bank, die gedurende de culminatieperiode tusschen Nijmegen en Rhenen bestond, werd toen doorgebroken en het bontzand-diluvium met grint, waaruit zij was opgebouwd, werd in de richting van Opheusden—Dodewaard en Gorinchem vervoerd, zooals wij boven gezien hebben. Het materiaal werd daarbij geschild, zoodat een deel van het bontzand tot Zeeland werd vervoerd. Bij die doorbraak werd de oudere leemlaag eerst ontbloot en vervolgens geheel weggeslibd; zelfs een deel van het witzand werd bij de uitschuring medegenomen.

Men zou kunnen vragen, waar de klei en het witzand gebleven zijn. De klei is waarschijnlijk zeer ver westelijk en in de richting van den tegenwoordigen Krommen Rijn vervoerd en verspreid zonder zich weêr tot eene laag te verzamelen; maar van het witzand is een deel onder Utrecht terecht gekomen, want daar vinden wij die laag van 41.5 tot 44.8 m. weêr. In deze richting liep toen, zooals boven is aangewezen, de hoofdstroom, nadat de westelijke weg naar Gorinchem was volgeslibd.

Later, toen de stroom in deze richting nog eens in snelheid toenam (zie boven), is de grintlaag aangevoerd, waarin de boring staat, en ook onder Utrecht vinden wij die grintlaag van 14.5 tot 28.5 m.

De grintlaag spreidde zich zoo ver uit, als onze profielen aanwijzen en werd naar boven fijner en zandachtiger. Zij vormt den bodem, waarop het alluvium zijn aanvang nam.

Eene geschiedenis op te maken van het alluvium naar analogie van die van het diluvium schijnt moeilijk te zijn. Bij het diluvium, dat in korten tijd en in groote massa werd aangevoerd, kunnen wij met genoegzame zekerheid de wijze van aanslibbing in de verschillende perioden nagaan.

Het alluvium is eene onregelmatige aanslibbing gedurende eene tijdruimte van \pm 5000 jaren.

Tegenwoordig ligt de bodem van de Waal bij Nijmegen in het diluvium.

De beddingen van den Rijn en de Lek liggen geheel in het alluvium.

Men mag aannemen, dat de stroombedding van de Waal bij Nijmegen van het begin af dezelfde is gebleven, die de Waal tegenwoordig heeft. Zij werkte daar uitschurend tegen de diluviale oevers, altijd bij hoog water de kom overstroomende.

Bij Dodewaard ligt de bedding der Waal reeds geheel in het alluvium.

Die streek bleef echter nog geheel onder water, tot dat de aanslibbingen van alluviale gronden zoo ver gevorderd waren, dat zij zich boven A.P. verhieven.

De streek tusschen Zalt-Bommel en Culenborg bleef nog langer onder water; want het alluvium onder A.P. is daar nog dieper.

Het terrein tusschen de tegenwoordige rivieren, zoover het onder A.P. lag, vormde gedurende langen tijd een inham of een langwerpige zoetwatermeer. Misschien werd het water tijdelijk zelfs met eene geringe hoeveelheid zeewater vermengd (zie boven).

Zeer langzaam vulde zich dit meer met aanslibbingen van den Rijn en de Maas. Reeds van de streek boven Dodewaard—Opheusden af is veel Maasbezinksel aangevoerd, zooals wij uit het kalkgehalte der lagen zien. Nog meer is echter waarschijnlijk van de slib verder westelijk vervoerd.

Toen het terrein boven A.P. lag, ging de aanslibbing bij wijze van delta-vorming voort. In dezen tijd heeft zich de stroom gesplitst en na vele kronkelingen den zijtak Rijn-Lek gevormd. Men kan niet meer nagaan, hoe de rivierarmen gedurende dien tijd zich verder gekronkeld, vereenigd en weder gescheiden hebben.

Eindelijk namen de rivieren een meer geregelde loop aan; hare oevers verhoogden zich door overstroming met zand, terwijl in de kom meer klei bezonk en in groote plassen veen gevormd werd. De rivieren hebben dus eene soort natuurlijke dijken gevormd en bleven bij lagen waterstand binnen de oevers opgesloten.

In het midden van de kom bleef door de kwel eene strooming bestaan, waaruit zich eindelijk de Linge gevormd heeft.

De veranderingen, die het alluviale of Betuwsche delta-, — dat een zoo eigenaardig contrast vormt tot het diluviale of Veluwsche delta tusschen Krommen Rijn en IJssel — door de indijking der rivieren en polders heeft ondergaan, en wat anders door menschenhanden daar is gewrocht, behooren niet meer tot de geologische beschrijving van het terrein.

Samenvatting der voornaamste resultaten.

1. Het terrein tusschen Lek en Waal is door de geognostische beschrijving nader bekend geworden.
2. Het terrein bestaat uit twee geologische systemen: alluvium en diluvium.
3. Het alluvium is door Maas en Rijn aangeslibd gedurende een tijdsverloop van nagenoeg 5000 jaren.
4. Het diluvium vormt den ondergrond van het alluvium en maakt een geheel uit met het diluvium van de Veluwe.
5. Het diluvium is eene zoetwatervorming en binnen den tijd van ongeveer zes maanden ontstaan.
6. De Veluwe is het delta van den diluvialen Rijn.
7. De grintheuvelen in de Veluwe zijn stroombanken.
8. Het diluvium rust op eene tertiaire zeevorming met een boreale fauna.
9. De oorzaak van den diluvialen vloed was de ondergang van de glaciaalperiode.

DEEL II.

HET WATER IN VERBAND MET DEN BODEM.

IV.

PROEVEN OVER HET DOORKWELLEN VAN WATER DOOR ZANDLAGEN.

De porositeit en doordringbaarheid van den bodem zijn dikwijls voor den aanleg van kanalen en dijken en den waterbouw in het algemeen van storenden invloed. Het doorsijpelen kan niet alleen het wegzakken, maar ook een ongewenschten aanvoer van water in kanalen ten gevolge hebben; het kan aanleiding tot beschadiging der oevers, wegspoelen der speciën, doorbreken van dijken en overstromingen geven. Daargelaten of het mogelijk zal zijn de nadeelige werkingen, die onder den naam van kwel bekend zijn, geheel te kunnen keeren, zal eene grondige studie van het verschijnsel het beste middel zijn, den weg aan te wijzen, om de gevaren, daaruit voortvloeiende te bestrijden.

Reeds in 1879 had ik de wijze, waarop water zich door met zand, klei en kalk gevulde buizen beweegt, tot onderwerp van een experimenteel onderzoek gemaakt. Arch. néerl. T. XIV.

Men zou verwachten, daar men weet, volgens welke wetten het water in het algemeen zich beweegt en in het bijzonder, hoe dit door met aardsoorten gevulde buizen plaats heeft, dat men zou kunnen voorzien, hoe het water zich in verschillende aardlagen moet verspreiden.

Het bleek mij echter, ten einde een geologisch onderzoek te kunnen instellen van de grondboringen in de Betuwe, vooral met het oog op de kwel, dat een voorafgaand onderzoek van meer algemeene strekking wenschelijk zou zijn.

Dit onderzoek scheen mij noodig, niet zoozeer in de verwachting nog meer nieuwe wetten aan de gevondene te kunnen toevoegen, als wel om door proefnemingen aan te toonen, of die wetten onder verschillende omstandigheden, die zich in wezenlijkheid kunnen voordoen, zoodanig in werking treden, als men had kunnen voorspellen.

Uit het onderzoek, waarvan de resultaten in het volgende zijn medegedeeld, zal blijken, dat de verschijnselen, met de kwel in verband staande, zich veelal wel op eene enigszins verrassende wijze voordoen, doch a posteriori zich gemakkelijk laten verklaren.

Vraagt men: Hoe verspreidt zich het water in eene aardlaag onder gegeven voorwaarden? dan moet die vraag al dadelijk in twee onderdeelen gesplitst worden:

1°. Welke standen neemt het water achtereenvolgens in de aardlaag aan, tengevolge van de wijze van instrooming? en

2°. Hoe verplaatst zich het ingestroomde water in de aardlaag?

Ik bereidde in de eerste plaats een proefterrein, waarop het onderzoek kon plaats hebben. Fig. 1.

Twee gelijke platen van spiegelglas van 80 cm. lengte en 30 cm. hoogte werden met den langen kant zoodanig evenwijdig en verticaal op een voetstuk geplaatst, dat een afstand van vier millimeters tusschen beide bleef. De ruimte tusschen de platen was dus op het voetstuk afgesloten. Van de recht opstaande zijden werd de eene vooreerst ook geheel door eene metalen plaat gesloten, terwijl de andere door eene zeef werd begrensd. Die zeef scheidde de ruimte tusschen de platen van eene recht opstaande metalen buis, die van eene spleet, van gelijke grootte als de zeef, was voorzien en overigens waterdicht aan den toestel was bevestigd, in dier voege, dat als de buis met water werd gevuld, dit door de zeef in hare geheele hoogte kon uitvloeien.

Het geheel werd met water, de ruimte tusschen de platen met zuiver zand gevuld van de korrel = 0.01646 mgr. Arch. néerl. T. XIV. pag. 26, zoodat tusschen de zandkorrels geen lucht maar water zich bevond.

Wordt nu de buis geleidigd, dan vloeit geen water uit de zandlaag door de zeef; het wordt door de capillariteit teruggehouden, terwijl de buis ledig blijft.

Zoo voorbereid stelt de toestel als het ware eene doorsnede van eene zandlaag voor, die reeds van water doordrongen is.

Gaan wij nu tot de behandeling van de vraag over: Hoe verspreidt zich het water in de zandlaag tengevolge van de wijze van instrooming?

1. De zandlaag is met water gevuld en beneden en aan den eenen kant afgesloten, de buis is ledig. Men vult de buis met water, door een weinig lakmoestinctuur blauw gekleurd. Er stroomt dan geen water uit de buis door de zeef in de zandlaag, want de laag is reeds met water gevuld. Geeft men nu het water gelegenheid boven bij d door het heveltje cd weg te vloeien, fig. 2, dan begint onmiddellijk de uitstrooming van het blauw gekleurde water, van ab uit, en wel op de geheele hoogte der zandlaag gelijktijdig en met gelijke snelheid, zoodat het water zich volgens eene verticale lijn in de zandlaag met eenparige snelheid vooruit beweegt. Sluit men de opening van afvoer, dan houdt de instrooming oogenblikkelijk op en het water blijft onveranderlijk in den verkregen stand staan. Deze werking is eenigszins verrassend, maar men begrijpt, het kan niet anders zijn. De instrooming gaat van eene verticale lijn uit, en de druk en weêrstand zijn op elke plaats van de laag gelijk; de beweging kan dus van de verticale lijn niet afwijken.

Wat wij hier nu in een vlak zien gebeuren, heeft evenzoo in de ruimte plaats, daar men zich het vlak in elke richting geplaatst kan voorstellen (1).

De snelheid v , waarmede het water door de zandlaag stroomt, vinden wij uit de formule:

$$Q = K \frac{h D^2 r^2}{L}, \quad \begin{aligned} h &= D = L = 1 \text{ meter} \\ r &= \frac{1}{10} \text{ mm.} \\ K &= 0.4257 (r^2 = 1) \text{ per uur bij } 12^\circ \text{ C.} \end{aligned}$$

In ons geval is dus, wanneer Q een prisma beteekent, waarvan de basis = D^2 is

$$\frac{Q}{D^2} = v = K \frac{h r^2}{L}, \quad \begin{aligned} h &= 100 \text{ mm.} \\ r &= 0.1143 \text{ mm.} \\ L &= 800 \text{ mm. } v = 69.5 \text{ mm. per uur.} \end{aligned}$$

(1) De uitdrukkingen *lijn* en *vlak* zijn hier kortheidshalve gekozen, en zijn dus niet in meetkundigen zin te verstaan.

2. Het proefterrein bestaat uit dezelfde van water doordrongen zandlaag als in 1; de instrooming heeft eveneens van ab uit plaats, fig. 4; de uitstrooming echter op den geheelen kant cd , die door eene zeef tegen het uitvallen van zand is beveiligd. Het gekleurde water stroomt nu volgens eene rechte maar hellende lijn binnen en beweegt zich met eenparige snelheid volgens rechte lijnen voort; maar desnelheid is beneden grooter dan boven evenredig aan de drukhoogte, zoodat de hoek α , die de lijn van instrooming met de horizontale maakt, hoe langer hoe kleiner wordt.

Er heeft bij deze proef nog eene secundaire werking plaats.

Men zou toch meenen, dat op de plaats b , waar de drukking $= 0$ is, geen water in kon stroomen; maar zooals fig. 4 aantoont, heeft ook daar nog eene geringe instrooming plaats. Dit is een gevolg van de cohesie van het water; de dieper liggende laag sleept altijd de boven liggende mede. Dit trekken is echter constant, en hoewel in ons proefterrein zeer merkbaar, bij in de natuur voorkomende lagen, die duizenden malen uitgestrekter zijn, is het van verdwijnenden invloed.

3. Wijzigt men de proef onder 2 zoodanig, dat de instrooming alleen van één punt beneden bij ab uitgaat, fig. 5, terwijl de drukhoogte en de overige omstandigheden dezelfde blijven als in 2, dan vormt de lijn van instrooming in het begin een cirkelboog, die zich hoe langer hoe meer uitbreidt en wel naar boven met afnemende snelheid, soortgelijk als in communicerende buizen, tot dat zij de hoogte c bereikt heeft, die zij niet overschrijdt, omdat hier de druk $= 0$ en het trekken althans niet zichtbaar is; zij nadert zodoende hoe langer hoe meer tot eene rechte lijn, die zich geheel verhoudt als die onder 2. Het maakt geen merkbaar verschil, of de uitstrooming op de geheele lijn de of alleen op het laagste punt bij e kan plaats hebben; er vloeit dan op dat punt evenveel uit als voorheen, want de uitstrooming beperkt zich in het eerste geval eveneens bij voorkeur tot het laagste punt. Men had kunnen verwachten, dat zich het water alleen in horizontale richting, niet naar boven toe, zou uitbreiden, omdat het hier, zoodra de uitstrooming begint, den tegen-druk van eene waterkolom van gelijke hoogte heeft te overwinnen. Zoolang geen water instroomt, wordt die kolom wel door de capillariteit gedragen, maar zoodra eene waterkolom van gelijke hoogte als de zandlaag er tegenover staat is de capillariteit opgeheven.

Men moet echter in aanmerking nemen, dat de waterkolom in de zandlaag gedurig zijdelings afvloeit en door het van beneden naar boven dringende water vervangen wordt, zoodat in deze laatste richting gedurig een overdruk plaats heeft, tot dat die bij c gelijk 0 wordt.

4. Laat men een waterstroom uit eene trechterbuis midden in dezelfde zandlaag stroomen, fig. 6, terwijl het water naar beide kanten of op de laagste punten van die kanten der laag vrij kan afvloeien, dan spreidt het zich in het begin volgens een zuiveren cirkel uit, derhalve, als dit in de ruimte plaats had, in bolvormige gedaante.

Vervolgens wordt het figuur beneden iets afgeplat en breidt zich meer zijdelings uit.

Laat men echter, fig. 7, de pijp van instrooming vlak onder de oppervlakte der zandlaag uitkomen, dan vormt zich eerst eene halve cirkel, die allengs beneden platter en zijdelings breeder wordt. Het eerste figuur 6 gaat in het laatste over, als het de oppervlakte der zandlaag bereikt heeft. De drukhoogte mag hierbij niet zoo groot zijn, dat het zand weggespoeld wordt, daar dan het water zich over de oppervlakte der laag verspreidt en recht naar beneden zakt.

Komt eindelijk de aanvoerpijp bij het oppervlak in den hoek a uit, fig. 8, terwijl de afvoer bij d en e is, dan helt de boog wel in het begin naar e , maar vormt vervolgens haast een zuiver quadrant van een cirkelvlak. Daar de weg van a naar e korter is dan naar d , zoo is ook de weerstand in de eerste richting geringer, terwijl de tegenstand door

de drukking met de diepte toeneemt; vandaar dat op een zeker tijdstip die weerstanden elkander compenseeren. Heeft eindelijk de instrooming plaats op de lijn *ab*. fig. 9, dan verkrijgt men den daar afgebeelden vorm, die geene verdere toelichting behoeft.

Uit de genomen proeven blijkt, dat de snelheid, waarmede het water zich in eene reeds van water doordrongen zandlaag voortbeweegt, altijd evenredig aan de drukhoogte en omgekeerd evenredig aan den weerstand is, zooals de boven aangehaalde formule aanwijst. Wij zullen daaruit licht verkrijgen over de wijze, hoe het water zich beweegt in lagen, die nog niet van water doordrongen, maar waarin de poriën met lucht gevuld zijn.

Het is duidelijk, wanneer eene zandlaag geheel droog is, dat de lucht in de poriën geen merkbaren weerstand aan het binnendringende water biedt. Dit wordt echter anders, wanneer de laag reeds eens met water gevuld geweest en dit daaruit weggevloeid is, zoodat het zand nat is; in dat geval vormt de lucht bellen, die zich in de poriën zetten en een zekeren tegenstand bieden.

Om de werking van de lucht in den eenvoudigsten vorm te onderzoeken, werd in de eerste plaats de volgende proef in het werk gesteld. Van twee capillaire glazen buizen werd de diameter op bekende wijze door wegen van een kwikdraad — van in de buizen gemeten lengte — bepaald, en vervolgens de capillaire stijghoogte van water in die buizen gemeten. Van ieder der buizen werd een kort stukje afgesneden en aan beide einden effen geslepen.

Die korte buisjes werden nu ieder in het eene been eener **U**-buis, door middel van een kautschouc-stopje bevestigd. Zie fig. 3.

Vervolgens werd water in de **U**-buizen gegoten, zoodanig, dat onder het capillaire buisje eene luchtbel bleef drijven. Giet men het water aan dien kant in, waarin het capillaire buisje zich bevindt, dan wordt het luchtbelletje naar onderen gedrukt en het water staat in beide beenen der **U**-buis even hoog. Giet men nu zeer voorzichtig in het andere been der **U**-buis meer water, dan wordt de luchtbel naar boven geperst en tracht in de capillaire buis te dringen.

Noemen wij de drukking, waaronder dat luchtbelletje zich bevindt *P*, wanneer de waterstand in beide beenen gelijk is, dan blijkt, dat men in het andere been eene waterkolom van eene bepaalde hoogte = *q* moet toevoegen, om het luchtbelletje door de capillaire buis te doen glippen. Die kolom *q* is constant en onafhankelijk van de drukking *P* en van de grootte der bel onder het capillaire buisje, als men de bel slechts zoo groot neemt, dat hare kromming tegen de kromming van den meniscus in het capillaire buisje niet in aanmerking komt; is daarentegen de diameter van het luchtbelletje slechts zeer weinig grooter dan de diameter van de capillaire buis, dan is de minste overdruk voldoende, om het door te persen.

<i>d</i> . Diameter der capillaire buis.	<i>h</i> . Capillaire stijghoogte.	<i>q</i> . Opgebrachte waterkolom.	<i>d.h.</i>
1.0174 mm.	27 mm.	27 mm.	27.4
0.7048 »	41 »	41 »	28.9

Uit deze proef blijkt, dat de kolom, die noodig is om het luchtbelletje door de capillaire

buis te persen, gelijk is aan de stijghoogte, ten gevolge der capillaire werking. Alleen wanneer men capillaire buizen van veel grooter diameter neemt, is g kleiner dan h .

Dit is een gevolg van de verhouding der krommingen en van trillingen, die men niet geheel verhinderen kan en die bij breede buizen van grooter invloed zijn dan bij nauwe.

Dit resultaat is a posteriori licht te begrijpen; want in beide gevallen is de oorzaak van het verschijnsel dezelfde, namelijk de kromming van den meniscus; alleen is in het eene geval de kromming concaaf naar boven gericht, in het andere geval naar beneden.

De beteekenis van het opgesloten luchtbelletje is hierna duidelijk; het biedt een weêrstand, die gelijk is aan den druk van eene waterkolom van de capillaire stijghoogte.

Zien wij nu, hoe zich opgesloten luchtbellens in eene zandlaag verhouden.

Eene lange glazenbuis, aan het eene eind van eene zeef voorzien, werd eerst met water vervolgens met zand gevuld, zoodat geen lucht in de buis bleef.

Wordt de zeef in water geplaatst, dan zakt het water voor een deel uit de buis en blijft op eene hoogte staan, die gelijk is aan de capillaire stijghoogte; in de proefbuis op eene hoogte van 50 cm., terwijl in het bovenste gedeelte der buis de tusschenruimten van het zand lucht opnemen. De proef is zoo ingericht, dat men dit luchthoudend gedeelte der buis gemakkelijk kan afnemen.

Voorziet men het weder van eene zeef en plaatst men deze in water, dan zou men verwachten, dat het water, ten gevolge van de capillaire werking, weder op dezelfde hoogte van 50 cm. in de buis moest rijzen, indien namelijk de lucht in de tusschenruimten geen weêrstand bood. In plaats van 50 cm. rees het water, dat voor deze proef gekleurd was, slechts 4 à 5 cm.

Dit is als volgt te verklaren: In het begin zijn de luchtgangen open. Wanneer nu het water in de buis klimt, verplaatst het lucht; de lucht verplaatst weêr water, zoodat spoedig in de zandbuis de tusschenruimten zoodanig met water gevuld zijn, dat in iedere tusschenruimte een luchtbelletje is opgesloten. Van dit oogenblik af houdt de capillaire werking geheel op, omdat die luchtbelletjes naar alle kanten gelijke drukking uitoefenen. Het resultaat is derhalve, dat nat zand, waarin de tusschenruimten met luchtbelletjes zijn bezet, geen capillaire werking meer heeft. Laat men door eene water- en luchthoudende zandlaag water stroomen, dan is de weêrstand van de lucht meestal zeer gering, omdat de bellens in de poriën reeds eene sterke kromming hebben, en er is slechts een geringe druk noodig, om die kromming zoodanig te vermeerderen, dat de luchtbelletjes de poriën uitgedreven worden. Maar al zijn de luchtbellens grooter, toch is de weerstand dien zij aan den waterstroom bieden, nooit grooter dan de druk van eene waterkolom gelijk aan de capillaire stijghoogte, omdat door die drukking ook de grootste luchtbel door de kleinste opening wordt geperst.

Er ontsnappen wel altijd eenige luchtbelletjes aan de uitdrijving, omdat de waterstroom zich om het belletje heen beweegt, zoodat de druk van weêrskanten komt en het belletje op zijne plaats handhaaft.

De luchtbelletjes oefenen in eene natte zandlaag dus eene drieledige werking uit:

- 1°. vernietigen zij de capillariteit van het zand op weinig na;
- 2°. verminderen zij de doorsnede van de doorstrooming en gedragen zich in dat opzicht als zandkorrels, en

3°. bieden zij een weêrstand, die hoogstens gelijk aan de kracht der capillariteit kan zijn.

Uit de laatste werking volgt, dat zand, hetwelk overigens voor water doordringbaar is,

door gehalte van luchtbelletjes geheel ondoordringbaar kan verschijnen, echter alleen bij zeer lage drukking.

Gaan wij nu na, hoe het water zich gedraagt in eene natte zandlaag, die tevens ook lucht bevat.

Het proefterrein bevatte in den boven beschreven toestel nat zand van de korrel 0.4288 m.gr.

De capillariteit, die bij die zandsoort in drogen staat slechts 10 cm. bedraagt, is dan ten naastenbij opgeheven en de weerstand der luchtbellens is, wegens derzelve kleinheid, tegenover de openingen, waardoor zij geperst moeten worden bij de aangewende drukhoogten, van onbeduidenden invloed.

Het is te voorzien dat de werking in dit geval veel samengestelder moet zijn dan in de eerste proefreeks.

Ten eerste zal het water trachten zich evenredig aan de drukhoogte voort te planten, zooals in de eerste proefreeks;

ten tweede zakt het ingestroomde water, ten gevolge van de zwaarte, hetgeen in de eerste reeks niet het geval was, daar de stand van het water geheel onveranderd blijft, zoodra men de instrooming doet ophouden, terwijl hij hier voortgaat zich te veranderen;

ten derde neemt de tegenstand gedurig toe, daar de waterkolom, die vooruit moet geschoven worden, hoe langer hoe grooter wordt; de tegenstand wordt eerst constant, wanneer het water de plaats van uitstrooming bereikt heeft.

Stroomt het blauw gekleurde water van ab naar binnen, fig. 10, terwijl de kant cd open is, dan vertoont het in het begin eene rechte lijn, ongeveer onder een hoek van 45° , die echter spoedig van richting verandert en een weinig krom wordt.

Sluit men plotseling de opening van instrooming, vóór de plaats van uitstrooming door het water bereikt is, dan wordt de kromming iets sterker en de grenslijn neemt den vorm aan, die door de gestippelde lijnen is aangeduid.

Men ziet hier de werking ten gevolge van de instrooming, en het zakken ten gevolge van de zwaarte ieder afzonderlijk. Voltooit men de proef zonder door tijdelijke afsluiting der instrooming tusschen beide te komen, dan volgt het water de in fig. 11a aangeduide licht gekromde lijnen en bereikt eindelijk eene rechthoekige grens, die bij voortgezette doorstrooming onveranderd blijft en die wij de grenslijn zullen noemen.

De zoo geringe tijdelijke kromming, eer de constante grens bereikt is, is een gevolg er van, dat het zakken en de vertraging door de vermeerdering van weerstand in tegenovergestelden zin werken. Laat men eindelijk, nadat de constante lijn bereikt is, rood gekleurd water navloeien, dan beweegt zich dit binnen de grenzen van het blauwe water, volgens zeer steile lijnen, fig. 11b, die hoe langer hoe meer hellend worden en zich eindelijk nauwkeurig aan de rechte grenslijn aansluiten, zoodat ten slotte van de blauwe vloeistof niets dan eene fijne, scherp tegen het rood afgebakende zuiver rechte lijn overblijft. Deze lijnen van nastrooming zijn eveneens licht gekromd, echter in tegenovergestelden zin als die van de eerste instrooming, wat weér een gevolg van het zakken is.

Het belangrijkste van deze proef is, dat de stationaire waterstand steeds eene rechte lijn is. Kent men de plaats van in- en uitstrooming, of in het algemeen twee punten van die lijn, dan kent men dus op elke plaats de diepte van den waterstand onder het oppervlak, als men eene rechte lijn door die twee punten trekt.

Houdt de instrooming op en kan het water aan weerskanten vrij afvloeien, dan blijft eindelijk, onder tijdelijke kromming, eene horizontale laag van 10 cm. hoogte in de zandlaag staan, die door de capillariteit wordt vastgehouden. Deze capillariteit was wel tijdens

de instrooming opgehouden, doch uit zich weder bij het wegzakken van het water. en is ook de oorzaak dat de plaats van uitstrooming *ce*, fig. 11, gedurende het doorvloeien 10 cm. hoog is.

De in fig. 12 en 13 voorgestelde proeven zijn analoog aan die van de eerste reeks met dit onderscheid, dat het verschijnsel van zakken er bij komt. Dit heeft ten gevolge, dat in fig. 12, waar de instrooming beneden is, de waterstand niet de hoogte der drukking bereikt; dat in fig. 13, *b* de bol in een peervorm, in fig. 13, *a* de halve bol in een cylinder en in fig. 13, *c* de kwartbol in een naar beneden gerekt figuur verandert.

Zeer merkwaardig is het na te gaan, hoe standpijpen zich gedragen, die in de zandlaag geplaatst zijn.

Er werden in de zandlaag twee glazen buizen loodrecht geplaatst, beneden van een zeef voorzien, zoodat geen zand in de buizen kon binnendringen. Bereikt nu de spiegel van het instroomende water het onder-eind der buizen, dan begint ook dadelijk het rijzen van het water in de buizen, houdt met het water in de zandlaag steeds gelijken tred en blijft, als het zijn grensstand bereikt heeft, op de gelijke lijn staan als in de omgevende zandlaag.

Men zou nu verwachten, dat, als het water in de zandlaag daalt, zulks ook in gelijke mate in de standpijpen moet geschieden. Laat men echter het water uit de toevoerbuis door de kraan *K* fig. 1 wegvloeien, dan ziet men onmiddellijk, bijna plotseling, het water uit de standpijpen volgen en wel het eerst uit die pijp, welke het naast bij de plaats van afvoer ligt, terwijl dadelijk daarna de tweede volgt. Het water in de zandlaag daarentegen zakt heel langzaam en staat nog hoog in de omgeving der standpijpen, terwijl deze reeds lang geleedigd zijn. Dit verschijnsel, op het eerste gezicht bevreemdend, is toch gemakkelijk te verklaren. De waterkolom in de zandlaag moet den weêrstand overwinnen van het oppervlak tot aan de plaats van uitvloeiing, terwijl het water in de buizen geen merkbaren weêrstand ondervindt en alleen den weêrstand van af het uiteinde der buis tot aan de plaats van afvoer heeft te overwinnen; bijgevolg moet het uit de buizen sneller wegvloeien dan uit het omgevend zand.

Men kan uit deze proef een practisch gevolg trekken. Heeft men in een terrein standpijpen achter elkander geplaatst en het water staat daarin op ongelijke maar constante hoogte, zoodanig, dat de hoogste stand op den kant van instrooming ligt, dan volgt daaruit dat door dit terrein eene voordurende waterstrooming plaats heeft, die reeds eene constante grenslijn bereikte. Legt men eene rechte lijn door de waterstanden der pijpen, dan verbindt de verlenging dier lijn de hoogst gelegen plaats van uitstrooming met het hoogst gelegen punt van waterstand in de laag, terwijl de plaats van instrooming zelfs dieper gelegen kan zijn dan die van uitstrooming. Staat het water op gelijke hoogte in eene rij van standpijpen, dan is er geen doorstrooming meer, maar het terrein is met water gevuld zoo hoog, als de pijpen aanwijzen. Daalt echter het water in de pijpen, dan bewijst dit, dat op de plaats van instrooming de drukhoogte daalt, dat echter de grenslijn nog door de pijpen gesneden wordt. Eerst als die grenslijn onder het uiteinde der pijpen valt, loopen deze direct ledig.

Hierop is echter eene uitzondering, die het phenomeen voortbrengt, wat men aan een put in Amsterdam heeft opgemerkt, die op eb en vloed in het IJ correspondeert en waarin het water bij eb rijst en bij vloed daalt. Dit verschijnsel kan men in ons proefterrein licht nabootsen. Brengen wij daartoe beneden in een der glazen standpijpen een laagje fijn zand, dat het water veel langzamer doorlaat dan het omgevende proefzand, en nemen wij eens aan, dat het water den hoogsten stand bereikt heeft en in de pijp op de grenslijn staat.

Daalt nu in de toevoerbuis de waterstand, of anders gezegd, begint de eb, dan daalt ook de grenslijn en eveneens de waterstand in de pijp. Maar in de pijp kan het water wegens

de geringe doordringbaarheid van het laagje fijn zand niet zoo gauw volgen. Is nu de laagste waterstand bereikt, dan ligt de grenslijn diep onder het uiteinde van de pijp en het water blijft in de pijp dalende, ook dan nog, wanneer het water in de toevoerpip weder rijst of als de vloed opkomt en wel zoo lang, totdat de grenslijn weër de pijp snijdt. Van nu af begint het water weër in de pijp te rijzen, ook dan nog, wanneer de hoogste vloed heeft plaats gehad en de eb weer begint in te vallen, tot zoolang als de waterstand in de pijp zich beneden de grenslijn bevindt. Daalt echter de grenslijn onder den waterstand in de pijp, dan begint ook het water in de pijp weer te dalen, enz. en zoo hebben wij het tijdelijk dalen met hoog water en het rijzen met laag water, hetgeen niet anders dan een verschil in de periode is.

In den put bevindt zich derhalve zeker eene sliblaag, zoo als bij een ouden put niet te verwonderen is, welke sliblaag minder doorlatend is dan het omgevend terrein. De waterstand in de standpijpen bij de proeven in het groot genomen, zal nader toegelicht worden in hoofdstuk VI.

Tot zoover hebben wij altijd aangenomen, dat het terrein gelijksoortig van aard was. Het wordt evenwel anders, wanneer wij te doen hebben met een systeem van over of naast elkander gelegen lagen, waarvan de doordringbaarheid verschillend is.

Men kan echter volstaan met te onderzoeken, hoe twee lagen zich onder verschillende voorwaarden gedragen; dan is het verkregen resultaat ook op meer lagen toepasselijk.

1. Het proefterrein bestond uit eene laag grof zand van de korrel 0.4288 mgr. en daar boven eene laag fijn zand van de korrel 0.01646 mgr., ieder 15 cm. hoog en beide nat. De instrooming had plaats in *ab* de afvoer bij *cd*, fig. 14 *a*. De proef werd weer met blauw gekleurd water begonnen. Men zou nu verwachten, dat de instroomingslijnen in de bovenste fijne laag ver achter die van de onderste laag moesten terug blijven, omdat in de eerste niet alleen de druk, maar ook de doordringbaarheid minder is.

Dat is echter niet het geval; de beide lagen gedragen zich als eene laag van grof zand, de lijnen zijn onafgebroken en niet merkbaar gekromd.

Zij bereiken eindelijk de constante grenslijn, die geheel gelijk is aan die, vroeger in eene gelijksoortige laag verkregen. Het water in de onderste laag sleept dat van de bovenste mede; dit trekken uit zich bij de eerste instrooming sterker, waarbij blijkbaar de spanning van het oppervlak, die bij elke vloeistof voorhanden is, medewerkt, om de continuïteit te bewaren. Laat men vervolgens rood gekleurd water nastroomen, dan komt het verschil van dooriating der beide lagen duidelijk uit: de lijnen in de bovenlaag blijven achter, zooals in het figuur 14 *b* door de gestippelde lijnen is aangeduid en blijven ten slotte op de gemeenschappelijke grenslijn constant. Houdt de instrooming geheel op, dan zakt het water uit de onderste laag het eerst weg en blijft eindelijk op de capillaire hoogte van 10 cm. in horizontale richting staan; het water in de bovenlaag blijft nog geruimen tijd hangen, maar zakt toch eindelijk geheel in de onderste laag weg, fig. 18; de capillariteit kan in de bovenlaag wegens de aanraking met de reeds geledigde onderste laag geen water terug houden.

2. Dezelfde proef werd herhaald in omgekeerde volgorde der zandlagen, zoodat het grofzand boven lag, fig. 15 *a*. De lijnen van instrooming verschijnen nu gebroken, maar geheel, met het snijpunt op de grens der beide zandlagen en zijn steiler dan te voren. Het trekken is hier weër de oorzaak. Bij het nastroomen van het rood gekleurde water werkt dan weër elke laag afzonderlijk, de aansluiting is verbroken en de bovenste laag is vooruit, fig. 15 *b*; tegen het eind, eer de grenslijn bereikt is, dringt het rood gekleurde water uit de bovenlaag in het nog blauwe terrein van de onderste laag door. De grootste hoeveel-

heid water stroomt door de bovenlaag en neemt ook nog dat gedeelte van de onderste laag in beslag; wat voor de uitstrooming uit de laatste niet vereischt wordt.

De grenslijn, die altijd recht is bij horizontaal over elkander liggende lagen, ligt met haar laagste punt 10 cm. dat is de capillariteitshoogte boven de onderste laag.

3. De twee zandlagen liggen naast elkander, zoodat de aanraking op eene loodlijn ligt, en het grofzand vormt de voorste laag.

Men ziet uit fig. 16*a* en *b*, dat de instroomingslijnen gebroken verschijnen en ook de grenslijn blijft gebroken en is in de fijne laag van eene sterker helling; de hoeveelheid van uitstroomend water regelt zich hier, zooals reeds vroeger aangetoond is, alleen naar de fijne laag; de hoogte, waarop het water in de fijne laag instroomt, hangt echter weér van de voorste laag af.

4. Keert men nu weder de volgorde om, zoodat de fijne laag vóór ligt, fig. 17*a*, dan zijn de lijnen in het begin gebroken met de sterkere helling in de achterste laag; doch spoedig houdt ook de aansluiting op en blijft ook in de grenslijn verbroken; er blijft slechts nog een verband bestaan door eene lijn, die als het ware een waterval uit de eerste naar de tweede laag toe vertegenwoordigt.

Hetzelfde is het geval bij de meer steile lijnen van nastrooming, fig. 17*b*.

Men ziet, wanneer vele lagen van verschillende doorlating achter elkander volgen, dat de grenslijn menigvuldig gebroken kan zijn op die plaatsen, waar het water uit de fijnere in de grovere lagen overstroomt, en, zoo de lagen van lieverlede in elkander overgaan, een golvenden vorm kan aannemen; maar in het algemeen hebben in water bezonken lagen eene tendentie tot de horizontale richting en de rechte grenslijn zal derhalve de overhand hebben, ofschoon op groote uitgestrektheden steeds afwijkingen te verwachten zijn.

Het schijnt overbodig dit onderzoek ook op kleilagen uit te strekken, want kleilagen zijn bij een gering watergehalte ondoordringbaar en bij meer watergehalte gedragen zij zich volgens dezelfde wetten als fijne zandlagen, zoodat de doorstrooming alleen met andere snelheden geschiedt; bij speciale terreinonderzoekingen op de kwel spelen echter de kleilagen eene hoofdrol.

Verder moet nog vermeld worden, dat bij geheel drooge zandlagen de capillariteit medewerkt en het water bij de eerste instrooming vooruittrekt, en dat de grenslijn met het bedrag van de capillariteit hooger ligt dan in natte zandlagen; in de natuur bij uitgestrekte lagen is dit verschil echter van ondergeschikt belang.

Ten slotte dient nog vermeld te worden, dat het medegedeelde alleen op zulke zandlagen betrekking heeft, die zich als capillaire gedragen; bij lagen van keien is de snelheid niet meer evenredig aan de drukhoogte, maar aan den wortel daaruit, en ook niet meer evenredig aan r^2 van de korrel, maar het water gedraagt zich als in breede buizen of zelfs als in open kanalen.

Er schiet nu nog over van de middelen te spreken, die kunnen strekken om het doorkwellen van water door grondsoorten te verhinderen, voor zooverre de medegedeelde proeven daartoe aanleiding geven. Over het kwelbezwaar in de Betuwe, zie hoofdstuk VI.

Het doorkwellen kan zich in dier voege uiten, dat ten gevolge van het wegzakken van water bijv. in een kanaal, geen constante waterstand kan worden behouden; of het tegenovergestelde kan zich voordoen, dat men reeds boven de diepte, die een kanaal zal verkrijgen, op een poreuzen grond met eene laag water stuit, zoodat de uitgegraven ruimte dadelijk vol water loopt en de toevlucht moet genomen worden tot uitbaggeren van den grond of uitmalen van het water.

In het eerste geval zou men de kwel kunnen stoppen.

Voor het stoppen zou onzuivere klei wel het eenige licht toegankelijke materiaal zijn. Men zou klei op twee manieren kunnen aanwenden.

Ten eerste kan men klei in het water van een kanaal verspreiden en de poriën van de bedding van lieverlede doen dichtslibben.

Ten tweede kan men de bedding van het kanaal glaiseeren, dat is met eene waterdichte kleilaag bedekken.

Tegen de eerste manier bestaan echter bezwaren. In de eerste plaats kan men, wanneer de bedding van het kanaal uit grof korrelig zand of grint bestaat, de poriën ervan door kleihoudend water niet dicht slibben; de klei wordt door de openingen medegesleept. Wanneer het voorkomt, dat grintlagen door slibhoudend water minder doorlatend worden, dan is niet eigenlijk de klei de oorzaak, maar allerhande vezeltjes van plantaardige natuur, die zich op de oppervlakte van het zand verzamelen. Zulke laagjes blijven echter niet vast liggen; zij worden door de minste beweging van het water vervoerd en zijn ook niet genoegzaam dicht om de kwel te stuiten.

Is echter ook fijn zand voorhanden en nemen wij aan, dat de laag een meter dik en de middellijn van de korrel 0.2 mm. was, dan gaat nog 0.42 M³. per vierkante meter en per uur er door heen.

In lagen van zeer fijn zand dringt weër de klei niet binnen, zelfs niet eenige strepen diep; zij bezinkt in rustig water op het oppervlak als een zeer zacht sliklaagje, dat uiterst gemakkelijk door het water weër afgespoeld wordt en geeft volstrekt geen waarborg tegen de kwel.

Het denkbeeld, de bedding te willen dichtslibben, wordt om deze redenen illusoir.

Er blijft dus het tweede middel over, namelijk de bedding van het kanaal met eene waterdichte leemlaag te bedekken.

Hiertegen bestaan mijns inziens geene overwegende bezwaren. Die leemlaag behoeft volstrekt niet zeer dik te zijn. Een mengsel van 2.27 vol. klei en 3.75 vol. water, dat eene plastieke massa vormt, laat per vierkante meter, bij eene drukking van 1.5 meter en bij eene dikte van 1 cm. slechts 0.00074 M³. water door, d. i. in 24 uren 0.01776 M³. en bij eene drukking van 6 M. 0.07104 M³.

Neemt men de laag 20 cm. dik, dan laat die dus in 24 uren per M³. bij een druk van 6 M. 0.0035 M³. water door. Die hoeveelheid kan nog op 0.36 maal die waarde verminderd worden, wanneer men de klei met eene genoegzame hoeveelheid zand vermengt. Er dringt dus door die laag van 20 cm. eene waterkolom van ruim 1 mm. hoogte in 24 uren, bij 6 M. drukking. Die hoeveelheid is niet meer merkbaar. Brengt men op die leemlaag ter beschutting nog eene laag van grintzand, waarvan de korrel zoo groot is, dat zij ook bij de grootste snelheid, die de waterstroom kan hebben, niet wordt weggespoeld, dan is de kanaalbedding dicht en tegen de kwel goed voorzien.

Men kan zich ook door eene directe proef overtuigen, of eene bepaalde leemsoort de vereischte ondoordringbaarheid bezit, omdat men in de praktijk niet altijd aan de voorwaarde kan voldoen, waarop eene berekening gegrond is.

In het tweede geval, wanneer een groote aanvoer van kwelwater plaats heeft, zooals bijv. in een kanaal door de Geldersche vallei, is te verwachten dat het bezwaar groeter wordt.

Wij zullen hier niet beoordeelen of het raadzaam is daar een kanaal aan te leggen; maar men zou op de volgende wijze het kwelwater kunnen overwinnen. Graaft men langs een afgebakend kanaalvak een smal afwateringskanaal en vervolgens in de kanaalbedding een put dieper dan de bodem van het kanaal, dan zal men het water uit dien put naar het afwateringskanaal kunnen overmalen.

Al is de drukking waaronder het water doorkwelt ook zeer groot, dan zal toch de hoeveelheid water, die doorkwelt en die afhankelijk is van de porositeit en dikte der zandlaag, nooit zoo groot zijn, dat men dien put niet zou kunnen ledigen. Het is niet waarschijnlijk, dat de aanvoer van kwelwater in de Geldersche vallei veel grooter zal zijn, dan de kwel van de hoofdrievieren naar de Linge, omdat de geaardheid der grondsoorten in beide streken dezelfde is. Stellen wij eens, dat de kwelhoeveelheid over het geheele beloop van de Linge 3 miljoen M³. per etmaal bedraagt, waarvan de helft door het stoomgemaal bij Steenenhoek wordt opgebracht, dan zal men ook een kanaalvak gedurende de uitgraving droog kunnen houden.

Is de bedding eenmaal gegraven en het kanaal kan naar de zee afwateren, dan daalt ook dadelijk de drukking in de omgeving van het kanaal; de waterstand in eene standpijp vóór het bestaan van het kanaal is in het geheel geen maatstaf voor de hoeveelheid water, die in het kanaal zal doorkwellen. Mocht het blijken, dat de hoeveelheid kwelwater bezwarend is, dan kan men den bodem van de bedding met eene leemlaag bedekken, dan wordt de hoeveelheid kwelwater althans verminderd. Daarentegen zou het wel niet aan te raden zijn, de geheele bedding te glaiseeren, want dan behoudt men de geheele drukking van het water tegen de bedding en de leemlaag zou kunnen opgelicht worden. Eene laag van leem en zand te zamen van 1 M. dikte, die op eene laag van zand of grint rust, kan door haar gewicht het evenwicht houden aan eene waterkolom van 4.3 M. hoogte.

Het specifiek gewicht van leem en zand in water = 1.6; de doorlatende oppervlakte van zand en grint, dat is de som der poriën op eene doorsnede, is gelijk $\frac{1}{2.7}$ M². per M². zand, waaruit het water opkwelt; wij hebben dus $1.6 \times 2.7 = 4.3$.

V.

PROEVEN OVER DEN WEËRSTAND VAN ZAND EN KEIEN TEGEN VERPLAATSING.

Onze beschouwingen strekten zich tot dusverre uit op terreinen, die onveranderlijk vast lagen; de waterdrukking kan echter ook aanleiding geven, dat het terrein verplaatst wordt en dat deelen van de grondsoort medegesleept worden, vooral als het water over de kruinen van dijken loopt of zich een weg baant door reten en scheuren, die zich door uitspoeling tot breuken kunnen verwijden.

Het staat te onderzoeken, welke snelheid van den waterstroom noodig is, om zand van zijne ligplaats te vervoeren.

Hierbij zal veel afhangen van den weêrstand, die zandlagen tegen verschuiving aanbieden. Wij zullen dus nagaan, hoe groot die weêrstand is.

Wanneer men zand, van water doertrokken, in een bak brengt en in dat zand een voorwerp, aan een draad bevestigd, is bedolven, dan zal, wanneer dit voorwerp in eene zandlaag bewogen wordt, het zand zich moeten verplaatsen en de kracht, voor die verplaatsing vereischt, zal den weêrstand bepalen, dien zand tegen zand uitoefent.

Daar nu zand in water een zeker gewicht heeft, zal de kracht, voor de verplaatsing noodig, des te grooter moeten zijn, naarmate meer zand moet verplaatst worden of naarmate het voorwerp dieper in de laag is bedolven. Om den weêrstand onafhankelijk van het gewicht van het zand te bepalen, werd in plaats van water eene vloeistof gekozen, die nauwkeurig hetzelfde specifiek gewicht heeft als het zand dat is 2.65. Dit is de oplossing van kalium-kwik-jodid. Brengt men in deze oplossing een zandkorrel of een stukje kwarts, dan blijft het op de plaats staan, waar men het gezet heeft, zonder te rijzen noch te dalen. Het zand heeft dus in die vloeistof geen gewicht.

Een glazen wijdmonds flesch werd met de genoemde vloeistof gevuld en daarin een kwartskristal aan een platinadraad gehangen en op de balans in evenwicht gebracht. Het gewicht daarvoor noodig, is gelijk aan den draad, en een overwicht van eenige milligrammen is voldoende het kwartskristal in de vloeistof te verplaatsen. Dit was ook reeds daarom waarschijnlijk, omdat een factor = 0 is geworden.

Nu werd de flesch met zand gevuld en door opstampen van de flesch tot zetten gebracht, de bovenstaande vloeistof afgegoten, zoodat alle poriën met vloeistof waren gevuld, terwijl het zand tot in de vernauwing van den hals der open flesch stond, fig. 19. Het

bleek spoedig, dat het gewicht op eene fijne balans niet toereikende was om het kwartskristal te bewegen; er werd dus overgegaan tot eene zwaarder balans; en toen met 20 kilo's de grens van draagkracht ook van die balans bereikt was, kwam het uit, dat de kracht, voor de beweging van het kristal vereischt, zoo groot was, dat tot andere middelen moest worden overgegaan. Het gewicht van de zandlaag boven het kristal, was tegen het reeds aangewende gewicht verdwijnend. De proef werd nu met water in plaats van de kwikoplossing herhaald, het kwarts aan een sterk ijzerdraad bevestigd en het fleschje onder een plank vastgezet, waarin een gat geboord was waar de draad door henen ging. De draad werd aan den korten arm van een hefboom bevestigd en aan den 10 maal langeren anderen arm gewicht gehangen. Toen de hefboomsarm met 12 kilo was belast, trok dus aan het kwartskristal een gewicht van 120 kilo; maar het kwarts verroerde zich niet. De proef werd met zandsorten van verschillende fijnheid herhaald, doch altijd bleef het kwarts onwrikbaar vast. Het schijnt wel, dat zand, als het niet vrij uit kan wijken, — en dat was in de proef, wegens de vernauwing van den hals der flesch, niet mogelijk, ofschoon die slechts drie mm. bedroeg en het zand overigens bloot lag en in den hals geen steun had, — het schijnt wel, dat geen kracht voldoende is, om het zand te verschuiven; dat de korrels, die als gewelfsteenen in elkander grijpen, misschien wel eindelijk tot breken gebracht en verbrijzeld kunnen worden, maar niet tegen elkander te verplaatsen zijn.

Het vermelde verschijnsel werpt eenig licht op de vorming van het zand. Men kan de vraag opperen, waar de onmetelijke zandlagen vandaan komen, die den bodem van geheele landen uitmaken.

Zij zijn wel door water aangespoeld, maar het zand is toch door verbrijzeling van graniet en andere kwartsgesteenten ontstaan. Wanneer nu steenen brokken diepe en uitgestrekte lagen vormen, dan bieden zij door hun massa zooveel tegenstand, dat wanneer om de eene of andere geologische oorzaak, waarvan men vele kent, eene bodembeweging plaats heeft, de brokken elkander, daar zij niet wijken kunnen, tot gruis verbreken, dat vervolgens door spoelen in het water naar de grootte van korrel gescheiden wordt en zoo de zandlagen doet ontstaan. Keeren wij nu tot ons onderzoek van den weêrstand van zand tegen zand terug.

De proef werd zoo gewijzigd: In de flesch werd de van water doordrongen zandlaag, waarin zich het kwartskristal bevond, slechts zoo hoog genomen dat de hals ledig bleef en de zandlaag zich tusschen evenwijdige wanden bevond en naar boven vrij kon uitwijken. Nu vertoont zich een merkwaardig verschil. Was de zandlaag niet door water bedekt, dan was een gewicht van elf kilo noodig, om het kwarts omhoog te halen; stond echter slechts het kleinste laagje water boven het zand, dan waren 90 gram voldoende om het kwarts er uit te trekken. Dit was weêr geheel onverwacht. Hoe kan dat kleine laagje water maken, dat meer dan honderd maal minder kracht voor de beweging van het kwarts vereischt wordt?

Daar boven het zand geen water meer is, wordt het zand met eene kracht, die gelijk is aan eene kolom van de kapillaire stijghoogte, vastgehouden. De drukking verspreidt zich dan naar alle richtingen boven het horizontale vlak, waarin het kristal ligt en wordt voor een deel door de vaste wanden der flesch tegengehouden.

Staat daarentegen water boven de zandlaag, dan is alleen de weêrstand van het zandprisma te overwinnen, hetgeen boven de horizontale doorsnede van het kristal staat. Of hierbij echter een weêrstand tengevolge van het in elkander hechten der zandkorrels te overwinnen is, is altijd nog niet uitgemaakt. Keeren wij nu tot onze eerste proef terug.

Het zand werd in plaats van water weder met de oplossing van kalium-kwik-jodid doordrongen en wel zoo, dat geen vloeistof er boven stond en het kristal dus vast zat. Beves-

tigen wij nu den draad voor deze proef van zijde aan de balans en brengen deze in evenwicht. Gieten wij vervolgens een laagje van de oplossing op het zand, dan blijft nog alles onveranderd.

Leggen wij nu een centigram op de weegschaal, dan komt onmiddellijk het kristal naar boven, zelfs de kleine kronkelingen van den zijden draad worden niet eens geheel recht gespannen. Hierdoor is het bewijs geleverd, dat eene aaneenhechting van het zand niet bestaat. De weêrstand van zand is derhalve gelijk aan deszelfs gewicht, of de wrijvingscoëfficiënt is gelijk 1, zoowel wanneer het zand droog, als wanneer het in water met het gewicht van het gelijke volum water verminderd is.

De medegedeelde merkwaardige werking van het zand licht nog sommige andere verschijnselen toe.

Eene gewone opmerking is aan ieder wandelaar op het zeestrand bekend. Wanneer het strand bij laag water zoo nat is, dat bij het stappen slechts het kleinste laagje water boven zijne oppervlakte zich verheft, dan zakt de wandelaar er in, terwijl hij droogvoets wandelt, wanneer het water zooveel gezakt is, dat de capillariteit en mitsdien de zijdelingsche drukking het gewicht des wandelaars tegenhoudt.

Evenzoo zal een steen, bijv. een erratisch blok, dat van een ijsschol afvalt, diep in den zandbodem inzakken, wanneer de schol drijvende was, terwijl het op de oppervlakte van het zand blijft liggen, wanneer het van eene smeltende ijsschol neêrvalt, nadat het water van den bodem waarop de ijsschol vastzit, reeds is weggevloeid.

Gaan wij nu na, hoe groot de snelheid van een waterstroom moet zijn, om zand van eene bepaalde grootte van korrel te vervoeren. Wij kunnen hierbij gebruik maken van de proeven, die over het slibben van zand gedaan zijn. (1) Wanneer, om het eenvoudigste geval te kiezen, eene zandkorrel door een waterstroom, die verticaal naar boven is gericht, zwevende wordt gehouden, dan is de drukking van den waterstroom tegen de zandkorrel gelijk aan het gewicht van de korrel. Nu wordt de betrekking tusschen den diameter van de korrel en de snelheid van het water uitgedrukt door eene bekende formule:

$$z \frac{v^2}{2g} \times \frac{\pi}{4} d^2 = V (s-1) = G$$

waarin G het gewicht van de korrel, v de snelheid, d de diameter, V het volume, en s het spec. gewicht van het zand uitdrukken, en $z = 0.55$ is een coëfficiënt, die aan den vorm van het oppervlak der korrel beantwoordt.

Het blijkt echter uit de proeven van Schöne, dat de theoretische formule op verre na niet met de werkelijkheid overeenkomt.

Ten einde haar met de uitkomsten der proeven in overeenstemming te brengen, wijzigt hij de formule in:

$d = v^{\frac{7}{11}} 0.0134$, waarin d de diameter van de korrel is, alles in millimeters gemeten.

Deze formule levert resultaten, die met de proeven voldoende overeenkomen.

Ter verificatie laat ik hier een tabel volgens Schöne volgen, waarin de uitkomsten van de proeven vergeleken zijn met die volgens de formule berekend.

(1) Schöne, Ueber Schlämmanalyse. Berlin 1876.

Snelheid v per sec. in millimeters.	Diameter gevonden.	Diameter berekend.
		$d = v^{7/11} \cdot 0.0314$
0.2	0.0106	0.0110
0.4	0.0162	0.0175
1.025	0.0325	0.0319
2.10	0.0514	0.0503
3.03	0.0628	0.0635
4.00	0.071	0.076
8.00	0.123	0.118
10.00	0.137	0.136
11.00	0.150	0.144
12.00	0.149	0.152

De vermelde eigenschappen van zand gaven aanleiding tot eenige proeven over het verplaatsen van zandbanken.

De wijze, waarop zandbanken door water verplaatst worden, is wel in algemeene trekken maar niet genoegzaam in de bijzonderheden bekend om de verschijnselen, daarbij voorkomende, te verklaren.

Ik deel derhalve hieronder eenige proeven mede, die dit onderwerp meer toelichten.

Zooals wij gezien hebben is de wrijving van zand tegen zand gelijk aan het gewicht van het zand; waaruit volgt, dat de wrijvings-coëfficiënt gelijk 1 moet zijn.

Nu bepaalt men dien coëfficiënt ook uit den valhoek van het zand, wanneer men dit tot een kegel opstapelt. Die valhoek zou dus 45° of zijne tangen te gelijk 1 moeten zijn.

Laten wij in onzen toestel, fig. 1, terwijl hij ledig is, voorzichtig zuiver droog zand neêrvallen, dan vormt het zand tusschen de glasplaten eene doorsnede van een kegel met een scherpen top, onder een valhoek met de horizontale van 40° .

Die hoek blijft dezelfde, wanneer men zandsoorten van verschillende fijnheid bezigt.

Hij is ook dezelfde, wanneer men den toestel vooraf met water gevuld heeft, zoodat ook in rustig water de kegel denzelfden vorm vertoont, Fig. 20.

De theoretische hoek kon niet worden verkregen. Wanneer de valhoek 45° ware, zou het zand op de helling in evenwicht met de wrijving zijn en zich bij de minste trilling moeten verplaatsen.

Met den hoek van 40° heeft de kegel dus eene zekere stabiliteit.

Heeft het zand reeds eene aanvangssnelheid, wanneer het het kegelvlak bereikt, bijv. laat men het uit eene zekere hoogte neêrvallen, dan moet die snelheid door de wrijving vernietigd worden en de hoek van den kegel met de horizontale wordt kleiner, naarmate die

aanvangssnelheid grooter was. Was de aanvangssnelheid aan het zand door stroomend water medegedeeld, dan is hetzelfde het geval.

Vormen wij nu in den toestel onder water zulk een kegel van 40° en laten wij water door den toestel stroomen, dan kunnen verschillende gevallen plaats grijpen:

1°. Is de snelheid $v < \sqrt{\frac{7}{11} \frac{d}{0.0314}}$, dan blijft de kegel geheel onveranderd, Fig. 20.

2°. Is de snelheid even voldoende, om het zand te verplaatsen, dan neemt de kegel bij den top af en neemt successief de vormen *bcd*, *efg* enz. aan, Fig. 21. Daarbij blijven de valhoeken altijd 40° en de toppunten *b*, *c*, *e*, *f* scherp. De lijnen *bc*, *ef*... vertoonen eene geringe helling, die gelijk is aan het verval van den waterstroom.

Dat de valhoeken constant blijven is licht te verklaren. Terwijl de waterstroom zich boven de lijnen *bc*, *ef* beweegt, heeft hij beneden van die lijnen geen merkbare uitwerking; het zand moet dus in het bijna rustige water onder den normalen hoek neêrvallen.

3°. Laat men op den kegel van het begin af een stroom werken met eene snelheid, voldoende om het zand, niet alleen laagje voor laagje, maar in eens een zeker volume van den kegel te verplaatsen, dan zien wij het volgende gebeuren:

Terwijl de top van den kegel snel afneemt, wordt het zand door den stroom op de naar hem toegerichte zijde van den kegel omhoog geworpen. De kegel neemt op dien tegen den stroom gerichten kant af en de helling wordt steiler. Laat men echter den stroom voor een oogenblik ophouden, dan valt het zand dadelijk onder den hoek van 40° terug.

Het door den stroom omhoog gestuwde zand vormt, zoodra het de hoogte van de bank bereikt, een heuvel, en de bank wordt op die plaats afgerond.

Terwijl de heuvel onmiddellijk door den stroom wordt afgeplat, vervormt hij zich tot een terras, en dit vertoont weder nauwkeurig den valhoek van 40°.

Op het eerste terras volgt een tweede, daarop een derde en er kan zelfs een geheel systeem van zulke terrassen ontstaan, en reeds op de helling kan het opstuwend zand terrassen vormen, die dan de helling opklimmen, zoodat de bank over eenigen tijd den vorm vertoont van fig. 22. Daarbij is het zeer opmerkelijk, dat het volgende terras altijd het voorafgaande beschermt, zoodat dit laatste blijft stilstaan en alleen het laatst gevormde vooruitgaat. Eerst dan, wanneer het jongste terras het andere heeft achterhaald en beide te zamen weder één terras vormen, beweegt het zich weêr verder, zoo het niet op nieuw tot stilstand wordt gebracht, daarbij altijd den valhoek van 40° behoudende.

De afmetingen van een terras hangen af van de hoeveelheid zand, die de stroom omhoog stuwt. Naarmate het terras vooruitgaat, neemt het in hoogte af.

Zandbanken met terrassen van 40° vindt men op vele plaatsen, o. a. van groote afmetingen en met eene verbazende regelmaat gevormd bij den ingang van het Romsdal in Noorwegen.

Ik neem hier eene schets over uit het werk van dr. A. Gurlt »Die Geologie des südlichen und mittleren Norwegen» fig. 23 (1) waar zulke terrassen volgens de natuur zijn afgebeeld. De auteur schijnt echter in de meening te verkeeren, dat die terrassen door

(1) *ab.* lengtedoorsnede.
cd. helling van de rivierbedding.
z. zijdal.
ef. zeespiegel.
gh. oude strandlijn.

rijzing van den bodem' zijn ontstaan, eene vooronderstelling, welke volgens onze proeven ongegrond is, even als eene andere die erosie als oorzaak van de terrassen-vorming beschouwt. Ueber den Terrassenbau der Alpenthäler van dr. F. Löwl in Prag. Petermanns Mittheilungen. 28 Band 1882 IV.

Het kan wel voorkomen, dat steile kusten, in oudere geologische perioden gerezen, terrassenform vertoonen. Ook door erosie kunnen zulke vormen ontstaan, maar zij verschillen van aangeslibde terrassen, hebben niet de regelmaat van de laatste en niet of slechts bij toeval den valhoek van 40° .

Een belangrijk punt is hierbij nog te behandelen.

Zooals wij gezien hebben wordt de helling van de bank op den naar den stroom gericht kant gedurende de uitwerking van den stroom steiler dan 40° . Wanneer nu door den stroom nieuwe zandmassa's van elders worden aangevoerd, wordt de steile helling door dit zand bedekt en blijft dus binnen in de bank bestaan, wanneer men den stroom doet ophouden. Vooral wanneer de nieuw aangevoerde massa uit een ander soort zand of ook uit grint bestaat, vertoont zich die steile helling als eene scherpe grens in de bank.

Wanneer men op plaatsen, waar tegenwoordig geen water meer stroomt, eene oude bank vindt, dan kan men op eene doorsnede aan die steile helling herkennen van welken kant de stroom gekomen is, al is die helling later met zand onder een kleiner hoek bedekt.

4°. Wanneer de stroom zeer hevig wordt, zoodat hij niet alleen het jongste terras vooruit duwt, maar ook nog uitwerking op de vooraf gevormde terrassen heeft, dan worden de hoeken van al de terrassen afgerond en deze verdwijnen spoedig geheel. De oppervlakte der bank vormt dan een hellend vlak.

De graad van helling van de oppervlakte der bank hangt af van het verval van den stroom en het verval van den stroom hangt af van de helling der bank. De helling en het verval veranderen elkander onderling zoolang, totdat de oppervlakte van den waterstroom evenwijdig aan de oppervlakte der bank geworden is. Is dit geschied, dan kan de bank nog in hoogte afnemen of ook toenemen, wanneer nieuwe aanvoer van zand plaats heeft, maar de twee oppervlakten trachten altijd evenwijdig te blijven.

Wanneer de stroom over eene helling naar beneden vloeit, dan wordt hij daardoor versneld; stuit hij vervolgens weêr tegen eene bank, zoo moet het water tegen de bank worden opgevoerd en daardoor vertraagd. Door de afwisselende versnellingen en vertragingen van den stroom ontstaat dan eene opeenvolging van banken met golvende oppervlakte.

Door het stuiten van het water, dat de helling eener bank afstroomt, tegen de zool van het dal tusschen twee banken en tegen de helling van de volgende bank, ontstaan golvingen in het water, die zich aan het zand mededeelen. Er vormen zich dan tusschen twee banken grebben, die op kleine schaal den vorm van de groote banken nabootsen, Fig. 23a.

In onzen toestel vertoonen zich deze verschijnselen met de grootste regelmaat, omdat de richting van den stroom altijd nauwkeurig dezelfde blijft; maar in eene breede rivier, waar in een dwarsprofiel zeer verschillende snelheden bestaan en waar ook componenten van beweging kunnen voorkomen, die op de stroomrichting rechthoekig staan, kan eene bank zeer verschillende vormen aannemen.

Voor elke secundaire richting geldt wel dezelfde regel als voor den hoofdstroom; maar door combinatie van al de voorhanden zijnde stroomrichtingen verkrijgt de bank eene onregelmatige gedaante. Het verschijnsel dat onder den naam van drijfzand bekend is, is niets anders dan het vooruitgaan van terrassen. Daarbij ontstaan echter meestal afgeronde banken, vooral wanneer de beweging eene heen en weêr gaande is, zooals bij

opkomenden vloed op de zeekusten. De hellingen der banken beantwoorden dan aan het verval van het water, dat het daar ter plaatse gedurende de vorming van die hellingen gehad heeft.

5°. Het verzanden en uitschuren van eene rivierbedding is een samengesteld verschijnsel.

Volgens de bekende formule: $v^2 = n \frac{I}{p} \alpha$, waarin $\frac{I}{p}$ de gemiddelde diepte in het profiel, α het verhang en n de wrijvings-coëfficiënt beteekent, is de snelheid op de diepste plaats het grootst.

Waar echter de snelheid het grootst is, wordt het meeste zand verplaatst. Voert nu de rivier geen nieuw zand aan, dan schuurt zij de diepste plaats van de bedding het meest uit. Voert zij echter veel zand aan, dan werpt zij juist op de diepste plaats eene bank op, die toeneemt, totdat daar eene ondiepte ontstaat en de snelheid minder wordt.

Er is dan eene axiale bank ontstaan. Is zijdelings van die axiale bank de diepte vervolgens grooter dan boven de bank, dan buigt zich de stroom naar de grootste diepte toe om, of deelt zich vóór de bank in twee takken; hetzelfde verschijnsel herhaalt zich in de nieuwe richtingen.

Schuurt de rivier de bedding uit, dan werpt zij zijdelings zand op, en er ontstaan laterale banken; de laatste kunnen echter ook gelijktijdig met axiale banken ontstaan.

Axiale banken staan met hare vallijnen in de richting van de rivier, met hare strijklijnen rechthoekig op den stroom; bij laterale banken is het omgekeerd.

Het verzanden van eene rivier is de vorming van axiale banken of platen, wanneer het verhang gering is.

Verzanding in eene rivier kan plaats hebben:

1. Door kronkelingen in de rivier. De stroom wordt dan, afwisselende, versneld en vertraagd en daardoor het zand van de bedding verplaatst.
2. Door deeling van de rivier. De snelheid vermindert op de plaats van deeling en wordt somtijds te gering om het zand verder te vervoeren.
3. Door vereeniging van twee rivieren. De zijdelings aangevoerde watermassa verplaatst zand en stoort de bedding te meer, wanneer de aanvoer veranderlijk is.

In eene rivier zonder veel kleine kronkelingen, die haar eigen bedding en slechts één mond heeft, neemt de snelheid geleidelijk af, de bedding wordt zooveel mogelijk evenwijdig aan den waterspiegel en de rivier verkeert in de gunstigste omstandigheden.

Onze proeven over het zand werpen ook eenig licht op den oeverval.

Het ligt in de reden, dat een val alleen kan plaats hebben, wanneer een deel van den oever niet meer ondersteund is.

Stellen wij het geval, dat de oever alleen uit zand bestaat en tot aan den bovenrand onder water ligt, dan zal de valhoek van het zand in stilstaand water voor het hoogst 40° kunnen zijn. Heeft echter de stroom of de golfslag tegen de helling gewerkt of geschiedt dit bij voortduring, dan kan de valhoek van den oever ook kleiner zijn. Staat de oever onder een hoek van 40° en er wordt op een punt in de diepte zand weggespoeld, dan rolt het zand van den oever onder een hoek van 40° naar dit punt toe, waar het geen steun vindt.

Er heeft dan eene afschuiving plaats in den vorm van een segment van een kegel van 40° helling.

Uit den straal van kromming, die de basis van het segment vertoont, vindt men dan zelfs de diepte, waar de wegspoeling heeft plaats gehad. Wordt het zand in de diepte over

eene grootere uitgestrektheid weggespoeld, dan zal de afschuiving eene schelpvormige gedaante hebben.

Vooronderstellen wij ten tweede, dat de oever boven den waterspiegel uitsteekt, dan zal de boven den waterspiegel uitstekende zandlaag, door de capillariteit van het zand, water tot eene hoogte optrekken omgekeerd evenredig aan de fijnheid van de korrel van het zand.

Zulk eene zandlaag verhoudt zich als een vast lichaam. Zij kan eene glooiing hebben onder elken hoek, ook van 90° , ja kan zelfs overhangen en ondermijnd zijn en toch blijven staan, tengevolge van de cohaesie, die zij door de capillariteit verkrijgt. De samenhang wordt zeer veel grooter, wanneer het zand met klei of kalk vermengd is. Zoo lang de samenhang het evenwicht houdt aan het gewicht van het niet gesteunde kegelsegment, blijft de oever staan. Wordt de zandmassa hoe langer hoe meer ondermijnd, dan neemt het gewicht toe met het volum, de cohaesie blijft echter constant. Er moet derhalve een moment komen, waarop de massa valt, en er zal altijd slechts een deel van de niet ondersteunde massa vallen. De vorm van den val zal meestal een kegelsegment zijn, zooals ook de ondervinding leert, want die vorm is de grondslag bij een val en staat met den valhoek van het zand in verband. De val verbreedt zich naar binnen, wanneer aan den waterkant de samenhang van de klei door capillaire werking grooter is.

Door den schok van het vallend materiaal, als het weêr steun vindt, kan binnen den hoofdval een kleinere secundaire val plaats hebben.

Het beloop van de bedding voor en na den val staat met hem in geen direct verband. Stellen wij eens dat aan den top van het kegelstuk de rivierbedding waterpas is, dan kan die bedding door den stroom in hoogte afnemen. Daardoor wordt de niet gesteunde kegel grooter en moet eindelijk vallen, terwijl na den val het beloop zelfs 40° kan zijn.

In de bedding beneden den kegeltop kan vóór den val zelfs verondieping plaats hebben.

Bestaat eenmaal een kegelstuk, dat niet meer ondersteund is, maar door de cohaesie van de grondsoort zich staande houdt, dan kan eene regenbui de cohaesie voor een deel opheffen en de aanleiding zijn van den val.

Eindelijk zal eene afschuiving diep onder water somtijds nog meer samengesteld zijn; steunt de oever op eene zandlaag en deze weer op eene zandbank, dan zal, wanneer de zandbank door den stroom vervoerd wordt, ook de zandlaag wegzakken, waarop de oever steunt

Op den kant, waar de stroomsnelheid het grootste is, kunnen aanvoer van zand en uitschuring somtijds gauw op elkander volgen en men kan niet altijd voorzien, wat op een gegeven tijdstip zal plaats hebben.

Naar het schijnt is echter de aanleiding tot een val niet in geheimzinnige oorzaken te zoeken. Het beste middel om vallen te voorkomen zal zijn den oever met grint, waarvan de korrel zoo groot is, dat zij niet door den stroom vervoerd kan worden, of met steenen, wanneer de stroom zeer hevig is, te bestorten. Die bestorting onderhoudt zich zelve; wanneer aan haren voet verzakking plaats heeft, wordt die van boven van zelf aangevuld.

Wij zullen thans nog over het vervoeren van keien, door stroomend water, spreken.

Het is niet van belang ontbloeit eene verhouding te kennen tusschen de grootte van keien en de snelheid van stroomend water, waarmede de keien verplaatst kunnen worden. Niet alleen kan het twijfelachtig zijn of keien, in rivierbeddingen voorkomende, door het water alleen, of bij ijsgang op schollen ter plaatse gebracht zijn; maar ook omtrent de keien der grintlagen van het diluvium verkeert men dikwijls in onzekerheid, of die voor aangespoeld of voor erratisch te houden zijn. Wanneer men daaromtrent een regel kent, zal men met meer juistheid in dit opzicht kunnen oordeelen. Even zoo zal die kennis bij

grintbestortingen van oevers van gewicht zijn. Numerieke opgaven schijnen over dit onderwerp niet bekend te zijn.

Er werden proefreeksen in het werk gesteld, om te onderzoeken:

1. Bij welke snelheid blijven keien in stroomend water drijvende, en
2. Bij welke snelheid worden keien door stroomend water over een horizontaal vlak vervoerd. Voor de eerste proefreeks werden glazen kogels (knikkers) van het spec. gew. 2.38 gebruikt.

Plaatst men een knikker in eene verticaal staande glazen buis en voert men van beneden een waterstroom daardoor, dan kan men de snelheid bepalen waarbij de knikker drijvende blijft.

De uitkomsten waren de volgende, waarbij elke snelheid het gemiddelde eener reeks van waarnemingen beteekent.

Doorsnede der buis.	Gewicht van den kei.	Diameter van den kei: d.	Hoeveelheid doorgevoerd water.	Tijd van doorstroo- ming.	Snelheid per sec. v.	$\frac{v}{d}$
8.54 cm ² .	37.09 gram.	3.1 cm.	25 liter.	390 sec.	64.1 cm.	20.7
» »	25.65 »	2.75 »	» »	166 »	57.6 »	20.9
» »	6.96 »	1.76 »	» »	116 »	35.2 »	20.0

Men ziet uit deze proeven, dat binnen de grenzen van de gegeven afmetingen de snelheid van het water zeer nabij evenredig aan den diameter der keien is en nagenoeg twintigmaal dien diameter bedraagt. Bij die snelheid blijft de kei, zich gedurig om zijn middelpunt wentelende, in den waterstroom zweven.

Ter beantwoording van de tweede vraag werden fijne zandsteen van het spec. gew. 2.4 gebruikt. Die zandsteen werden zóó geslepen, dat zij 26 effene vlakken vertoonden en den vorm van reguliere kristallen (100, 110, 111) hadden.

In eene lange horizontaal liggende glazen buis wordt eene laag gips gegoten, zoodat de buis ongeveer op een vierde van haren diameter van eene platte gipslaag is voorzien. Op het hard geworden gips wordt door middel van vernis eene laag zand bevestigd. Verbindt men de buis met eene waterleiding nadat de kei vóór op het zandvlak geplaatst is, en zorgt men, dat de buis altijd met water gevuld blijft, dan vindt men weder de snelheid uit den tijd van doorstrooming en uit de hoeveelheid uitgevloeid water. Door een in de buis geplaatst draadkruis wordt verhinderd, dat de kei voor de opening van uitstrooming komt te liggen en die gedeeltelijk sluit.

De kei wordt onder gedurige omwentelingen door het water voortbewogen, terwijl hij op een gipsvlak, dat niet door de zandlaag ruw gemaakt is, zal schuiven, wat niet aan het doel zou beantwoorden.

Die rollende beweging van den kei is blijkbaar het gevolg daarvan, dat de resultante van de bewegende krachten boven het zwaartepunt van den kei aangrijpt.

In de volgende uitkomsten is de diameter uit het vol., dit bolvormig genomen, berekend. Dit sluit wel eene fout in, maar er is geen andere keuze, omdat de diameter van een hoekig lichaam in verschillende richtingen verschillend is en ronde keien bij deze proef niet mogen gebruikt worden.

Doorsnede der buis.	Gewicht van den kei.	Diameter van den kei: d.	Hoeveelheid doorgevloed water.	Tijd van doorstroo- ming.	Snelheid per sec. v.	$\frac{v}{d}$
11.18 cm ² .	21.08 gram.	2.56 cm.	25 liter.	93 sec.	44.5 cm.	17.3
8.34 »	11.89 »	2.11 »	» »	132 »	39.0 »	18.4
2.14 »	1.997 »	1.16 »	5 »	217 »	21.1 »	18.2

Uit de proeven blijkt, dat de snelheid evenredig aan den diameter van den kei is en nagenoeg 18 maal dien diameter bedraagt.

In de eerste proefreeks vonden wij $\frac{v}{d} = 20$. In dit geval moet het gewicht van den kei door den waterstroom gedragen worden, in de tweede reeks moet de wrijving tegen de onderlaag overwonnen worden. Is de wrijving; zooals wij voor zand gevonden hebben, gelijk aan het gewicht, dan zou het quotient $\frac{v}{d}$ in beide proefreeksen gelijk moeten zijn, terwijl het nu als 10 tot 9 staat. Dit is evenwel, de verschillende conditien van beide methoden in aanmerking genomen, nog eene bevredigende overeenstemming. Men kan zich dus met voldoende zekerheid aan den regel houden, dat een kei over eene vaste en ruwe onderlaag door water voortgerold wordt, wanneer de stroomsnelheid 18 maal den gemiddelden diameter van den kei bedraagt.

Voor zand geldt echter, zoo als wij boven gezien hebben, een andere regel en misschien ook voor zeer groote keien, waarmede echter geene proeven genomen zijn.

Liggen de keien niet op eene vaste onderlaag, maar in of op beweeglijke zandbeddingen, dan verhouden zij zich weder anders.

Velen verkeeren in de meening, dat zand het verplaatsen van keien kan bevorderen en dat eene vooruitgaande zandbank als het ware de keien medesleept. Het tegendeel is echter het geval: Zij vertraagt het vervoer der keien aanmerkelijk.

Brengen wij in onzen toestel op eene zandbank een kei en laten wij de snelheid van den stroom zoo groot worden, dat de kei zou kunnen voortrollen, als hij op eene vaste onderlaag lag, dan zakt hij dadelijk voor een deel in de zandlaag; het zand wordt onder en naast den kei weggevoerd en werpt een kleinen heuvel op, die hem verhindert voort te rollen.

Naarmate de hoogte van de zandbank afneemt, daalt ook de kei; hij blijft echter boven de oppervlakte der bank uitsteken.

Gaat nu de bank vooruit, dan komt de kei vervolgens op de afnemende helling der bank te liggen; hij rolt echter niet van de helling af, omdat hij door het opstuwende zand steeds gedeeltelijk bedolven blijft. Eindelijk bereikt hij den bodem, hij is dan loodrecht naar beneden gezakt en de bank is voorbijgegaan zonder hem mede te nemen. Waren er vele keien in de bank, dan verzamelen die zich bij elkander.

Geven wij nu eene overmaat van snelheid aan het water, en die moet vrij aanzienlijk wezen, dan komen de keien in beweging, worden tegen de afnemende helling der bank opgestuwd, rollen over de bank heen en worden op de toenemende helling in het zand bedolven of rollen er ook af naar gelang der snelheid. Zij verplaatsen zich dus op dezelfde wijze als de zandbank.

De beschreven wijze: hoe keien zich gedragen, is de oorzaak, dat men in zandbanken de keien meestal ongelijkmatig verdeeld vindt en dat zij lagen vormen, vóór, op, achter of ook in de bank; zij kunnen evenwel, vooral in het toenemend gedeelte der bank, ook verdeeld zijn.

Het verhang van de bedding heeft bij groote rivieren alleen voor zoover invloed op het verplaatsen van keien, als het op de snelheid van den stroom werkt.

VI.

OVER DE NATUURLIJKE WATERTOESTANDEN IN DE LINGELANDEN.

Wij moeten thans nagaan, wat wij uit ons onderzoek en uit de geplaatste standpijpen ten opzichte van de waterstanden der rivieren kunnen opmaken.

Omtrent de vraag, of de rivierbeddingen zich verhoogden, zien wij uit onze profielen, dat de Rijn-Lek geheel in het alluvium vloeit. Het alluvium is eene vorming, die door aanslibbing langzamerhand opgehoogd is. Voor de Waal geldt hetzelfde van Dodewaard af benedenwaarts.

Bij Nijmegen bereikt de bodem van de Waal nog het diluvium, en daar heeft misschien eenige uitschuring plaats gehad. In het algemeen geldt de regel, dat rivieren gedurende zeer groote tijdruimte, in haren bovenloop de bedding uitdiepen, in haren benedenloop ophoogen.

Dit ligt ook in de reden. De keien, die met de snelheid van de bovenrivieren nog verplaatst worden, moeten door de afnemende snelheid in den benedenloop eindelijk eene plaats bereiken, waar zij niet verder kunnen vervoerd worden en daar de bedding ophoogen. De ophooging zou in veel sterker mate moeten plaats hebben dan de ondervinding leert, als niet twee oorzaken de verhooging vertraagden.

Wanneer wij zien, dat de gemiddelde snelheid bijv. in den Boven-Rijn gevonden en berekend = 1.2 m. per sec. is, dan zou uit onze proeven volgen, dat bij die snelheid keien van 5 cm. middellijn nog met gemak konden vervoerd worden. De ondervinding leert echter, dat in het algemeen zelfs keien ter grootte van noten blijven liggen. De keien liggen echter in eene rivierbedding zoodanig naast elkander, dat zij slechts zelden hunne geheele doorsnede aan de voortstuwende kracht blootstellen; zij liggen zelfs eenigszins beklemd en bieden derhalve veel meer tegenstand dan wanneer zij geheel vrij waren.

Er is nog eene andere reden. Stellen wij eens, dat een kei op eene plaats is aangekomen, van waar hij bij de gegeven snelheid niet verder vervoerd kan worden, dan wordt naast en onder den kei, zooals onze proeven toonen, het zand weggespoeld en de kei zakt loodrecht naar beneden, tot dat hij op andere keien stuit. De keien komen in de rivieren tot eene zekere grens. Zij worden meer en meer van zand ontbloot en de bedding verandert in eene keien-laag; hoe hooger in de rivier des te grover van stuk.

Plaatselijke en tijdelijke afwijkingen van dezen regel komen natuurlijk voor. Men vindt somtijds in eene rivier beneden keien en verderop weër zand. Voor een deel is dit een gevolg van ongelijke aanvoer bij verschillende waterstanden; voor een deel ook van de

verschillende snelheden en ongelijke stroomingen, die zelfs bij eene effen bedding in de rivieren plaats hebben.

De twee bovengenoemde oorzaken kunnen dus de verhooging der bedding vertragen, maar op den duur niet verhinderen, zoodat die verhooging in het algemeen zal geschieden, hoewel het zakken der keien en de afvoer van zand langen tijd aan den nieuwen aanvoer het evenwicht kunnen houden; zelfs zullen zij den laatsten tijdelijk overtreffen, wanneer de snelheid van het water toe- en de aanvoer van grond afneemt.

De hoogte van den waterspiegel in de rivieren is vooral van groot belang wegens den invloed, dien zij op de kwel uitoefent.

Wij moeten in de eerste plaats den bijzonderen toestand constateeren, waarin de Linge verkeert.

De Linge komt geheel en al uit de kwel voort. Dit blijkt uit drie feiten, welke wij afzonderlijk zullen behandelen:

1. De samenstelling van het water.
2. De doordringbaarheid der grondsoorten.
3. De waterstanden in de standpijpen.

Op 19 Januari 1882 heb ik water geschept uit de Lek, Linge en Waal bij Culemborg, Geldermalsen en Zalt-Bommel. Er had vooraf eene langdurige droogte geheerscht en de waterstand was buitengewoon laag.

Het water was dus in dien tijd niet met eenig regenwater vermengd.

Het onderzoek heeft het volgende resultaat opgeleverd.

In 1 liter water is gevonden:

	LEK.	WAAL.	LINGE.
Koolzure kalk	0.092	0.087	0.193
Koolzure magnesia	0.038	0.037	0.042
Zwavelzure kalk	0.042	0.045	0.022
Aluinaarde en ijzeroxyde	0.005	0.005	0.005
Natrium	0.006	0.006	0.006
Kalium	0.0003	0.000	0.000
Chloor	0.010	0.010	0.009
Kiezelzuur	0.007	0.007	0.011
Organische stof	0.010	0.009	0.024
Totaal	0.2103	0.206	0.312

Vergelijkt men de samenstelling van het water uit Lek en Waal, dan blijkt, dat de overeenstemming zoodanig is, dat men die als identisch kan beschouwen. Dit is, daar het twee armen zijn van dezelfde rivier, licht te begrijpen. Het Lingewater stemt in sommige

bestanddeelen overeen, in andere wijkt het af van de groote rivieren. Die afwijkingen zijn echter gemakkelijk te verklaren.

De hoeveelheid organische stof is in de Linge groter. Het spreekt van zelve, dat wanneer het water uit de groote rivieren door aardlagen kwelt, die overal meer of minder organische stof bevatten, het daarvan eenige deelen moet opnemen. Verder is de hoeveelheid kalk en magnesia-carbonaat vermeerderd. In een bodem, waarin organische stof voorkomt, heeft altijd vorming van koolzuur plaats; het water absorbeert dit koolzuur en in koolzuurhoudend water zijn de koolzure kalk en magnesia gemakkelijk oplosbaar. Het is dus niet anders mogelijk of het water moet bij de doorkwelling kalk en magnesia oplossen, die in den bodem in ruime mate aanwezig zijn.

Het gehalte aan zwavelzure kalk is tot de helft verminderd. Dit geeft aanleiding tot eene bijzonderheid. Zooals bekend is, wordt calcium-sulphaat door organische stof in calcium-carbonaat en zwavelwaterstof veranderd. Zwavelwaterstofhoudend water wordt echter spoedig ontleed onder afscheiding van zwavel. Zoo dit proces plaats greep, moest in het Lingewater eene kleine hoeveelheid zwavel zwevende zijn. Dit heeft zich volkomen bevestigd. Laat men eene grootere hoeveelheid Lingewater in eene flesch staan, verzamelt men het bezinksel, droogt en extraheert men dit met versch gedistilleerde zwavelkoolstof, dan blijft, na uitdamping, een kristallijnen overschot van zwavel. De zwavel werd in rookend zwavelzuur opgelost en in barium-sulphaat veranderd.

Het verblijf van het calcium-sulphaat is zodoende opgehelderd.

Nog is het gehalte van kiezelzuur een weinig vermeerderd. De overige bestanddeelen zijn in de drie rivieren gelijk.

Uit het medegedeelde blijkt met zekerheid, dat de Linge haar water, bij lage waterstanden, uitsluitend uit de groote rivieren ontvangt en dat de geheele rivier niets anders is dan een afwateringskanaal voor het kwelwater van Lek en Waal.

De regen heeft op de Linge invloed, voor zoover daardoor de waterstand in de groote rivieren verhoogd en dientengevolge de kwel vermeerderd wordt, of wanneer uit de polders regenwater direct in de Linge geloosd wordt.

Zooals uit de analyses blijkt, lost een liter kwelwater 0.1 gr. vaste stoffen uit den bodem op.

Stellen wij eens, dat per maand 40 millioen M³. water door de Linge wordt afgevoerd, dan onttrekt die hoeveelheid aan den bodem 4 millioen KG., dat is ongeveer 160 M³. vaste stoffen per maand of 192 000 M³. per eeuw, wanneer wij het spec. gewicht der vaste stoffen gelijk 2.5 stellen.

Nemen wij aan, dat 70 574 hectaren land op de Linge uitwateren, dan bedraagt het verlies per H.A. en per eeuw 2.7 M³. Zoo berekend is het bedrag toch uiterst onbeduidend. Zelfs over vele eeuwen zou eene verlaging van het land door onderaardsche uitwassching geheel en al onmeetbaar zijn.

2. De doordringbaarheid der grondsoorten.

De grondsoorten, die voor de doordringbaarheid in aanmerking komen, zijn klei, veen, zand en grint. Van deze zijn alleen klei en mengsels van veel klei met zand voor water zoo ondoordringbaar, dat zij de kwel kunnen stuiten. De andere grondsoorten zijn meer of minder gemakkelijk doordringbaar.

De oppervlakte van de Lingelanden is voor het grootste gedeelte met eene vette kleilaag bedekt; voor een ander deel wijzen de boringen doordringbare mengsels van zand met veen en geringe hoeveelheden van klei aan.

De groote rivieren vloeien in eene zand- of grintbedding. Onder den bodem dier rivieren vinden wij geen ondoordringbare laag van klei of leem; tot op groote diepte onder den rivierbodem en onder de oppervlakte van het land, is de grond sterk doorlatend.

De Lingebedding bestaat op de lijn Nijmegen-Arnhem uit klei en op het profiel Opheusden-Dodewaard is de klei onder de Linge met veel veen vermengd; verder beneden wordt de bedding meer en meer zandachtiger en doordringbaarder.

De rivierbeddingen en de ondergronden werken derhalve bepaald als eene zeef. Het water dringt door den bodem van de groote rivieren en door de ondergronden heen, ook zelfs daar, waar eene oppervlakkige kleilaag voorhanden is, bij wijze van communiceerende buizen naar de plaats van afvoer, dat is, naar de Linge. Het geheele terrein onder de rivieren en de Lingelanden is met water gevuld. Zoodra de waterstand in de groote rivieren rijst, plant zich de druk oogenblikkelijk voort en vermeerdert de instrooming in de Linge. De doorkwelling naar de Linge heeft niet in de bovenste lagen, maar in de ondergronden plaats.

De hoeveelheid water, die de kwel oplevert, zou men op twee wijzen kunnen bepalen:

1. Men kan nagaan hoeveel water de Linge in 24 uren afvoert. Die hoeveelheid is gelijk aan de hoeveelheid, die de kwel over het geheele gebied in denzelfden tijd oplevert, incl. het polderwater.

2. Men zou kunnen berekenen, hoeveel water de grondsoorten bij gegeven waterstanden kunnen doorlaten, maar daarvoor zijn de gegevens te onbepaald.

In het » Verslag der Staatscommissie, benoemd bij Koninklijk besluit van 13 Februari 1869, n° 12, tot onderzoek der bezwaren in zake de Nieuwe Merwede », vinden wij de eerste manier toegepast. Wij zullen uit die berekening slechts een cijfer ter vergelijking kiezen. Op 11 Juni 1867 was bij Steenenhoek de natuurlijke waterloozing 1.352 400 M³. Door het stoomgemaal werd opgebracht in de maand Juni 49.146 340 M³. Daar gedurende de maand Juni 1867 de waterstanden nagenoeg gelijk waren, zullen wij aannemen, dat de opbrengst van het stoomgemaal over de 30 dagen in Juni gelijk was, dat is 1.638 211 M³. per etmaal. Totaal der waterloozing op 11 Juni 2.990 611 M³.

De waterstand bij Nijmegen was op dien dag + 9.7 M.; in de Merwede + 1.6 M. Gemiddelde waterstand van de Waal 5.65 M.

De waterstand bij Asperen was op 30 Juni 1.63 M.; bij Elst moet men den waterstand aannemen gelijk 7.6 M.

Gemiddelde waterstand van de Linge 4.615 M.

Verschil van den gemiddelden waterstand in de Waal en Linge = 1.04 M.

Dit was de gemiddelde drukhoogte, waaronder het kwelwater stond op 11 Juni 1867, wanneer wij de waterstanden in de Waal en Rijn-Lek als gelijk aannemen.

Wij kunnen in ronde cijfers zetten, dat bij 1 M. druk, 3 millioen M³. water te Steenenhoek geloosd worden.

Voor de berekening volgens de tweede manier zullen wij dezelfde waterstanden kiezen.

Wij dienen dan te kennen:

1. De hoeveelheid kwel per M³. in 24 uren bij 1 M. druk = Q.

2. De dikte der laag van gelijke doordringbaarheid = L.

3. De doorlaatoppervlakte der Lingebedding = D kunnen wij ook niet eens bij benadering kennen. Wij zullen dus liever D berekenen in de vooronderstelling, dat dezelfde hoeveelheid water als boven, d. i. 3 millioen M³ moet geloosd worden; nemen wij aan:

$$Q = 8 \text{ M}^3.$$

$$L = 2 \text{ M}.$$

terwijl de diepere lagen meer doordringbaar zijn, dan hebben wij:

$$D = \frac{2 \times 3\,000\,000}{8} = 750\,000 \text{ M}^2 \text{ d. i. de doorlatende oppervlakte der Lingebedding.}$$

De lengte der Linge = 70 000 M. genomen, verkrijgen wij voor den natten omtrek van de Linge, die de aangenomen doordringbaarheid heeft:

$$\frac{750\,000}{70\,000} = 10.7 \text{ M.}$$

Uit bovenstaand voorbeeld blijkt, dat wij gegevens noodig hebben, die door onderzoek van boormonsters nimmer voldoende kunnen bepaald worden.

De cijfers van doordringbaarheid, in de tabellen opgegeven, zijn gevonden voor de grondsoorten, die wezenlijk van elkander verschillen; voor de gelijksoortige grondsoorten is altijd hetzelfde cijfer opgegeven.

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de doordringbaarheid der voornaamste grondsoorten in de boringen gevonden.

Procentgehalte der grondsoorten van gelijken diameter van korrel, door ziften bepaald.

Diameter van korrel der grondsoorten.	Hoeveelheid doorgedrongen water per M ³ . van zuiver zand bij 1 M. druk in 24 uren.	ALLUVIUM.				DILUVIUM.			
		Zand met klei.	Zand met klei.	Zand met klei.	Zand.	Bont-zand.	Wit bruin-kool-zand.	Grint.	Grint.
N° 0, grove korrels	0.5	3.5	9	11	1	13.5	34	55
» 1, 0.68 mm.	148.8 M ³ .	5	9	6	6	3	4	17	18
» 2, 0.48 »	66.8 »	16	17.5	17	15	8	14	21	14
» 3, 0.23 »	15.6 »	60.5	56	57	59	76	62	18	10
» 4, 0.16 »	7.6 »	9	11	8	8	8	6	6.5	2
» 5, fijnste stof.	0.0014	9	3	3	1	4	0.5	3.5	1
	(1 vol. zuiv. klei. 2 » water).								
Hoeveelheid doorgedrongen water per M ³ . der grondsoorten bij 1 M. druk in 24 uren.		0.06 M ³	1.8 M ³	3.9 M ³	13.6 M ³	1.7 M ³	18.6 M ³	1.9 M ³	42 M ³

Uit de tabel blijkt, dat in de zandsoorten het nummer van $\frac{1}{4}$ mm. middellijn, altijd het hoofdbestanddeel gemiddeld 60 procent uitmaakt; verder dat het kleigehalte van bijzonder grooten invloed op de doordringbaarheid is. Grondsoorten, die 20 procent of meer zuivere klei (kieselzure aluinaarde) bevatten, zijn nagenoeg ondoordringbaar voor water. Zij worden in de tabellen onder den naam van *klei* aangeduid, wanneer zij tot het alluvium

en met den naam van *leem*, wanneer zij tot het diluvium behooren. Van *veen* kan men slechts zeggen, dat de doordringbaarheid zich niet onder cijfers laat brengen. Soms is het zoo dicht oengepakt, dat het geheel ondoordringbaar wordt, elders weër is het sponsachtig en zeer doorlatend.

3. De standpijpen.

Van de talrijke waarnemingen van standpijpen door 's Rijks Waterstaat, gedurende de jaren 1879 tot 1882 gedaan, zullen wij voor ons doel twee reeksen kiezen, eene bij lage en eene bij hooge waterstanden, waarvan gelijktijdige waarnemingen in al de standpijpen zijn gedaan. Wij voegen daaraan toe twee reeksen bij de hoogste waterstanden, op de lijn Nijmegen-Arnhem en Opheusden-Dodewaard.

In de profielen Nijmegen-Arnhem, Opheusden-Dodewaard, Culemborg-Zalt-Bommel, stellen de loodrechte lijnen de standpijpen voor; de gebroken lijnen geven den waterstand in de rivieren en standpijpen aan.

De pijpen staan met hare benedeneinden in de doordringbare lagen van het diluvium. De waterstanden in de pijpen wijzen aan den druk, waaronder het water op de plaats staat, waar zich het benedeneinde van iedere pijp bevindt. De waargenomen waterstanden geven aanleiding tot de volgende opmerkingen:

1. De waterstanden zijn niet gelijk en in het algemeen afnemende naar de Linge. Hieruit blijkt volgens onze proeven, dat het grondwater niet in rust is, maar dat doorstroming van de groote rivieren naar de Linge plaats heeft.

2. Uit den waterstand in eene standpijp boven de terreinshoogte kan men niet tot de hoeveelheid van kwel op die plaats besluiten; want die hoeveelheid hangt niet alleen van de drukhoogte, maar ook van de doordringbaarheid der aardlagen af. De plaatsen, waar klei ligt, zijn geheel vrij van kwel. Onder de rivierbeddingen liggen echter doordringbare lagen, die in de diepte met elkander samenhangen. Door deze lagen heeft de doorstroming plaats.

3. Wanneer de waterstanden in de groote rivieren gedurende zekeren tijd constant zijn en er doorstroming naar de Linge plaats heeft, dan neemt de druk, naar de Linge af. Derhalve moeten ook de waterstanden in de pijpen nader bij de Linge lager zijn dan verder van de Linge af. Verbindt men de waterstanden door eene lijn, dan behoeft die lijn niet recht te zijn. Zoo als wij zien is de lijn gebroken. Gaat de stroom van eene *minder* doordringbare naar eene *meer* doordringbare laag, die naast de eerste ligt, dan kan de waterstand in de laatste veel lager zijn, zoodat de lijn op de grens der beide lagen een knie vormt, wanneer de lagen scherp aan elkander grenzen, of naar beneden gebogen is, wanneer de lagen achtereenvolgens in elkander overgaan. Gaat de stroom daarentegen van eene meer doordringbare naar eene minder doordringbare laag, dan verschilt de druk in de eerste laag minder dan wanneer de stroom in eene gelijksoortige laag voortgaat. Derhalve zal, wanneer zich twee standpijpen in deze laag bevinden, het water in de pijpen weinig in de stroomrichting afnemen. Het is echter niet mogelijk, zoo lang de waterstand in de groote rivieren niet afneemt, dat de druk nader bij de Linge grooter kan zijn dan op een verderen afstand.

Men zou daaruit moeten besluiten, dat de waterstanden in de standpijpen, die nader bij de Linge staan, nooit hooger konden zijn dan in de pijpen, die verder van de Linge verwijderd zijn.

Wij zien nu dat dit wel het geval is.

De oorzaak van dit verschijnsel is tweeërlei:

In de eerste plaats is het mogelijk, dat op het oogenblik van waarneming in eene pijp de hoogste waterstand nog niet is bereikt. Staat die pijp in eene minder doordringbare laag dan de volgende, dan zal zij bij deze in den tijd achterblijven; zij zal echter later noodzakelijk den normalen waterstand bereiken, die aan den hoogen druk beantwoordt.

Ten tweede zal dit verschijnsel zich kunnen voordoen, wanneer de waterstand in de groote rivieren dalende is, zooals zulks plaats had op de lijn Nijmegen-Arnhem op 1 April 1882. (Zie de waterstanden in de pijpen J, K, L).

Nemen wij eens aan, dat in al de standpijpen de constante waterstand bereikt is en dat vervolgens de waterstanden in de rivieren dalen, dan zullen weër de pijpen, die in de minst doordringbare laag staan, het langst achterblijven.

Ligt de minder doordringbare laag zijdelings tusschen twee meer doordringbare lagen, dan kan, wanneer de waterstanden in de laatste sneller dalen, zelfs afvoer naar beide meer doordringbare lagen, in tegenovergestelde richting, uit de minder doordringbare laag plaats hebben.

De afvoer kan zeer langzaam geschieden. Hij hangt af van den graad van doordringbaarheid en van de dikte der laag, d. i. van den weg, dien het water in de laag moet afleggen.

De waterstand in de pijp zal dan gedurende langeren tijd abnormaal hoog kunnen staan, zoolang als het water in de minder doordringbare laag abnormaal hoog staat. Het komt zelfs voor, hoewel zelden, dat kwelwater tijdelijk in de groote rivieren doordringt, wanneer deze snel dalen, zoodat de stroomrichting dus omgekeerd is.

Bij constante waterstanden in de rivieren kunnen abnormale standen in de pijpen op den duur niet bestaan. Worden zij opgemerkt, dan wijzen zij rijzing of daling in de rivieren aan; constante afwijkingen van de normale standen kunnen slechts onbeduidend zijn, zooals bijv. tengevolge van luchtgehalte in de lagen.

De middelen tegen het waterbezwaar in de Lingelanden zullen wij zoover dit onderwerp op natuurkundig terrein ligt, trachten na te gaan.

Er zijn vier soorten van kwel te onderscheiden.

1. De kwel door de ondergronden van de hoofdrievieren naar de Linge, dien wij *rivierkwel* zullen noemen.
2. De kwel door de waterdrukking van beneden naar boven in het land of de *landkwel*.
3. De kwel, die door de bovenste doorlatende lagen van het terrein zijdelings uit de rivieren plaats heeft, of *oppervlaktekwel*.
4. De kwel door ondichte dijken of *dijkkwel*.

De doorstroming uit de groote rivieren naar de Linge is in het algemeen geen bezwaar. Daar de doordringbaarheid der ondergronden een feit is, werkt de Linge in dat opzicht gunstig. Stellen wij eens het geval, dat de Linge niet bestond, dan zou de drukking van de geheele waterkolom der rivieren, die boven de oppervlakte van het land is gelegen, van onderen tegen het terrein werken.

Terwijl de Linge als een afwateringskanaal werkt, vermindert zij dien druk en ontlast het terrein voor een groot deel van den kwel.

Zoover als de waterspiegel van de Linge beneden de oppervlakte van het terrein ligt, kan het laatste naar de Linge afwateren. Dit is het geval in de Over-Betuwe en ook zelfs bij zeer hooge waterstanden in de Beneden-Betuwe.

In de Tielerwaard daarentegen nog slechts gedeeltelijk.

In de Tielerwaard ligt het terrein voor een deel onder het laagste peil van de Linge, dat is onder + 1.5 m.; en bijgevolg bestaat daar eene voortdurende oorzaak van kwel, die men ook bij de tegenwoordige gesteldheid der rivieren niet geheel kan wegnemen. Men kan tegen die oorzaak van kwel niet meer doen dan door krachtige waterloozing het Lingepuil zoo laag mogelijk te houden.

De tweede soort van kwel is een gevolg van de eerste. Zooals de standpijpen op de lijn Nijmegen-Arnhem aanwijzen, bereikt daar de waterstand in de ongunstigste gevallen nooit de terreinshoogte en bijgevolg kan in de Over-Betuwe in het algemeen geen waterbezwaar door landkwel voorkomen. In de Beneden-Betuwe zien wij echter op de lijn Opheusden-Dodewaard, dat de waterstand in de standpijpen bij hooge rivierstanden, dus tijdelijk ver boven de oppervlakte van het terrein ligt. Evenzoo is dit het geval in de Tielerwaard. Was het geheele terrein met eene waterdichte kleilaag bedekt, dan zoude het kwelwater niet tot de oppervlakte kunnen doordringen, wanneer ook zelfs de waterspiegel van de Linge boven de terreinshoogte ligt.

Nu wijzen onze boringen aan, dat de waterkeerende kleilaag voor een groot deel een samenhangend geheel vormt.

Wanneer dus waterbezwaar in de kleistreken, ten gevolge van landkwel bestaat, moet zich dat tot enkele plaatsen bepalen, waar scheuren in de kleilaag voorkomen of waar zij plaatselijk ontbreekt.

Waar doorlatende plaatsen van geringen omvang bestaan, zou men die door bedekken met klei kunnen dempen. Beslaan die plaatsen echter eene groote oppervlakte, zooals in de omstreken van Culemborg en Beusichem, dan zijn zij natuurlijk niet te stoppen en bij hooge waterstanden, als er waterdruk van beneden is, zal kwel over groote vlakten bestaan.

Een ander middel dan stoppen met klei over de geheele doorlatende oppervlakte is bij de gegeven toestanden der rivieren tegen deze soort van kwel niet toepasselijk, want eene vermeerderde afwatering door de Linge, zou o. a. reeds op de lijn Opheusden-Dodewaard niet baten, daar, niettegenstaande de Lingespiegel lager dan het terrein ligt, de waterstand in de standpijpen boven het terrein kan liggen en door een verlaagden waterspiegel van de Linge bij hooge waterstanden der hoofdrievieren ook niet onder het terrein zou dalen.

De derde soort van kwel, dat is die door de bovenste lagen, schijnt het meest voor te komen. Wij treffen die reeds bij Doornenburg aan en zien daar de Linge uit meerdere kleine watersprankjes voortkomen, die bij hooge waterstanden het land doen overstromen.

Het schijnt dat de water-aderen, waaruit de Linge voorkomt, bij hooge waterstanden het kwelwater niet kunnen bevatten en dus overloopen. Wanneer men daar voor het kwelwater eene ruimer bedding ging maken, zou waarschijnlijk eene voldoende afwatering mogelijk zijn. Kwel door druk van beneden bestaat in die streek niet; het water wordt aan de oppervlakte en op geringe diepte aangevoerd en kan niet zoo gauw wegzakken, als het aangevoerd wordt.

Het reeds met goed gevolg aangewend middel, om nl. aan den teen der dijken waterdichte kleidammen, zoogenaamde kwelkaden, tot één à twee meters diepte aan te leggen, is tegen oppervlakte-kwel mede zeer bruikbaar, te meer, wanneer de kwel zich tot enkele kwelbanen beperkt. Daarom legt men de plaats van instrooming dieper en daar de drukhoogte de oppervlakte niet bereikt, kan geen kwel meer plaats hebben.

Dit middel is toepasselijk, waar de standpijpen geen hooger waterstand wijzen dan de terreinshoogte, dus in de Over-Betuwe. Wanneer daar de kwelkaden niet altijd voldoende werken, dan kan dit toch geen andere oorzaak hebben, dan dat zij of niet diep genoeg in den grond gaan, of zelve niet waterdicht zijn.

In de Beneden-Betuwe en de Tielerwaard bestaat bij hooge rivierstanden reeds druk van beneden, en men zou door een kleidam de doorkwelling niet stuiten, hoewel die bij lagere rivierstanden tegen de oppervlakte-kwel nog van dienst kan zijn. Alleen in een bijzonder geval zou een kleidam nog helpen ook op het terrein, waar de waterstanden in de standpijpen boven de terreinshoogte staan.

Heeft in die streken oppervlakte-kwel plaats, doch bestaat er eene kleilaag, die de landkwel stuit, onder de doorlatende, zandige laag, dan zou men de oppervlakte-kwel kunnen afsnijden, wanneer men een kleidam aanlegde, die tot aan de onderliggende, waterkeerende kleilaag doorliep.

Volgens de profielen van de boringen bestaat die waterdichte kleilaag in de Betuwe en de Tielerwaard op enkele plaatsen, waar oppervlakte-kwel plaats heeft.

Men zal moeten onderzoeken of men in geringe diepte de kleilaag kan bereiken om op die kleilaag de kwelkade aan te leggen.

Heeft eindelijk kwel plaats door scheuren in den dijk zelven, dan wijst dit op eene verzakking. Verzakking kan plaats hebben door uitpersen van veen, wanneer het onder den dijk aanwezig is of ook door uitschuring van den oever in de rivier, dat is het begin van een val.

Het water, dat door een reet stroomt, voert dan zand mede en verruimt de scheur. De graad van zandvoerend vermogen hangt natuurlijk van de snelheid van den stroom af. Brengt men dan steenen in of tegen de scheur, zoo zwaar, dat zij in den stroom blijven liggen en daarop grintzand en klei, zoodat de stroom gestuit wordt, dan sluit zich de scheur binnen den dijk van zelve, omdat de losse specie van den dijk in de met water gevulde scheur moet zakken.

De oorzaak der verzakking moet door storten van steen aan den oever gekeerd worden.

Waar de aangeduide middelen tegen het kwelbezwaar niet toepasselijk zijn, dus waarschijnlijk over een deel van het terrein van den benedenloop der Linge, komt alles op één punt neêr, dat men den waterstand in de groote rivieren zoover trachte te verlagen, dat men den overlast van het water met stoomgemalen kan overwinnen.

Daartoe kunnen twee wegen leiden: verlaging der bedding en vermindering der waterhoeveelheid in de rivieren. Verlaging van de rivierbedding door uitbaggering is niet uitvoerbaar. Maar wanneer de aangenomen overvoering der Maas door de Oude Maas naar den Amer is uitgevoerd, dan zal dit, behalve aan het land van Maas en Waal, waar soortgelijke toestanden, als in de Lingelanden bestaan, ook aan de laatsten ten goede komen. Men krijgt beneden niet alleen eenige water-ontlasting in de Waal, maar ook de bedding zal meer en meer evenwijdig aan den waterspiegel worden, omdat de storingen der bedding door den veranderlijken aanvoer van Maaswater en Maasbezinksel zal ophouden. Zelfs overlaten moeten de bedding onregelmatig maken, omdat zij de snelheid in de rivier plotseling veranderen.

Samenvatting der voornaamste resultaten.

1. In het tweede deel is aangetoond, hoe water zich in den bodem verspreidt, afhankelijk van de drukking, de dichtheid van den bodem, den weêrstand door wrijving en luchtgehalte, de opening voor in- en uitstrooming.

2. De weêrstand van zand tegen verschuiving is zeer verschillend naarmate alleen het gewicht of ook de capillaire werking en de plaats voor de uitwijking in aanmerking komen.

3. Het verband tusschen het vervoer van zand en keien en de snelheid van stroomend water wordt door empirische formules uitgedrukt.
4. De beschreven eigenschappen van zand verspreiden licht over de vorming van zandbanken, terrassen en over de oorzaak van den oeverval.
5. De werking van de kwel in de Lingelanden is nader verklaard.
6. De waterstanden in de standpijpen zijn toegelicht.

GRONDBORINGEN.

N^o. 1.

West Pannorden aan den Bandijk.

Ligging betrek- kelijk A.P.	Diepte in M.	IN 10 DEELEN DER GRONDSOORT ZIJN BEVAT:					Doordring- baarheid voor water per M ³ in 24 uren bij 1 M. druk.	Kleur en naam.	Geologisch tijdperk.	
		MINERALK BESTANDDEELEN.				Dierlijke bestand- deelen.				Plant- aardige bestand- deelen.
		Kwartszand (onzuiver.)	Grint.	Klei (onzuiver.)	Kalkcar- bonaat.					
11.9 M.	1	2 ¹ / ₄	6	1 ¹ / ₂	¹ / ₄		iets		geelbruine aarde	
	2	6 ¹ / ₂	0	3	¹ / ₂		»	0	geelbruine klei	Alluvium 5 M.
	3	7	0	»	0		»	»	»	
	4	»	0	»	0		»		»	
	5	9 ¹ / ₂	0	¹ / ₂	0		»		geelbruine aarde	
	6	7	3 tot 3 cm.	0	0		0		grintzand	
	7	»	»	0	0		0		»	
	8	»	»	0	iets	0	0	1.9—42 M ³	»	Grint- Diluvium.
	9	6 ³ / ₄	»	0	¹ / ₄		0		»	
	10	6 ¹ / ₄	»	0	³ / ₄		0		»	
	11	6 ³ / ₄	»	0	¹ / ₄		0		»	
	12	7	»	0	iets		0		»	
	13	9 ¹ / ₂	0	iets	¹ / ₂		0		grijs zand	
	14	9	0	»	1		0		»	Bontzand- Diluvium, vermengd.
	15	»	0	»	»		0	1.7 M ³	»	
	16	8 ³ / ₄	0	»	1 ¹ / ₄		0		geel zand	
÷ 5.1 M.	17	»	0	»	»		0		grijs zand	

N^o. 2.

Aan den Lohof.

Ligging betrek- kelijk A.P.	Diepte in M.	IN 10 DEELEN DER GRONDSOORT ZIJN BEVAT :					Doordring- baarheid voor water per M ³ in 24 uren bij 1 M. druk.	Kleur en naam.	Geologisch tijdperk.		
		MINERALE BESTANDEELEN.				Dierlijke bestand- deelen.				Plant- aardige bestand- deelen.	
		Kwartszand (onzuiver.)	Grint.	Klei (onzuiver.)	Kalkcar- bonaat.						
10 M.	1	8 ¹ / ₂	0	¹ / ₂	1		0	3.9 M ³	gele aarde	Alluvium 10 M.	
	2	>	0	>	>		0		geelgrijze aarde		
	3	9 ¹ / ₂	¹ / ₂ fijn	iets	iets		iets		vuil grint- zand		
	4	9 ³ / ₄	0	>	>		>		>		
	5	>	0	>	¹ / ₄		>		grijs zand		
	6	>	0	>	>		>	13.6 M ³	>		
	7	>	0	>	>		>		>		
	8	>	0	0	iets		>		>		
	9	9 ¹ / ₂	¹ / ₂ fijn	0	>		>		>		
	10	7	3 tot 4 cm.	0	>		>		vuil grint- zand		
	11	4	0	5	1		0		grijs leem		
	12	>	0	>	>		0		>		
	13	>	0	>	>		0		>		
	14	1	0	9	0		0	0	>		Diluvium.
	15	3	0	7	iets		0		>		
	16	>	0	>	0		0	>			
	17	4	0	6	0		0	>			
÷ 7.3 M.	17	9 ¹ / ₂	0	¹ / ₂	0		iets	grijze aarde			

N^o. 3.

Nabij Flieren.

Ligging betrek- kelijk A.P.	Diepte in M.	IN 10 DEELEN DER GRONDSOORT ZIJN BEVAT :				Dierlijke bestand- deelen.	Plant- aardige bestand- deelen.	Doordring- baarheid voor water per M ³ in 24 uren bij 1 M. druk.	Kleur en naam.	Geologisch tijdperk.
		MINERALE BESTANDEELEN.								
		Kwartszand (onzuiver.)	Grint.	Klei (onzuiver.)	Kalkcar- bonaat.					
9.6 M.	1	6 $\frac{1}{2}$	0	3	$\frac{1}{2}$		0	geelgrijze klei	Alluvium 4 M.	
	2	1	0	9	0		iets	grijze klei met gele vlekken		
	3	9	0	1	0		»	0.06 M ³ grijze aarde		
	4	8 $\frac{1}{2}$	0	$\frac{1}{2}$	1		»	1.8 »		
	5	6 $\frac{9}{10}$	3 tot 1 cm.	0	$\frac{1}{10}$		0	grintzand		
	6	»	»	0	»		0	»		
	7	6 $\frac{3}{4}$	»	0	$\frac{1}{4}$		0	»		
	8	3 $\frac{3}{4}$	6 tot 4 cm.	0	»	0	0	»	Grint- Diluvium.	
	9	6 $\frac{3}{4}$	3 tot 2 cm.	0	»		0	»		
	10	6 $\frac{9}{10}$	»	0	$\frac{1}{10}$		0	»		
	11	»	»	0	»		0	»		
	12	»	»	0	»		0	»		
	13	9 $\frac{1}{2}$	0	$\frac{1}{2}$	iets		0	roodgele aarde	Bontzand- Diluvium, vermengd.	
	14	»	0	»	$\frac{1}{2}$		0	1.7 M ³		
	15	7 $\frac{1}{2}$	0	1 $\frac{1}{2}$	1		0	geelgrijze aarde		
÷6.15M.	16	»	0	»	»		0	»		

N^o. 4.

Aan den Kimmerdijk.

Ligging betrek- kelijk A.P.	Diepte in M.	IN 10 DEELEN DER GRONDSOORT ZIJN BEVAT :					Doordring- baarheid voor water per M ³ in 24 uren bij 1 M. druk.	Kleur en naam.	Geologisch tijdperk.	
		MINERALE BESTANDDEELEN.				Dierlijke bestand- deelen.				Plant- aardige bestand- deelen.
		Kwartszand (onzuiver.)	Grint.	Klei (onzuiver.)	Kalkcar- bonaat.					
10.2 M. ÷4.55M.	1	8 ¹ / ₄	0	1	³ / ₄			0.06 M ³	gele klei- aarde	Alluvium 8 M. Diluvium.
	2	9 ¹ / ₄	0	¹ / ₂	¹ / ₄			1.8 »	gele aarde	
	3	9 ⁹ / ₁₀	0	iets	iets				lichtgrijs zand	
	4	»	0	»	»				»	
	5	9 ¹ / ₂	0	»	¹ / ₂				»	
	6	9 ⁹ / ₁₀	0	»	iets			13.6 M ³	»	
	7	»	0	»	»				»	
	8	»	0	»	»	0	0		»	
	9	1 ¹ / ₂	8 ¹ / ₂ tot 3 cm.	»	»				grintzand	
	10	6	4 tot 3 cm.	0	»				»	
	11	5 ¹ / ₂	»	0	¹ / ₂				»	
	12	6 ³ / ₄	3 tot 4 cm.	iets	¹ / ₄			1.9—42 M ³	»	
	13	7 ³ / ₄	2 fijn	»	»				»	
	14	»	»	»	»				»	
	15	»	»	»	»				»	