

Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding
Wageningen

LABORATORIUMONDERZOEK AAN DRAINAGEOMHULLINGSMATERIALEN:

EEN INTERIM-RAPPORTAGE

(Tweede versie zonder merknamen of bijlagen)

Ir. L.C.P.M. Stuyt



Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatiemiddelen, dus geen officiële publicaties. Hun inhoud varieert sterk en kan zowel betrekking hebben op een eenvoudige weergave van cijferreeksen, als op een concluderende discussie van onderzoeksresultaten. In de meeste gevallen zullen de conclusies echter van voorlopige aard zijn omdat het onderzoek nog niet is afgesloten. Bepaalde nota's komen niet voor verspreiding buiten het Instituut in aanmerking.

21 DEC. 1983

VOORWOORD

Deze nota bevat een tussentijds verslag waarin opgenomen de resultaten van drie jaar onderzoek aan uiteenlopende typen drainageomhullingsmaterialen. Het onderzoek werd mogelijk gemaakt door een groep zogenaamde "sponsors"; naast de Landinrichtingsdienst en de Rijksdienst IJsselmeerpolders betreft dit particuliere bedrijven die belangen hebben in drainagematerialen. Het verslag had in eerste instantie een vertrouwelijk karakter, en werd op 9 augustus 1983 in een uitgebreide versie - met merknamen en een aantal bijlagen - aan de sponsors ter beschikking gesteld.

Aanvankelijk leek het erop dat een periode van drie jaar voldoende zou zijn om het verstoppingsprobleem grotendeels op te lossen. Thans moeten we vaststellen dat we nog minstens een even lange periode nodig zullen hebben om dit doel te bereiken. Het Instituut zal het onderzoek dan ook voortzetten, hoogstwaarschijnlijk met hernieuwde "sponsoring".

Om de resultaten van het onderzoek voor een grote groep bereikbaar te maken, wordt geen "wetenschappelijk jargon" gebezigd.

Een woord van dank is op zijn plaats aan iedereen die op de een of andere manier aan het onderzoek heeft meegewerkt. Ik wil, ondanks het gevaar enkelen ten onrechte te vergeten, noemen: de sponsors, ing. H.J. Meyer (ICW), Ir. C.L. van Someren (ILRI), H. Spits (ICW), Mw. G.A. Valk (ICW), Dr. W. Dierickx (Rijksstation voor de Landbouwtechniek; Merelbeke, België), Dhr. G. van Hoof (Rekencentrum Landbouwhogeschool) en alle dienstverlenende afdelingen van het Instituut.

5 oktober 1983

L.C.P.M. Stuyt

INHOUDSOPGAVE

Voorwoord

DEEL 1: DE PROBLEMATIEK VAN DE OMHULLINGSMATERIALEN

1. INLEIDING	1
2. OMHULLINGSMATERIALEN	2
3. PROBLEEMSTELLING	5
4. DE PORIEGROOTTEVERDELING VAN OMHULLINGSMATERIALEN	10
5. DE DOORLATENDHEID VAN OMHULLINGSMATERIALEN	20
6. DE INVLOED VAN DE GRADIËNT OP VERSTOPPINGSPROCESSEN	24
7. DE PORIENGEOMETRIE IN VOLUMINEUZE MATERIALEN	27
8. HET TRANSPORT VAN DEELTJES IN EN NABIJ OMHULLINGSMATERIALEN	28
9. MICROMORFOLOGISCHE ASPECTEN VAN MECHANISCHE VERSTOPPING	35
10. FILTRATIE VAN ZEER FIJNE DEELTJES	37
11. IJZERVERSTOPPING EN BIOCHEMISCHE VERSCHIJNSELEN	41
12. ELECTROSTATISCHE VERSCHIJNSELEN	44
13. BODEMAGGREGATEN EN VOCHTGEHALTE	45
14. FILTERREGELS	47
15. METHODEN VOOR HET ONDERZOEKEN VAN OMHULLINGSMATERIALEN	48
16. HET LABORATORIUMONDERZOEK OP HET ICW SINDS 1980	57
17. DE HUIDIGE ONDERZOEKSSTRATEGIE	58
18. VOORTZETTING VAN HET DOORSTROMINGSONDERZOEK	62

DEEL 2: RESULTATEN VAN HET LABORATORIUMONDERZOEK

1. INLEIDING	65
2. DE DOORSTROMINGSPROEVEN: BEPERKINGEN	66
3. BEREKENINGEN	72
4. ANDERE BEPALINGEN	76
5. ANALYSE VAN DE RESULTATEN VAN DE DOORSTROMINGSPROEVEN	77
5.1 Analyse van de hydraulische grootheden	78
5.2 De zanddichtheid van omhullingsmaterialen	93
5.3 De verandering van de samenstelling van het bodem- monster in de doorstroomcilinders	97

5.4 Analyse van verloop van, en interacties tussen doorlatendheden	105
6. BESLUIT	172
LITERATUUROPGAVE	173

De volgende instellingen en bedrijven hebben dit onderzoek mede mogelijk gemaakt:-

ministerie van verkeer en waterstaat  rijksdienst voor de ijsselmeerpolders



heidemij



Ministerie van Landbouw en Visserij

Landinrichtingsdienst



DEEL 1: DE PROBLEMATIEK VAN DE OMHULLINGSMATERIALEN

1. INLEIDING

Automatisering bij de installatie van ondergrondse ontwaterings-systemen in de landbouw heeft de laatste decennia een hoge vlucht genomen. De introductie van plastic ribbelbuis heeft de ontwikkeling van geavanceerde draineermachines versneld, en heeft ook geleid tot het op de markt komen van goedkopere, arbeidsbesparende omhullingsmaterialen. Naast technische verbeteringen in het verwerken van granulaire omhullingsmaterialen is er sprake van een snelle ontwikkeling in nieuwe, synthetische materialen. Die ontwikkeling - door het bedrijfsleven - gaat soms zó snel dat nieuwe materialen geïntroduceerd worden voordat noodzakelijk veld- en/of laboratoriumonderzoek is verricht.

De omhullingsmaterialen hebben tot doel de zanddichtheid van draineerbuizen te verzekeren. Daarnaast moet de waterdoorlatendheid voldoende zijn om de ontwaterende functie onder vrijwel alle omstandigheden te waarborgen.

In bepaalde bodemtypen komt het regelmatig voor dat ondergrondse ontwateringssystemen enige tijd na installatie slecht gaan functioneren. Eventueel toegepaste omhullingsmaterialen blijken dan vaak verstopt te zijn. Het verstoppingsmechanisme is gecompliceerd en wordt veroorzaakt door bodemfysische, en/of (bio)chemische verschijnselen.

Er is de afgelopen twintig jaar in Nederland en in het buitenland veel laboratoriumonderzoek gedaan naar de eigenschappen en het gedrag van drainageomhullingsmaterialen. Het verstoppingsfenomeen wordt wereldwijd nog steeds als een groot probleem onderkend waarvoor nog geen bevredigende, algemeen geldige oplossingen zijn aangedragen. Het merendeel van het verrichte onderzoek is kwalitatief van aard. Er bestaat dan ook behoefte aan een meer fundamentele aanpak, waarbij het zoeken naar parameters die beslissend zijn voor het functioneren van omhullingsmaterialen centraal staat. Deze fundamentele aanpak, nu nog geen gemeengoed bij het onderzoek aan omhullingsmaterialen, bestaat

sedert een tiental jaren wel in een aanverwant vakgebied, namelijk dat van de civiele techniek. Aan resultaten die hier werden geboekt zal in dit rapport meermalen worden gerefereerd.

In 1975 zijn het ILRI (International Institute for Land Reclamation and Improvement) en het ICW (Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding) een gezamenlijk onderzoeksproject gestart om ontwerpcriteria op te stellen voor omhullingsmaterialen. De resultaten waren be-
moedigend: veel lacunes ten aanzien van kennis en ervaring kwamen aan het licht (KNOPS, 1979; SEIJGER, 1978). De met dit onderzoek verkregen nieuwe inzichten leidden tot de conclusie dat het onderzoek zo mogelijk diende te worden voortgezet. Na overleg tussen overheid en bedrijfsleven werden voldoende fondsen voor het onderzoek vrijgemaakt, zodat dit op 1 april 1980 kon worden gestart. Het werd uitgevoerd in opdracht van de stichting KOMO (Stichting voor onderzoek, beoordeling en keuring van materialen en constructies).

Dit rapport bevat het verslag van dit onderzoek. De uitvoering en de resultaten komen aan de orde. Het rapport moet worden opgevat als een tussentijdse weergave van nieuw verkregen inzichten. Het onderzoek wordt in november 1983 op het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding voortgezet.

Naast veel antwoorden leverde het onderzoek ook veel vragen op. Uiteindelijk moeten al deze vragen worden beantwoord en moet het onderzoek leiden tot eisen en normen die aan drainageomhullingsmaterialen moeten worden gesteld, ter vervolmaking van reeds bestaande, experimenteel bepaalde ontwerpcriteria.

2. OMHULLINGSMATERIALEN

De omhullingsmaterialen die in dit onderzoek aan de orde komen zijn opgebouwd uit organisch materiaal of uit kunststoffen. Dit in tegenstelling tot granulaire filters, die uit korrelige materialen, grind of grof zand, bestaan. De functie van alle materialen is dezelfde: water doorlaten en verhinderen dat er teveel bodemdeeltjes in de drainbuis spoelen.

Granulaire filters worden, ondanks de hoge kosten, nog steeds veel

toegepast. De reden is dat met inschakeling van dit materiaal een goed werkend ontwateringssysteem vrijwel altijd kan worden gegarandeerd. Granulaire filters hebben als nadeel dat ze materiaal- en arbeidsintensief zijn. Daarentegen hebben zij als voordeel dat een grote vrijheid aanwezig is bij de samenstelling ervan, waardoor aan praktisch elke wens en eis tegemoet gekomen kan worden.

In Nederland worden granulaire materialen in landbouw-ontwateringssystemen bij hoge uitzondering toegepast.

Organische omhullingsmaterialen zijn in ons land populair. De markt wordt beheerd door cocosvezels (hierna 'cocos'), turfvezel (hierna 'turf') en combinaties hiervan. Incidenteel worden ook andere materialen gebruikt, zoals bijvoorbeeld sisal (een natuurlijke vezel). De populariteit van cocos en turf is toe te schrijven aan de redelijk gunstige ervaring in het verleden, de prijs en de werking. Traditionele aspecten spelen daarnaast een belangrijke rol.

Omhullingsmaterialen gemaakt uit kunststoffen, of om de meer vaktechnische naam te gebruiken, polymeren, worden, in Nederland althans, incidenteel gebruikt. De belangrijkste obstakel in dit verband is de terughoudendheid bij het toepassen van een nieuw materiaal waarmee nog geen ervaring is opgedaan. Gebruikelijke methodieken blijven lang populair terwijl nieuwe ongebruikt in de kast blijven liggen, voornamelijk wegens psychologische barrières en vrees voor het onbekende. Naast dit obstakel blijkt ook de prijs van omhullingsmaterialen van kunststoffen vaak een belemmering.

In het buitenland worden omhullingsmaterialen van kunststoffen op ruime schaal toegepast. Hierbij blijkt dat deze - vaak goedkope - materialen vaak goed voldoen. Ook in ons land, en met name in Zeeland wordt glasvezeldoek (hierna 'glasvlies') met succes toegepast. Het is dus nog maar de vraag of we er goed aan doen deze materialen zo weinig toe te passen. De - voorlopige - resultaten, geboekt met deze materialen bij het hier te bespreken onderzoek geven er in ieder geval geen aanleiding toe.

Het lijkt nuttig in dit verband enige informatie te verschaffen over een aantal voor synthetische omhullingsmaterialen gebruikte kunststoffen. De informatie is ontleend uit een recent rapport van de Nederlandse Vereniging Kust- en Oeverwerken (1982).

Kunststoffen of polymeren bestaan uit lange ketens, macro-moleculen, die weer opgebouwd zijn uit een groot aantal gelijkvormige eenheden. Die lange ketens bepalen de eigenschappen van het materiaal. Een kenmerk van kunststoffen is dat het synthetische materialen zijn, dat wil zeggen producten, gemaakt met behulp van chemische processen. Een ander kenmerk van kunststoffen is dat ze, ergens op weg van grondstof naar eindprodukt, een plastische vormgeving ondergaan.

Het grootste deel van de grondstoffen komt uit de carbochemische (o.a. de nylongrondstof caprolactam) en petrochemische industrie. Bij deze laatstgenoemde industrie gaat het om olieraffinaderijen, die in hun kraakinstallaties enorme hoeveelheden kraakgassen bereiden. Uit deze kraakgassen worden tientallen chemische producten vervaardigd, die tot kunststoffen verwerkt worden. Etheen en propeen, de grondstoffen voor de macromoleculaire producten polyetheen en polypropreen, zijn uit deze groep afkomstig.

Voor het aangeven van de lineïeke massa van de polymeren, dat is de massa per eenheid van lengte, waren in het verleden vele systemen in gebruik. Voor kunststofweefsels werd onder andere gebruikt een uit de natuurzijde-industrie afkomstige maat, de 'denier'. Een denier is de massa in grammen van 9 000 meter garen. Tegenwoordig is het gebruikelijk de lineïeke massa uit te drukken in tex: dat is de massa in grammen van 1 000 meter garen.

Polypropreen, polyetheen en polyamide (nylon) zijn zeer goed bestand tegen de inwerking van chemicaliën. Zij kunnen echter worden afgebroken door ultra-violette straling.

Naast genoemde kunststoffen wordt ook een omhullingsmateriaal toegepast met als voornaamste bestanddeel polystyreen. Polystyreen wordt, in bolletjes met enige mm. doorsnede, in een laag van ongeveer een centimeter, rond de buis bijeengehouden met behulp van een geperforeerde plastic folie. Het op deze wijze gevormde omhullingsmateriaal vertoont enige gelijkenis met grind.

Naast polystyreen komen de volgende omhullingsmaterialen, gefabriceerd uit kunststof voor: nylon kous (polyamide weefsel), in Nederland nauwelijks in gebruik, in de Verenigde Staten en Canada daarentegen op grote schaal, typar (polypropreen vlies), nog niet algemeen geaccepteerd als omhullingsmateriaal, cerex (nylon vlies), in gebruik in

de Verenigde Staten, bidim en erolan (vernadelde mat gemaakt uit fijne polyester-vezels), en diverse soorten vernadelde matten, gemaakt uit grove polypropeenvezel, in ons land op beperkte schaal in gebruik.

3. PROBLEEMSTELLING

Het, na korte of langere duur niet meer goed functioneren van een ondergronds ontwateringssysteem is in de meeste gevallen te wijten aan verstoppingsverschijnselen. Deze verschijnselen zijn een logisch gevolg van de nieuwe situatie die is ontstaan met de komst van het ontwateringssysteem. De evenwichtssituatie die bestond voordat het systeem werd geïnstalleerd is abrupt verbroken, en de verschillende media die hierbij betrokken zijn (bodem, water en lucht) werken ten gevolge van de rigoreuze ingreep op een nieuwe manier op elkaar in. Zo komt bijvoorbeeld het grondwater, voordat het daadwerkelijk het bodemprofiel verlaten heeft, al in direct contact met de buitenlucht, namelijk in de drainbuis, en soms al in een volumineus omhullingsmateriaal. Het bodemmateriaal komt plotseling tegen een relatief zeer poreus omhullingsmateriaal aan te liggen, waardoor de krachtverdeling in die bodem in de buurt van de buis drastisch wordt gewijzigd. De grondwaterstroming naar de buis is, hydraulisch gezien, een ongunstige omstandigheid en een beproeving voor het omhullingsmateriaal en het bodemmateriaal dat hier tegenaan ligt; al het overtollige grondwater van een relatief groot stuk land moet convergeren en door een klein stukje bodem en omhullingsmateriaal stromen om de buis te bereiken. De intensiteit van de grondwaterstroming in de buurt van de buis is nu dus een veelvoud van de intensiteit die daar ter plaatse heerste, voordat het ontwateringssysteem werd geïnstalleerd.

Ook chemisch gezien is er opeens het nodige veranderd. Vreemde materialen als kunststoffen of cocosvezels doen hun intrede. Bacteriën krijgen te maken met veranderde - vaak hogere - zuurstofconcentraties en reageren hierop. Ten gevolge van de verhoogde zuurstofconcentraties treden verhevigde oxidatiereacties op, vooral in en vlakbij de buis.

Samengevat betekent de installatie van een ondergronds ontwateringssysteem een abrupte en ingrijpende verstoring van heersende hy-

drogeologische, chemische en bacteriologische evenwichten. Wordt in de natuur een evenwicht verstoord dan gaan zich in de nieuwe situatie nieuwe, andere evenwichten instellen. En om het verkrijgen van, althans een deel, van die nieuwe evenwichten was het allemaal begonnen: daarom werd het ontwateringssysteem geïnstalleerd! Een nieuwe gunstige evenwichtssituatie is bijvoorbeeld een lagere gemiddelde grondwaterstand. Een vroegere bewerkbaarheid in het voorjaar is er ook een. Een voorbeeld van een ongunstige, óók door ons gecreëerde evenwichtssituatie is het feit dat het bodemmateriaal onder zware druk tegen het omhullingsmateriaal aanligt. Volumineus omhullingsmateriaal heeft vaak zulke grote poriën dat bodemdeeltjes er gemakkelijk doorheen spoelen: de sleepkracht van het water is vlakbij de buis het grootst omdat de grondwaterstroming zich hier concentreert.

Een tweede ongunstige toestand die we door de installatie van het ontwateringssysteem geschapen hebben is de ondergrondse aanwezigheid van een belucht ontwateringskanaal. Deze beluchting werkt ongunstige reacties in de hand, zoals verhoogde activiteit van bepaalde bacteriën met als gevolg slijmvorming, neerslag van zwavelverbindingen etc. De afmetingen van de buis worden, om kosten te drukken, aan de kleine kant gehouden, maar dit heeft tot gevolg, dat de geringste verstoringen al een nadelig effect op de werking van het systeem kunnen hebben.

Het doel dat we met de introductie van het ontwateringssysteem nastreven, de verbeterde ontwateringstoestand, wordt meestal wel bereikt, maar voor de meeste nadelige bijverschijnselen hebben we eigenlijk nog nauwelijks (betaalbare) oplossingen gevonden. Wanneer we in dit verband over oplossingen spreken, moeten we wel beseffen dat we eigenlijk met symptoombestrijding bezig zijn: we proberen de nadelige bijverschijnselen van onze ingreep te minimaliseren. Op de wijze waarop we thans de systemen ontwerpen en installeren, kunnen we deze bijverschijnselen niet altijd tegen acceptabele kosten bestrijden.

Dure oplossingen zijn wel voorhanden. Leggen we een buis in grind of grof zand dan wordt het verstoppingsgevaar geminimaliseerd. Helaas zijn deze oplossingen (onder andere in ons land) in de praktijk nauwelijks toepasbaar, omdat ze te veel geld kosten. Dat betekent dat we bij het zoeken naar praktische oplossingen maar weinig manoeuvreerruimte hebben.

Ogenschijnlijk lijkt het probleem weinig gecompliceerd: stel gewoon de eisen op waaraan een omhullingsmateriaal moet voldoen, en probeer dan dit materiaal zo goedkoop mogelijk te maken. Op dit moment zitten we nog steeds met het probleem dat we die eisen slechts zeer globaal kunnen formuleren. Dat komt omdat we nog niet in staat zijn precies aan te geven wat er in de buurt van buis en omhullingsmateriaal precies gebeurt, laat staan dat we de geconstateerde verschijnselen met zekerheid kunnen verklaren. Als we, gewapend met de gebrekkige kennis van vandaag, toch eisen proberen op te stellen, blijkt, dat sommige daarvan tegenstrijdig kunnen zijn.

Een omhullingsmateriaal moet het bodemmateriaal tegenhouden en water doorlaten. Worden deze twee eisen te strict geformuleerd, dan zijn zij tegenstrijdig (GIROUD, 1982). Als men zou eisen dat alle bodemdeeltjes moeten worden tegengehouden dan zouden we een ondoorlatend scherm moeten gebruiken. Willen we dat het water vrijwel ongehinderd in de buis stroomt dan moeten de poriën van het omhullingsmateriaal zó groot zijn, dat er praktisch geen bodemdeeltjes zouden worden tegengehouden. De conclusie is dat we een compromis moeten sluiten: het omhullingsmateriaal moet in redelijke mate waterdoorlatend zijn, en niet teveel bodemmateriaal doorlaten; een goed omhullingsmateriaal heeft dus poriën die groot genoeg zijn en tegelijkertijd klein genoeg zijn.

Om dit soort vage eisen duidelijker te kunnen uitwerken moeten we een filtratietheorie zien te ontwikkelen. Het zou tē ingewikkeld zijn om een allesomvattende filtratietheorie te formuleren, en wel om twee redenen. De eerste is dat de variabiliteit van de processen die tegelijkertijd in het spel is, enorm is, en de tweede is dat we te maken hebben met een haast onafzienlijke rij parameters (dat zijn grootheden zoals bijvoorbeeld vochtgehalte, watertemperatuur) die we voor een deel niet in de hand hebben en ook nooit zullen hebben.

Voorbeelden van processen die bij gebruik van omhullingsmaterialen om de hoek komen kijken zijn de stroming van in het water zwevende bodemdeeltjes (belangrijk bij goed-gestructureerde, zware gronden), chemische en elektrische interacties tussen omhullingsmateriaal en bodemdeeltjes, interne erosie en suffosie (= het selectief uitspoelen van de fijnste bodemdeeltjes), contacterosie en suffosie op de grens bodem/omhullingsmateriaal, etc.

Voorbeelden van bodemparameters zijn zwel en krimp, en ionenuitwisselingsprocessen bij kleigronden, organisch stofgehalte, korrelgrootteverdeling, cohesie, structuur, korrelspanning, vorm van bodemdeeltjes en aggregaten, soortelijk gewicht, dichtheid, schuifweerstand en doorlatendheid. Grondwaterparameters zijn de chemische samenstelling, dichtheid, viscositeit, zuurgraad etc. Parameters van het omhullingsmateriaal zijn de vorm, afmetingen, verdeling, dichtheid en chemische samenstelling van de vaste elementen (korrels of vezels), porositeit, poriegrootteverdeling, doorlatendheid, samendrukbaarheid etc.

Hoe meer parameters, des te gecompliceerder wordt ons probleem. Hebben we twee parameters die ieder twee verschillende waarden kunnen aannemen dan zijn er vier mogelijke combinaties. Hebben we er vier, dan loopt het aantal combinaties op tot 16. Kunnen bodemparameters meer dan twee verschillende waarden aannemen - en dat is in de praktijk doorgaans het geval - dan wordt de zaak snel ingewikkelder. Twee parameters met ieder vier mogelijke waarden levert al 16 combinaties, vier parameters 256 combinaties. In werkelijkheid is het aantal mogelijke bodemvarianten nog vele malen groter, en zijn vele parameters moeilijk te kwantificeren, zoals de verschillende aspecten van de bodemstructuur. Het voorspellen van het gedrag van een bepaalde combinatie bodemmateriaal/omhullingsmateriaal aan de hand van een klein aantal kenmerken blijkt dan ook een hachelijke onderneming, getuige het aantal mislukte drainagesystemen in het verleden. Dit lijkt dan ook de voornaamste reden dat het vooralsnog zo moeilijk is om te voorspellen wat in een bepaald geval het beste omhullingsmateriaal is. In veel gevallen, vooral bij zware gronden, wisselen de bodemeigenschappen ook nog met de seizoenen. Je zou in die gevallen een omhullingsmateriaal moeten installeren dat het onder die wisselende omstandigheden goed doet. Bij zware gronden hebben we overigens met fundamenteel andere problemen te maken dan bij de zeer fijnzandige gronden, die in Nederland voor de meeste problemen zorgen: het zijn hier de zeer fijne deeltjes die in suspensie zijn, die op de lange duur een omhullingsmateriaal volledig kunnen doen dichtslaan. De Werkgroep Persputten, die in Nederland sinds 1970 onderzoek heeft verricht naar de oorzaken van de verstopping van persputten voor de drinkwaterindustrie, en die hier-

over een rapport heeft uitgebracht (KIWA, 1982), onderscheidt in hoofdzaak twee verstoppingsoorzaken: die ten gevolge van zwevende stof, en de overige oorzaken (voornamelijk mechanische verstopping en chemische verstopping). De verstopping ten gevolge van de zwevende stof wordt beschouwd als de meest hardnekkige vorm, die altijd aanwezig is, en die vele mechanismen kent; er zijn immers zeer veel soorten zwevende stof met onderling nauwelijks bekende wisselwerkingen. De mechanische verstoppingsverschijnselen waar wij in Nederland de meeste problemen mee hebben zijn bij persputten vrij eenvoudig te overzien en zijn overkomelijk indien men van een juist ontwerp uitgaat, de juiste maatregelen neemt en een juiste bedrijfsvoering heeft.

Op het ogenblik zijn we nog lang niet zo ver dat we een alles omvattend theoretisch inzicht hebben in bovenstaande parameters en processen en dus met zekerheid een risicofactor voor verstopping kunnen definiëren, en de juiste preventieve maatregelen kunnen nemen. Een 'à-priori' voorspelling van de risicofactor voor verstoppingsgevaar aan de hand van tests is (nog) niet mogelijk; met behulp van de opgedane ervaringen kunnen we niet meer dan indicaties verkrijgen. Daarom 'behelpen' we ons met een sterk vereenvoudigde benadering waarbij we de twee criteria in onze beschouwing betrekken: het doorlatendheids criterium en het filtratiecriterium. Deze criteria bestaan voor granulaire filtermaterialen al lang (de zogenaamde Terzaghi-regels). Bij andere omhullingsmaterialen ligt de zaak anders. Jaarlijks komen onderzoekers met nieuwe criteria, gebaseerd op door hun gedane (laboratorium) experimenten, en neemt de verwarring toe. Al deze criteria worden sterk beïnvloed door de omstandigheden waaronder zij werden opgesteld. Het lijkt niet verstandig om nu naast al die bestaande criteria nog eens nieuwe te introduceren. Verstandiger zou zijn de bestaande criteria te toetsen en te vergelijken waarbij we in het achterhoofd moeten houden dat de meeste van deze criteria met behulp van 'traditionele' onderzoeksmethoden werden opgesteld. Het is echter ook een feit, dat er belangrijke vragen zijn, die met behulp van deze traditionele methodes (o.a. doorstromingsproeven) niet kunnen worden beantwoord, bijvoorbeeld:

1. Welke bodemdeeltjes zijn bij een bepaalde intensiteit van de grondwaterstroming in suspensie en door welke omstandigheden wordt de samenstelling van deze suspensie beïnvloed?

2. Wat is de invloed van de poriëngeometrie bij volumineuze materialen en hoe moeten we die geometrie vastleggen?
3. Hoe is het verloop van de diameter van een porie waar een bodemdeeltje doorheen stroomt en hoe groot is de kans dat het deeltje ergens in zo'n porie vastloopt?
4. Wat is de invloed van electrostatische verschijnselen?
5. Bestaat er een optimale relatie tussen de dikte van een omhullingsmateriaal en de poriegrootteverdeling, en zo ja, wat is dit voor een relatie?
6. Hoe verandert de poriegrootteverdeling van een omhullingsmateriaal naarmate dit meer verstopt raakt?
7. Hoe liggen de problemen als drainreeksen niet voor ontwatering, maar voor infiltratie worden gebruikt?
8. Welke groep omhullingsmaterialen is het meest geschikt om in veenden of gronden met een hoog organisch stofgehalte te worden gebruikt?

In de volgende hoofdstukken zal de stand van het onderzoek met betrekking tot genoemde deelproblemen worden besproken.

4. DE PORIEGROOTTEVERDELING VAN OMHULLINGSMATERIALEN

Het kunnen vaststellen van de poriegrootteverdeling van omhullingsmaterialen is belangrijk en dat is de reden dat talloze onderzoekers zich met dit probleem hebben beziggehouden. Wanneer we over de poriegrootteverdeling spreken, moeten we onderscheid maken tussen dunne materialen als glasvlies, typar, nylon kous etc. en de volumineuze materialen, waarvan 'bidim' een van de dunste is. De vraag is aan de orde, of we de invloed van de poriegrootteverdeling in het verleden niet hebben overschat. Daar lijkt het wel op, althans in de groep van de dunne materialen. De meest recente doorstromingsproeven op het ICW wijzen in de richting van de resultaten die recentelijk door Willardson in de Verenigde Staten werden gepubliceerd (WILLARDSON, 1983). Hij toonde aan dat er eigenlijk niet zoveel toe doet hoe de poriegrootteverdeling van dunne materialen eruit ziet, mits je binnen bepaalde grenzen blijft. Het toegestane 'traject' waarbinnen de poriegroottes mogen liggen is echter zeer ruim. Van veel meer invloed blijkt het verloop van de wa-

terdruk vlak in de buurt van zo'n dun omhullingsmateriaal, de zogenaamde gradiënt, te zijn. Willardson voerde die gradiënt in stappen op, waarbij hij het omhullingsmateriaal verving door metalen gaas met verschillende, precies bekende maaswijdten. Werd het verloop van de waterdruk vlakbij het gaas op een gegeven moment te hoog (we zeggen dan dat de zogenaamde kritische gradiënt wordt overschreden) dan begon bodemmateriaal door het gaas te spoelen. De waarde van die kritische gradiënt was niet zo sterk afhankelijk van de maaswijdte. Willardson's werk toont aan, dat we, veel meer dan tot nu toe het geval was, naar eigenschappen van het bodemmateriaal moeten kijken en dat we ons niet blind moeten staren op zeer geavanceerde methodes om een poriegrootteverdeling van een dun omhullingsmateriaal te bepalen. We moeten meer aandacht schenken aan andere fysische parameters zoals resistentie en scheuren, sterkte, verwerkbaarheid, electrostatische eigenschappen, bevochtigingseigenschappen en dergelijke. Wanneer er met de dunne materialen toch iets misgaat, blijkt dat lang niet altijd veroorzaakt te worden door het dichtslaan van het vlies zelf; vaak, ook op het ICW, is geconstateerd dat het bodemmateriaal in de buurt van het vlies verslemt (K&O, 1982). We hebben niet zoveel baat bij een goed-doorlatend omhullingsmateriaal wanneer de eigenschappen van terugstort of bodemmateriaal zodanig zijn dat dit gemakkelijk inspoelingslaagjes vormt: het ontwateringssysteem werkt dan toch slecht en in het veld denken we dan toch vaak dat het omhullingsmateriaal de boosdoener is, terwijl dit niet zo is. Overigens is het toepassen van dunne materialen niet ongevaarlijk wanneer we te maken hebben met een slechte grondwaterkwaliteit (onder andere een hoog ijzergehalte) of wanneer we draineren in goed-gestructureerde, zware gronden. Hierover later meer.

Is het exact kennen van de poriegrootteverdeling van dunne materialen niet zo belangrijk, dit geldt zeker niet voor die van de volumineuze materialen. Dit komt omdat de afmeting van een volumineus materiaal in stromingsrichting - loodrecht op de buis - een veelvoud is van die van een dun materiaal: 10 to 50 keer zo groot. Kunnen we bij dunne materialen spreken van een rooster, waar de bodemdeeltjes op vast blijven zitten, of doorheen spoelen, bij volumineuze materialen is er sprake van een soort doolhof, waar elk deeltje doorheen moet zien te komen. Daarom is het belangrijk het verloop van de poriediameter, waar

elk deeltje doorheen moet, op weg naar de buis, te kunnen schatten. Het is dus niet alleen voldoende om een poriegrootteverdeling te kunnen bepalen; we moeten meer informatie zien te krijgen over het verloop van die poriën in stromingsrichting. Ook de vorm van de poriën, de poriëngeometrie, speelt een rol.

Voor het bepalen van de poriegrootteverdeling zijn twee methoden algemeen in gebruik: de methode met behulp van glasparels, en de zuigspanningsmethode.

De eerstgenoemde methode is algemeen in gebruik in de civiele techniek (OGINK, 1975). Met het omhullingsmateriaal als zeef wordt in een zeefapparaat van een reeks opeenvolgende en nauw begrensde fracties glasparels het gewichtspercentage glasparels bepaald, dat na 5 minuten zeven op en in het omhullingsmateriaal achterblijft uitgaande van 50 gram van die fractie. Op deze wijze wordt van het omhullingsmateriaal een doorvalkromme, te vergelijken met een poriegrootteverdeling, en door interpolatie de grootheden O_{90} en O_{98} bepaald. Deze grootheden zijn als volgt gedefinieerd:-

O_{90} komt overeen met de gemiddelde diameter van de fractie glasparels, waarvan 90% op en in het omhullingsmateriaal achterblijft na vijf minuten zeven. O_{98} komt overeen met de gemiddelde diameter van de fractie glasparels, waarvan 98% op en in het omhullingsmateriaal achterblijft na vijf minuten zeven. O_{98} geeft een praktische benadering van de maximale poriediameter die in het omhullingsmateriaal voorkomt en is van belang voor de zanddichtheidseisen bij sterk dynamische belastingstoestanden, zoals het doorspuiten van drainreeksen. O_{90} is mede bepalend voor de zanddichtheid van het omhullingsmateriaal bij statische belastingstoestand, zoals de ontwateringsfunctie.

De methode met behulp van glasparels heeft als nadeel dat we het omhullingsmateriaal niet onder druk kunnen brengen terwijl we de metingen uitvoeren; dit is in de praktijk - het omhullingsmateriaal wordt dan samengeperst onder invloed van de erop drukkende bodemlast - wel het geval. De methode is wel geschikt om er de poriegrootteverdeling van dunne materialen mee te bepalen, maar bij die materialen was de poriegrootteverdeling minder relevant, zoals we hebben gezien. Daarom gebruiken we de zuigspanningsmethode.

Met behulp van deze methode kunnen we de poriegrootteverdeling

niet rechtstreeks meten. We kunnen wel iets bepalen dat op de poriegrootteverdeling lijkt, de vochtspanningscurve (ook wel pF-curve genoemd) en die vervolgens mathematisch omwerken tot een zo goed mogelijke benadering van de 'werkelijke' poriegrootteverdeling.

De bepaling gebeurt, kortweg, op de volgende wijze. Eerst zij opgemerkt, dat een grootheid als de poriegrootteverdeling een stochastische variabele is: zij neemt met zekere kansen verschillende waarden aan. Het is daarom noodzakelijk meerdere monsters van hetzelfde omhullingsmateriaal te onderzoeken, teneinde inzicht te verkrijgen in de spreiding van de resultaten. Hoe meer monsters we onderzoeken, des te zekerder zijn we van de betrouwbaarheid van de resultaten. Per bepaling worden vijf monsters onderzocht.

De monsters van het omhullingsmateriaal worden, onder spanning, in plexiglas houders aangebracht. De spanning of druk is min of meer gelijk aan de bodemlast die het omhullingsmateriaal op 1 meter diepte ondervindt ten gevolge van de erop drukkende bodemlast ($200 \text{ gr/cm}^2 = 2 \text{ N/cm}^2 = 2 \cdot 10^4 \text{ Pa}$). De monsters worden met water verzadigd; de vochtspanning van het water is nul. We weten dat, wanneer het omhullingsmateriaal water verliest, de grootste poriën het eerst droog vallen, kleinere iets later, en de kleinste het laatst. Van deze natuurwet maken we gebruik. We onttrekken, stapje voor stapje, steeds meer water aan het materiaal, en meten de opgevangen hoeveelheden water. Omdat we ook globaal weten welke poriën bij elk stapje moeten droogvallen hebben we na afloop van de bepaling een indruk van de poriediameters die in het omhullingsmateriaal voorkomen, en de verdeling van die diameters.

Meer dan een indruk is het niet. De 'poriegrootteverdelingscurve' die we met behulp van de verkregen gegevens kunnen tekenen is in werkelijkheid een vochtspanningscurve, en dat is substantieel iets anders. We moeten die vochtspanningscurve eerst nog zien om te werken tot een poriegrootteverdelingscurve. Op het ICW is het onderzoek dat hiertoe wordt verricht in een vergevorderd stadium. Op dit moment - medio 1983 - moeten we nog volstaan met vochtspanningscurves (pF-curves): zie fig. 1.

Het belang van het onder spanning brengen van het omhullingsmateriaal wordt andermaal onderstreept door Gourc (GOURC, 1982). Zelfs onder zeer hoge statische belasting (i.c. $900 \text{ kPa} = 90 \text{ N/cm}^2$) blijkt de porositeit (= het volumepercentage lucht) nauwelijks af te nemen, te

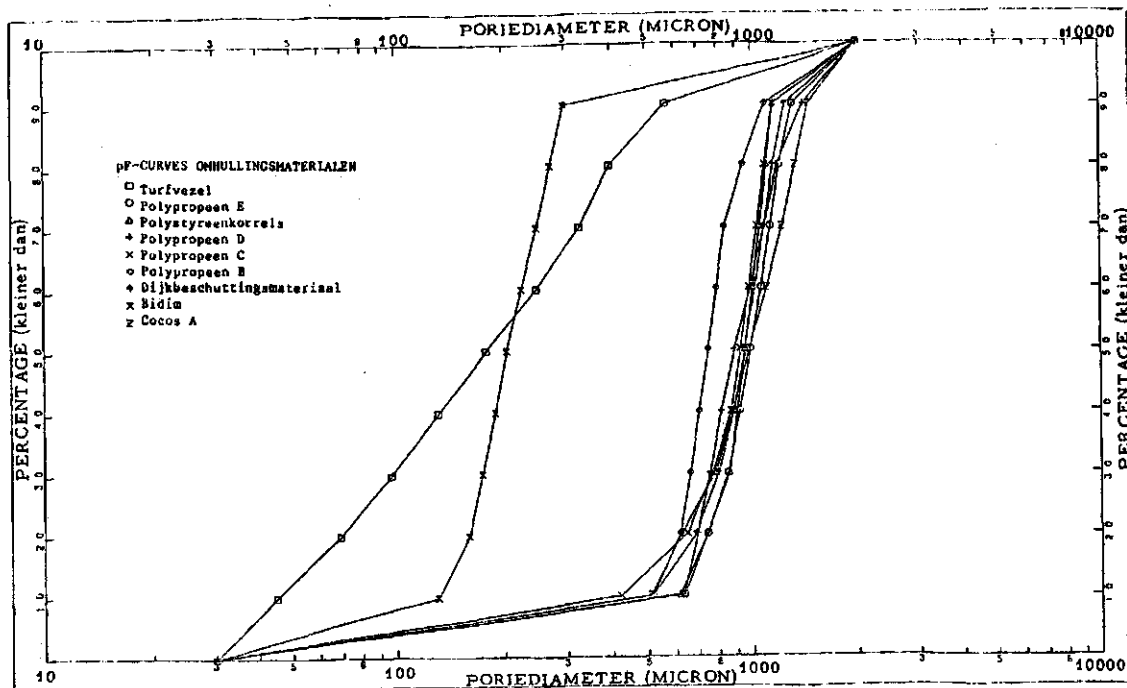


Fig. 1. Vochtspanningscurven van enige omhullingsmaterialen. Deze curven geven ruwweg de poriegrootteverdeling weer

weten van boven de 90 tot 72%, maar de gemiddelde poriediameter neemt onder invloed van toenemende belasting sterk af: de gemiddelde vezelafstand liep bij een belastingsverhoging van 25 tot 800 kPa terug van 140 μm tot 38 μm .* De conclusie is, dat de verzadigde waterdoorlatendheid van omhullingsmaterialen onder sterk toenemende bodemlast niet significant terugloopt, terwijl de filtrerende eigenschappen door compressie van het materiaal sterk worden beïnvloed.

Al eerder werd het belang genoemd van een schatting van het verloop van een poriediameter vanaf de buitenkant van een omhullingsmateriaal in de richting van de buis. Wittman komt met een theorie waarmee het zich vernauwen en weer wijder worden van een porie in de stromingsrichting van het water kan worden beschreven (WITTMANN, 1982). Een ketting is zo sterk als de zwakste schakel en dit geldt voor poriën, vrij vertaald, ook: bij een porie, die uit vele brede en smalle secties bestaat, is uiteindelijk de maatgevende poriediameter die van de smalste sectie. Neemt de dikte van een omhullingsmateriaal toe dan wordt de kans dat er in zo'n poriekanaal een zeer nauwe sectie zit steeds groter. Dit betekent dat het percentage relatief grote poriën

* 1 μm = 1 micron = 0.001 mm

af moet nemen en dat is dan ook te zien aan de poriegrootteverdeling, die bij toenemende materiaaldikte steeds minder grote poriën laat zien. Bij een theoretische, oneindig grote dikte van het omhullingsmateriaal bevat elke doorlopende porie wel een segmentje met minimale dikte en speelt het aanwezig zijn van grotere poriën geen rol meer, want elk bodemdeeltje zal, op zijn weg door het omhullingsmateriaal wel een keer een minimale poriesectie tegen moeten komen.

Deze theorie gaat ervan uit dat elk poriekanaal een op zich zelf staand iets is. In werkelijkheid is dit niet zo: het omhullingsmateriaal heeft een driedimensionale structuur en zodra een bodemdeeltje ergens dreigt vast te lopen zijn er meestal nog voldoende 'uitwijkmogelijkheden'. Dit neemt niet weg dat Wittmann een bijdrage heeft geleverd aan de kennis van de poriëngeometrie van volumineuze omhullingsmaterialen. Uiteindelijk is niet de poriegrootteverdeling die we met behulp van de zuigspanningsmethode bepalen van belang, maar de aan de hand van de dikte bijgestelde verdeling. Overigens wordt het verschil tussen de, met de zuigspanningsmethode bepaalde, vochtspanningscurve en de werkelijke poriegrootteverdeling voor een groot deel bepaald door de aanwezigheid van de smalste secties in de doorlopende poriën.

Poriegrootteverdelingen, gedeeltelijk bepaald door de dikte van omhullingsmaterialen stellen de keuze dikke vs. dunne materialen in een nieuw daglicht. Er bestaan thans twee 'scholen', elk met een groep aanhangers, die pleiten voor het gebruik van volumineuze, respectievelijk dunne materialen. Tot nu toe heeft geen van beide groepen aanhangers de andere groep kunnen overtuigen van zijn vermeende gelijk. Dat is ook begrijpelijk, omdat met volumineuze als ook met dunne materialen successen worden geboekt.

ZASLAVSKY (1979) geeft de voorkeur aan volumineuze materialen. zijn uitgangspunt is dat bodemdeeltjes, kleiner dan de poriën van het omhullingsmateriaal hierin zullen binnendringen, terwijl de grotere dit niet doen. Dit proces gaat door totdat de bodem zich stabiliseert. Tegelijkertijd vormt zich buiten het omhullingsmateriaal een natuurlijk filter in de bodem. Als het omhullingsmateriaal te dun is en het heeft relatief grote openingen dan kan het lang duren voor de bodem gestabiliseerd is, en zal het omhullingsmateriaal verstopt kunnen raken. Hebben we te maken met een dun materiaal met kleine poriën, dan

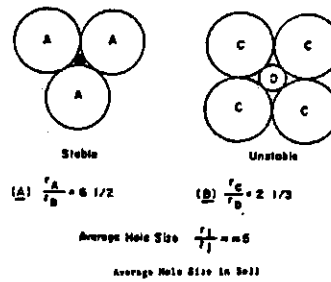
worden alle bodemdeeltjes tegengehouden en zal het materiaal hoogstwaarschijnlijk dichtslaan. Gebruiken we echter een dik en grof omhullingsmateriaal dan worden de kleine bodemdeeltjes op willekeurige plaatsen in dat materiaal tegengehouden, en is de kans dat de poriën geheel verstopt raken, en het omhullingsmateriaal slecht doorlatend wordt, klein.

SWEETLAND (1977) is een van de voorstanders van dunne materialen. Hij gaat er van uit dat de grootte van de poriën in het omhullingsmateriaal bepaalt welke deeltjes er doorheen spoelen. Bestaat het dunne materiaal uit verschillende lagen dan worden de doorlopende poriën kronkelig en kunnen alleen relatief kleine deeltjes nog door het omhullingsmateriaal heendringen. Hoe dikker het materiaal - hoe meer lagen op elkaar gestapeld - deste kleiner is de kans dat bodemdeeltjes er nog doorheen kunnen dringen, en deste groter wordt het verstoppingsgevaar. Sweetland c.s. concluderen dat de dikte van een omhullingsmateriaal tot een minimum beperkt moet blijven, net zoals dit wordt gedaan bij het ontwerp van bronneringsbuizen voor de drinkwaterindustrie.

Op de Second International Drainage Workshop te Washington, DC in december 1982 is bovenstaande tegenstrijdigheid besproken. Gesteld werd, en dit standpunt werd door de daar aanwezige specialisten beaamd, dat er een verband moet bestaan tussen de gemiddelde poriediameter in een materiaal en de dikte van zo'n materiaal, wil het bruikbaar zijn als goed-werkend omhullingsmateriaal (STUYT, 1983). Een gedachtegang die door de theorie van Wittmann wordt ondersteund (WITTMANN, 1982). Hoe dit verband loopt kan op dit moment nog slechts grofweg worden afgeleid uit de resultaten die we met de tot nu toe onderzochte omhullingsmaterialen hebben geboekt. Echter, in samenwerking met onderzoekers als Wittmann en anderen (onder andere in Frankrijk en de Verenigde Staten) zullen in de nabije toekomst naar verwachting de nodige resultaten worden geboekt.

Tot slot van dit hoofdstuk nog enige informatie betreffende de huidige stand van het onderzoek met betrekking tot de poriegrootteverdeling van omhullingsmaterialen. Het is bij granulaire materialen als zand en grind niet moeilijk om je een indruk te vormen over de grootte van poriën in het materiaal. Vooral wanneer de zaak wordt geschemati-

Fig. 2. Bij granulaire omhullingsmaterialen is het berekenen van de poriediameters geen probleem



seerd en zandkorrels worden voorgesteld als ronde kogels kunnen de erbij behorende poriediameters gemakkelijk worden berekend (fig. 2). Bij omhullingsmaterialen die uit vezels bestaan is dit veel ingewikkelder. Dat komt omdat de porositeit van deze materialen veel hoger is dan die van granulaire filters: de vezels lopen vaak 'kris kras' door de ruimte en het is nauwelijks mogelijk te definiëren wat we in dit geval onder een porie verstaan (fig. 3). Pogingen het gecompliceerde verloop van de vezel geschemariseerd in modellen voor te stellen zijn gedaan door FAYOUX et al (1982). Hij heeft 54 monsters gemaakt uit allerlei com-

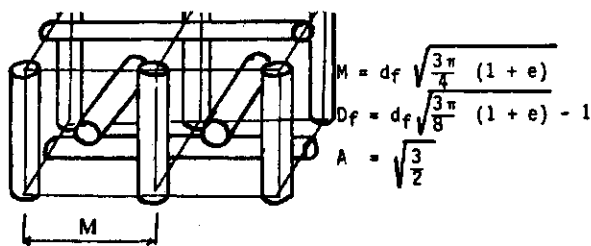


Photo 1 : Macro-photo of a TP270 sample (I.T.F.)

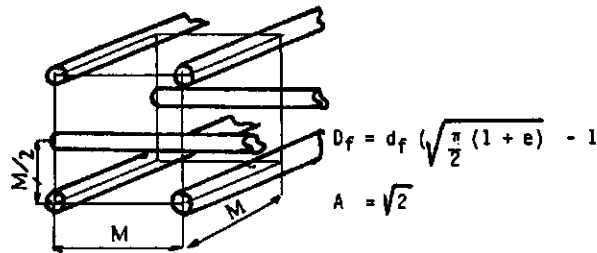


Fig. A9 : Geotextile tricouche (GSM 1300)
-coupe (ITF)-

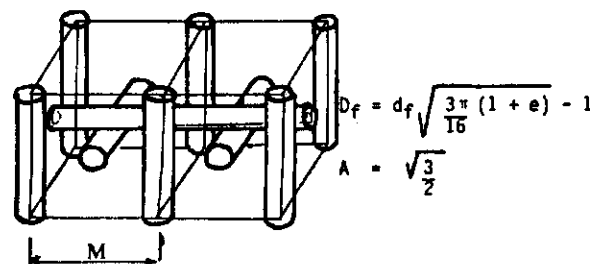
Fig. 3. Bij vezelvormige omhullingsmaterialen is het moeilijk om poriediameters te definiëren



Répartition des fibres dans les trois directions



Répartition homogène des fibres dans le plan du géotextile.



Répartition des fibres dans les trois directions avec nappes horizontales rapprochées.

Fig. 4. Voorbeelden van theoretische modellen die beschrijven hoe vezels van een volumineus omhullingsmateriaal in de ruimte verlopen (naar FAYOUX et al, 1982)

binaties van vezels met vier verschillende diktes. Hij doet een aantal verschillende aannames betreffende de wijze waarop de vezels in de ruimte langs elkaar heen lopen (zie fig. 4). Uiteindelijk willen zij komen tot de voorspelling van de poriegrootteverdeling aan de hand van de gebruikte vezels, het gewicht, de dikte en de structuur (wijze van veradelen etc.).

Het kan ook eenvoudiger. Dennis stelt een stukje omhullingsmateriaal schematisch voor als een kubus, die op zich weer bestaat uit een groot aantal denkbeeldige blokjes; zie fig. 5. De blokjes bestaan uit lucht: zij worden van elkaar gescheiden door de vezels waar het omhullingsmateriaal uit bestaat. Alle lijnen die op de kubus zijn getekend stellen dus vezels voor; die vezels lopen ook dwars door de kubus, maar die zijn voor de duidelijkheid niet getekend. Wanneer je nu een stuk

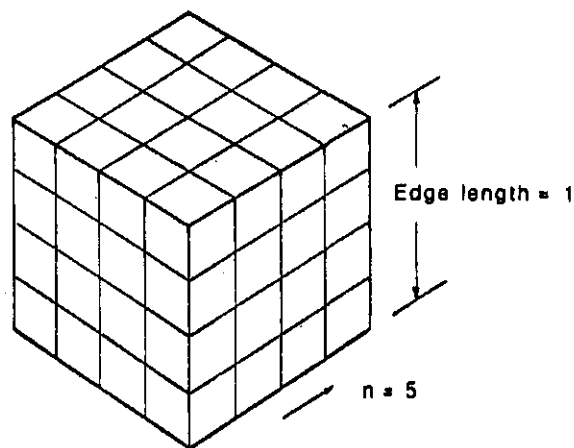


Fig. 5. De kubus van Dennis, waarmee op eenvoudige wijze de gemiddelde poriegrootte van een vezelvormig omhullingsmateriaal kan worden bepaald

omhullingsmateriaal weegt, en je weet ook precies de afmetingen, dan kun je, met bekend soortelijk gewicht van de vezel, de totale vezel-lengte in dat stuk omhullingsmateriaal berekenen. Omdat je dan die totale lengte weet is ook bekend hoe groot de afmeting van de kleine blokjes moet zijn, willen we de totale vezel-lengte in het gewogen stukje omhullingsmateriaal 'kwijt kunnen'. Met behulp van deze eenvoudige benadering zijn al realistische waarden berekend (DENNIS, 1983).

Concluderend kunnen we vaststellen dat er op het ogenblik een aantal onderzoekers bezig is de poriegrootteverdelingsbepalingen te perfectioneren. Het interessante hierbij is dat zij hierbij allen een eigen methode volgen. Onderling bestaan de nodige contacten, en de bewuste onderzoekers gaan er allen van uit dat uiteindelijk de verschillende methodes 'aan elkaar moeten worden geknoopt', en tot ongeveer dezelfde resultaten moeten leiden. Er is veel in beweging en ook op dit gebied valt de komende jaren de nodige vooruitgang te verwachten.

5. DE DOORLATENDHEID VAN OMHULLINGSMATERIALEN

Bij het bepalen van de doorlatendheid van omhullingsmaterialen is een aantal zaken aan de orde:

1. Op welke wijze wordt de doorlatendheid bepaald
2. Welke is de relatie doorlatendheid - mate van samendrukking van het materiaal
3. Bestaat er een relatie doorlatendheid - materiaalstructuur.

In de eerste plaats moeten we ons het belang realiseren van een goed doorlatend omhullingsmateriaal. Voor een goed werkend ontwateringssysteem is het belangrijk dat de doorlatendheid in de buurt van de buis hoog is en blijft. Dat betekent bij sleufloze drainage dat de bodem niet versmeerd mag zijn, en bij de meer traditionele drainage met behulp van sleuven dat de terugstort goed gestructureerd is. In veel theoretische beschouwingen wordt er van uitgegaan dat zich in het bodemmateriaal rondom het omhullingsmateriaal een natuurlijk filter ontwikkelt. Dat betekent, dat de fijnste bodemdeeltjes door het omhullingsmateriaal heen spoelen, en dus een relatief grof 'bodemskelet' achterlaten, dat beter doorlatend is geworden. De gedachtegang is dan dat de doorlatendheid van de bodem toeneemt hoe dichter je in de buurt van het omhullingsmateriaal komt. Dat is een mooie gedachte, maar helaas wel erg theoretisch. In de praktijk pakt het wel anders uit, en dat is ook geconstateerd in de proefopstelling in het laboratorium. Berekenen we de doorlatendheid van de verschillende bodemlaagjes op toenemende afstand van het omhullingsmateriaal dan zien we dat er van deze theorie in werkelijkheid maar weinig terecht komt. Ten gevolge van de relatief hoge stroomsnelheden van het water in de buurt van de buis raken veel bodemdeeltjes op drift. In veel gevallen blijven zij niet in suspensie, maar lopen ze elders in het bodemmateriaal weer vast, en in ernstige gevallen ontstaat dan een verslechte laag. De slechte doorlatendheid van die verslechte laag zorgt er uiteindelijk voor dat het ontwateringssysteem niet goed meer werkt. In het veld denken we dan vaak dat dit komt omdat het omhullingsmateriaal verstopt geraakt is. Dat hoeft dan dus helemaal niet het geval te zijn, maar in het veld kun je daar ook nauwelijks

achter komen. De doorlatendheid van omhullingsmaterialen is dus belangrijk, maar we moeten tevens goed in het achterhoofd houden wat er allemaal in de drainsleuf kan gebeuren. Het verloop van deze doorlatendheden wordt in deel 2 van dit rapport uitgebreid besproken en geïllustreerd aan de hand van ruimtelijke computertekeningen, die het verloop van de verschillende doorlatendheden in onderling verband, en als functie van de tijd, op overzichtelijke manier laten zien.

Een gebruikelijk doorlatendheids criterium voor granulaire omhullingsmaterialen is dat de doorlatendheid van dit soort materialen minstens 10 keer zo hoog moet zijn dan die van de omringende bodem, anders wordt de intree weerstand te hoog. We moeten ons afvragen of we dit criterium zonder meer mogen toepassen op volumineuze, en dunne materialen.

Op zijn weg door de bodem ondervindt het grondwater een aantal weerstanden; direct na infiltratie in de bodem een verticale stroming met een bepaalde weerstand, daarna stroomt het water een tijd min of meer horizontaal waarbij eveneens een bepaalde weerstand overwonnen moet worden, en tenslotte komt het in de buurt van de buis terecht: je komt dan in het gebied van de radiale stroming; zie fig. 6. Bekijken we dat gebied van de radiale stroming eens in detail, dan kun je stellen dat de weerstand die het water hier ondervindt een optelsom is van de weerstand van de verschillende bodemlaagjes die het water op zijn weg tegenkomt, plus de weerstand van het omhullingsmateriaal. Bij onze proeven willen we omhullingsmaterialen onderling gemakkelijk op hun eigenschappen vergelijken. Dat doen we door het omgekeerde van hun weerstanden, de doorlatendheden, te berekenen. Omdat alle materialen een verschillende dikte hebben, rekenen we een universele doorlatendheid uit: dat is de doorlatendheid die elk omhullingsmateriaal zou hebben wanneer het één meter dik zou zijn. Op deze manier krijgen we snel inzicht in de verschillende doorlatendheden, onafhankelijk van de dikte van de materialen. Stellen we dus het criterium, dat een granulair omhullingsmateriaal minstens een doorlatendheid moet hebben die tien keer zo hoog is als die van de omringende bodem, dan gaat het om deze universele doorlatendheid.

Betrekken we de dikte van de materialen in onze beschouwing, dan ziet het er ineens heel anders uit. Wanneer we een omhullingsmateriaal hebben met een bepaalde doorlatendheid, dan vormt dit materiaal een gro-

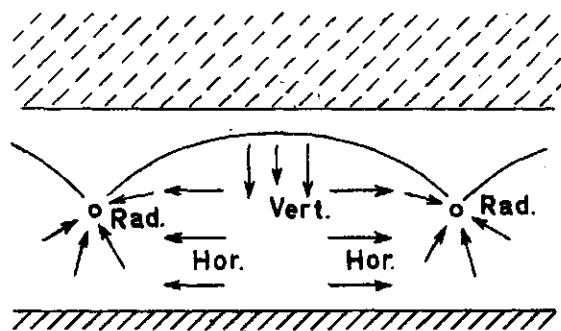


Fig. 6. Grondwaterstroming benaderd door een verticale, een horizontale en een radiale stroming

tere 'barrière' voor het er doorstromende water wanneer het dikker is: hoe dikker, deste groter de te overwinnen weerstand, en deste meer drukverlies. Anders gezegd: een omhullingsmateriaal kan niet al te best doorlatend zijn; maar als het erg dun is dan is het uiteindelijke drukverlies dat hiervan het gevolg is relatief gering en mogen we die situatie toch accepteren. Een gering drukverlies leidt immers tot een lage intreeweerstand.

Deze beschouwing vertaalt Giroud in nieuwe doorlatendheidscriteria voor omhullingsmaterialen (GIROUD, 1982). Trekken we deze criteria - die werden opgesteld voor dijkbeschuttingsmaterialen - door voor onze situatie, dan komen we tot de volgende cijfers:-

- granulair materiaal, met een dikte van bijvoorbeeld 5 cm: 10 x de doorlatendheid van het omringende bodemmateriaal,
- een volumineus omhullingsmateriaal met, onder bodemlast, een dikte van bijvoorbeeld 5 mm: ongeveer dezelfde doorlatendheid als die van het omringende bodemmateriaal,
- een dun omhullingsmateriaal met, onder bodemlast, een dikte van bijvoorbeeld 0,5 mm: een doorlatendheid die 1/10 is van die van het omringende bodemmateriaal is nog toelaatbaar.

Uiteindelijk geven deze drie materialen, bij dezelfde stromingsintensiteit van het water, een evengroot drukverlies. Overigens is het dikste materiaal dan toch nog enigszins in het voordeel, omdat er dan sprake is van een ontwaterend element (buis + omhullingsmateriaal) met

de grootste diameter. Conclusie: wanneer we van een nieuw materiaal de doorlatendheid gemeten hebben, mogen we dit niet onmiddellijk als onbruikbaar van de hand wijzen als het een niet al te hoge (verzadigde) doorlatendheid heeft. Gezien de conclusies van Giroud lijken de huidige doorlatendheidscriteria voor de in ons land gebruikelijke omhullingsmaterialen gedateerd en misleidend, omdat zij sterk lijken op de algemeen geaccepteerde criteria voor granulaire materialen, en dus gemakkelijk door ontwerpers van ontwateringssystemen toegepast worden op alle andere materialen.

Op het moment dat dit rapport ter beschikking komt, is een aantal onderzoekers, onderling onafhankelijk, bezig met gedetailleerde studies die tot doel hebben de doorlatendheid van de verschillende soorten omhullingsmaterialen op een zo betrouwbaar mogelijke wijze te bepalen. Eigenlijk weet iedereen ook wel dat de manier waarop dit altijd gebeurt, ook in ons laboratorium, niet geheel juist is. We meten drukverschillen van het water aan weerszijden van de omhullingsmaterialen, en dit levert, in combinatie met de stromingsintensiteit van het water, doorlatendheden op. De fout die we hierbij maken is dat we voor het berekenen van de uiteindelijke waarden gebruik maken van een natuurkundige wet die eigenlijk alleen geldt voor granulaire materialen; zand en grind etcetera. De omhullingsmaterialen, met uitzondering van polystyreenkorrels in folie, zijn geen granulaire materialen: zij bestaan immers uit vezels en niet uit korrels. De laatste jaren echter wordt hier kritisch tegenaan gekeken en dit heeft geleid tot het nodige onderzoek. Hierbij zoekt men naar a) betrouwbaarder methoden voor het bepalen van de doorlatendheid, en b) relaties tussen gemeten doorlatendheden en materiaalopbouw (vernadelen, weven etc.). Duidelijke relaties werden al gevonden tussen doorlatendheid en vezeldiameter, porositeit, bodemdruk en dergelijke. Dit soort resultaten is erg belangrijk: zij moeten worden gezien als een eerste stap op weg naar productie-specificaties voor omhullingsmaterialen, die dan z6 ontworpen kunnen gaan worden, dat zij hun functie optimaal vervullen. Zo ver is het echter nog lang niet: aan het beantwoorden van vragen als 'hoe is het uiteindelijk verloop van de doorlatendheid wanneer een materiaal gedeeltelijk verstopt' zijn we nog niet toe.

6. DE INVLOED VAN DE GRADIËNT OP VERSTOPPINGSPROCESSEN

De gradiënt kwam al eerder ter sprake: het is het verloop van de waterdruk, die vlakbij de buis en het omhullingsmateriaal een beslissende invloed heeft op erosie-, suffosie-, en verstoppingsprocessen. Uit stromingswetten kunnen we leren, dat die gradiënt toeneemt als de afgevoerde hoeveelheid water per tijdseenheid (per dag bijvoorbeeld) groter is. Hoge gradiënten in de buurt van de buis betekenen tegelijkertijd grote verschillen in waterdruk op korte afstanden in de bodem en bij het omhullingsmateriaal. Grote verschillen in waterdruk resulteren weer in grote krachten die op de bodemdeeltjes worden uitgeoefend. Dan hangt het er maar van af hoe goed die bodemdeeltjes bestand zijn tegen die (sleep)krachten, vooral daar waar die deeltjes tegen het omhullingsmateriaal aanliggen. Het is in ieder geval duidelijk dat er onder hoge gradiënten meer materiaal op drift zal raken dan onder lage. We moeten in dit verband dus naar drie zaken kijken: de waarde van de gradiënt, de bodemeigenschappen, en hoe de overgang bodem/omhullingsmateriaal eruit ziet. Van de vele onderzoekers die de invloed van de gradiënt hebben bestudeerd noemen we Loudière en Fayoux, omdat hun werk het meest uitgebreid en het meest recent is. Ze voerden doorstromingsproeven uit met drie bodemtypen: een kleiïg silt, een silt en een zeer fijn zand. Het gebruikte omhullingsmateriaal was bidim met een gemiddelde poriediameter van 125 μm . De doorstromingsproeven duurden negen maanden, gedurende welke de gradiënt negen maal werd verhoogd. Bij het siltige materiaal traden de meeste problemen op. Kwam de gradiënt boven een bepaalde waarde, de zogenaamde kritische gradiënt (i.c. 8), dan nam de afgevoerde hoeveelheid water per tijdseenheid sterk af, de doorlatendheid van het bodemmateriaal nam weliswaar toe, maar op de overgang met het omhullingsmateriaal trad sterke verstopping op. Bij het zeer fijne zand waren er nauwelijks problemen: door natuurlijke filteropbouw in de buurt van de bidim vertienvoudigde de doorlatendheid, en ook bij deze hoge gradiënten bleef het systeem goed functioneren. De resultaten, geboekt met het kleiïge silt leken sterk op die, behaald met het zeer fijne zand. Alleen bij het silt traden er dus problemen op. Het resultaat was in strijd met wat men had verwacht: bij lage gradiënten waren er nauwelijks verschillen, maar bij hogere

wel degelijk. De geboekte resultaten worden zeker beïnvloed door het feit dat de gebruikte bodemmaterialen vóór de aanvang van de proef niet werden samengeperst (compactie). Uit deze exercitie blijven drie belangrijke constateringën hangen: de tijdens het experiment optredende, niet met opzet ingestelde, gradiëntsveranderingen in de doorstromingsopstelling, de belangrijke invloed van de gradiënt op het gedrag van de eenheid bodem/omhullingsmateriaal, en de ogenschijnlijk grote tolerantie die we hebben te betrachten met betrekking tot de gebruikelijke filterregels (LOUDIÈRE ET FAYOUX, 1982).

Een andere belangrijke bijdrage op dit gebied wordt geleverd door Willardson uit de Verenigde Staten. Op Utah State University heeft men het concept van de kritische hydraulische gradiënt verder uitgewerkt. De verschillende bodemtypen hebben een uiteenlopend vermogen om de krachten te weerstaan die het gevolg zijn van de waterstroming door de poriën. Sommige bodemtypen zijn 'sterker' dan andere - ze hebben een grotere cohesie - en kunnen dus een sterkere waterstroming weerstaan voordat de structuur kapot gaat; we zeggen dan dat deze bodems een hogere kritische hydraulische gradiënt hebben. Uit een aantal bodemparameters kunnen we de kritische hydraulische gradiënt redelijk nauwkeurig schatten, en dan kunnen we van tevoren min of meer voorspellen, hoe goed een bepaald bodemtype bestand zal zijn tegen sterke grondwaterstroming (SAMANI, 1981).

Gebleken is, dat bodems beter bestand zijn tegen de sleepkracht van het grondwater naarmate zij beter worden ondersteund. In een niet-verstoord bodemprofiel is dat geen probleem: een denkbeeldig stukje bodemmateriaal is in evenwicht met zijn omgeving, wordt aan alle kanten maximaal ondersteund, en ten gevolge van grondwaterstromingen zal er doorgaans weinig structuurbederf optreden. Anders wordt het wanneer een bodemprofiel goed gestructureerd is. In een zware kleigrond bijvoorbeeld kunnen tijdens uitdroging in de zomer verticale spleten ontstaan, die tot op de drain kunnen doorlopen. Valt er dan een bui, dan stroomt vrijwel al het water langs de spleten naar de drain. Het bodemmateriaal dat in de spleten dagzoomt is niet ondersteund en spoelt dus vrij gemakkelijk weg. Deze situatie komt in ons land niet veel voor, maar is wel illustratief. Voor Nederland is de situatie meer relevant waar bodemmateriaal tegen een omhullingsmateriaal aan ligt. Zijn de

poriën van zo'n omhullingsmateriaal erg ruim, dan wordt het bodemmateriaal te weinig ondersteund en spoelt het al bij lage gradiënten de buis in. Dit blijkt soms het geval te zijn bij sommige in Nederland in gebruik zijnde volumineuze materialen. Alle geteste dunne materialen hebben relatief kleine poriën en houden het bodemmateriaal zeer goed tegen, maar het risico voor verstoppingen is ook groter. Veranderingen in de gradiënt kunnen de wijze van verstoppen van volumineuze omhullingsmaterialen beïnvloeden. Afhankelijk van het soort materiaal kan gradiëntverhoging leiden tot een verplaatsing van het verstoppingsmateriaal naar het nog niet verstopte deel van het omhullingsmateriaal toe (LERK, 1965; MINTZ, 1966). Deze betrekking wijst op een evenwicht tussen enerzijds de schuifsterkte van het afgevangen (bodem)materiaal en anderzijds de schuifspanning die door het stromende water wordt uitgeoefend. Onderzoekers verschillen van mening over het al dan niet bestaan van een dergelijk evenwicht, maar Mintz laat zien dat het effluent van een grotendeels verstopt filtermateriaal dat continu met helder water wordt gevoed, helder is, totdat de gradiënt wordt verhoogd: een deel van het eerder afgezette materiaal wordt dan uitgespoeld tot zich een nieuw evenwicht instelt en het effluent weer helder wordt. Bij elke gradiëntverhoging trad dit verschijnsel opnieuw op.

Aan de invloed van de gradiënt is bij het laboratoriumonderzoek op het ICW tot nu toe nauwelijks aandacht besteed. Bij hervatting van het onderzoek - najaar 1983 - zal echter bij de doorstromingsproeven bij verschillende gradiënten worden gemeten. Het schokgewijze veranderen van de gradiënt blijkt ook belangrijk te zijn: een plotselinge verhoging kan al tot inspoeling leiden, ook al blijft de gradiënt onder de kritische waarde (DIERICKX, 1982). De laboratoriumopstelling, in combinatie met de deeltjesgrootteteller,[†] is bij uitstek geschikt om effecten van verschillende gradiënten en -veranderingen nauwgezet te bestuderen (per proef vier kolommen beschikbaar, debietmeters met hoge nauwkeurigheid, granulaire analyse van gesuspendeerde bodemdeeltjes te allen tijde en overal in een kolom mogelijk, etc.).

[†]) Zie pagina 97 en 98.

7. DE PORIENGEOMETRIE IN VOLUMINEUZE MATERIALEN

Onderzoek met behulp van de doorstromingsopstelling heeft aangetoond, dat een poriegrootteverdeling van een volumineus omhullingsmateriaal nog niet zoveel zegt over de zanddichtheid van zo'n materiaal. Gebleken is namelijk, dat vier soorten polypropreen omhullingsmateriaal die naar verwachting min of meer dezelfde poriegrootteverdeling hebben - de pF-curves van deze materialen zien er vrijwel hetzelfde uit - grote verschillen vertonen wat zanddichtheid betreft: de hoeveelheid door deze materialen gespoeld bodemmateriaal liep uiteen van 41 tot 946 mg per cm^2 omhullingsmateriaal. Naast de ruimtelijke verdeling van de poriegroottes moet dus ook de inwendige vorm van de poriën, de poriëngeometrie, een rol spelen. Het lijkt vooralsnog niet mogelijk die geometrie op de een of andere manier wiskundig te beschrijven; in de wetenschappelijke literatuur is er nauwelijks iets over te vinden. In deze richting moet dus een stuk onderzoek worden geïnitieerd: informatie over de poriëngeometrie is voor ons probleem onontbeerlijk.

Op de International Drainage Workshop te Washington, DC in december 1982 kwam het ICW met een onderzoekvoorstel in dit verband. De voorgestelde test is gebaseerd op de volgende aanname. Stel we hebben twee omhullingsmaterialen, A en B, bijvoorbeeld cocos van omwikkelaars A en B. In het laboratorium hebben we gemeten, dat deze materialen nagenoeg dezelfde poriegrootteverdeling hebben. We meten ook de waterdoorlatendheid van A en B: die verschilt nogal. Onze aanname bestaat nu hierin, dat het omhullingsmateriaal dat het beste waterdoorlatend is, ook meer bodemdeeltjes doorlaat. Mocht dit inderdaad zo zijn, dan kunnen we het vermogen van een omhullingsmateriaal om bodemdeeltjes tegen te houden aan de hand van eenvoudig uit te voeren doorlatendheidsmetingen voorspellen, waarbij we niet meer louter afgaan op de poriegrootteverdeling van zo'n materiaal. Een en ander uiteraard in afhankelijkheid van het te draineren bodemmateriaal. Naar verwachting kan in 1984 met dit specifieke onderzoek worden begonnen; we hopen er dan snel achter te komen of het hier een bruikbaar concept betreft.

Geometrische aspecten van het kontaktoppervlak tussen bodemmateriaal en omhullingsmateriaal spelen een belangrijke rol. Recent onderzoek toonde opmerkelijke verschillen tussen het gedrag van vernadelde

synthetische materialen enerzijds, en de overige synthetische materialen anderzijds, waarbij louter is gekeken naar de zanddichtheid. De geconstateerde verschillen worden toegeschreven aan de verwachting dat bodemdeeltjes die tegen een omhullingsmateriaal met een glad oppervlak aanliggen, relatief vrij kunnen bewegen, en de neiging hebben zich onder de stromingsdruk los te maken. Bij synthetische materialen met een ruw oppervlak gaat dit veel moeilijker. De vernadelde materialen moeten in dit verband worden beschouwd als ruw, de overige (cerex, typar en dergelijke) als glad (SCHÖBER & TEINDL, 1979).

8. HET TRANSPORT VAN DEELTJES IN EN NABIJ OMHULLINGSMATERIALEN

Bij het transport van bodemdeeltjes onderscheiden we twee mechanismen. 1) Het transport van bodemdeeltjes die relatief klein zijn, en daarom voortdurend in suspensie zijn, en in die toestand door poriën stromen die gevormd worden door een stabiel skelet van (veel) grotere zandkorrels. De afmeting van de korrels die in suspensie zijn liggen in de orde van 10 micron* en kleiner, die van de zandkorrels die het stabiele skelet vormen zijn groter dan 20 à 30 micron. 2) Het transport van bodemdeeltjes die oorspronkelijk ingebed zijn in het bodemskelet, en door de sleepkracht van het water òf hieruit worden weggespoeld en in suspensie gaan, daarbij de grotere bodemdeeltjes in een stabiel skelet achterlatend (suffosie; zie fig. 7), òf een situatie waarbij het bestaande bodemskelet onder invloed van de sleepkracht van het water en de geringe mechanische ondersteuning (bijvoorbeeld door een omhullingsmateriaal met te wijde poriën) in zijn geheel wordt weggespoeld, en, al dan niet in suspensie - afhankelijk van de deeltjesgrootte - door een omhullingsmateriaal verdwijnt (contact erosie; zie fig. 8). Het transportmechanisme dat samenhangt met zeer kleine gesuspendeerde deeltjes wordt in het volgende hoofdstuk besproken, hier komen de in Nederland belangrijke processen erosie en suffosie ter sprake. Het op drift raken van bodemdeeltjes in de drainsleuf en in de buurt van het omhullingsmateriaal wordt vaak aangeduid als interne erosie. ZIEMS

* 10 micron = 10 μ m = 0.01 mm

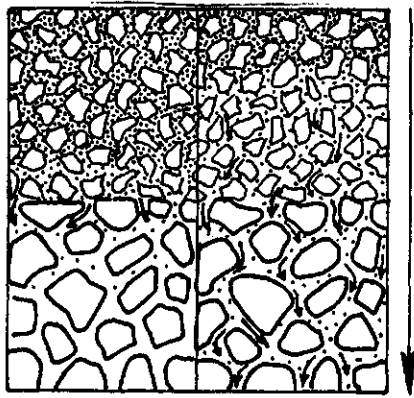


Fig. 7.

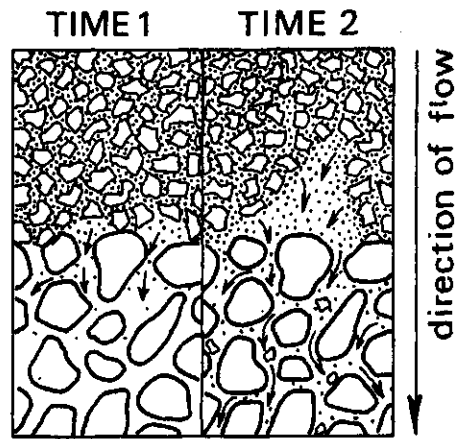


Fig. 8

(1969) geeft aan dat het verschijnsel in feite bestaat uit erosie en suffosie; de laatste term wordt slechts sporadisch gebruikt, onder andere door RYCROFT (1982). Een van de meest tot de verbeelding sprekende voorbeelden van schadelijke gevolgen van suffosie is verslemping: het dichtslaan van bodemlaagjes door elders op drift geraakte, zeer fijne bodemdeeltjes. Bij suffosie kunnen uiteindelijk zoveel kleine deeltjes uitspoelen dat het bodemskelet onstabiel wordt, en ook begint weg te spoelen.

Bij ondergrondse drainagesystemen moeten we contact erosie, dat is dus erosie die optreedt op de overgang bodem/omhullingsmateriaal, zo veel mogelijk zien te vermijden. Contact suffosie vinden we niet zo erg, zolang het omhullingsmateriaal maar niet dichtslaat. Contact suffosie heeft namelijk ook positieve aspecten; door het uitwassen van de kleinste bodemdeeltjes blijft het grove bodemskelet over dat een hogere doorlatendheid heeft dan het oorspronkelijke bodemmateriaal. De gevoeligheid voor het optreden van contact erosie wordt bepaald door verhoudingen tussen kenmerken van het omhullingsmateriaal (poriegrootteverdeling en dikte) en die van het bodemmateriaal (structuur, korrelgrootteverdeling). De mate waarin een type bodemmateriaal ontvankelijk is voor het optreden van suffosie wordt naast de pakkingsgraad voornamelijk bepaald door de vorm van de korrelgrootteverdelingcurve. Er bestaat een bepaalde vorm van die curve, getekend in fig. 9, waarbij de porositeit, het percentage lucht in het bodemmateriaal, minimaal moet zijn; deze vorm is wiskundig vastgesteld en dus in feite theoretisch, zij wordt echter door resultaten van laboratoriumexperimenten

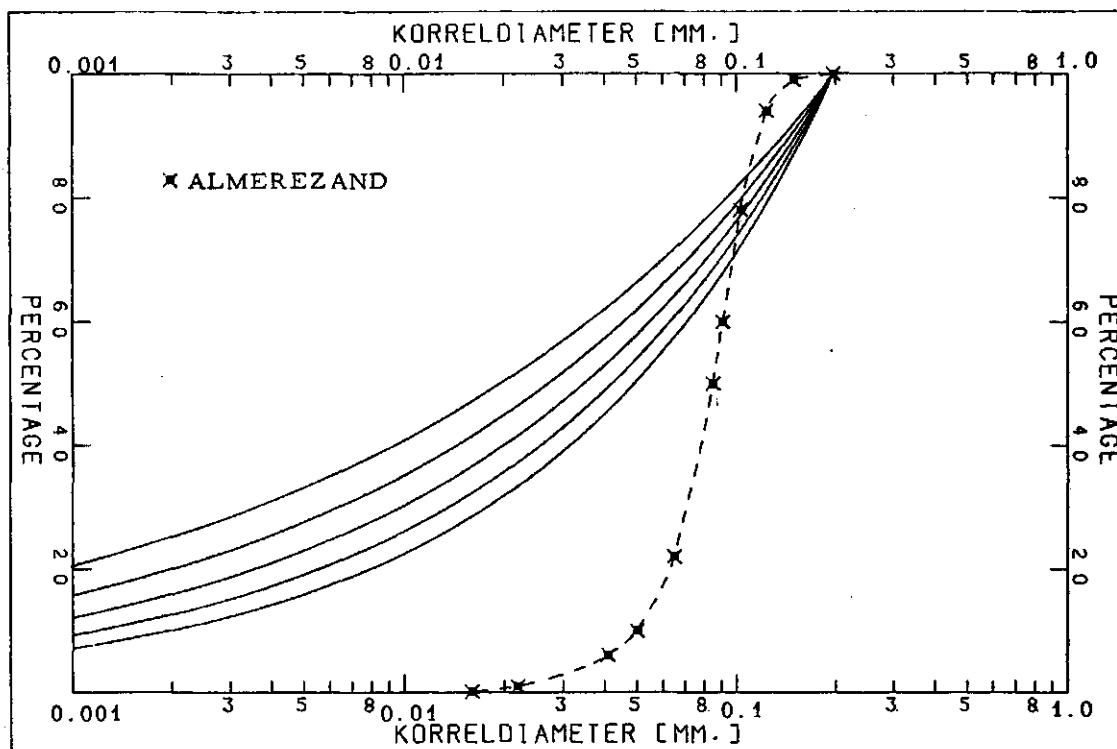
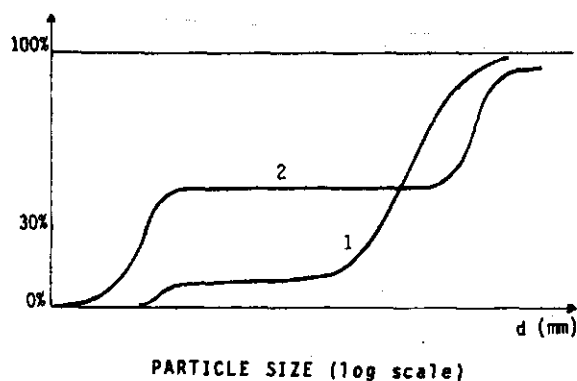


Fig. 9. Theoretisch suffosievrije korrelvergroottesverdelingscurven volgens verschillende onderzoekers (naar ZIEMS, 1969)

bevestigd. Bezit een bodemtype een minimale porositeit, dan passen de kleinere deeltjes als het ware precies in de grotere poriën, en dit leidt tot een zeer stabiel pakket. Hoe meer een korrelgrootteverdelingscurve van de in fig. 9 getoonde curven afwijkt desto gevoeliger moet de bijbehorende bodem geacht worden te zijn voor suffosieverschijnselen. Veel gebruikelijker en eenvoudiger is de zogenaamde uniformiteitscoëfficiënt, die min of meer aangeeft hoe groot het interval is waarbinnen alle bodemdeeltjes voorkomen. Is deze coëfficiënt hoog dan liggen alle diameters van de bodemdeeltjes binnen een klein interval, bij een lage uniformiteitscoëfficiënt zijn deze diameters sterk gespreid. In het algemeen is het zo, dat bodemmateriaal moeilijker door een omhulingsmateriaal heenspoelt wanneer de diameters van de bodemdeeltjes sterk gespreid zijn (lage uniformiteitscoëfficiënt).

Twee waarden van de uniformiteitscoëfficiënt zijn voor ons van bijzonder belang:—



Particle size distribution curves of two typical gap-graded soils.

Fig. 10. Twee korrelgrootteverdelingscurves die qua vorm nogal afwijkend zijn en een afwijkend inspoelingsgedrag vertonen (zie tekst)

1. De waarde 1: dit betekent dat alle deeltjes even groot zijn. Zo'n grond spoelt relatief gemakkelijker door een omhullingsmateriaal en is bijzonder instabiel, zelfs bij een hoge mate van compactie.
2. De waarde 3: men heeft gevonden dat bodems met deze waarde juist bijzonder stabiel zijn: zij bereiken de grootste dichtheid (i.c. de ruimte wordt het best opgevuld met bodemdeeltjes die ook goed 'in elkaar passen' als een soort ruimtelijke legpuzzle) en zijn meestal stabiel.

Uit het voorgaande is duidelijk dat er een globale overeenkomst moet bestaan tussen de korrelgrootteverdelingscurven in fig. 9 en een uniformiteitscoëfficiënt van ± 3 .

Wanneer we deze theoretische beschouwing in de praktijk willen toetsen blijkt het fors tegen te kunnen vallen. Als voorbeeld geven we korrelgrootteverdelingscurven van twee bodemtypen (zie fig. 10). No. 1 is een kleiïg grof zand met minder dan 30% aan zeer fijne deeltjes. Bij dit materiaal bestaat het dragende skelet uit zandkorrels, daartussen zijn de poriën gedeeltelijk opgevuld met de weinige fijne deeltjes die het materiaal nog bevat. De porositeit is hoog en het materiaal is niet stabiel wanneer er water door stroomt. No. 2 is een kleiïg grof zand met meer dan 30% aan zeer fijne deeltjes. Nu zijn de zandkorrels niet meer in contact met elkaar; zij 'drijven' in het kleiïge basismateriaal, en in dat geval moeten we, voor een analyse van de sta-

biliteit van het materiaal vooral onze aandacht richten op de kleiïge fractie. Contact suffosie is door meerdere onderzoekers in de praktijk geconstateerd. KOERNER spreekt in dit verband van 'soil adjustment', het zich aanpassen van het bodemmateriaal, en meent dat het onderzoek zich meer zou moeten toespitsen op eigenschappen van het bodemmateriaal. Resultaten van onderzoek uitgevoerd in opdracht van de Nederlandse Vereniging Kust- en Oeverwerken laten zien dat de veranderingen in de samenstelling van de ondergrond bij kunststoffilters in de civiele techniek voornamelijk plaatsvinden in een dun laagje direct onder het filter (+ 5 mm.). Het verloop van de waterdoorlatendheid van dit laagje en dat van de onderliggende grond zijn niet direct van elkaar afhankelijk. Het gedrag van het laagje grond dat tegen het filter aan ligt wordt gedeeltelijk door het filter bepaald. De omstandigheden waaronder de natuurlijke filteropbouw zich ontwikkelt wordt door K & O omschreven als dynamische belasting. Hieronder wordt verstaan de actie van bijvoorbeeld golfwerking, waarbij het water afwisselend in tegen-gestelde richtingen door het kunststoffilter stroomt. Bij ons, in landbouwkundige ontwateringssystemen, komt dit alleen voor bij systemen waar geïnfiltreerd wordt en bij doorspuiten. Indien bij ons dus een natuurlijk bodemfilter ontstaat zal dit waarschijnlijk het gemakkelijkst het geval zijn bij incidenteel hoge drainafvoeren. Overigens heeft men bij K & O geen verklaring kunnen geven voor het in het ene geval wèl, en in het andere geval niet ontstaan van een natuurlijke bodemfilter. Incidenteel kwam het voor, dat het bodemmateriaal dat tegen het filter aanlag slecht-doorlatend werd, of vrijwel volledig ondoorlatend werd (K & O, 1982).

Verslemping is al eerder genoemd als een van de schadelijke gevolgen van suffosie in het bodemmateriaal. Ook op dit gebied is er al enige ervaring; in bodemtypen met onregelmatige korrelgrootteverdelingscurven als getoond in fig. 10 komt nogal eens verslemping voor (RYCROFT, 1982). Ook bij K & O en in het ICW onderzoek is dit verschijnsel geconstateerd (K & O, 1982). Ook elders zijn pogingen gedaan om de omstandigheden waaronder zich een natuurlijk bodemfilter kan ontwikkelen, vast te leggen. In de Verenigde Staten zijn tests uitgevoerd met 12 verschillende, kunstmatig samengestelde bodemonsters met 0 tot 80 gewichtsprocent silt. Bij lage stroomsnelheden - en dus lage gradiënt -

ontwikkelde zich in bijna alle gevallen een natuurlijk bodemfilter (in dit geval niet bij typar). Nam echter de gradiënt toe dan sloeg het natuurlijke filter in veel gevallen alsnog dicht, waarbij de bodemtypen met de hoogste siltgehaltes de slechtste doorlatendheid kregen (HALIBURTON, 1982). Ook hier zien we dus weer dat het erg gevaarlijk kan zijn het verstoppingsgevaar louter te relateren aan korrelgrootteverdelingscurven van gronden.

Nauw verwant met erosie- en suffosieverschijnselen is de zanddichtheid van de verschillende typen omhullingsmaterialen. Hierover is al het nodige geschreven in eerdere hoofdstukken, maar enige aanvullende opmerkingen lijken hier op zijn plaats.

De zanddichtheid wordt doorgaans gekoppeld aan filterregels, die door talloze onderzoekers werden opgesteld. Bij deze filterregels wordt vaak een bepaalde korreldiameter met een poriediameter van omhullingsmateriaal vergeleken. Een veel gebruikte combinatie filterregels voor granulaire filters is:

d_{15} (filter) moet groter zijn dan 4 maal d_{15} (bodem); dit is het doorlatendheidscriterium,

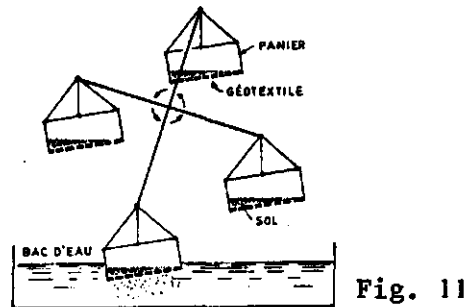
d_{15} (filter) moet kleiner zijn dan 4 maal d_{85} (bodem); dit is het zanddichtheidscriterium.

Hierbij zijn:

d_{15} : de korreldiameter van filter- of bodemmateriaal, waar 15 gewichtsprocent qua diameter onder ligt,

d_{85} : de korreldiameter van het bodemmateriaal, waar 85 gewichtsprocent qua diameter onder ligt.

Deze criteria, die door middel van laboratoriumonderzoek werden opgesteld kunnen nooit algemeen geldig zijn, gegeven de hierboven al gesignaleerde invloed van de gradiënt van het doorstromende water. Aandacht verdient in dit verband tevens de mate van compactie van het bodemmateriaal. Hoe sterker een grond is samengedrukt, deste stabielere deze in de regel zal zijn. Hiermee moet je rekening houden wanneer je een goed omhullingsmateriaal uitzoekt (GIROUD, 1982), maar wie kan exact voorspellen hoe de mate van compactie in de drainsleuf zal zijn



dispositif d'essai de filtration hydrodynamique

en hoe groot de variabiliteit hierin? Giroud stelt dat de vereiste maatgevende poriediameter van een omhullingsmateriaal, afhankelijk van de mate van compactie, een factor 2 kan verschillen! Dit onderstreept de betrekkelijkheid van door ons gebruikte criteria. RYCROFT (1982) heeft verschillende gebruikelijke criteria onderling vergeleken en in het laboratorium getoetst. Ook hij was tamelijk teleurgesteld en kwam tot de conclusie dat het gedrag van een bodemmateriaal een te gecompliceerd fenomeen is om louter uit korrelgrootteverdelingscurve te kunnen worden voorspeld. Bij zijn experimenten liep de ontwaterende functie van de doorstroomcilinders soms sterk terug ten gevolge van interne verslapping in het bodemmateriaal. Er werden geen systematische verbanden ontdekt tussen de mate van zanddichtheid tussen de verschillende materialen, wél tussen de uiteindelijke doorlatendheden van de geteste materialen. De zanddichtheid kun je ook op een meer dynamische manier onderzoeken, zoals bijvoorbeeld op de originele wijze van LOUDIERE en FAYOUX (1982). Zij maakten een molentje met vier bakjes, die een bodem hebben die bestaat uit het te onderzoeken omhullingsmateriaal. (zie fig. 11) Dit molentje draaide langzaam boven een ondiepe bak met water, zodanig dat elk bakje tijdelijk en gedeeltelijk ondergedompeld werd. Op deze manier introduceren ze een dynamische belasting van het systeem; het water stroomt in twee richtingen door het omhullingsmateriaal en het bodemmateriaal. Gebleken is, dat de hoeveelheid doorgelaten bodemmateriaal een niet-reproduceerbare grootheid is, die voornamelijk afhankelijk is van de proefomstandigheden. Opmerkelijk was wel, dat de diameter van het grootste doorgelaten deeltje vrijwel steeds hetzelfde was.

9. MICROMORFOLOGISCHE ASPEKTEN VAN MECHANISCHE VERSTOPPING

De bepalingen die sinds jaar en dag in laboratoria en in het veld worden uitgevoerd om de hydraulische aspecten van het functioneren van omhullingsmaterialen te onderzoeken geven geen informatie over de wijze waarop bodemdeeltjes in de gecompliceerde vezelstructuur van een volumineus omhullingsmateriaal worden vastgehouden en hoe het zit met de interactie bodem-omhullingsmateriaal. De morfologische benadering met behulp van optische microscopie of electronemicroscopie, waarbij dunne coupes van in hars gegoten delen bodem-omhullingsmateriaal worden bekeken kan elementen opleveren voor het beantwoorden van de vele vragen op dit terrein. Ook kunnen we misschien antwoorden vinden op vragen als: 'hebben de conditie van de bodem en het omhullingsmateriaal ten tijde van de installatie de interactie tussen die twee niet beïnvloed, en wellicht de graad van verstopping versterkt?', en 'in hoeverre zijn resultaten geboekt in het laboratorium representatief voor wat er in het veld gebeurt?'.

Is het werken met kunsthars gegoten monsters in Nederland niet gebruikelijk, voor het 'betere werk' op dit gebied moeten we naar Frankrijk, waar zeer geavanceerd werk is verricht door het Instituut Textil de France, in samenwerking met o.a. CEMAGREF te Parijs (SOTTON et al, 1982). In het veld heeft men vele monsters van omhullingsmaterialen in kunsthars ingegoten. De monsters waren tot 12 jaar oud. Uiteindelijk konden coupes worden gerealiseerd met een dikte van 50 μm (= 0.05 mm.), die met behulp van een transmissie- electronenmicroscopie konden worden bestudeerd. Het betreft hier monsters van kunststoffilters die in de civiele techniek worden toegepast, niettemin bestaat er naar verwachting een grote mate van overeenkomst tussen beide verstoppingsmechanismen, en daarom wordt aan de uitkomsten van dit onderzoek de nodige aandacht besteed. Zeer veel instanties binnen Frankrijk hebben samengewerkt om uiteindelijk te kunnen komen tot resultaten die thans zijn bereikt. Naast morfologisch onderzoek zijn ook doorlatendheden gemeten. Er bleek een redelijke mate van overeenstemming te bestaan tussen de uiteindelijke doorlatendheid en de geconstateerde mate van verstopping.

De bestudeerde filtermaterialen vertoonden allerlei mechanische

vervormingen zoals scheuren en compleet in elkaar gedrukte stukken. Deze factor drukt ons weer eens met de neus op de feiten: bij onze theoretische beschouwingen nemen we deze onvermijdelijke variabiliteit nooit mee maar hij is er wel degelijk, en maakt het overdragen van laboratoriumuitkomsten op veldomstandigheden extra moeilijk.

Na intensieve studie onderscheidt men drie soorten mechanische verstopping. Vrij vertaald zijn dit basisverstopping, interne verstopping en oppervlakkige verstopping.

Basisverstopping treedt op onmiddellijk bij installatie van het ontwateringssysteem. Het is een vrij ernstige verstopping, waarbij het omhullingsmateriaal als het ware 'volloopt' met bodemmateriaal, en vrijwel alle poriën met dit materiaal worden gevuld. Hoe groter de poriën in het omhullingsmateriaal, desto grover moet het bodemmateriaal zijn om deze wijze van verstopping te kunnen veroorzaken. Bij bidim bijvoorbeeld zijn het voornamelijk siltfracties, bij cocos kunnen zeer fijne zanden een belangrijke mate van verstopping veroorzaken.

Interne verstopping treedt uitsluitend op bij kleiïge en siltige materialen. De zeer fijne deeltjes zijn in suspensie en vormen langzaam groeiende huidjes op de vezels. Dit proces gaat, in afhankelijkheid van de concentratie van de suspensie, langzaam verder totdat zich tussen de vezels 'kleibruggen' gaan vormen, en je een gedeeltelijk verstoppt omhullingsmateriaal overhoudt met een sponsachtige structuur. Dit is deste erger naarmate de vezels dichter bij elkaar zitten; hier kan de interne verstopping overgaan in de basisverstopping. Vooral bij geweven materialen schijnt dit soort verstoppingen erg snel op te treden. Ondanks de vrij hoge verstoppingsgraad blijkt de uiteindelijke doorlatendheid niet tegen te vallen. Dit schrijft men toe aan de veronderstelling dat zich na enige tijd een evenwicht instelt tussen de per tijdseenheid gesedimenteerde hoeveelheid deeltjes, en de hoeveelheid weer uitgespoelde deeltjes.

Oppervlakkige verstopping treedt weinig op bij vernadelde- en veel bij dunne, eventuele geweven, materialen. Tijdens de eerste afvoergolf worden de instabiele bodemdeeltjes, na in suspensie te zijn geraakt, boven op het materiaal vastgehouden en vormt zich een oppervlakkige filterkoek.

Aan de hand van de hier verkregen kennis zijn we niet in staat om

omhullingsmaterialen te maken die vrij zouden zijn van verstoppingsverschijnselen, maar we kunnen er bij de toepassing van verschillende materialen wel op letten dat te sterke verstopping vermeden wordt. Bij te fijne vezels en dus kleine poriën bestaat gevaar voor interne verstopping; zijn de vezels te grof en de poriën te wijd dan kan basisverstopping gemakkelijk optreden. Ook zijn we gedeeltelijk in staat het verstoppingsgevaar, uitgaande van het te draineren bodemmateriaal, min of meer te voorspellen. Deze conclusies bevestigen de vermoedens, dat, in analogie met granulaire filtermaterialen, ook voor (synthetische) omhullingsmaterialen filterregels moeten kunnen worden opgesteld. Op dit moment is de hiervoor benodigde kennis nog in onvoldoende mate aanwezig.

10. FILTRATIE VAN ZEER FIJNE DEELTJES

Naast verstoppingsverschijnselen door deeltjes van het te draineren bodemmateriaal, dat in Nederland meestal niet in suspensie is gegeven de hiervoor te grote afmetingen, treedt op de langere termijn vaak tóch ernstige verstopping op. Naast chemische verschijnselen als ijzerverstopping betreft het dan de grote hoeveelheid zeer fijne deeltjes die aangevoerd worden met de immense hoeveelheden water die in de loop der tijd door het ontwateringssysteem moeten worden afgevoerd. Elk soort deeltje draagt in zekere mate bij tot de verstopping of beïnvloedt het verstoppingsproces op (on)bepaalde wijze. We kunnen deze 'invloed per stof' of elke gecombineerde invloed van stoffen die naast elkaar aanwezig zijn, onmogelijk kwantificeren; in ons grondwater overheersen silt- en kleideeltjes en plantenresten, maar in kleinere hoeveelheden zijn het er naar verwachting nog veel meer. Afgezien van de vraag of elke stof adequaat geanalyseerd zou kunnen worden (qua analysetechniek, kosten, en mede in acht genomen de voortdurende veranderingen in de samenstelling van de meeste watersoorten) is het mogelijke aantal combinaties van stoffen en van de factoren die hun gedrag beïnvloeden (zuurgraad, redoxpotentiaal, ionensamenstelling en -sterkte, temperatuur, complex gebondenheid van stoffen, lading, adsorptie van andere ionen en moleculen, coagulatie, polymerisatie, bacteriën, soorten kleideeltjes, oververzadiging, kleigehalte e.a.) zo gecompliceerd dat we al die stoffen

onmogelijk apart in beschouwing kunnen nemen (KIWA, 1982).

De deeltjes waar we het nu over hebben zijn zó klein, dat de lading van die deeltjes bij filtratie een rol speelt. De meeste natuurlijke materialen hebben aan hun oppervlak een negatieve elektrische lading; dat komt omdat aan dit oppervlak een relatief overschot bestaat aan negatief geladen deeltjes. Over de ladingstoestand van (synthetische) omhullingsmaterialen is zo goed als niets bekend. Wel weten we, dat de zwevende stof in grondwater, o.a. kleideeltjes, overwegend bestaat uit negatief geladen deeltjes. In de natuur stoten deeltjes met dezelfde lading (allebei positief of allebei negatief) elkaar af, op dezelfde manier als dit gebeurt met magneetpolen. Wanneer we dus bijvoorbeeld een negatief geladen polypropreen omhullingsmateriaal hebben zal er maar een kleine hoeveelheid kleideeltjes worden afgevangen; de vezels van de polypropreen stoten de kleideeltjes immers af. Op zich is dat prima, want die kleideeltjes spoelen de buis wel weer uit. Maar wat gebeurt er, in geval de polypropreen elektrisch positief geladen is? Precies, de vezels trekken de kleideeltjes aan, en het gevaar dat dat de PP met zijn relatief grote poriën door kleideeltjes toch verstopt raakt is reëel. Die negatieve lading van de deeltjes noemen we de zêtapotentiaal. De zêtapotentiaal is te beïnvloeden door stoffen aan het water toe te voegen, waardoor de deeltjes gaan samenklonteren (coaguleren) en daarbij een positieve lading krijgen (KIWA, 1982). Hierdoor is het mogelijk dat niet-gecoaguleerd water een geringere verstopping veroorzaakt dan ge-coaguleerd water, hoewel het niet-gecoaguleerde water meer zwevende stof en een veel hogere troebelheid heeft dan het ge-coaguleerde water.

Laboratoriumproeven tonen op dramatische wijze de mogelijke gevolgen van een interactie tussen de bodem en hier doorheen stromend water met een wisselende samenstelling. Een zandsteenmonster dat alleen met zeewater of gedestilleerd water werd doorstroomd, behield zijn doorlatendheid. Toen het monster echter eerst met zeewater en vervolgens met gedestilleerd water werd doorstroomd, nam de doorlatendheid praktisch onmiddellijk met meer dan 99% af (MUNGAN, 1965). Deze extreem snelle verstopping is het gevolg van swelling en dispersie (= het op drift raken) van kleideeltjes die zich tussen of op de zandkorrels in de bodem bevinden. Klei bestaat uit dunne, negatief geladen deeltjes die verschil-

lende vormen hebben (draadjes, vlokken of plaatjes, afhankelijk van het soort klei) en elkaar willen afstoten. Positief geladen deeltjes, de zogenaamde positieve ionen of kationen, die in het water tussen de kleideeltjes zitten, zorgen ervoor dat dit in de regel niet gebeurt. Hoe hoger het zoutgehalte van het grondwater des te hoger is de kationenconcentratie, en des te sterker zal de binding tussen de afzonderlijke kleideeltjes zijn. In zeewater zitten kleideeltjes daarom dicht tegen elkaar aan en nemen dus relatief weinig ruimte in beslag. Behalve de concentratie van de kationen is ook hun lading van belang; wordt die lading groter dan binden ze de kleideeltjes meer dan evenredig sterk aan zich. Met andere woorden, naarmate het grondwater minder zout, en dus de kationenconcentratie lager is, en het aantal sterker geladen kationen minder is dan het aantal minder sterk geladen kationen, is de binding tussen de kleideeltjes lossier. Klei-aggregaten kunnen dan gaan zwellen en hierdoor bodemporiën verkleinen, terwijl afzonderlijke kleideeltjes of brokjes los kunnen laten (kleidispersie), in suspensie gaan om elders poriën te blokkeren. Wanneer we dus een kleihoudend bodemonmonster laten doorstromen met steeds sterker verdund zeewater zal de aanwezige kleifractie steeds meer gaan zwellen. Wordt het zeewater verdrongen door natuurlijk zoet water dan hoeft er geen zwellen op te treden, omdat dit water vaak sterk geladen kationen (calcium en magnesium) bevat die het 'verlies' aan de ionen uit het zeewater compenseren; de ene soort kationen wordt gewoon tegen een ander soort uitgewisseld. We kunnen dus problemen verwachten in een bodemmateriaal dat een hoeveelheid klei bevat (1 gewichtsprocent is voldoende) en waarin de kationenconcentratie wordt verlaagd of sterker geladen kationen worden verdrongen door minder sterk geladen kationen.

Deze problemen spelen in Nederland maar in beperkte mate een rol. Toch kunnen ze belangrijk zijn in gebieden waar we te maken hebben met een sterk wisselende grondwaterkwaliteit. In gebieden dichtbij de kust waar kwelstroming optreedt kunnen in tijden van hoge neerslaghoeveelheden (seizoenswisselingen) veranderingen in ionenconcentraties voorkomen die mogelijk leiden tot (gedeeltelijke) verstopping in drainsleuf en omhullingsmateriaal. Naar verwachting zijn dunne omhullingsmaterialen in dit verband meer gevoelig voor verstopping; echter, ook volumineuze omhullingsmaterialen die al grotendeels zijn verstopt,



Fig. 12. Montmorillonietstructuur in verstoopt Ogalalla-zand, na doorstroming met een montmorillonietsuspensie (26 gr./l.) Uit KIWA (1982)

zouden door zwellling van kleideeltjes volledig ondoorlatend kunnen worden. Helemaal lastig wordt het wanneer we te maken hebben met verschillende kleisoorten; volgens SIGNOR (1973) verschillen niet alleen de verstoppende eigenschappen van kleisoort tot kleisoort, maar zelfs tussen kleimonsters van dezelfde soort, afkomstig van verschillende plaatsen.

Ook bij kleiverstoppingen kunnen we dankzij micromorfologische studies veel te weten komen over het verstoppingsmechanisme. Hoewel kleideeltjes gemakkelijk door omhullingsmaterialen kunnen heendringen is het van belang, dat één gewichtsprocent klei een natuurlijk filtermateriaal als zand nagenoeg geheel kan verstoppen, hoewel deze hoeveelheid klei slechts een fractie van de poriën kan vullen. Dit komt waarschijnlijk omdat de kleimaterialen in de poriën een structuur kunnen vormen die elke porie in een groot aantal miniporiën verdeelt. Montmorilloniet-klei (tegenwoordig smeciet genaamd) vormt een soort honingraatstructuur (fig. 12) zodat het een effectievere verstopper is dan bijvoorbeeld kaoliniet-klei, dat dit in veel mindere mate doet. Illiet vormt soms lange dunne draden (fig. 13) die ook drastische verlaging van de doorlatendheid met zich mee kunnen brengen.



Fig. 13. Illiet-kristaldraden, gegroeid in de poriën van 'Rotliegend' zandsteen. Uit KIWA (1982)

Hoewel we in zware gronden meestal kunnen afzien van het installeren van omhullingsmaterialen, lijkt het kleigehalte van vele andere lichtere bodems een rol te spelen bij sommige, schijnbaar onverklaarbare verstoppingsverschijnselen. De in dit hoofdstuk beschreven verschijnselen maken het voorspellen van mogelijke verstoppingsverschijnselen bij omhullingsmaterialen nog moeilijker dan we al dachten.

11. IJZERVERSTOPPING EN BIOCHEMISCHE VERSCHIJSSELEN

Micro-organismen kunnen een belangrijke verstoppingsoorzaak zijn door het materiaal dat zij bij hun groei en vermenigvuldiging in de bodem vormen. De snelheid waarmee de bacteriën zich vermenigvuldigen wordt bepaald door het voedsel dat elke bacterie kan bemachtigen. Verstopping door bacteriën kan bij ondergrondse drainagesystemen al na enkele weken ernstige vormen aannemen. De bacteriën vestigen zich op vast materiaal zoals vezels en bodemdeeltjes en groeien op hun eigen slijm-

afzetting. Voedselaanbod is steeds gegarandeerd dankzij de continue aanvoer van grondwater. Toch is het voedselaanbod begrensd, zodat het aantal bacteriën in de buurt van de buis niet onbeperkt kan blijven toenemen. De groei en de vermenigvuldiging stagneert uiteindelijk geheel; al het aangevoerde voedsel is nodig voor de endogene ademhaling. Verstopping door bacteriën wordt gekenmerkt door de weerstandsvermindering die optreedt als de waterafvoer tijdelijk stopt. In zo'n periode zonder voedselaanvoer sterven bacteriën af en kan rotting ontstaan (KIWA, 1982). Bacteriegroei heeft een nadelige invloed op de filterwerking omdat de slijmerige afzettingen zelf ook een extra filterwerking uitoefenen. Het hierboven beschreven fenomeen van biologische verstopping gaat bij ondergrondse ontwateringssystemen vaak samen met het voorkomen van ijzerafzettingen, die oorspronkelijk in het te draineren bodemprofiel en/of het grondwater aanwezig zijn. Sommige omhullingsmaterialen verstoppen eerder dan andere, maar er blijkt voor dit probleem nog altijd geen afdoende oplossing te bestaan.

De 'grondstof' voor ijzernerlagen in buis en omhullingsmateriaal is het tweewaardige ijzerion in oplossing. Hoe sterker de concentratie van dit ion in het grondwater, desto groter is de kans dat er ijzerverstopping optreedt. Hoe hoger het organisch stofgehalte in de bodem, desto meer van dat tweewaardige ijzerion er in het grondwater terecht komt. In de praktijk is gebleken dat, wil men in staat zijn om (toekomstige) ijzerverstopping te voorspellen, het onvoldoende is om alleen het ijzergehalte van de bodem te meten. Micro-organismen spelen namelijk een belangrijke rol bij het in het grondwater in oplossing brengen van het ijzer, en die micro-organismen komen in grotere aantallen voor bij een hoger organische stofgehalte omdat organische stof een uitstekende voedingsbodem voor ze is. In een uitgebreide studie in 26 staten in de Verenigde Staten tussen 1980 en 1982 bleek, dat fijne en siltige zanden, organische bodems en gemengde profielen met afbreekbare organische stof (wortelresten bijvoorbeeld) de meeste ijzerverstoppingsproblemen gaven. Bodems met een laag natuurlijk organisch stofgehalte, met uitzondering van fijne zanden, gaven de minste problemen. Fijne zanden zijn extreem gevoelig voor ijzerverstopping; een minimale hoeveelheid organische stof in het profiel is voldoende om het eventueel in de bodem aanwezige ijzer in grote hoeveelheden in het bodemvocht in oplossing te krijgen. Siltige kleigronden daarentegen vereisen een zeer hoog organisch stofgehalte voordat er iets in oplossing komt.

Het zijn vaak de dunne omhullingsmaterialen die het eerst dichtslaan door ijzerverstopping; in een laboratorium zijn enige van dit soort materialen onderzocht, te weten cerex, typar en polyester kous (FORD, 1983). De ontwikkeling van ijzernerlagen werd onder strigente randvoorwaarden nagebootst. De omhullingsmaterialen werden hiertoe gemonteerd op schoon aquariumzand, een zandige eerdlaag en een siltig materiaal. Daarnaast werden ze ook gemonteerd op een zeef met maaswijdte 6 mm en 20 mm, al dan niet in combinatie met bodemmateriaal. De verschillen in verstopping waren opmerkelijk. De polyester kous was in alle gevallen superieur ten opzichte van cerex en typar. Typar, dat iets dikker en steviger is dan cerex, verstopte steeds het snelst. Ford geeft twee redenen aan waarom de kous het minst snel verstopte. De kous is hydrofiel (= 'waterminnend') en bevochtigt gemakkelijk. Typar is hydrofoob (= waterafstotend): het water blijft op het materiaal liggen zodat slijm en andere verstoppende materialen zich snel over het verstoppende oppervlak kunnen verspreiden. Cerex ligt qua bevochtiging tussen beide materialen in. Ook de structuur van de vezels heeft invloed op de wijze waarop de verstopping wordt gevormd. De vezels van de gebreide kous bestaan stuk voor stuk uit een groot aantal draadjes: het water trekt direct in de vezels i.c. tussen de draadjes en daar vormt zich het slijmvormige materiaal; niet ertussen. Bij cerex en typar zijn de vezels massief en kan de ijzerverstopping niet anders dan zich tussen de vezels afzetten; er is geen andere mogelijkheid.

De meest acceptabele manier om ijzerverstopping te verwijderen is doorspuiten (milieuvriendelijk). In 1982 is in Californië een doorspuitonderzoek verricht waarbij buizen, omhuld met de drie eerder genoemde materialen zijn doorgespoten. Typar en polyester kous werden onder hoge druk soms beschadigd wanneer de spuitkop ergens bleef steken; cerex daarentegen werd veelal aan flarden gespoten. De polyester kous kwam dus als het beste uit de bus. Het chloreren van water, toegepast in onder andere persputten van drinkwaterleidingbedrijven in ons land (KIWA, 1982), waardoor de bacteriën worden gedood, is bij landbouwkundige ontwateringssystemen mogelijk noch wenselijk. Een andere, nauwelijks uitvoerbare, 'oplossing' is het leggen van zuigdrains op een zodanige diepte, dat zij, onafhankelijk van het seizoen, onder het freatisch niveau (de grondwaterspiegel) liggen. We zullen waar-

schijnlijk met het ijzer (en zwavel etc.) probleem moeten leren leven. Een ondergronds liggende, beluchte drainbuis en ijzerhoudend grondwater zijn immers incompatibele elementen; zij kunnen niet zonder problemen naast elkaar bestaan en zijn 'wederzijds intolerant'. Het enige advies dat met de huidige stand van de techniek gegeven kan worden is regelmatig doorspuiten. Hierbij dient de kostenfactor te worden geminimaliseerd en moet het gebruikte omhullingsmateriaal bij dit doorspuiten weer goed-doorlatend worden, en niet teveel bodemmateriaal doorlaten. Welke categorie omhullingsmaterialen bij ijzerrijke bodemtypen de voorkeur verdient is thans nog niet met zekerheid te zeggen; het lijkt erop dat dit de groep volumineuze materialen betreft.

12. ELECTROSTATISCHE VERSCHIJNSELEN

Vooraf bij relatief zeer kleine bodemdeeltjes zoals kleideeltjes spelen electrostatische verschijnselen bij het filtratieproces een rol. Dit vermoeden bestaat al lang en stoelt op het feit dat deeltjes die veel kleiner zijn dan de poriën in het omhullingsmateriaal, toch worden tegengehouden. In hoofdstuk 10 werd dit verschijnsel al aan de orde gesteld. Dat we hier op een gecompliceerd terrein zijn beland is wel duidelijk want in de literatuur is er weinig over te vinden. Iedereen spreekt zijn vage vermoedens uit, en sommige auteurs komen tot de weinig hoopgevende conclusie 'alles heeft invloed' (KELLNER et al, 1982). We zijn zelfs nog niet zo ver dat we verschillen in eigenschappen tussen bijvoorbeeld polyetheen en polypropreen kunnen vaststellen. Een goed overzicht van de krachten die in het spel zijn wordt gegeven door WESSELINGH (1980). Hij maakt onderscheid tussen krachten die op 'grote' afstand tussen deeltjes werken (afstanden groter dan 10^{-8} meter, dat is zeer klein; 0.000001 cm of 0.00001 mm!). Worden de afstanden nog kleiner dan komen er andere krachten in het spel, te weten:-

1. aantrekkingskrachten tussen vezels van het omhullingsmateriaal en een bodemdeeltje; de zogenaamde van der Waals krachten. Zij worden veroorzaakt door elektrische ladingen in tegen elkaar aanliggende moleculen, en worden snel groter als de deeltjes dichterbij de vezels komen.

2. bepaalde zeer lange moleculen van vezels of deeltjes (macro-moleculen of polymeren) kunnen aan elkaar vasthechten; dit zijn verschijnselen uit de kolloïdchemie.
3. krachten die nodig zijn om het dunne laagje water tussen vezels en bodemdeeltjes weg te persen, deze krachten hangen samen met de viscositeit (=stopperigheid) van het water.
4. afstotende krachten tussen vezels van het omhullingsmateriaal en een bodemdeeltje; dit is het geval als zij aan het oppervlak een gelijksoortige lading bezitten. Maar als het water positief geladen ionen, kationen (zie hoofdstuk 10) bevat, worden deze krachten grotendeels opgeheven omdat zij de ladingen van de bodemdeeltjes grotendeels kunnen neutraliseren.

Alle genoemde verschijnselen kunnen door elkaar voorkomen en kunnen niet worden geobserveerd. Dit maakt het voorspellen van het verstoppingsgevaar alweer moeilijker dan we al dachten. We moeten ons in ieder geval goed realiseren hoeveel factoren er in het spel zijn bij verstopping van omhullingsmaterialen. Het onderzoek aan electrostatische verschijnselen is zeer specifiek en gezien de huidige onderzoeksprioriteiten lijkt het niet waarschijnlijk dat het ICW binnenkort in deze activiteiten zal ontplooiën.

13 BODEMAGGREGATEN EN VOCHTGEHALTE

Wanneer we de eigenschappen van het te draineren bodemmateriaal in beschouwing nemen, kijken we altijd naar de korrelgrootteverdeling. Die korrelgrootteverdeling blijkt ook zeer belangrijk om een bodem te klassificeren. Maar in het veld ligt de situatie toch wel even anders. Het blijkt namelijk dat vrijwel elke bodem een zekere structuur, een zekere regelmatige opbouw heeft. De bodemdeeltjes liggen niet los op elkaar, maar zijn in de meeste gevallen in groepjes aan elkaar gekit; we noemen dit bodemaggregaten. De mate van verkitting is soms zó sterk, dat de grootteverdeling van de aggregaten meer bepalend is voor het gedrag van de bodem dan de originele korrelgrootteverdeling. Het belang van analyse van aggregaten is onderkend door DIERICKX (1982) en LAGACÉ (1983) die het meest recente onderzoek op dit gebied op hun naam hebben

staan.

Dierickx heeft aangetoond dat de structuur van een te draineren bodem een belangrijke parameter is in verband met het verstopping van omhullingsmaterialen en zandinspoeling in de buis. Er wordt bij het onderzoek aan materialen nog veel te weinig aandacht aan de structuur geschonken. De stabiliteit van bodemaggregaten hangt niet alleen af van de samenstelling van de bodem, maar ook van het vochtgehalte en de stromingsdruk van het grondwater. Hoge hydraulische gradiënten die optreden bij dito stroomsnelheden kunnen aggregaten doen uiteenvallen, waarna door interne erosie en/of suffosie andere poriën verstopping, en de hydraulische doorlatendheid af kan nemen. In een laboratoriumopstelling testte Dierickx enige omhullingsmaterialen, waarbij het initiële vochtgehalte van het bodemmateriaal en de hydraulische gradiënt werden gevarieerd. Bij opwaartse stroming deden zich meer problemen voor dan bij neerwaartse stroming. De dikte van het gebruikte bodemonmonster had geen enkel effect op de resultaten. De uitgangstoestand van het bodemmateriaal is destee meer van belang.

Lagacé heeft veldonderzoek gedaan in Québec, waarbij de grootteverdeling van bodemaggregaten in en buiten drainbuizen werd bepaald. Hiertoe werd op 13 bedrijven op 25 plaatsen bodemonsters genomen: in de drains, vlak daarbuiten en op 50 centimeter afstand. De hoogte van het sediment in de buis werd gemeten naast nog een vijftal grootheden, aan de hand waarvan de sedimentatiediepte in de buis kan worden voorspeld. Wordt bij deze voorspelling niet alleen de korrelgrootteverdeling, maar ook de aggregaat-grootteverdeling gebruikt, dan leidt dit tot significant betere voorspellingen van de te verwachten mate van inzanding.

De invloed van het vochtgehalte is ook onderzocht door LOUBINOX (1982). Het bleek dat bij bidim de hoeveelheid doorgespoeld bodemmateriaal sterk afhankelijk was van het initiële vochtgehalte van de bodem; bij typar was dit in veel mindere mate het geval. De samenstelling van het bodemmateriaal bepaalt ook voor een deel de gevoeligheid voor verschillen in vochtigheidsgraad. Bevat een bodemdeeltjes met sterk uiteenlopende groottes (we zeggen dan dat een bodem 'slecht gesorteerd' is) dan neemt het aantal deeltjes dat door een omhullingsmateriaal spoelt toe wanneer de vochtigheidsgraad van de bodem in het begin hoger was; is een bodem echter 'goed gesorteerd', dat wil zeggen alle deeltjes

hebben min of meer gelijke afmetingen, dan heeft het initiële vochtgehalte weinig invloed. Het initiële vochtgehalte is weer een voorbeeld van een grootheid waarvan we de waarde slechts bij benadering kennen.

Uit het hierboven besproken werk blijkt dat het succes van een drainagesysteem, naast vele andere factoren, sterk afhankelijk is van de vochttoestand van de bodem tijdens installatie. Dat we onder zeer natte omstandigheden niet mogen draineren wisten we natuurlijk al lang, al wordt het in de huidige concurrentiestrijd wel gedaan. Dat de zaak echter zó gevoelig kan liggen als met name Dierickx heeft aangetoond bewijst andermaal hoe hachelijk het voorspellen van verstoppingsgevaar kan zijn. Bodemaggregaten zijn het meest stabiel bij een vochtgehalte van 17.5 à 20%. Bij lagere vochtgehaltenes kunnen ze uit elkaar vallen door de hoge stromingsdruk van het water, en bij hogere vochtgehaltenes zijn ze gevoelig voor compactie ten gevolge van de bodemlast. Een gevolg van de vochtgehalte-problematiek zou kunnen zijn dat een ontwateringssysteem aangelegd in een bepaald perceel uitstekend kan functioneren, terwijl hetzelfde systeem, indien dit onder andere omstandigheden - bijvoorbeeld een ander seizoen - zou zijn geïnstalleerd, misschien niet bevredigend werkt.

14 FILTERREGELS

Dit hoofdstukje is bewust achteraan geplaatst. Nu de lezer kennis heeft kunnen nemen van vele factoren die een rol kunnen spelen bij het verstoppelen van omhullingsmaterialen en drainbuizen begrijpt hij/zij waarschijnlijk beter hoe moeilijk het is om voor alle mogelijke situaties bruikbare regels op te stellen met betrekking tot de keuze van het meest geschikte omhullingsmateriaal. Louter afgaan op geometrische factoren als poriegrootte- en korrelgrootteverdelingen kan nooit voldoende zijn; toch is het meestal dit soort criteria dat wordt voorgesteld. We zouden op dit moment een groot aantal bestaande, elkaar soms tegensprekende, criteria kunnen opsommen, zowel voor granulaire filtermaterialen, als ook voor de in Nederland thans in gebruik zijnde synthetische, en organische omhullingsmaterialen. We doen dit bewust niet, omdat dan het gevaar bestaat dat de lezer 'door de bomen het bos niet meer ziet'.

We pretenderen evenmin dat het mogelijk zou zijn om na drie jaar onderzoek bruikbare criteria aan te geven. Wel zullen in de conclusies die aan het einde van het tweede deel van dit rapport - de bespreking van de onderzoekresultaten - kunnen worden getrokken enige aanbevelingen voorkomen die nuttig zijn bij een verantwoorde selectie van geschikte omhullingsmaterialen onder verschillende omstandigheden.

15. METHODEN VOOR HET ONDERZOEKEN VAN OMHULLINGSMATERIALEN

De laatste 15 jaar hebben zich rond omhullingsmaterialen in ons land de nodige veranderingen voltrokken. De voortdurende stroom van nieuwe materialen kan door de onderzoeksinstellingen, die de materialen moeten onderzoeken, maar met moeite worden bijgehouden. De meeste van de aangeboden materialen worden in opstellingen in laboratoria onderzocht, waarbij de veldomstandigheden zo goed mogelijk worden nagebootst. Dit soort onderzoek levert meestal geen consistente en reproduceerbare resultaten op, tenzij verstrekkende voorzorgsmaatregelen worden getroffen. Aan de hand van in het laboratorium verkregen gegevens zijn niet met volledige zekerheid uitspraken te doen over de bruikbaarheid van een materiaal. Het is echter een feit dat laboratoriumonderzoek de enige manier is om binnen korte termijn redelijk betrouwbare onderzoeksgegevens te verkrijgen. Materialen die goed door een laboratoriumtest komen zullen ook in het veld getest moeten worden om de praktische bruikbaarheid te onderzoeken.

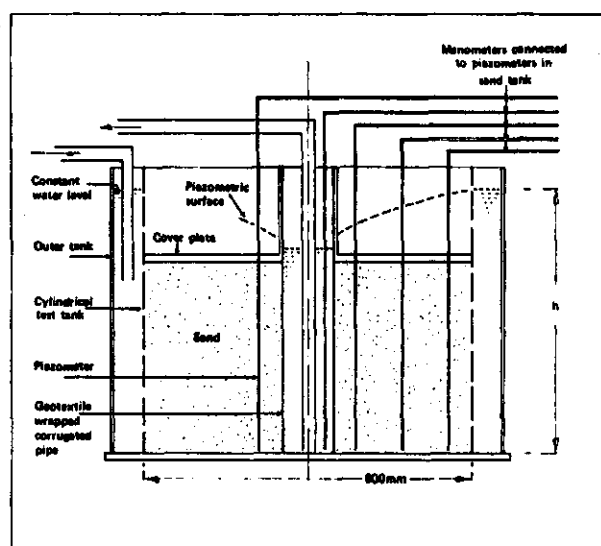
In verschillende laboratoria zijn en worden talloze typen doorstromingsopstellingen gebruikt. Drie Nederlandse typen worden hier summier beschreven:-

1. Een verticaal cilindervormig model met radiale stroming,
2. Een horizontaal model met radiale stroming.
3. Een verticaal cilindervormig model met tweedimensionale stroming.

1. *Een verticaal cilindervormig model met radiale stroming.* Figuur 14 is een schematische weergave van een model dat op het ICW is ontwikkeld en daar 13 jaar lang is gebruikt. Kopieën van dit model zijn in gebruik

EXPERIMENTS TO DETERMINE THE EFFECT OF HYDRAULIC
CONDUCTIVITY OF A GEOTEXTILE WRAPPED PIPE

Experiments were carried out in a sand tank,
similar to that described by Knops.



SECTION THROUGH SAND TANK APPARATUS.

Fig. 14. Een vertikaal cilindervormige doorstromingsopstelling die lange tijd op het ICW is gebruikt

in Roemenië en Engeland. Met behulp van dit model is getracht het verkrijgen van betrouwbare, reproduceerbare resultaten te combineren met een goede hanteerbaarheid en snelheid van werken. De gebruikte bodemonsters waren matig fijne zanden met een verzadigde waterdoorlatendheid van 8 à 10 meter per dag. Een monster van een vooromhulde buis wordt verticaal in het midden van het model geplaatst. Het water stroomt van de wand van het model in radiale richting van alle kanten naar de buis toe (putstroming) en wordt met behulp van een hevel afgevoerd. De doorlatendheid van bodem- en omhullingsmateriaal kan worden berekend uit afvoercijfers en waterstanden in de opstelling. De intree-
weerstand van de combinatie buis + omhullingsmateriaal (een maat voor de weerstand die het water moet overwinnen om in de buis terecht te komen) wordt afgeleid uit de waterstanden in, en net buiten de drain, en de afgevoerde waterhoeveelheid per tijdseenheid. Enige resultaten van de uitgevoerde metingen staan in figuur 15, waar intreeweerstand
zijn uitgezet tegen de dikte van omhullingsmaterialen. Uit deze figuur

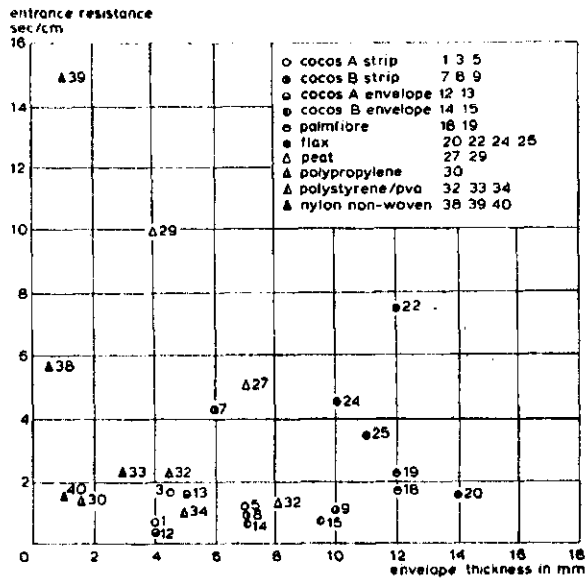


Fig. 15. Intreeweerstanden uitgezet tegen de dikte van omhullingsmaterialen; de waarden werden bepaald met behulp van de opstelling in fig. 14

blijkt dat er geen relatie bestaat tussen de dikte van een omhullingsmateriaal en diens intreeweerstand. Vaak wordt gesteld dat dikkere omhullingsmaterialen een lagere intreeweerstand zouden hebben; deze aanname wordt door deze resultaten (en ook door resultaten van het huidige ICW onderzoek) gelogenstraft. Een nadeel van dit model is dat de samendrukking van een omhullingsmateriaal ten gevolge van de bodemlast niet goed kan worden nagebootst. Deze druk heeft een grote invloed op de poriegrootteverdeling, en dus op de eigenschappen van het omhullingsmateriaal.

2. Een horizontaal model met radiale stroming. Dit model is in gebruik bij de Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders te IJlstad. In deze opstelling wordt de drainbuis met het omhullingsmateriaal horizontaal gemonteerd. Dankzij de U-vorm van de binnentank wordt radiale stroming gerealiseerd, zie fig. 16. In dit model worden zeer fijne homogene zanden gebruikt, vergelijkbaar met die in het eerder beschreven model. De afvoer per tijdseenheid wordt gemeten, naast de drukhoogte van het water in de buis, vlak daarbuiten, en op enige afstand. Deze gegevens worden

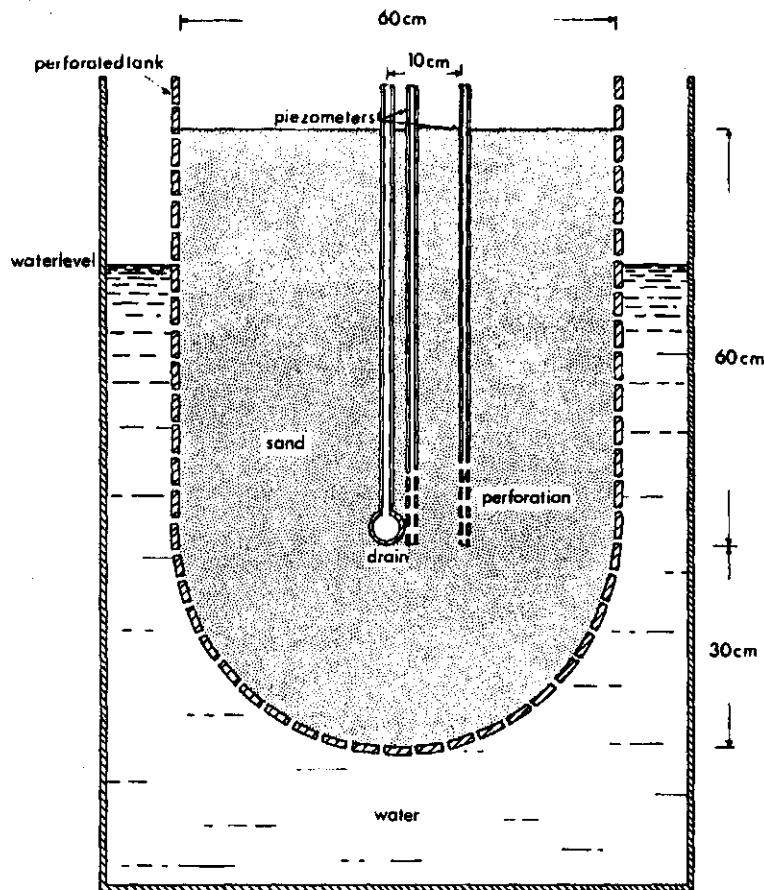


Fig. 16. Dwarsdoorsnede door de meetopstelling, in gebruik bij de Rijksdienst IJsselmeerpolders

weer gebruikt om de intreeweerstand te berekenen. In deze opstelling wordt aan dikke omhullingsmaterialen in het algemeen een iets lagere intreeweerstand gemeten dan aan dunne materialen. Het werken met dit model is enigszins tijdrovend, maar de veldomstandigheden kunnen er goed mee worden nagebootst; doet een omhullingsmateriaal het in deze opstelling slecht, dan is dit in het veld ook meestal het geval.

3. Een verticaal cilindervormig model met tweedimensionale stroming. Dit type doorstromingsmodel is op het ICW sinds 1977 in gebruik; zie fig. 17. Het ontwerp kwam tot stand in samenwerking met Ir. J.A.C. Knops en Ir. L.G. Seijger en is bedoeld om verschillende omhullingsmaterialen onderling snel te kunnen vergelijken. In deze opstelling stroomt het water van boven naar beneden. Behoudens randeffecten is de stroming qua grootte en richting overal in het bodemonster en omhullingsmateriaal nagevoeg hetzelfde; we spreken van een tweedimensionale stroming.

De huidige opstelling bestaat uit acht cilindervormige plexiglas tanks met hoogte 69 cm. en inwendige diameter 15 cm. Het water komt de cylinder binnen aan de bovenzijde, stroomt omlaag, langs de gewichten die de druk van de bodem in het veld nabootsen (met behulp van deze kunstmatige belasting wordt tijdens de proeven de juiste korrelspanning in het bodemmonster gereproduceerd), door een laagje grind (dat dient

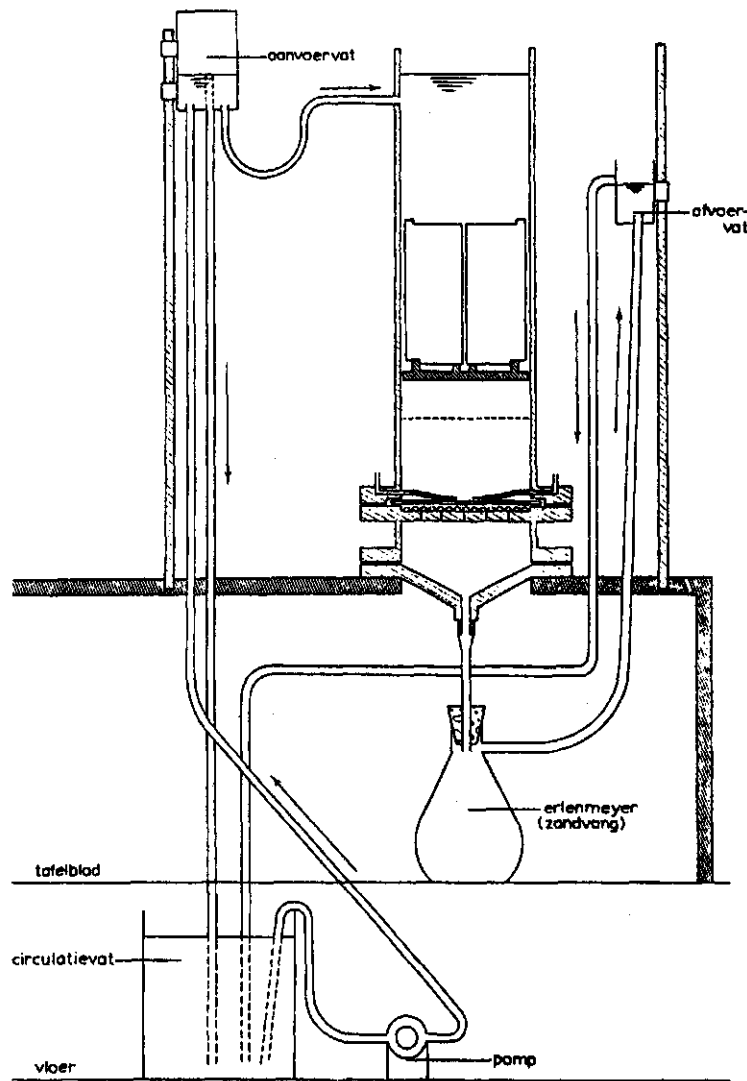
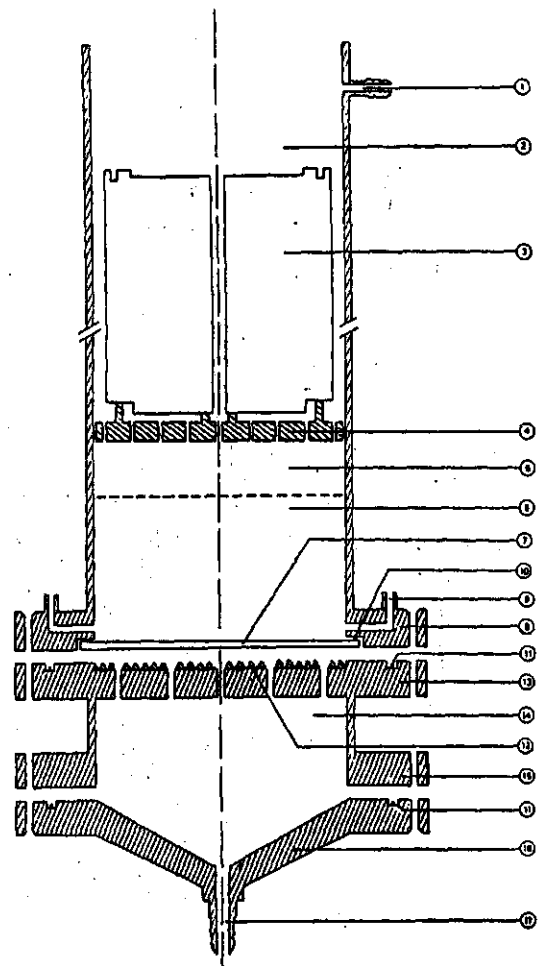


Fig. 17. Dwarsdoorsnede door de verticale meetcylinder die, gemodificeerd, thans nog op het ICW in gebruik is

1. aanvoerslangpilaar: inwendige diameter = 10 mm
uitwendige diameter = 14 mm
2. cilinder : inwendige diameter = 150 mm
uitwendige diameter = 160 mm
lengte = 580 mm
3. stalen gewichten : diameter = 130 mm
4. geperforeerde drukplaat
5. filtergrind : laagdikte = 50 mm
6. zapdfractia : laagdikte = 100 mm
7. omhullingsmateriaal
8. voorziening voor meetpunt boven het omhullingsmateriaal
9. flens : dikte = 20 mm
voorzien van 6 boutgaten met diameter = 6,3 mm
en een kamertje: 10 mm x 5 mm
10. O-ring
11. O-ring : inwendige diameter = 195 mm
snoerdiameter = 5 mm
12. ribbeldrainplaat : diameter = 150 mm
13. geperforeerde draagplaat en flens:
de diameter van de perforaties = 4 mm
de flensdikte = 20 mm
de flens is voorzien van 6 boutgaten met diameter = 6,3 mm en
een kamertje: 5,7 mm x 4,3 mm
14. cilinder : inwendige diameter = 150 mm
uitwendige diameter = 160 mm
lengte = 50 mm
15. flens: dikte = 20 mm
voorzien van 6 boutgaten met diameter = 6,3 mm
16. afvoertrechter met flens, hellingshoek is 30°
de flens is voorzien van 6 boutgaten met diameter = 6,3 mm en
een kamertje: 5,7 mm x 4,3 mm
17. afvoerslangpilaar : inwendige diameter = 10 mm
uitwendige diameter = 14 mm



Het doorstromingsmodel

Fig. 18

om het water homogeen het bodemonmonster te laten binnenstromen), door het bodemonmonster en het omhullingsmateriaal. Dit omhullingsmateriaal rust op een plaat die gemaakt is van een stuk ribbelbuis dat is opengesneden en, na plat te zijn uitgerold, op een geperforeerde plexiglas schijf is geplakt. Een doorsnede door de cylinder is gegeven in fig. 18. Vanuit een voorraadtank wordt het water opgepompt naar een hoger gelegen tank, waarin de waterspiegel een constante waarde heeft; zie fig. 17. Het totale verval van de drukhoogte van het water in de cylinders (de zgn. hydraulische gradiënt) wordt geregeld door dit tankje een hogere of lagere positie te geven. Hoe hoger dit tankje wordt opgesteld, des te groter zal de waterdruk zijn.

Na afloop van elke proef wordt de hoeveelheid bodemmateriaal die door het omhullingsmateriaal is gespoeld, gewogen. De hoeveelheid gewichten die op het bodemonmonster drukt, komt overeen met een drain, die onder veldomstandigheden op een diepte zit van ongeveer 1 meter. Er werden met behulp van deze opstelling elf bodemfracties onderzocht met korrel diameters van 30 tot 2 000 μm (= 0.03 tot 2 mm.).

Al het met deze opstellingen verrichte onderzoek heeft het inzicht in mechanische verstoppingsverschijnselen enigszins vergroot. Het betreft hier zogenaamde empirisch onderzoek: je doet een bepaalde proef en 'kijkt wat er gebeurt'. Van een theoretische benadering is echter nawelijks sprake. Dat is ook logisch, want dit stadium van het onderzoek wordt pas bereikt als de empirische fase een bepaalde ontwikkeling heeft doorgemaakt. Het lijkt erop dat het laatste met het uitkomen van dit rapport het geval is.

Al eerder werden in dit rapport verschillende typen doorstromingsopstellingen, met hun voor- en nadelen, besproken. De grote opstelling met acht meetcellen die thans op het ICW in gebruik is maakt gebruik van verticaal opgestelde cylinders. Gegeven de wijze waarop deze zijn geconstrueerd, mag worden aangenomen dat de in het veld optredende stroming naar de buis redelijk natuurgetrouw wordt nagebootst. Het model heeft echter een nadeel. Terwijl in het veld de stroming radiaal verloopt (fig. 19) is dit in de laboratoriumopstelling niet het geval: in de verticale meetcylinders lopen de stroomlijnen parallel in de richting van de buis en staan hier loodrecht op.

Wanneer we nu een bodemonmonster in een cylinder in de laboratorium-

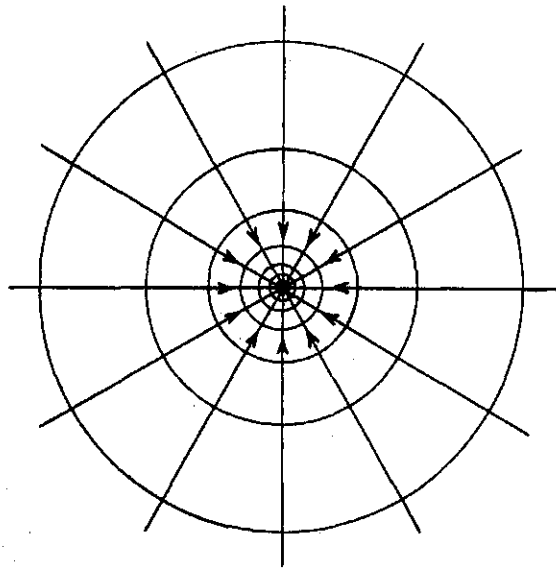


Fig. 19. Schematische voorstelling van radiale stroming naar een drainbuis (bij zeer hoge grondwaterstand)

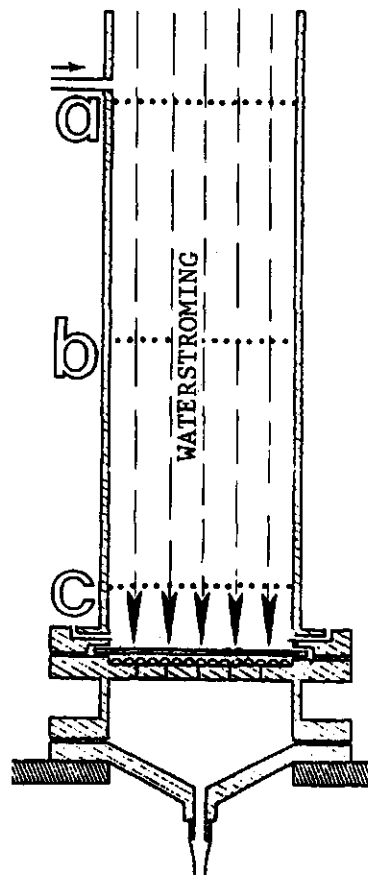


Fig. 20. Stroming van het water door het plexiglas meetcylinder: door elk vlakje is de stroomsnelheid van het water even groot

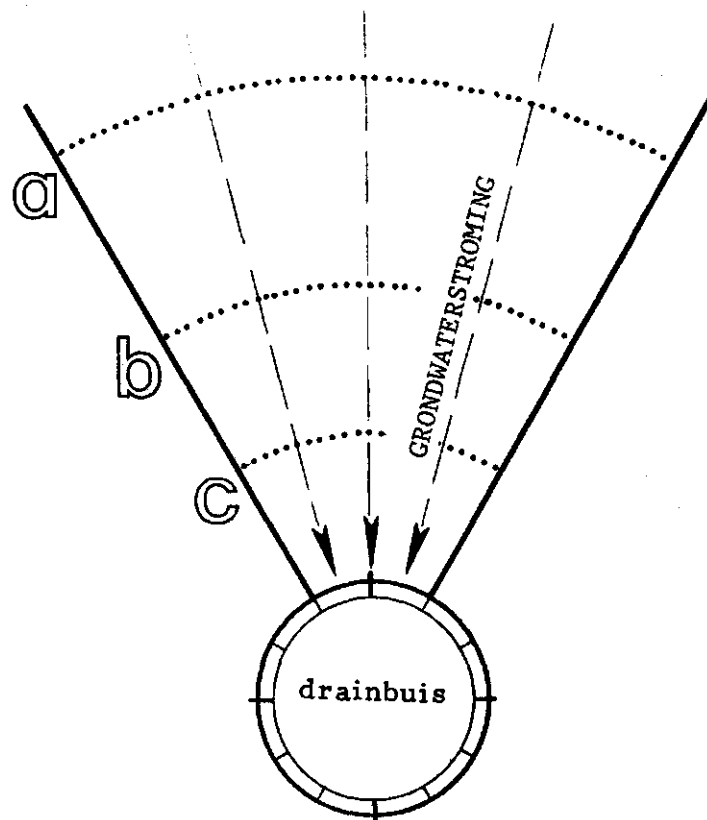


Fig. 21. Stroming van grondwater naar een zuigdrain. Dichter bij de buis worden de doorstromende vlakjes kleiner, en de stroomsnelheid van het water groter

opstelling eens wat gedetailleerder bekijken kunnen we een eenvoudig feit constateren. In gedachten bekijken we een aantal dwarse doorsneden door het bodemmateriaal; zie de denkbeeldige vlakjes a, b en c in fig. 20. De hoeveelheid water die per seconde vlakje a passeert is even groot als de hoeveelheid die door vlakje b of c stroomt. Het water kan immers de kolom niet verlaten en moet wel door de bodemlaagjes naar beneden stromen. Kom je dichterbij de 'drainbuis', dan blijven de vlakjes even groot. Omdat het steeds dezelfde hoeveelheid water betreft zal de stroomsnelheid van het water in de bodem niet veel veranderen, naarmate het water de buis dichterbij nadert.

In het veld gebeurt er iets anders. Van veel kanten stroomt het

water naar een denkbeeldig punt, dat midden in de drainbuis is gelegen. Ook hier kunnen we weer denkbeeldige vlakjes tekenen net zoals we dat bij de meetcilinder deden; zie fig 21. Ten gevolge van de zich naar de buis concentrerende stroming worden de vlakjes nu echter steeds kleiner, terwijl door elk vlakje, per seconde, wél steeds dezelfde hoeveelheid water stroomt. Hoe kleiner zo'n vlakje is, deste harder zal het water stromen en we zien dus dat, hoe dichtër je bij de drainbuis komt, de stroomsnelheid door de poriën in de bodem toeneemt; in onze laboratoriumopstelling is dat niet het geval. Dit betekent dat we het optreden van bepaalde processen in bodem- en omhullingsmateriaal met behulp van de laboratoriumopstelling niet optimaal kunnen nagaan. Ook de zogenaamde natuurlijke filteropbouw in de bodem die direct tegen het omhullingsmateriaal aanligt kunnen we in het laboratorium niet op de meest natuurgetrouwe wijze nabootsen. Deze natuurlijke filteropbouw bestaat hierin, dat in de buurt van het omhullingsmateriaal relatief fijne bodemdeeltjes uitspoelen; hierdoor zou de doorlatendheid van de bodem daar ter plaatse kunnen toenemen.

16. HET LABORATORIUMONDERZOEK OP HET ICW SINDS 1980

In 1980 werd het onderzoek in het laboratorium van het ICW voortgezet. Ten opzichte van de door SEIJGER (1978) gevolgde methodiek zijn de nodige wijzigingen aangebracht; het principe van de metingen is echter niet gewijzigd; omhullingsmaterialen worden op hydraulische- en filtrerende eigenschappen onderzocht. De verbeteringen die in de laboratoriumopstelling werden aangebracht zijn de volgende:-

1. De proeven worden onder anaerobe omstandigheden uitgevoerd; dit betekent dat er geen (zuurstofhoudende) buitenlucht in de opstelling kan doordringen en oxidatie wordt bestreden;
2. Het doorstromende water komt niet meer in contact met de metalen gewichten waardoor corrosieverschijnselen worden tegengegaan;
3. Er wordt gewerkt met natuurlijk bodemmateriaal, niet meer met zandfracties;
4. Het aantal afzonderlijke bodemlaagjes, waaraan de waterdoorlatendheid wordt gemeten, is verhoogd van twee tot zeven;

5. De hoeveelheid water die per tijdseenheid door de meetcilinders stroomt hoeft niet meer met maatglas en stopwatch te worden vastgesteld, maar kan direct worden afgelezen op debietmeters;
6. Elke proef wordt in viervoud gedaan zodat we meer zekerheid hebben over de resultaten;
7. Het aantal meetcilinders is verdubbeld van vier tot acht;
8. De verwerking van de gegevens is volledig geautomatiseerd;
9. Er is een begin gemaakt met de granulaire analyse van de in- en door de omhullingsmaterialen gestroomde bodemfracties.

Dankzij al deze verbeteringen is thans een meetprocedure beschikbaar waarmee we verschillende omhullingsmaterialen onderling snel en op redelijk betrouwbare wijze kunnen vergelijken. Ook is echter duidelijk geworden dat de methode ons niet in staat stelt de waargenomen verschijnselen te verklaren, laat staan theoretisch te onderbouwen. Bovendien is het nog een open vraag, in hoeverre de meetprocedure aansluit bij de omstandigheden die in het veld (kunnen) optreden.

17. DE HUIDIGE ONDERZOEKSSTRATEGIE

Een van de voornaamste keuzes die moet worden gedaan is die tussen veld- en laboratoriumonderzoek. Beide zijn zogenaamde 'traditionele' onderzoeksmethoden; het verleden heeft bewezen dat, gegeven de gecompliceerdheid van de materie, we met behulp van deze methodes alleen, waarschijnlijk nooit tot algemeen geldige oplossingen kunnen komen. Zulke oplossingen zijn namelijk pas aan te geven als we de verschillende processen die de moeilijkheden veroorzaken kunnen doorgronden. Met behulp van de tot nu toe uitgevoerde laboratorium- en veldproeven hebben we ons inzicht in een aantal processen enigzins kunnen verdiepen, maar over het hoe en waarom tasten we voor een groot deel in het duister. Er is dringend behoefte aan gedetailleerd deelonderzoek, waarbij specifieke aspecten van de ingewikkelde processen op de voet moeten kunnen worden gevolgd.

De keuze van de plaats waar het onderzoek moet worden uitgevoerd is niet zo moeilijk; het betreft namelijk een aantal plaatsen in een be-

paalde volgorde. We kunnen kiezen tussen veldonderzoek, laboratoriumonderzoek en ook nog onderzoek op een sterk afwijkende 'plaats', namelijk met behulp van een computersysteem. In het volgende zal worden aangegeven hoe de keuze van een plaats samenhangt met het stadium waarin het onderzoek zich bevindt.

Veldonderzoek is en wordt veel uitgevoerd en is een onmisbare schakel in het onderzoek aan omhullingsmaterialen. De vraag is wel, in welk stadium van het onderzoek het doen van veldonderzoek verantwoord is. Het is onmisbaar voor de diagnose, de probleemidentificatie. We zien bij welke materialen er problemen optreden, en ruwweg onder welke omstandigheden dit gebeurt. Maar veldonderzoek is nauwelijks geconditioneerd; dat wil zeggen dat we vrijwel geen greep hebben op de randvoorwaarden die allemaal hun steentje bijdragen tot het uiteindelijke resultaat. Zo hebben we geen invloed op het weer, de wisselende wateraanvoer, de variabele chemische samenstelling van het grondwater, temperaturen, etc. Ook kunnen we de verschijnselen nooit diepgaand bestuderen; we zien alleen de gevolgen van bepaalde processen. Als we menen dat een omhullingsmateriaal verstopt is geraakt graven we een stuk buis op en zien we een geflatteerd beeld van een bepaald stadium van een proces. We weten echter nauwelijks een verklaring te geven waarom in dit geval nou juist datgene gebeurt wat we geconstateerd hebben, en welke combinatie van omstandigheden hiervoor verantwoordelijk is. Bovendien duurt veldonderzoek lang, is het meestal nogal kostbaar en zijn de verkregen gegevens moeilijk overdraagbaar, dat wil zeggen de uitkomsten van het onderzoek gelden eigenlijk alleen maar voor de plaats waar ze werden verkregen, onder omstandigheden die daar op dat moment heersten. Naast de diagnostische waarde van veldonderzoek moet het ook in het eindstadium van het onderzoeksproject een belangrijke rol spelen. Bepaalde hypothesen, relaties en wetmatigheden die met behulp van fundamenteel onderzoek kunnen worden ontwikkeld moeten hun waarde aantonen in het veld. Conclusie: veldonderzoek speelt een belangrijke rol tijdens het eerste en het laatste stadium van het onderzoek aan omhullingsmaterialen.

In de afgelopen decennia zijn, en nog steeds worden er in het veld omhullingsmaterialen getest. Geregeld komen er ook klachten binnen over slecht functionerende ontwateringssystemen in ruilverkavelingsgebieden of bij individuele boeren. Er zijn dus veel veldgegevens beschikbaar

en het diagnostische gedeelte van het onderzoek moet dus als afgesloten worden beschouwd.

Al jaren geleden werd in ons land en daarbuiten onderkend dat laboratoriumonderzoek het noodzakelijke inzicht dient te verschaffen in de verstoppingsverschijnselen. Talloze opstellingen zijn in de loop der jaren gebouwd, voornamelijk in West-Europa en Noord-Amerika. Het komt bij deze opstellingen steeds op hetzelfde neer, namelijk het testen van een monster van het bewuste omhullingsmateriaal in combinatie met bodemmateriaal. Gedurende een korte periode, meestal enkele weken, worden de materialen onderzocht op hydraulische- en filtrerende eigenschappen. Het aantal typen opstellingen is groot, zelfs in een klein land als het onze. Met behulp van de verbeterde ICW-laboratoriumopstelling is de afgelopen drie jaar een 25-tal omhullingsmaterialen onderzocht en werd het inzicht in de problematiek verdiept. Tegelijkertijd kwam er een groot aantal vragen naar boven zodat we moeten concluderen dat met het verschijnen van deze interim-rapportage een onderzoeksperiode wordt afgesloten die achteraf gezien als verkennend moet worden gekenschetst. Vanaf medio 1983 zal, naast het uitvoeren van doorstromingsproeven, die overigens volgens de nieuwste inzichten zullen worden aangepast, gestart moeten worden met gespecialiseerd deelonderzoek in het laboratorium. Op deze wijze hopen we een aanzet te kunnen geven tot het beantwoorden van de vele vragen die de afgelopen drie jaren zijn ontstaan. Die vragen konden alleen maar ontstaan omdat we de verstoppingsprocessen van dichtbij konden volgen. Dankzij de laboratorium-aanpak kunnen we dieper in de materie duiken, hetgeen ook noodzakelijk is.

De derde 'plaats' is al even genoemd, namelijk de computer. Naast de noodzaak van veld- en laboratoriumonderzoek bestaat ook de mogelijkheid gebruik te maken van mogelijkheden die moderne computersystemen kunnen bieden. Het computergebruik valt in twee delen uiteen.

1. We gebruiken een computersysteem om alle in het laboratorium gemeten gegevens snel te kunnen verwerken. Hebben we een doorstromingsproef van twee weken achter de rug, dan moeten we bijvoorbeeld 2 400 keer een doorlatendheid van een omhullingsmateriaal of een zandlaagje berekenen. Ook moeten die doorlatendheden worden weergegeven in grafieken etc., kortom: er moet een grote hoeveelheid gegevens worden

verwerkt. Hadden we hiervoor geen snelle computer ter beschikking (het door ons gebruikte systeem berekent die 2 400 doorlatendheden in 1.5 seconde) dan zouden we na elke proef lange tijd nodig hebben om alle gegevens te verwerken; nu is dat zo gebeurd. De computer controleert zelfs de opgeschreven gegevens op afleesfouten en haalt die eruit; alles bij elkaar levert dat een aanzienlijke tijdbesparing op.

2. De tweede mogelijkheid is interessanter; het gebruik van een computersysteem om er bepaalde processen mee na te bootsen. We spreken in dit verband van computer-simulatiemodellen, waarvan er op de wereld al duizenden in gebruik zijn. Met behulp van dit soort modellen kunnen we proberen meer te begrijpen van een proces dat we bestuderen. We vertalen, na bepaalde aannames, het proces in een wiskundig model: zo'n model is een sterke vereenvoudiging van de werkelijkheid. Het wiskundige model wordt dan omgezet in een computertaal zodat het op een computersysteem kan 'draaien'. In zo'n computermodel zitten alle belangrijke grootheden die het proces beïnvloeden, ingebouwd, zoals in ons geval de poriegrootteverdeling van het omhullingsmateriaal, de korrelgrootteverdeling van het bodemmateriaal, etc. De volgende stap is dat het computermodel geïjkt moet worden, zodat de voorspellingen van het model overeenkomen met de werkelijkheid. Is dat gebeurd dan hebben we een instrument in handen waarmee we uitgebreid kunnen experimenteren. We kunnen in een computermodel grootheden veranderen, zoals bijvoorbeeld een korrelgrootteverdeling, die in werkelijkheid vaak veel moeilijker te realiseren zijn. De factor tijd is irrelevant geworden; in enkele seconden kunnen we een proef die in werkelijkheid een jaar duurt, nabootsen. De eerste aanzet tot modelleren met behulp van de computer is al gegeven; er is een model operationeel met behulp waarvan we het bepalen van een poriegrootteverdeling van een volumineus omhullingsmateriaal kunnen nabootsen. Dit model is nog niet volmaakt maar de uitkomsten hebben al aangetoond dat de laboratoriummethode die al jaren gebruikt wordt om de poriegrootteverdeling te bepalen onbetrouwbare uitkomsten geeft. In de toekomst ligt het ontwikkelen van meer simulatieprogrammatuur voor onder andere verstoppingsprocessen voor de hand.

Samenvattend kunnen we stellen dat het onderzoek aan omhullingsmaterialen uit drie fasen bestaat; de diagnostische fase die veldgegevens oplevert, de experimentele fase in het laboratorium en met behulp van computersimulatie, en de eindfase waarin nieuwe hypothesen in het veld getoetst moeten worden. We staan nu aan het begin van de experimentele fase.

18. VOORTZETTING VAN HET DOORSTROMINGSONDERZOEK

Het doorstromingsonderzoek is laboratoriumonderzoek en kan nooit 100 procent representatief zijn voor veldomstandigheden. We zijn er natuurlijk wel op uit de veldomstandigheden zo goed mogelijk te benaderen. In dit verband kan er nog het nodige aan het laboratoriumonderzoek worden verbeterd, waarbij we in de eerste plaats denken aan het bodemmateriaal en de wijze waarop elke doorstromingsproef wordt gestart.

Het feit dat in 1980 werd overgestapt van testen met behulp van afzonderlijke bodemfracties op het gebruik van natuurlijke bodemmateriaal betekende een beter benaderen van veldomstandigheden. Na ruim een jaar met dit materiaal te hebben gewerkt moeten er toch enige vraagtekens bij de huidige methodiek worden geplaatst.

Het materiaal - Almerezand - wordt op draaindiepte gewonnen. Volgens wordt het in een droogstoof bij 105°C gedroogd en gemalen. Alle aanwezige structurelementen worden op die manier vernietigd en je hebt een volledig cohesieloos uitgangsmateriaal verkregen. (Cohesieloos: het materiaal bestaat uit onderling losse korrels en vloeit bijvoorbeeld gemakkelijk tussen de vingers door). Voordeel van dit materiaal is dat het qua eigenschappen weinig variabel is; je kunt het dus uitstekend gebruiken om er verschillende omhullingsmaterialen onderling mee te vergelijken. In de loop van de tijd kwamen er echter twee nadelen aan het licht.

1. Door het vernietigen van de structuur van het Almerezand hebben we een zeer uniform uitgangsmateriaal gecreëerd, zodat de verschillende omhullingsmaterialen onderling goed vergelijkbaar zijn. Tegelijkertijd hebben we toch een kunstmatig bodemmateriaal gemaakt dat niet meer zoveel te maken heeft met het uitgangsmateriaal zoals we

dit in het veld aantreffen. Door gebruik te maken van dit materiaal worden de omhullingsmaterialen aan een 'strengere' test onderworpen dan die welke in het veld, zelfs onder 'moeilijke' omstandigheden, zou optreden.

2. Bij volumineuze omhullingsmaterialen stroomt doorgaans al een behoorlijke hoeveelheid bodemmateriaal door deze materialen tijdens het vullen van de meetcilinders met bodemmateriaal, dus nog vóórdat de doorstromingsproef begonnen is. Deze situatie is weinig reëel en dus niet wenselijk. Het lijkt waarschijnlijk, dat sommige volumineuze materialen die aan de hand van de afgelopen 25 doorstromingsproeven als 'slecht' moeten worden betiteld, het onder veldomstandigheden iets beter doen.

Genoemde twee nadelen ten gevolge van het gebruiken van cohesieloos bodemmateriaal lijken achteraf gezien dermate ingrijpend, dat in de toekomst van deze voorbehandeling zal worden afgezien. Rest de vraag in welke toestand we het bodemmateriaal nu in de doorstromingsproeven moeten gaan toepassen.

Bij het beantwoorden van deze vraag moeten we het toenemend belang van de sleufloze drainagetechniek in Nederland in het achterhoofd houden. Nu deze techniek sinds augustus 1982 onder zekere voorwaarden op landinrichtingswerken wordt toegelaten neemt het aantal sleufloze machines toe. Ook in het buitenland, bijvoorbeeld in West-Duitsland, de Verenigde Staten en Canada, wordt veel sleufloos gedraineerd. De omstandigheden rondom de buis zijn bij sleufloos draineren anders dan die welke ontstaan wanneer er met behulp van sleuven wordt gedraineerd. Deze verschillen zullen ook in een laboratoriumproef min of meer tot uitdrukking moeten komen.

In de doorstromingsproeven die vanaf september 1983 op het ICW zullen worden uitgevoerd zal per meetperiode slechts één omhullingsmateriaal worden getest. Tegelijkertijd zal worden getest met hetzelfde bodemmateriaal, maar in twee verschillende uitgangstoestanden. De ene is representatief voor sleufloze drainage, en de andere voor installatie met behulp van sleuven.

Sleufloos. Bodemmateriaal dat voor deze toestand representatief moet zijn, mag niet vergraven worden. De plannen zijn om met behulp van vier

steekringen met inwendige diameter 152 mm. (= de binnendiameter van de plexiglas meetcilinders) op draandiepte vier zoveel mogelijk ongestoorde bodemonsters te steken. Met behulp van een speciaal hiervoor te ontwikkelen zuiger moeten de monsters nog dezelfde dag in de meetcilinder worden aangebracht. Doorstromingsproeven, uitgevoerd met dit type bodemonsters mogen representatief worden geacht voor bodemfysische onstandigheden die worden gecreëerd met behulp van sleufloze installatie. *Met sleuf.* Bodemmateriaal dat voor deze omstandigheden representatief moet zijn wordt op de wijze die tot nu toe gebruikelijk was, dat wil zeggen met de schop gewonnen. De structuur wordt gedeeltelijk vernietigd. Per meetcilinder wordt een bepaalde hoeveelheid bodemmateriaal afgewogen en in de meetcilinder gedaan, nog dezelfde dag waarop het materiaal gewonnen werd.

Door het simuleren testen van de twee configuraties, te weten 'sleufloos' en 'met sleuf' hopen we meer inzicht te krijgen in de verschillen tussen de mogelijke inzandingsverschijnselen die kunnen optreden bij de verschillende installatiemethodes.

Het met water verzadigen van omhullingsmateriaal en bodemonster is nog steeds niet goed regelbaar in de huidige doorstromingsopstelling. Dit is stellig een nadeel, want naar verwachting heeft de bevochtigingsnelheid een grote invloed op het uiteindelijke resultaat. Ook op dit punt moet de opstelling worden aangepast. Het is overigens nog de vraag of het op deze wijze bevochtigen wel zo wenselijk is; in de praktijk komt het vrijwel niet voor, maar voor ons is het een gemakkelijke manier om onze proef op te starten. Op een en ander wordt thans nog gestudeerd.

Moeilijkheden traden op met piezometernaalden, die geregeld verstopten. Deze naalden kunnen slechts met veel moeite uit de cilinderwand worden verwijderd; toch zou dit eigenlijk na afloop van elke proef moeten gebeuren, nl. om ze goed schoon te maken. Besloten is dan ook, dat in alle meetcilinders nieuwe, snel te verwijderen piezometers worden geïnstalleerd ('Swagelok'-systeem). Dit soort piezometers wordt thans met succes in meerdere laboratoria, onder andere in de Verenigde Staten, toegepast. Overigens voldoet de doorstromingsopstelling uitstekend.

DEEL 2: RESULTATEN VAN HET LABORATORIUMONDERZOEK

1. INLEIDING

In dit tweede deel van het rapport worden de resultaten van het laboratoriumonderzoek besproken. Het betreft onderzoek in het ICW-drainage-laboratorium; voornamelijk doorstromingsproeven waarvan er tussen medio 1981 en begin 1983 25 werden uitgevoerd, waarbij 23 omhullingsmaterialen werden onderzocht. Daarnaast is van een aantal volumineuze materialen en poriegrootteverdeling, althans iets dat daar op lijkt, bepaald. Er werd een begin gemaakt met het inschakelen van een elektronische deeltjesgrootteteller tijdens en na afloop van de doorstromingsproeven.

De doorstromingsproeven leveren in dit rapport de voor de praktijk meest bruikbare resultaten op. De bepaling van poriegrootteverdeling van volumineuze materialen bevindt zich thans nog in een experimenteel stadium; voor de sponsors zijn de uitkomsten nog weinig interessant omdat we nog te weinig kennis bezitten om de gebrekkige gegevens te vertalen in ontwerpnormen.

Toen dit onderzoek begon, 1 april 1980, en overigens ook nog steeds vandaag, werd/wordt in Nederland nog voornamelijk gebruik gemaakt van volumineuze omhullingsmaterialen. Het is dan ook niet verwonderlijk dat het merendeel van de geteste omhullingsmaterialen volumineus is: 66% tegen 34% 'dunne' materialen. Deze verhouding is bewust zo gekozen en lijkt in overeenstemming met de nederlandse praktijk van materiaalkeuze. De eerste elf materialen werden onderzocht gedurende de periode maart 1981 - april 1982 in een doorstromingsopstelling met vier meetcilinders. De resterende 14 proeven werden verricht in juni, augustus t/m november 1982 en januari t/m maart 1983 in een verbeterde opstelling met acht meetcilinders.

2. DE DOORSTROMINGSPROEVEN: BEPERKINGEN

De beweegredenen tot het uitvoeren van doorstromingsproeven zijn in het eerste deel van dit rapport aan de orde geweest en hierop wordt dan ook niet verder ingegaan. De proeven zijn erop gericht antwoorden te vinden op voor de praktijk (i.c. de sponsors) relevante vragen. Er zijn in dit verband gedurende het onderzoek enige spanningen geweest tussen de onderzoeker enerzijds en de directe belanghebbenden anderzijds. Hieraan ligt een verkeerde taxatie van sommige belanghebbenden ten grondslag: het verstoppingsprobleem zou binnen afzienbare termijn - een aantal jaren - opgelost kunnen zijn. Dat het niet zo eenvoudig ligt is na drie jaar onderzoek duidelijk geworden en dit feit werd in het eerste deel van het rapport toegelicht. Ondanks het feit dat we de afgelopen drie jaar een stapje verder zijn gekomen mogen uit de uitkomsten van de doorstromingsproeven geen verstrekkende conclusies worden getrokken. Het verleden heeft bewezen dat soms de neiging bestaat bepaalde conclusies uit onderzoeksrapporten verkeerd uit te leggen of uit hun verband te plaatsen waarbij het eigenbelang vaak een rol speelt. Hier wordt, misschien ten overvloede, met nadruk gesteld dat de hier bereikte onderzoeksresultaten een wellicht beperkte geldigheid bezitten omdat zij werden bereikt onder zeer stringente randvoorwaarden in het laboratorium. Voor uitspraken in de trant van '.....onderzoek op het ICW heeft aangetoond dat materiaal X zeer goed is (lees: onder alle omstandigheden)...' kan dezelfde ICW geen verantwoording nemen. Dit temeer omdat de wijze waarop de proeven thans worden uitgevoerd meer verantwoord lijkt dan die waarop dat tot nu toe gebeurde, maar we ook moeten toegeven dat er nog wel het nodige aan te verbeteren valt.

Tijdens de onderzoeksperiode zijn de laboratoriumopstelling en de gevolgde methodiek enige malen verbeterd. Die verbeteringen hebben zich vooral voorgedaan tijdens de eerste zes doorstromingsproeven (de selectie van het bodemmateriaal) en tussen proef 11 en 12 (verbetering en uitbreiding opstelling).

Tijdens de eerste serie proeven is geëxperimenteerd met verschillende soorten bodemmateriaal. Uitgangspunten hierbij waren onder andere dat dit materiaal min of meer in dezelfde samenstelling beschikbaar moest zijn en dat er weinig ijzer, kalk e.d. in moest zitten.

Voor het begin van de eerste doorstromingsproef is bodemmateriaal afkomstig uit het noorden van de provincie Groningen ('Halsema') in het laboratorium van de Stichting voor Bodemkartering (STIBOKA) ontdaan van ijzer- en kalkbestanddelen. Dit proces bleek zeer bewerkelijk, terwijl het verkregen bodemmateriaal weinig overeenkomst meer vertoonde met het oorspronkelijke bodemmateriaal. Met dit voorbehandelde bodemmateriaal is gedurende de eerste doorstromingsproef het materiaal 'bidim' onderzocht.

Getracht is een constante samenstelling van het bodemmateriaal te waarborgen door dit in fracties met oplopende gemiddelde korreldiameter te scheiden, en vervolgens uit deze fracties nieuwe kunstmatige bodemmonsters samen te stellen door deze fracties in vaste verhoudingen te mengen. Ook deze aanpak bleek bewerkelijk en de zeefprocedure niet erg betrouwbaar. Met dit materiaal zijn doorstromingsproeven 1 (na chemische voorbehandeling), 2 en 3 uitgevoerd.

Tijdens de vierde proef zijn twee typen bodemmateriaal simultaan gebruikt: in twee meetcilinders Almeresand en in andere twee een door Ir. Seijger uitgezeefde bodemfractie van Blokzijlzand, t.w. de fractie tussen 53 en 75 μm . Seijger heeft zijn onderzoek gebaseerd op het testen met dit soort bodemfracties en het leek interessant om een dergelijke test in dit onderzoek mee te nemen (SEIJGER, 1978). Bij de vijfde doorstromingsproef is Blokzijlzand gebruikt: een zeer fijnzandig materiaal met een relatief lage waterdoorlatendheid (minder dan $\frac{1}{2}$ meter per dag). Uiteindelijk bleek Almeresand, dat al even tijdens proef 4 was gebruikt, het meest geschikte materiaal om de doorstromingsproeven mee voort te zetten. Almeresand heeft een korrelgrootteverdeling - zie fig.22 - met een piek bij korreldiameter 95 μm , waardoor dit materiaal er een is dat in de internationale literatuur erkend wordt als een zeer moeilijk te draineren zand vanwege de mechanische verstoppingsverschijnselen. Almeresand is bij alle volgende doorstromingsproeven gebruikt.

Tijdens het ontwerp van de huidige doorstromingsopstellingen zijn de door Seijger verzamelde gegevens uitvoerig bestudeerd. Dit voornamelijk omdat voor het registreren van de intensiteit van de waterstroming door de cilinders, het debiet, debietmeters moesten worden aangeschaft. Het meetbereik van deze meters werd aangepast aan de gemiddelde, door Seijger gerealiseerde debieten. Pas later bleek dat deze veel hoger

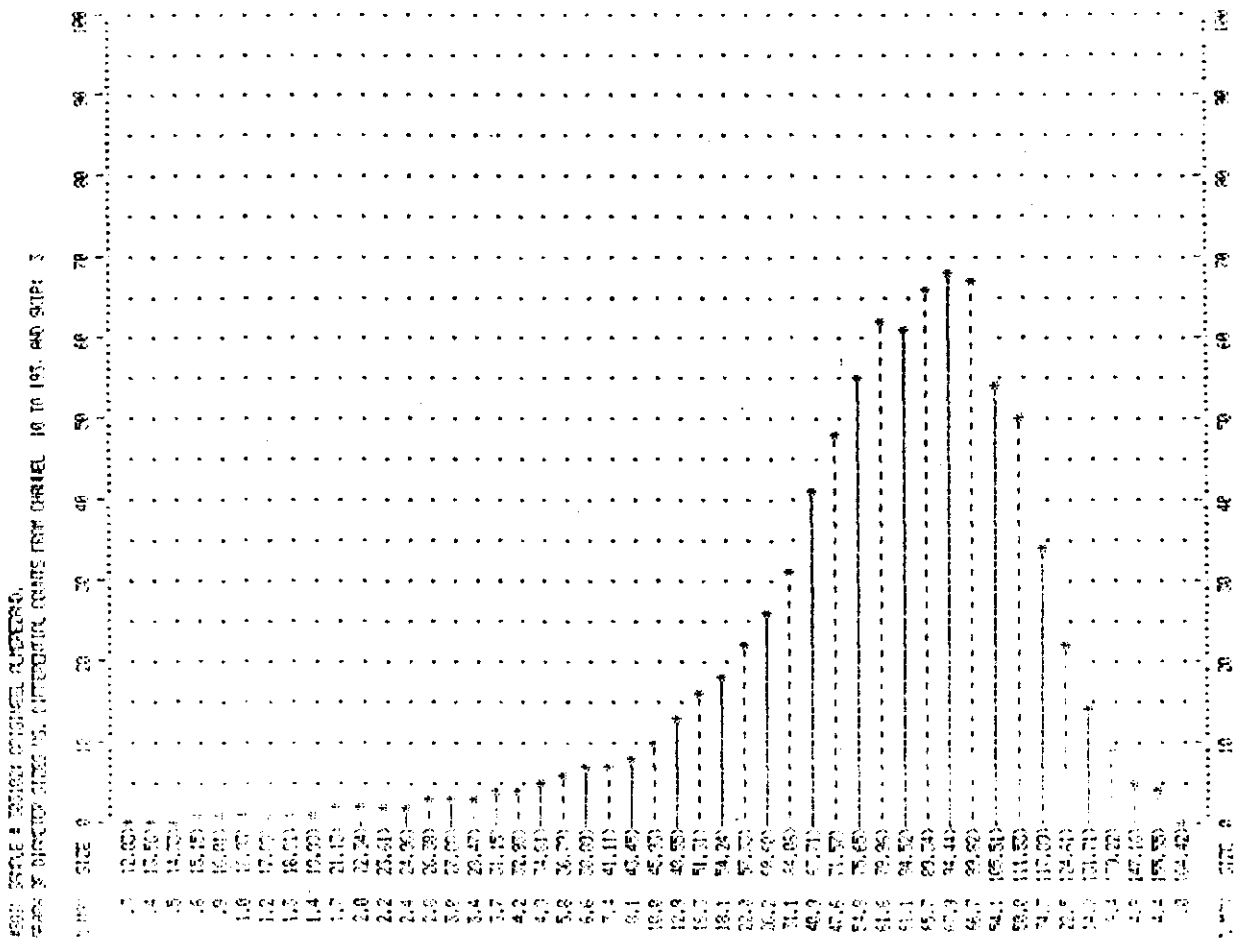


Fig. 22. De korrelgrootteverdelingscurve van Almerzand

waren dan die welke als realistisch dienen te worden beschouwd: equivalenten van meerdere honderden millimeters waterschijf per dag. Deze hoge waarden werden door Seijger bereikt omdat hij met bodemfracties werkte die, vergeleken met natuurlijk bodemmateriaal, een relatief hoge waterdoorlatendheid hebben. Bij deze hoge doorlatendheden moet een relatief hoog debiet worden gerealiseerd om in het bodemmonster, en ter weerszijden van het omhullingsmateriaal, meetbare waterdrukverschillen te doen ontstaan.

Toen de eerste metingen met de nieuwe opstelling en andersoortig bodemmateriaal werden verricht bleek dat de debietmeters waren overgedimensioneerd. Het gevolg is, dat alle debietmetingen van proef 1 t/m

11 matig tot redelijk betrouwbaar zijn. Toen de opstelling medio 1982 werd uitgebreid zijn bij alle acht meetcilinders nieuwe, veel gevoeliger debietmeters geïnstalleerd.

Het gevolg van de manipulaties met bodemmateriaal en debietmeters is tweërlei. In de eerste plaats mogen de resultaten van de eerste vijf doorstromingsproeven eigenlijk niet vergeleken worden met de resterende twintig, met uitzondering van de helft van proef vier, waar ook met Almerzand is gewerkt. Onafhankelijk daarvan zijn de uitkomsten van proef 6 t/m 11 minder betrouwbaar dan die van proef 12 t/m 25. De geregistreerde debieten zijn immers beslissend voor de berekende waarden van de meeste resterende grootheden als doorlatendheden, effectieve drainstralen, etc. In de grafische presentatie van de resultaten zullen proeven 1 t/m 5 dan ook tussen haakjes worden geplaatst.

De meetperiode heeft steeds twee weken geduurd met uitzondering van de eerste proef, die 30 dagen duurde. Uitgangspunt bij het vaststellen van een verantwoorde meetperiode was dat de geregistreerde grootheden niet of nauwelijks meer in grootte mochten veranderen. Bij de doorstromingsproeven bleek dit in de meeste gevallen na 1½ week het geval te zijn; daarom is besloten de proeven steeds twee weken te laten duren. Deze beslissing is echter ook nog om een andere reden genomen. Overal, en dus ook in de doorstromingsopstelling, zijn bacteriën actief. In het begin is de activiteit van die bacteriën nog niet merkbaar; waarschijnlijk ook omdat het zuurstofgehalte in de opstelling verlaagd wordt door het voortdurend doorleiden van stikstofgas. Steeds weer wanneer we na twee weken de opstelling ontmantelen voelden alle delen die met water in aanraking waren geweest, glibberig/slijmerig aan. Deze producten die van bacteriën afkomstig zijn beïnvloeden de processen die zich in de doorstroomcilinders afspelen, dus ook de afgelezen waarden. We mogen een doorstromingsproef dus nooit te lang laten duren want dan wordt de beïnvloeding van de waarden te groot: poriën van bodem- en/of omhulmingsmateriaal kunnen gedeeltelijk door de slijmvormige producten verstopt raken. Het is niet uitgesloten dat de resultaten van sommige doorstromingsproeven, met name die van de dunne materialen, gedurende de tweede week van de proef al door dit fenomeen worden beïnvloed.

De keuze van een geschikt bodemmateriaal kwam al eerder ter sprake. Ondanks het feit dat Almerzand een goed materiaal blijkt te zijn om

omhullingsmaterialen mee te onderzoeken concluderen we na 14 doorstromingsproeven toch dat de door ons toegepaste voorbehandeling de structuur van het materiaal te sterk aantast. Deze voorbehandeling die eerder in dit rapport werd beschreven bestaat uit drogen en vernietigen van de structurelementen. Het op deze manier verkregen cohesieloze bodemmateriaal komt in de natuur nauwelijks voor maar heeft wel als voordeel een grote homogeniteit. De doorstromingsproeven zullen echter beter aansluiten bij veldomstandigheden als we dit soort voorbehandelingen in de toekomst niet meer uitvoeren. De bodemonsters zullen dan ook worden genomen op een wijze als in het eerste deel van dit rapport is beschreven en waarbij we rekening kunnen houden met sleuf- dan wel sleufloze drainage. De wellicht geringere homogeniteit van de bodemonsters kan worden ondervangen door van elk bodemonster een granulaire analyse te doen met behulp van de deeltjesgrootteteller.

Op dit moment moeten we de resultaten van de meeste doorstromingsproeven zien tegen de achtergrond van het gebruik van het cohesieloze bodemmateriaal. Ongetwijfeld zullen een aantal volumineuze materialen die ten gevolge van de huidige onderzoeksresultaten, te weten tot slechte zanddichtheid, als 'matig' of zelfs 'slecht' moeten worden beoordeeld, bij het toekomstige onderzoek met meer realistische bodemonsters beter uit de bus komen.

Ook aan de doorstromingsopstelling zelf zijn er nog wel een aantal zaken die verbetering behoeven. Een van deze punten is de wijze waarop de bodemonsters bevochtigd worden voordat de doorstromingsproef begint. De regelorganen waarmee dit nu moet gebeuren zijn hiervoor veel te grof en dus ongeschikt. Ook op dit punt zal de opstelling worden aangepast. Het is zeer waarschijnlijk dat de spreiding in de waarnemingen tussen de vier doorstroomcilinders voor een deel te wijten is aan verschillen in snelheid van bevochtiging.

Om de in het veld op buis en omhullingsmateriaal drukkende bodemlast na te bootsen worden in de meetcilinders gewichten geplaatst die een druk veroorzaken van 2 N/cm^2 ($= 200 \text{ gram/cm}^2$). Dit niveau wordt al vele jaren door meerdere onderzoekers aangehouden en komt overeen met een gemiddelde diepte van de buis van 1 meter, bij een gemiddelde vochtigheidsgraad van de bodem. Omdat genoemde drukhoogte zo gebruikelijk is, werd zij 'klakkeloos' overgenomen. Door een toevallige ontdekking

in het laboratorium lijkt het onontkoombaar de hoogte van de gesimuleerde bodemlast kritisch te herzien.

Na het ontmantelen van de opstelling met omhullingsmateriaal polystyreenkorrels in plastic folie bleek een groot aantal van deze korrels gedeeltelijk in elkaar te zijn gedrukt. In het veld is dit echter nooit geconstateerd (NAARDING, 1983: personal communication). Medio juni 1983 zijn te Zuidlaren een aantal buizen, omhuld met polystyreenkorrels opgegraven waar geconstateerd werd de ps-korrels nergens waren ingedrukt. Ofschoon theoretisch wellicht juist, zullen we in het vervolg in de doorstromingsopstelling een lagere 'bodemdruk' dienen te realiseren dan de tot nu toe gebruikelijke 200 gram/cm^2 . De discrepantie tussen beide constateringingen wordt misschien veroorzaakt door het feit dat de krachtenverdeling rond een omhullingsmateriaal om een ronde buis stellig anders is dan die in de opstelling, waar met platte monsterschijven wordt gewerkt. Nader onderzoek in deze is onontbeerlijk voordat de doorstromingsproeven worden hervat. - Ondertussen worden de huidige proefuitkomsten beïnvloed door de te hoge bodemlast. Met name de berekende doorlatendheden van de volumineuze materialen worden hierdoor nadelig beïnvloed; de zanddichtheid zal in sommige gevallen gunstiger worden beoordeeld. Het omhullingsmateriaal polystyreen komt door de kwestie van de te hoge bodemlast onevenredig slecht uit de bus omdat het, vergeleken met andere volumineuze materialen zeer elastisch is. Ook de resultaten behaald met turfvezelomhulling zijn om dezelfde reden wellicht ongunstig beïnvloed.

Met opzet is getracht chemische verstoppingsverschijnselen tijdens de doorstromingsproeven zoveel mogelijk tegen te gaan. Niettemin spelen dit soort verstoppingen in werkelijkheid meestal een rol van betekenis. Ervaringen in het veld en in het laboratorium (FORD, 1983) geven aan dat volumineuze materialen door chemische of biochemische oorzaken meestal minder snel verstoppem dan dunne materialen; in de meeste gevallen betreft het echter gewoon 'uitstel van executie' en zullen we uiteindelijk toch moeten doorspuiten. Bij de beoordeling van materialen is het risico van (bio)chemische verstopping niet verdisconteerd.

Samengevat concluderen we dat we terughoudend moeten zijn met het beoordelen van de met de doorstromingsproeven bereikte resultaten, ten

gevolge van:-

1. het experimenteren met verschillende typen bodemmateriaal tijdens de eerste vijf doorstromingsproeven,
2. het werken met overgedimensioneerde debietmeters tijdens proef 1 t/m 11,
3. de activiteiten van slijmvormende bacteriën,
4. het gebruik van cohesieloos bodemmateriaal,
5. de onregelmatige en vaak te snelle bevochtiging van de bodemonsters,
6. de wellicht te hoge bodemlast,
7. het niet in de beoordeling van de resultaten meenemen van de te verwachten gevoeligheid van omhullingsmaterialen voor (bio)chemische verstoppingsverschijnselen.

3. BEREKENINGEN

Tijdens de proeven worden regelmatig een aantal grootheden geregistreerd. Dit moet des te vaker gebeuren naarmate deze grootheden aan snellere veranderingen onderhevig zijn; bij het begin van de proef vier keer per dag, langzaam afnemend tot eens per twee dagen aan het eind (twee weken later). Gemeten worden laboratoriumtemperatuur, watertemperaturen (4 plaatsen), debieten, en drukhoogtes van het door bodem- en omhullingsmateriaal stromende water. Aan de hand van deze gegevens berekenen we (verzadigde water)doorlatendheden. Die doorlatendheden zijn de belangrijkste grootheden bij dit soort proeven, omdat ze aangeven hoeveel 'moeite het water moet doen' om door het bodem- resp. omhullingsmateriaal heen te komen. Hoe kleiner de doorlatendheid (= hoe groter de weerstand) des te meer 'moeite' het water zal moeten doen.

Doorlatendheden worden beïnvloed door een aantal factoren. Omhullingsmaterialen hebben, wanneer zij nog niet geïnstalleerd, en dus nog 'schoon' zijn, een specifieke doorlatendheid die in het laboratorium kan worden gemeten. Gaan we het omhullingsmateriaal samenpersen dan neemt de doorlatendheid af omdat de dichtheid van het materiaal toeneemt. Raakt het materiaal na installatie (gedeeltelijk) verstopt dan neemt de doorlatendheid verder af en de porositeit (= het percentage 'lucht' in

een onhullingsmateriaal) eveneens. Veel poriën vangen bodemdeeltjes op en zijn niet meer beschikbaar voor watertransport. Die bodemdeeltjes kunnen in theorie overal in de bodem losraken en door het water worden meegenomen. Zij kunnen dan in het omhullingsmateriaal 'vastlopen', maar dat kan net zo goed in de bodem zelf gebeuren, wanneer een deeltje naar het omhullingsmateriaal op weg is. Omdat het vermoeden bestond dat dit wel eens het geval zou kunnen zijn is de doorstromingopstelling op indirecte registratie van dit verschijnsel ingericht. Net zoals de doorlatendheid van een (gedeeltelijk) verstopt omhullingsmateriaal afneemt, kan dit in de bodem ook gebeuren: het losraken van fijne bodemdeeltjes noemen we 'suffosie' en het elders weer vastlopen 'verslemping'. Bij verslemping worden verdichte lagen gevormd; het is dus eigenlijk een verstoppingsproces dat zich in de bodem zelf afspeelt. Verslemping kunnen we indirect constateren door de doorlatendheid van het bodemonster op een aantal boven elkaar liggende plaatsen constant in de gaten te houden.

Met behulp van de door Seijger gebruikte meetcilinders was het mogelijk om de doorlatendheid van het bodemonster op slechts twee plaatsen te meten: de gemiddelde doorlatendheid van het 'laagje' van 0 tot 3 cm boven het omhullingsmateriaal, en van het daarop gedachte laagje tussen 3 en 9 cm. In de nieuwe opstelling is het aantal (denkbeeldige) laagjes opgevoerd tot zeven met als grenzen 0-1.5-3.0-4.2-5.4-6.6-7.8 en 9.0 cm boven het omhullingsmateriaal. We zijn nu beter in staat om te zien hoe al die doorlatendheden met de tijd veranderen en of daar onderling misschien verbanden tussen bestaan. Dat we veel meer waarden moeten berekenen is niet erg omdat we hiervoor de computer inschakelen terwijl Seijger het met de hand deed.

Bij het berekenen en interpreteren van doorlatendheidswaarden doet zich overigens een complicatie voor. Doorlatendheden berekenen we uit het verschil in waterdruk aan weerszijden van het bewuste materiaal, de hoeveelheid water die per tijdseenheid passeert (= het debiet), de dikte van het materiaal en de temperatuur. Een doorlatendheid is een technische grootte die zodanig is gedefiniëerd dat we verschillende materialen gemakkelijk kunnen vergelijken: de doorlatendheid geeft aan, hoeveel water er door een materiaal met een dikte van één meter kan passeren, wanneer het drukverschil van dat water

aan weerszijden van het materiaal een bepaalde, vastgestelde waarde heeft. In de definitie komt de grootheid *d i k t e* voor en daarom komen we in het algemeen, en in het bijzonder bij dunne materialen, in moeilijkheden. Het beoordelen van een bepaald materiaal op zijn geschiktheid, en het onderling vergelijken van materialen, louter aan de hand van berekende doorlatendheden wordt pas zinnig als we tegelijkertijd rekening houden met de werkelijk gemeten dikte van die materialen zoals ze rond de buis voorkomen. Stel dat we over twee verschillende omhullingsmaterialen beschikken die dezelfde doorlatendheid hebben. Materiaal A is echter twee keer zo dik als materiaal B. Het water zal dan twee keer zoveel moeite moeten doen om door A te dringen als door B. In de praktijk betekent dat dat bij materiaal A een twee keer zo groot drukverlies van het water optreedt als bij materiaal B. Daarom: lijsten met doorlatendheden van omhullingsmaterialen geven wel verschillen weer tussen allerlei soorten materialen, voor het beoordelen van die materialen op hun functioneren in een ontwateringssysteem is het hanteren van gegevens uit dit soort lijsten misleidend.

Voor het berekenen van de doorlatendheid van dunne materialen komt daar nog een extra complicerende factor bij. Het is niet eenvoudig om de dikte van deze materialen (minder dan $\frac{1}{2}$ mm) nauwkeurig vast te stellen. Stel dat we in plaats van de 'werkelijke' dikte van een dun materiaal, die 0.10 mm is, 0.15 mm gemeten hebben, dan zitten we er bij de berekening van de doorlatendheid 50% naast. Fouten bij diktemetingen zijn bij dunne materialen relatief veel ingrijpender dan bij volumineuze met als gevolg relatief zeer onbetrouwbare doorlatendheidswaarden. In dit onderzoek wordt voor alle dunne materialen een dikte van vier mm. aangehouden, zijnde de dikte van het dunne materiaal in combinatie met de geribbelde buis. Mocht bij volumineuze materialen de weerstand van de buis ten opzichte van het omhullingsmateriaal meestal worden verwaarloosd, bij dunne materialen mag dit niet. Dit is, naast de moeilijk meetbare dikte van dunne materialen de reden dat we voor die vier mm gekozen hebben. Op deze manier is het ook mogelijk de verschillende dunne materialen onderling op hun doorlatendheden te vergelijken, al kan dit misleidend zijn naar al eerder werd gesteld.

Al deze opmerkingen gelden overigens niet voor de berekende doorlatendheden van de verschillende laagjes in het bodemmateriaal omdat de

laagdikte niet verandert; het is immers een technisch vastliggende grootheid die bepaald wordt door de plaatsen van de piëzometers in de plexiglas doorstroomcilinders. Voor elke doorstromingsproef en elke cilinder zijn de waarden hetzelfde.

Uit de berekende doorlatendheden van de omhullingsmaterialen leiden we nog een aantal andere grootheden af, te weten de intreeweerstand, de intreeweerstandsfactor α en de effectieve drainstraal.

De intreeweerstand is afhankelijk van de doorlatendheid van het omhullingsmateriaal, het bodemmateriaal dat hier direct tegenaan ligt en het debiet. De intreeweerstand is hoog als het omhullingsmateriaal (veel) slechter doorlatend is dan de omringende bodem; is het omhullingsmateriaal beter doorlatend dan is de intreeweerstand laag. De intreeweerstand neemt ook af als de doorlatendheid van het omringende bodemlaagje groter wordt: het water kan dan immers gemakkelijker het omhullingsmateriaal binnendringen. Om nu waarden van de intreeweerstand te krijgen die niet afhankelijk zijn van de doorlatendheid van het direct aanliggende bodemlaagje heeft men een intreeweerstandsfactor α gedefiniëerd. De waarde van α wordt verkregen door de waarde van de intreeweerstand te vermenigvuldigen met de waarde van de doorlatendheid van dat bodemlaagje. Die α is nu alleen afhankelijk van de doorlatendheid van het omhullingsmateriaal. Vergelijking van de waarden van α geeft een indruk van het al dan niet goed functioneren van omhullingsmaterialen.

Vervolgens wordt uit de waarde van α de zogenaamde effectieve drainstraal van een combinatie buis/omhullingsmateriaal berekend. De effectieve drainstraal is waarschijnlijk de meest sprekende en interessante grootheid die we uiteindelijk uitrekenen. De effectieve drainstraal is de straal van een denkbeeldige drain die a) geen intreeweerstand heeft en b) hetzelfde ontwaterende effect heeft als de in werkelijkheid bestaande buis + omhullingsmateriaal. Zo'n denkbeeldige drain zonder intreeweerstand noemen we een 'ideale drain'. Bij zo'n ideale drain zou, indien hij bestond, het water geen energie verliezen bij het binnendringen. Zo'n drain bestaat niet, maar een goede moldrain komt er in de praktijk nog het dichtst bij. Zelfs bij moldrains treedt energie- en dus drukverlies op omdat de wanden vaak gesmeerd zijn en de waterbeweging zelf nog verstoppende eigenschappen heeft. Omdat een ideale drain geen intreeweerstand heeft zal de effectieve drainstraal altijd kleiner zijn

dan de werkelijk bestaande drain + omhulling. Hoe beter die drain + omhulling functioneren des te groter is de effectieve drainstraal. Bij een totale diameter van drainbuis + omhullingsmateriaal van ± 7 cm is een effectieve drainstraal van 3 cm zeer goed te noemen, effectieve drainstralen van ± 2 cm en minder zijn in vergelijking daarmee slecht. Het onderling vergelijken van de waarden van de effectieve drainstraal kan handig zijn om de werking van de bijbehorende omhullingsmaterialen onderling te vergelijken, maar is ook misleidend omdat de waarde van de intree weerstandscoëfficiënt α waarop de berekening van de effectieve drainstraal is gebaseerd, niet eenduidig aangeeft of we met een goed of een slecht omhullingsmateriaal te maken hebben. Dit wordt later met voorbeelden toegelicht.

Het bestuderen van (het verloop van) alle hierboven genoemde grootheden is geen eenvoudige opgave. Daarom is besloten de meeste van deze grootheden in grafische vorm te presenteren. Om het onderlinge verloop van, en verband tussen de doorlatendheden van de verschillende bodemlaagjes en het bodemmateriaal gemakkelijker te kunnen bestuderen maken we gebruik van quasi-driedimensionale computertekeningen. In één figuur zijn alle belangrijke grootheden en de veranderingen daarin - onderling, en als functie van de tijd - overzichtelijk getekend.

4. ANDERE BEPALINGEN

Twee soorten bepalingen zijn nog niet aan de orde geweest: de zanddichtheid van de omhullingsmaterialen en de verandering in samenstelling van het bodemmateriaal tengevolge van het twee weken lang doorstromen van het water. Na afloop van elke doorstromingsproef is de hoeveelheid in- en doorgespoeld bodemmateriaal zo goed mogelijk gemeten. Het vaststellen van ingespoelde hoeveelheden was bij dunne materialen niet mogelijk. Met behulp van de elektronische deeltjesgrootteteller was het mogelijk veranderingen vast te stellen in de samenstelling van het doorstroomde bodemonster. Deze veranderingen hangen samen met het deeltjestransport dat in zo'n bodemonster heeft plaatsgevonden.

5. ANALYSE VAN DE RESULTATEN VAN DE DOORSTROMINGSPROEVEN

De volgende materialen zijn aan een doorstromingsproef onderworpen:

1. VOLUMINEUZE MATERIALEN: Cocos A, Cocos B, Cocos C, Turfvezel, Polypropeen A, Polypropeen B, Polypropeen C, Polypropeen D, Polypropeen E, Polypropeen F, Polypropeen G, Bidim, Dijkbeschuttingsmateriaal, Erolan, Polystyreenkorrels, en Acrylvezeldoek.
2. DUNNE MATERIALEN: Glasvlies A, Glasvlies B, Cerex, Typar A, Typar B, Nylon kous A, Nylon kous B, Nylon kous C.

Na elke doorstromingsproef worden de gegevens aangeboden aan het DEC-10 computersysteem van de Landbouwhogeschool. De gegevens zijn verwerkt met behulp van vijf computerprogramma's, waarvan drie voor dit onderzoek werden ontwikkeld. Programma PREPRO (=PRE-PROcessing) onderzoekt de ingevoerde gegevens op fouten en corrigeert deze automatisch. Tevens wordt een lijst geproduceerd waarop alle verbeteringen worden vermeld. De verbeterde gegevens gaan naar programma DREPRO (=DRAIN-PROcessing), waar bijna de gehele analyse van de gegevens plaatsvindt. Vervolgens verzorgt programma KOMPLOT (=KOMputer PLOTting) de grafische uitvoer van interessante grootheden. Programma POSPRO (=POST-PROcessing) verandert een aantal doorlatendheidswaarden op zodanige wijze dat we er daarna met behulp van programma PICTURE driedimensionale plaatjes van kunnen maken.

Elke doorstromingsproef levert zeer veel gegevens op. Het zou te ver voeren en de duidelijkheid niet ten goede komen als we al die gegevens in dit rapport zouden opnemen. We volstaan daarom met een selectie van de meest relevante uitkomsten. Indien dit de duidelijkheid ten goede komt worden gegevens vermeld in tabellen.

Achtereenvolgens bespreken we de verschillende grootheden met de voorlopige conclusies.

5.1. Analyse van de hydraulische grootheden

Alle berekende, relevante hydraulische grootheden zijn in grafische vorm weergegeven. In vier grafieken vindt men van een aantal materialen het verloop van deze grootheden, alsmede dat van het drukhoogteverschil over de buis en het omhullingsmateriaal in cm.. Alles is weergegeven als functie van de tijd. Bij het bestuderen van de grafieken moet de lezer erop bedacht zijn dat de bestudeerde grootheden tegen logaritmische assen zijn uitgezet. Voor de factor tijd is een "gewone" lineaire schaal gebruikt.

In fig. 23 is globaal het verloop van het drukhoogteverschil van het water aan weerszijden van buis + omhullingsmateriaal weergegeven. De gegevens zijn ook beschikbaar in tabel 1. Tijdens de doorstromingsproeven is steeds het totale drukhoogteverval - de gradiënt - over omhullingsmateriaal en de gehele kolom bodemmateriaal in de doorstroomcilinder zo goed mogelijk constant te gehouden. Veranderingen in drukhoogte over buis en omhullingsmateriaal met de tijd moeten daarom grotendeels worden toegeschreven aan het veranderen van de doorlatendheid. De waarden zijn gemiddelden over vier meetcilinders en zijn berekend 1 uur na het begin van de proef, halverwege en vlak voor het einde.

De verschillen in drukhoogte zijn groot: die over polypropeen C denier is nauwelijks meetbaar (gemiddeld op 0.5 mm geschat) terwijl die over polystyreenkorrels begint op ruim 3.6 cm en gedurende de proef verder oploopt tot ruim 8.8. cm. Bij deze waarden plaatsen we overigens weer de kanttekening dat de met behulp van de gewichten gesimuleerde bodemlast waarschijnlijk te hoog is; polystyreenomhulling is hiervoor ge-

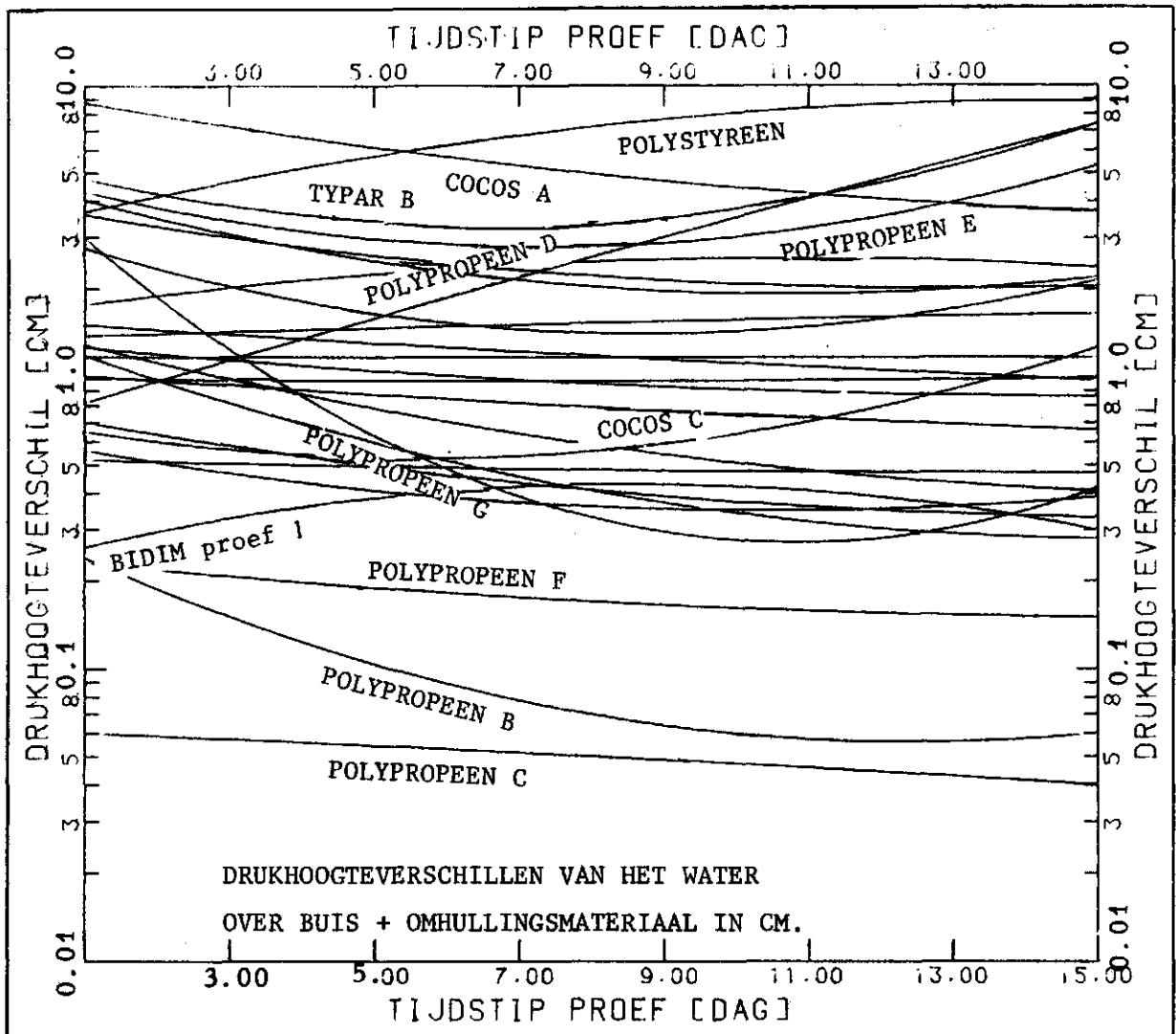


Fig. 23. Drukhoogteverschillen van het water ter weerszijden van buis + omhullingsmateriaal

voeliger dan andere volumineuze materialen (hoge elasticiteit). De spreiding in de waarden voor polystyreen is dermate gering dat moet worden aangenomen dat zelfs het merendeel van de perforaties in de omhullende plastic folie volledig is geblokkeerd; bijvoorbeeld platgedrukt tegen de ps-korrels aan. Het steeds verder oplopen van het drukhoogteverschil is waarschijnlijk te wijten aan het steeds verder in elkaar gedrukt worden van dit omhullingsmateriaal (zetting). Andere omhullingsmaterialen met toenemende drukhoogteverschil zijn onder andere typar B, polypropeen D, polypropeen E, bidim (proef 1), cocos C en in geringe mate acrylver-

Tabel 1. Drukhoogteverschil over buis en omhullingsmateriaal in centimeters. Gemiddelden van vier (no. 4a en 4b: twee) kolommen

Proef no.	Materiaal	Begin	Halverwege	Eind
(1	Bidim ¹)	0.26	0.43	0.30
(2	Bidim ²)	0.52	0.48	0.48
(3	Cocos A ³)	8.77	4.99	3.71
(4a	Polypropeen A ⁴)	0.56	0.36	0.39
(4b	Polypropeen A ⁵)	1.17	1.17	1.17
(5	Dijkbeschuttingsmateriaal ⁶)	0.70	0.41	0.33
6	Cocos B	1.19	0.41	0.28
7	Cerex	1.01	0.79	0.66
8	Glasvlies A	1.51	1.19	0.98
9	Typar A	1.26	0.95	0.86
10	Polypropeen B	0.24	0.07	0.06
11	Polypropeen C	0.06	0.05	0.04
12	Erolan	1.38	1.53	1.65
13	Polypropeen D	0.82	2.58	7.42
14	Polystyreenkorrels	3.66	7.21	8.85
15	Cocos C	0.65	0.56	1.27
16	Polypropeen E	1.29	0.59	0.41
17	Nylon kous A	4.31	2.81	5.32
18	Turfvezel	2.77	1.42	2.15
19	Typar B	4.77	3.39	7.44
20	Acrylvezeldoek	0.99	0.97	0.99
21	Glasvlies B	1.77	2.49	2.37
22	Nylon kous B	3.60	2.23	2.05
23	Polypropeen F	0.23	0.17	0.15
24	Nylon kous C	4.05	2.05	2.20
25	Polypropeen G	2.99	0.33	0.42

Alle waarden zijn gemiddelden van vier meetcilinders, behalve proef 4a en b (twee)

- 1) gemeten met ontijzerd en ontkalkt bodemmateriaal 'Halsema'
- 2) bodemmateriaal 'Halsema'
- 3) bodemmateriaal 'Halsema'
- 4) bodemmateriaal Almerezand
- 5) bodemfractie 53-75 µm
- 6) bodemmateriaal Blokzijlzand, No. 6 t/m 25: Almerezand

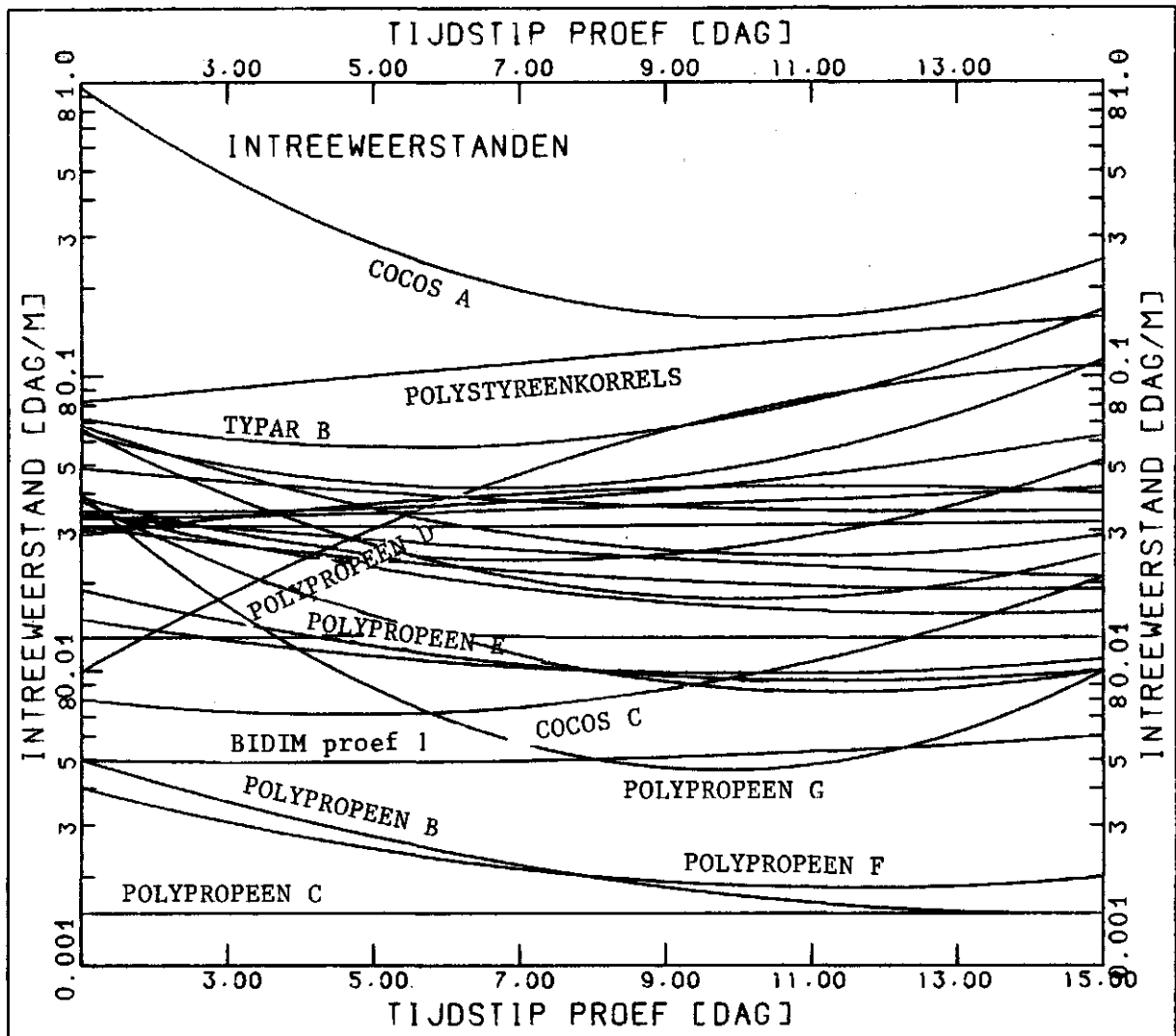


Fig. 24. Intreeweerstanden van de verschillende omhullingsmaterialen

zeldoek. Wegens ruimtegebrek konden overigens lang niet alle namen van de materialen bij de grafieken worden geplaatst.

Cocos A vertoont een afnemend drukhoogteverschil met de tijd, maar dit materiaal is onderzocht in combinatie met bodemmateriaal 'Halsema' en dus niet goed vergelijkbaar. Dat geldt ook voor bidim (proef 2). Afnemend drukhoogteverschil zien we ook bij dijkbeschuttingsmateriaal, cocos B, glasvlies A, typar, veel soorten polypropeen, nylon kous B en glasvlies B. Bekijken we figuur 23 nogmaals dan is de conclusie dat verschillende soorten polypropeen als beste uit de bus komen.

In fig. 24 is het verloop van de intreeweerstanden getekend; de ge-

Tabel 2. Intreeweerstanden (dag/m)

Proef no.	Materiaal	Begin	Halverwege	Eind
(1	Bidim 1)	0.005	0.005	0.006
(2	Bidim 2)	0.068	0.027	0.029
(3	Cocos A 3)	0.962	0.175	0.249
(4a	Polypropeen A 4)	0.015	0.010	0.011
(4b	Polypropeen A 5)	0.031	0.031	0.032
(5	Dijkbeschuttingsmateriaal 6)	0.033	0.036	0.042
6	Cocos B	0.038	0.010	0.010
7	Cerex	0.035	0.018	0.016
8	Glasvlies A	0.034	0.025	0.021
9	Typar A	0.031	0.021	0.019
10	Polypropeen B	0.005	0.001	0.001
11	Polypropeen C	0.001	0.001	0.001
12	Erolan	0.066	0.019	0.025
13	Polypropeen D	0.010	0.056	0.109
14	Polystyreenkorrels	0.082	0.116	0.159
15	Cocos C	0.008	0.008	0.021
16	Polypropeen E	0.019	0.010	0.010
17	Nylon kous A	0.064	0.043	0.114
18	Turfvezel	0.039	0.024	0.052
19	Typar B	0.072	0.062	0.169
20	Acrylvezeldoek	0.013	0.013	0.013
21	Glasvlies B	0.029	0.041	0.040
22	Nylon kous B	0.049	0.037	0.035
23	Polypropeen F	0.004	0.002	0.002
24	Nylon kous C	0.035	0.039	0.063
25	Polypropeen G	0.040	0.005	0.010

Alle waarden zijn gemiddelden van vier meetcilinders, behalve proef 4a en b (twee)

- 1) gemeten met ontijzerd en ontkalkt bodemmateriaal 'Halsema'
- 2) bodemmateriaal 'Halsema'
- 3) bodemmateriaal 'Halsema'
- 4) bodemmateriaal Almerezand
- 5) bodemfractie 53-75 μ m
- 6) bodemmateriaal Blokzijlzand, No. 6 t/m 25: Almerezand

gevens zijn opgenomen in tabel 2. Bij het berekenen van intree-standen worden verschillen in dikte van de omhullingsmaterialen en in debieten van het doorstromende water geëlimineerd zodat we nu een betrouwbaarder vergelijkingsbasis hebben gekregen. Het beeld verandert overigens niet drastisch ten opzichte van dat van de drukhoogteverschillen.

De tot nu toe verkregen informatie is waardevol maar niet compleet. Niet alleen het door het omhullingsmateriaal veroorzaakte drukhoogteverschil is van belang, maar ook dat over het bodemlaagje dat direct tegen het omhullingsmateriaal aanligt. Het omhullingsmateriaal kan nog zo goed-doorlatend zijn en dus een gering drukhoogteverschil veroorzaken, als het daaropliggende bodemlaagje slecht-doorlatend is (groot drukhoogteverschil) zijn we uiteindelijk niet veel opgeschoten. Om van een en ander een indruk te krijgen hebben we alle combinaties van drukhoogtes in een zgn. strooidiagram ondergebracht: zie fig. 25. In deze figuur bevatten groep 1 t/m 3 materialen die zelf minder drukhoogteverschil veroorzaken dan het hier tegenaanliggende ('eerste') bodemlaagje: het betreft hier 17 materialen. In groepen 4 en 5 is het omgekeerde het geval (9 materialen). We zien dat dunne materialen relatief gezien zelf meer drukhoogteverschil veroorzaken dan volumineuze. De materialen uit groep 1 beoordelen we aan de hand van deze analyse als 'goed', die uit groepen 2 en 4 als 'redelijk' en die uit groepen 3 en 5 als 'matig' tot 'slecht'. Volumineuze materialen komen gemiddeld beter uit de bus dan dunne. De spreiding in de waarden in x-richting ('buis + omhulling') is veel groter dan die in de y-richting ('eerste bodemlaagje'). Het drukhoogteverschil over de verschillende omhullingsmaterialen variëert dus sterk, terwijl de processen in het tegen deze materialen aanliggende bodemlaagje minder sterk door het soort omhullingsmateriaal worden beïnvloed dan we wellicht zouden denken.

Nauw verwant met de zojuist besproken figuur is fig. 26. In dit tweede strooidiagram hebben we de gemiddelde doorlatendheden van de omhullingsmaterialen en de hier tegenaan liggende bodemlaagjes op dezelfde wijze tegen elkaar uitgezet als in de vorige figuur. Het betreft hier niet de waarden van de berekende doorlatendheden zelf, maar de verhoudingen ten opzichte van de gemiddelde doorlatendheid van het bodemmateriaal. Is die verhouding gelijk aan één, dan is het omhullingsmateriaal

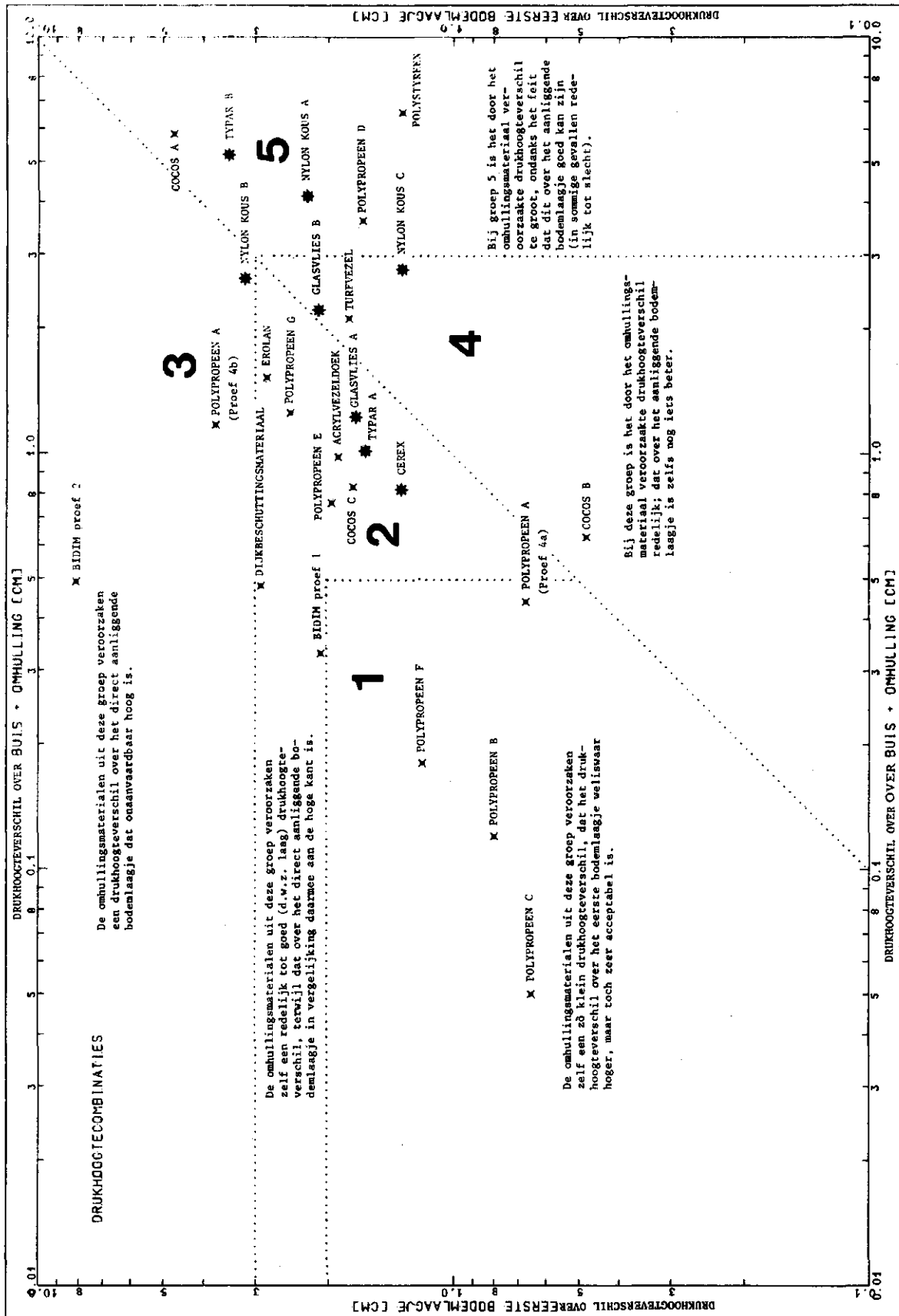


Fig. 25. Strooidiagram van gemeten drukhoogteverschillen over omhullingsmateriaal en het direct daar tegen aanliggende, 'eerste', bodemlaagje.

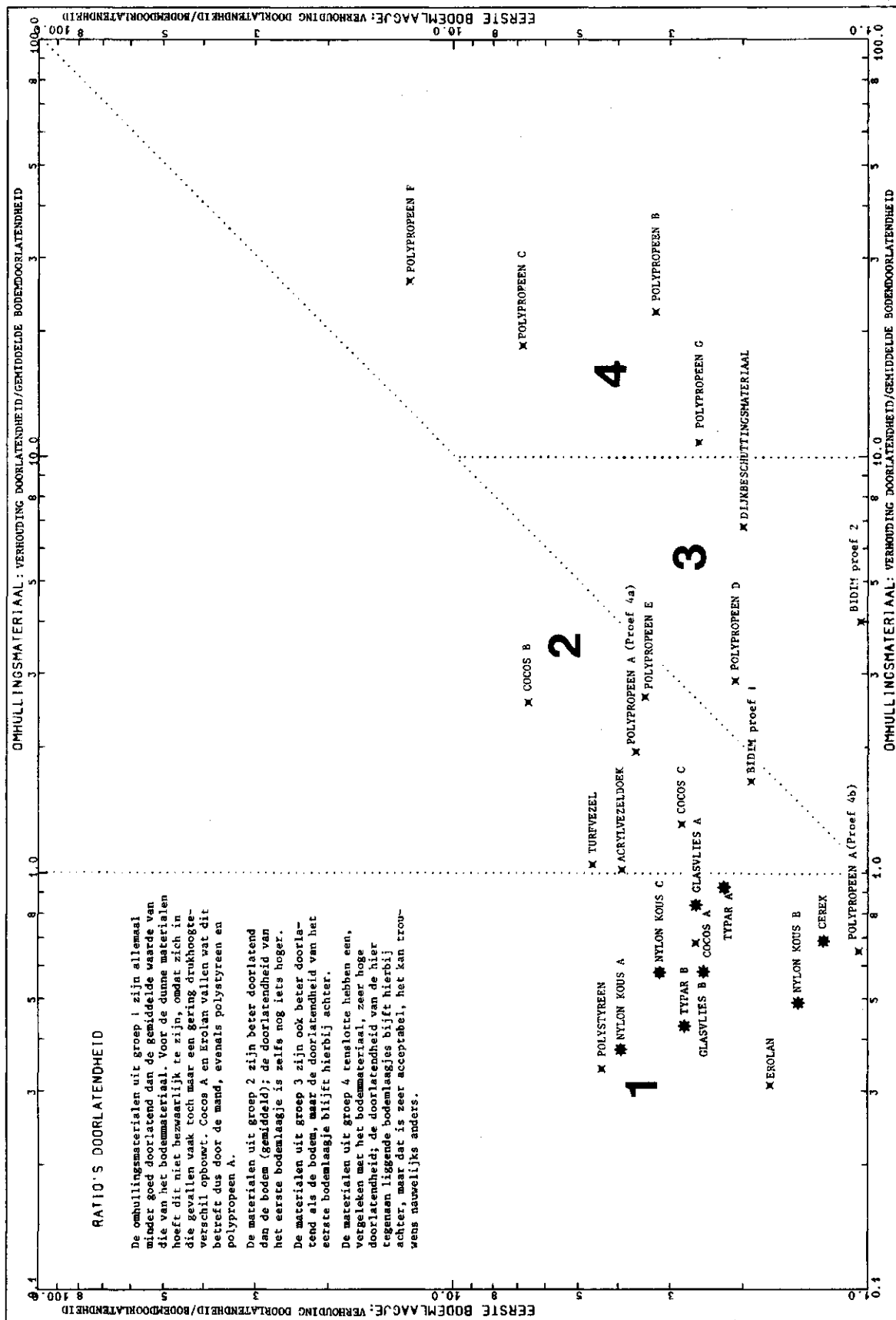


Fig. 26. Strooidiagram van gemiddelde doorlatendheden van omhullingsmaterialen en de hier tegen aanliggende bodemlaagjes, in verhouding tot de gemiddelde doorlatendheid van het bodemmateriaal.

gemiddeld even waterdoorlatend als het bodemonmonster. In de figuur staat tussen de waarden 1 op de horizontale assen een stippellijn. De materialen links van deze lijn hebben een lagere gemiddelde doorlatendheid dan het bodemmateriaal, die van de materialen aan de rechterkant zijn gemiddeld juist beter doorlatend. Deze materialen hebben we in drie groepen verdeeld (2, 3 en 4). De omhullingsmaterialen uit groep 2 zijn beter doorlatend dan het bodemmateriaal, en de doorlatendheid van het eerste bodemlaagje is zelfs nog hoger. De materialen uit groep 3 is ook beter doorlatend, maar die van het eerste bodemlaagje blijft hierbij achter. Alle materialen uit groep 4 hebben, vergeleken met de gemiddelde doorlatendheid van de bodem, een zeer hoge doorlatendheid. Die van het eerste bodemlaagje moet dientengevolge wel lager zijn; op zich zijn al die waarden nog hoog genoeg.

Kunnen we nu, net als in fig. 25, aan de hand van deze analyse vier groepen een waardering geven? Eigenlijk niet, gezien het feit dat het de *drukhoogten* zijn die voor het functioneren van een ontwateringssysteem van belang zijn; niet zozeer de waarden van technische grootheden als doorlatendheden.

Opvallend is dat de meeste polypropeensoorten in beide figuren goed uit de bus komen, met uitzondering van polypropeen G, dat nog een relatief groot drukhoogteverschil veroorzaakt in het daarop liggende bodemlaagje. De volumineuze materialen polystyreen en turfvezel blijken beide een vrij goed natuurlijk filter in de bodem te ontwikkelen maar hebben zelf een matige doorlatendheid door de hoge 'bodemlast' in de doorstroomcilinders. Uit fig. 26 leiden we af dat er een grote spreiding is in de doorlatendheid van de omhullingsmaterialen terwijl die in de doorlatendheid van het 1e bodemlaagje niet zo groot is. Vernadelde cocos blijkt, samen met enige polypropeensoorten, de beste natuurlijke filteropbouw in de bodem te geven; bij de dunne materialen is dit het geval bij nylon kous A en C. Het lijkt er echter op dat deze materialen zelf gedeeltelijk door de uitgespoelde bodemdeeltjes verstoppen.

Uit fig. 26 kan niet worden afgeleid dat volumineuze materialen betere natuurlijke filters in de bodem zouden ontwikkelen dan dunne. Bij de laatste groep zou de doorlatendheid na doorspuiten zelfs nog iets toe kunnen nemen; bij het doorspuiten van dunne materialen bestaat er

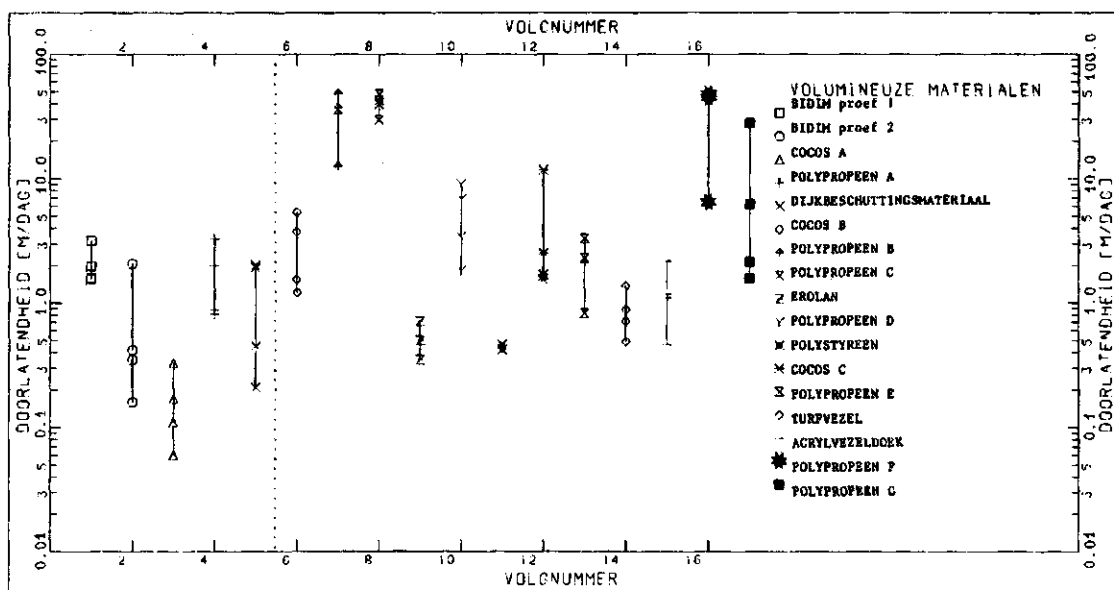
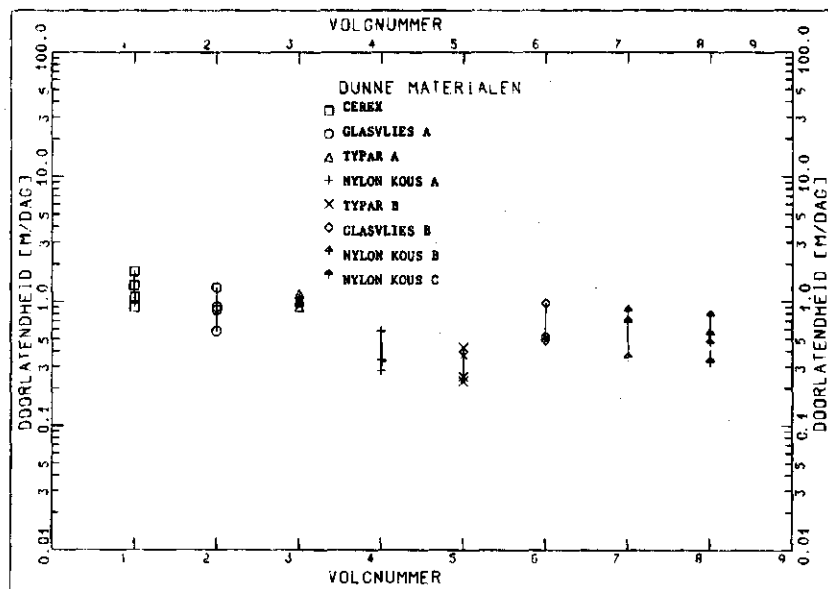


Fig. 27. Doorlatendheden van de geteste 'dunne' omhullingsmaterialen. Daaronder:
 Fig. 28. Doorlatendheden van de geteste 'volumineuze' omhullingsmaterialen.

De markeringen geven de in de afzonderlijke meetcilinders geregistreeerde waarden aan.

immers minder gevaar voor het tijdelijk creëren van een 'drijfzand'-situatie, waarbij het bodemmateriaal na het passeren van de spuitkop de buis in vloeit. Een mogelijkheid die bij volumineuze materialen zeker niet denkbeeldig is.

Voor de volledigheid is in fig. 27 en 28 de gemiddelde doorlatendheid van de omhullingsmaterialen + de spreiding weergegeven. Deze spreiding is bij de dunne materialen kleiner dan bij de volumineuze, waarschijnlijk omdat de dunne materialen meer homogeen zijn. Opvallend is dat de spreiding in de waarden van het materiaal polystyreenkorrels minimaal is; zoals al eerder opgemerkt waarschijnlijk te wijten aan de te hoge 'bodemplast'. Een grotere spreiding lijkt voor veldsituaties gunstiger: verstopt op de ene plaats het materiaal dan is dit elders wellicht nog niet het geval. De polypropreen- en cocosvarianten komen in deze figuren als beste uit de bus, naast glasvlies A en B, cerex, en typar A bij de dunne materialen. Er wordt echter nogmaals op gewezen dat het louter bestuderen van doorlatendheidswaarden misleidend is.

We sluiten onze analyse van het hydraulische gedrag van combinaties omhullings- en bodemmateriaal af met het bestuderen van het verloop van de dimensionale intreeweerstandsfactor α en de effectieve drainstraal. De factor α is te vergelijken met de al eerder besproken intreeweerstand, alleen is nu de invloed van de doorlatendheid van de bodem die het omhullingsmateriaal omringt, geëlimineerd. Waarden van α zijn dus zuivere materiaalparameters, die overigens wél tot stand zijn gekomen in combinatie met de verschillende bodemmateriaal.

Het vergelijken van fig. 29 met fig. 24 is gevaarlijk, want omhullingsmaterialen die voor een mooie natuurlijke filteropbouw in de bodem zorgen hebben een relatief hoge waarde van α , terwijl die materialen die een verstopping in het eerste bodemlaagje veroorzaken een relatief lage waarde van α kunnen krijgen. We moeten bij het bestuderen van de α -waarden dus altijd goed nagaan hoe die waarden tot stand zijn gekomen. Het lijkt in ieder geval niet verstandig om uit deze waarden van α af te leiden hoe goed het ontwateringssysteem met het bewuste omhullingsmateriaal zal functioneren, immers de doorlatendheid van verder gelegen bodemlaagjes kan slecht zijn, en eigenlijk zouden we op de plaatsen waar dat het geval is eveneens een soort 'intreeweerstand'

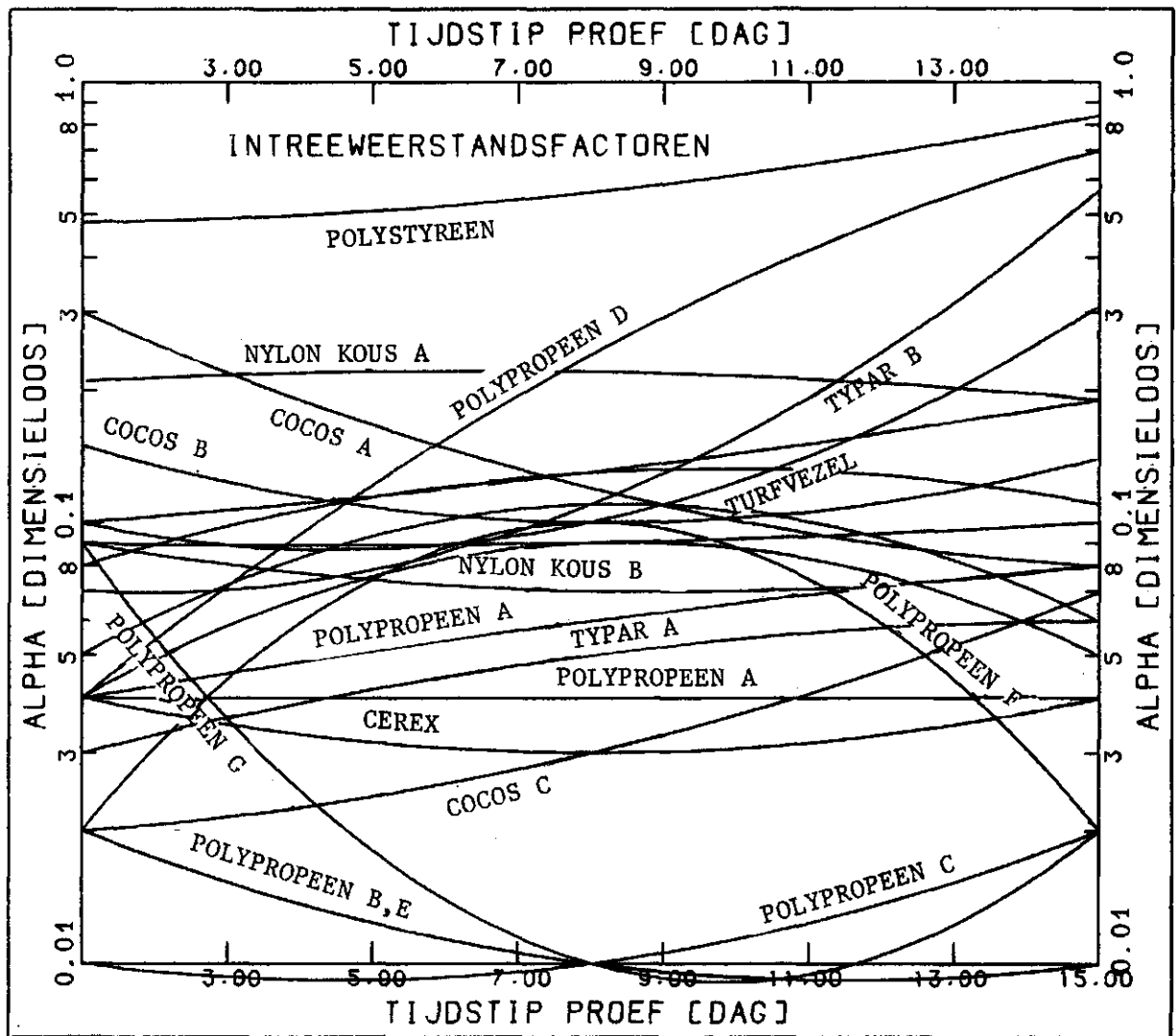


Fig. 29. Dimensieloze intreeweerstandsfactoren α van de omhullingsmaterialen

kunnen berekenen, en die in het geheel moeten verdisconteren, om de werkelijke ontwateringscapaciteit van een systeem te kunnen voorspellen.

Voorbeelden van de verwarrende invloed die de doorlatendheid van het tegen een omhullingsmateriaal aanliggende bodemlaagje op de berekening van α uit de intreeweerstand kan hebben, zien we bij cocos A, waar door een relatief groot drukhoogteverschil over dat laagje de intreeweerstand hoog is, maar de waarde van α relatief laag. Bij polyproppeen D zien we een omgekeerd effect: een lager drukhoogteverschil over het bodemlaagje leidt ertoe dat dit materiaal, wat de

Tabel 3. Intreeweerstandsfactoren α (—)

Proef no.	Materiaal	Begin	Halverwege	Eind
(1	Bidim ¹)	0.01	0.01	0.01
(2	Bidim ²)	0.01	0.01	0.01
(3	Cocos A ³)	0.30	0.12	0.08
(4a	Polypropeen A ⁴)	0.04	0.06	0.08
(4b	Polypropeen A ⁵)	0.04	0.04	0.04
(5	Dijkbeschuttingsmateriaal ⁶⁾	0.02	0.01	0.01
6	Cocos B	0.15	0.10	0.14
7	Cerex	0.04	0.03	0.04
8	Glasvlies A	0.05	0.11	0.06
9	Typar A	0.03	0.05	0.06
10	Polypropeen B	0.02	0.01	0.01
11	Polypropeen C	0.01	0.01	0.02
12	Erolan	0.04	0.09	0.05
13	Polypropeen D	0.04	0.24	0.70
14	Polystyreenkorrels	0.48	0.56	0.84
15	Cocos C	0.02	0.03	0.07
16	Polypropeen E	0.02	0.01	0.01
17	Nylon kous A	0.21	0.22	0.19
18	Turfvezel	0.10	0.10	0.31
19	Typar B	0.07	0.11	0.57
20	Acrylvezeldoek	0.09	0.09	0.10
21	Glasvlies B	0.08	0.13	0.11
22	Nylon kous B	0.09	0.07	0.08
23	Polypropeen F	0.02	0.10	0.02
24	Nylon kous C	0.10	0.13	0.19
25	Polypropeen G	0.09	0.01	0.02

Alle waarden zijn gemiddelden van vier meetcilinders, behalve proef 4a en b (twee)

- 1) gemeten met ontijzerd en ontkalkt bodemmateriaal 'Halsema'
- 2) bodemmateriaal 'Halsema'
- 3) bodemmateriaal 'Halsema'
- 4) bodemmateriaal Almerezand
- 5) bodemfractie 53-75 μm
- 6) bodemmateriaal Blokzijlzand No. 6 t/m 25: Almerezand

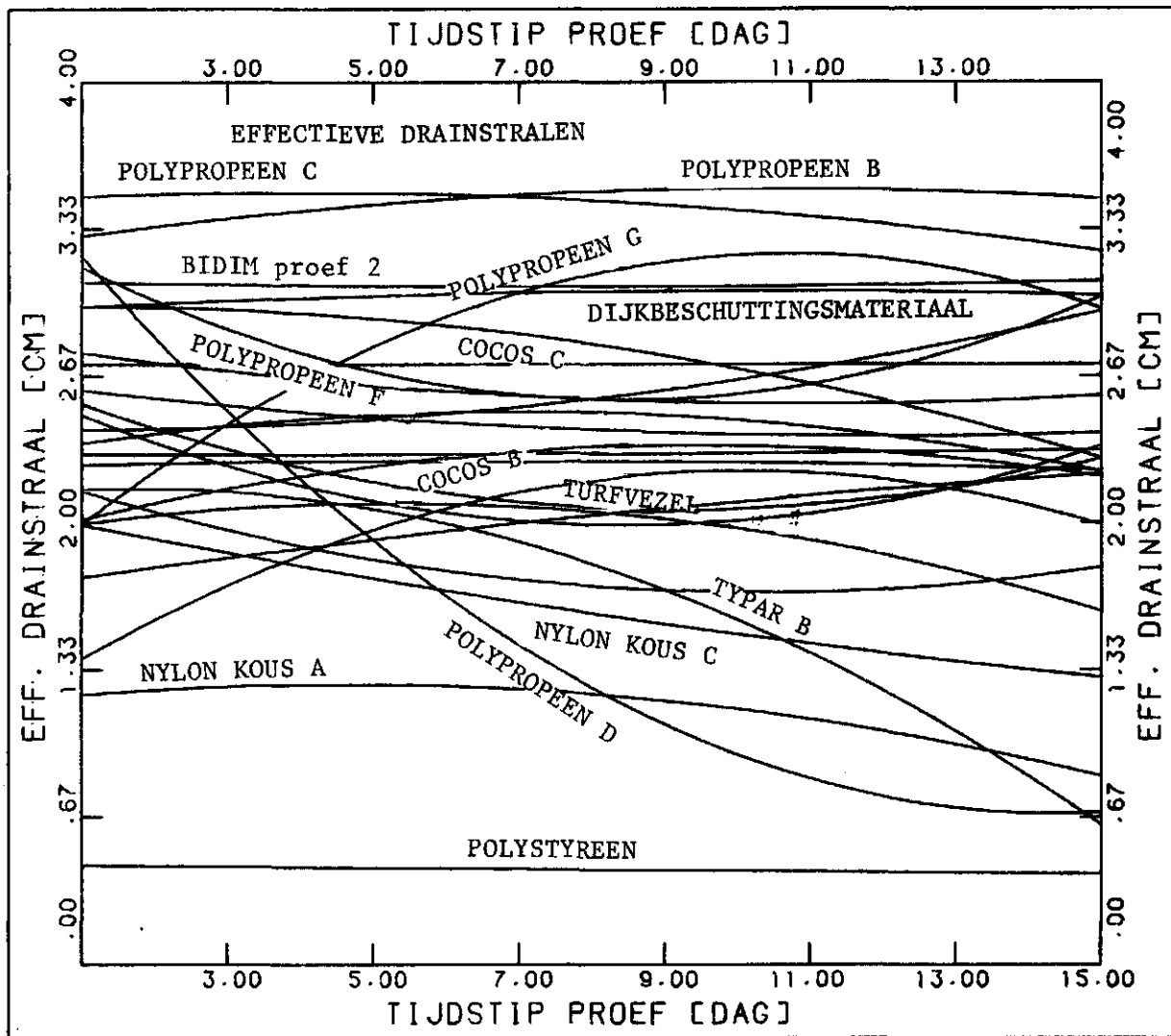


Fig. 30. Effectieve drainstralen van de omhullingsmaterialen (cm)

waarde van α betreft, meer naar de hogere regionen verschuift. Cocos A geeft tot verstopping van het eerste bodemlaagje aanleiding maar krijgt juist daarvoor een lage α , waaruit abusievelijk geconcludeerd zou kunnen worden dat het hier een van de betere materialen betreft. Bij polyproppeen D is precies het omgekeerde het geval. De gegevens zijn tevens ondergebracht in tabel 3.

Uit de waarden van α worden die van de effectieve drainstraal berekend: de straal van de ideale (d.i. zonder intreeweerstand) drain die dezelfde werking heeft als de geteste combinatie buis + omhullingsmateriaal. Hoewel ze uit α zijn afgeleid, zijn het toch waardevolle trends die we in fig. 30 kunnen bespeuren; een effectieve drainstraal is ook een grootte die gemakkelijker tot de verbeelding spreekt dan bijvoor-

Tabel 4. Effectieve drainstralen (cm)

Proef no.	Materiaal	Begin	Halverwege	Eind
(1	Bidim 1)	2.31	2.31	2.33
(2	Bidim 2)	3.09	3.07	3.10
(3	Cocos A 3)	1.75	2.03	2.22
(4a	Polypropeen A 4)	2.36	2.50	2.23
(4b	Polypropeen A 5)	2.72	2.72	2.72
(5	Dijkbeschuttingsmateriaal 6)	2.98	3.05	3.03
6	Cocos B	1.38	2.19	1.99
7	Cerex	2.77	2.56	2.58
8	Glasvlies A	2.49	1.99	2.35
9	Typar A	2.60	2.42	2.41
10	Polypropeen B	3.30	3.50	3.47
11	Polypropeen C	3.48	3.46	3.23
12	Erolan	2.54	2.07	2.29
13	Polypropeen D	3.21	1.25	0.69
14	Polystyreenkorrels	0.45	0.43	0.41
15	Cocos C	2.98	2.81	2.29
16	Polypropeen E	2.42	2.56	2.96
17	Nylon kous A	1.22	1.22	0.85
18	Turfvezel	1.99	2.05	1.60
19	Typar B	2.15	1.81	0.63
20	Acrylvezeldoek	2.26	2.28	2.24
21	Glasvlies B	2.14	1.71	1.80
22	Nylon kous B	2.01	2.34	2.21
23	Polypropeen F	3.16	2.56	3.03
24	Nylon kous C	1.99	1.59	1.30
25	Polypropeen G	1.99	3.13	2.97

Alle waarden zijn gemiddelden van vier meetcilinders, behalve proef 4a en b (twee)

- 1) gemeten met ontijzerd en ontkalkt bodemmateriaal 'Halsema'
- 2) bodemmateriaal 'Halsema'
- 3) bodemmateriaal 'Halsema'
- 4) bodemmateriaal Almerezand
- 5) bodemfractie 53-75 μm
- 6) bodemmateriaal Blokzijlzand. No 6 t/m 25: Almerezand

beeld intree weerstanden of doorlatendheden. Wederom konden niet alle materialen bij de grafieken worden vermeld, daarom zijn de waarden apart in tabel 4 opgenomen.

De polypropeensoorten komen weer als de beste uit de bus, maar ook materialen als cerex, typar A en Nylon kous B doen het goed, ook de cocos-soorten en turfvezelomhulling zijn nog acceptabel. Opvallend is het geringe verschil in effectieve drainstraal tussen de dunne en de volumineuze materialen; bij theoretische beschouwingen vallen deze verschillen altijd sterker uit.

Het bestuderen van de in de bijlagen gegeven grafieken met de doorlatendheden van alle verschillende bodemlaagjes leidt al snel tot de conclusie dat voor het functioneren van een ontwateringssysteem als geheel het verloop, en de ontwikkeling van de doorlatendheid van het bodemmateriaal van beslissende betekenis kan zijn. Daarom volgt straks een uitgebreide grafische analyse van alle doorlatendheden: zie hiervoor het laatste hoofdstuk van dit deel van het rapport. Bij toekomstig onderzoek zullen we ons niet meer beperken tot het bepalen van de intree weerstand, α en de effectieve drainstraal, maar zullen we het verloop van de drukhoogten van het water in omhullings- en bodemmateriaal in groter verband moeten bekijken en wellicht komen met een andere benadering tot het berekenen van de ontwaterende capaciteit van een combinatie bodem- en omhullingsmateriaal. Een en ander met realistisch bodemmateriaal in de opstelling, en bij verschillende gradiënten.

5.2. De zanddichtheid van omhullingsmaterialen

De zanddichtheid wordt beoordeeld aan de hand van de hoeveelheden in- en doorgespoeld bodemmateriaal. Deze in de laboratoriumopstelling gemeten hoeveelheden zijn omgerekend naar hoeveelheden die zouden zijn ingespoeld in een drainbuis met diameter 6 cm en lengte 1 meter. Zij zijn uitgezet in fig. 31. Hierbij zijn de ingespoelde hoeveelheden op de horizontale as uitgezet, en de doorgespoelde op de verticale as. De in- en doorgespoelde hoeveelheden lopen per materiaal sterk uiteen; daarom is gekozen voor het toepassen van logaritmische schalen. Dit soort schalen geeft bij lage waarden relatief veel detail, en bij hoge relatief weinig, maar we kunnen alle, sterk uiteenlopende waarden in één

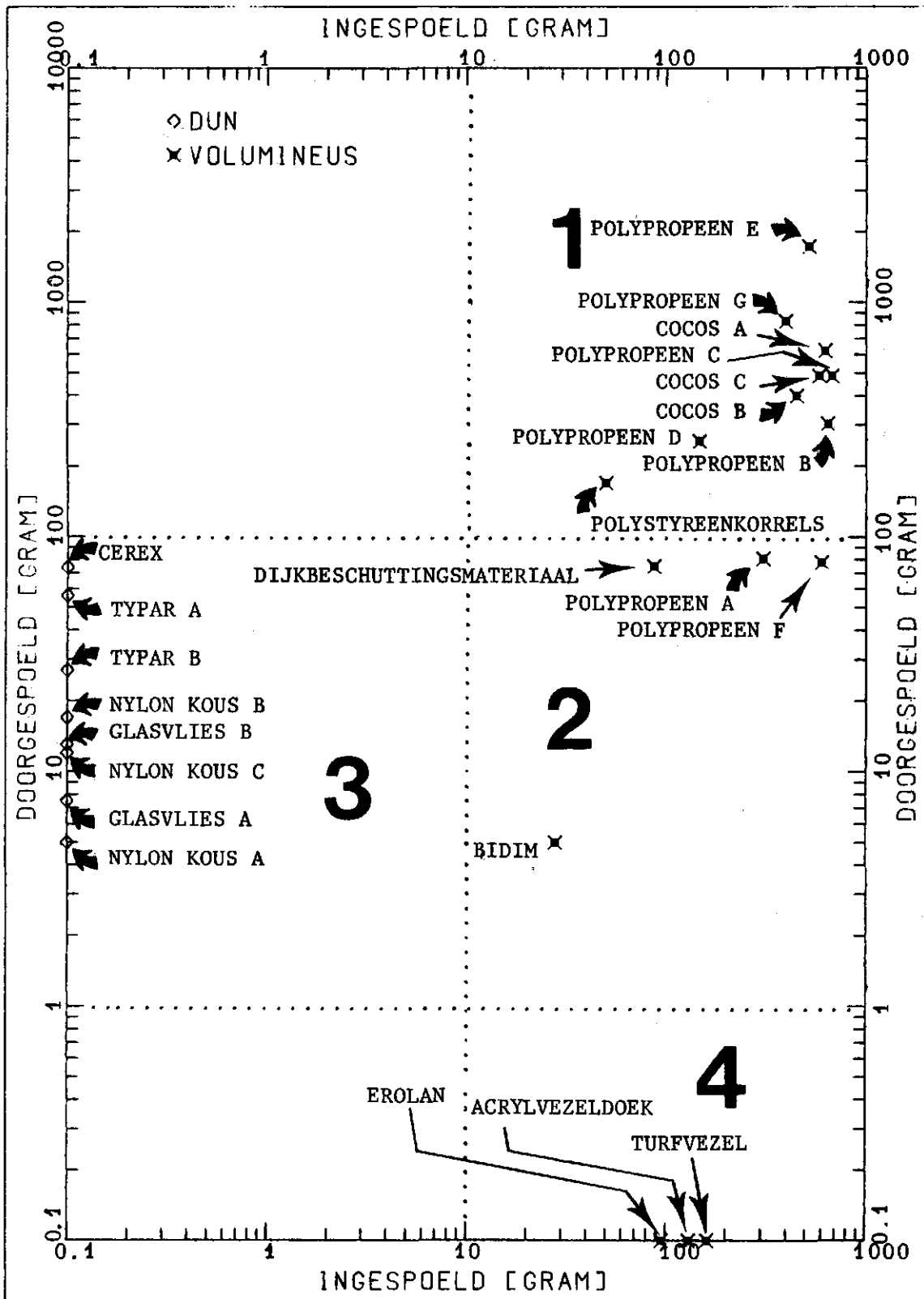


Fig. 31. De in- en doorgespoelde hoeveelheden bodemmateriaal in gram per meter buislengte (diameter 6 cm)

Tabel 5. In- en doorgeespoelde hoeveelheden bodemmateriaal, omgerekend per meter buislengte (diameter 6 cm)

Omhullingsmateriaal	Bodemateriaal	Tijdstip proef	Ingeespoeld (gram)				gem.	Doorgeespoeld (gram)				
			kolom 1	kolom 2	kolom 3	kolom 4		kolom 1	kolom 2	kolom 3	kolom 4	gem.
1. Bidim	Halsetma ¹	april 1981	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)
2. Bidim	Halsetma	juni 1981	22.4	28.8	2	33.1	27.7	2)	4.3	7.5	3.2	5.3
3. Cocos A	Halsetma	aug. 1981	706.2	616.6	685.9	480.0	621.9	587.8	847.0	646.5	409.6	623.0
4. Polypropoen A	Almerezand	sept. 1981	285.9	326.4	-	-	306.2	78.9	83.2	-	-	81.1
	53-75 µm											
4. Polypropoen A	Blokzijzand	sept. 1981	-	-	3)	3)	3)	-	-	4)	4)	4)
5. Dijkbeschuttingsmateriaal	Blokzijzand	okt./nov. 1981	62.9	119.5	88.5	75.7	86.4	72.5	104.5	32.0	89.6	74.7
6. Cocos B	Almerezand	nov. 1981	532.3	600.6	410.7	253.9	449.1	411.8	343.5	271.0	579.2	401.1
7. Cerex	Almerezand	dec. 1981	5)	5)	5)	5)	5)	92.8	44.8	74.7	82.1	73.6
8. Glasvlies A	Almerezand	jan. 1982	5)	5)	5)	5)	5)	6.4	4.3	11.8	5.3	7.5
9. Typar A	Almerezand	jan./febr. 1982	5)	5)	5)	5)	5)	70.4	39.5	81.1	34.1	56.5
10. Polypropoen B	Almerezand	febr./1982	690.2	588.8	498.2	796.9	643.3	293.4	248.6	396.8	277.4	304.0
11. Polypropoen C	Almerezand	maart 1982	626.2	623.0	624.1	825.7	675.3	440.6	386.2	512.0	604.8	486.4
12. Erolan	Almerezand	juni 1982	93.9	100.3	105.6	84.3	96.0	5)	5)	5)	5)	5)
13. Polypropoen D	Almerezand	juni 1982	137.6	148.3	145.1	147.2	147.2	217.6	235.8	370.2	201.6	256.0
14. Polystyreenkorrels	Almerezand	juni/juli 1982	5)	5)	5)	5)	5)	136.6	161.1	228.3	156.8	170.7
15. Cocos C	Almerezand	juni/juli 1982	509.9	624.0	645.4	550.4	582.4	316.8	365.9	713.7	555.8	488.6
16. Polypropoen E	Almerezand	aug. 1982	449.1	409.6	582.4	620.9	515.2	1867.9	1934.0	1516.9	1639.6	1739.8
17. Nylon kous A	Almerezand	aug. 1982	5)	5)	5)	5)	5)	5.3	6.4	2.1	6.4	5.3
18. Turfvezel	Almerezand	aug./sept. 1982	168.5	161.1	163.2	155.7	162.1	5)	5)	5)	5)	5)
19. Typar B	Almerezand	aug./sept. 1982	5)	5)	5)	5)	5)	23.5	38.4	20.3	19.2	26.7
20. Acrylvezeldoek	Almerezand	sept./okt. 1982	135.5	105.6	137.6	144.0	131.2	5)	5)	5)	5)	5)
21. Glasvlies B	Almerezand	sept./okt. 1982	5)	5)	5)	5)	5)	7.5	11.7	18.1	12.8	12.8
22. Nylon kous B	Almerezand	okt./nov. 1982	5)	5)	5)	5)	5)	8.5	12.8	34.1	13.9	17.1
23. Polypropoen F	Almerezand	okt./nov. 1982	700.9	495.0	691.3	476.8	598.4	49.1	130.1	65.1	66.1	77.9
24. Nylon kous C	Almerezand	febr./mrt. 1983	5)	5)	5)	5)	5)	10.7	10.8	13.9	11.8	11.8
25. polypropoen G	Almerezand	febr./mrt. 1983	344.6	434.2	411.8	389.4	394.7	680.6	771.3	1000.6	875.8	832.1

- 1) Chemisch voorbehandeld; kalk- en ijzerbestanddelen verwijderd
- 2) Niet bekend
- 3) Niet meetbaar; materiaal spoelde uit het omhullingsmateriaal (onstabiel)
- 4) Meer dan 10 kg. materiaal per meter buislengte doorgeespoeld
- 5) Niet meetbaar

figuur onderbrengen. Dezelfde gegevens zijn ondergebracht in tabel 5 (pag. 95) met de afzonderlijke waarden (per kolom) en gemiddeld.

De figuur is opgedeeld in zes segmenten. In vier daarvan komen groepen omhullingsmateriaal voor met, qua zanddichtheid, vergelijkbare eigenschappen. De volumineuze omhullingsmaterialen vallen onder groep 1, 2 of 4 en de dunne onder groep 3.

Bij de volumineuze materialen is er niet of nauwelijks sprake van een verband tussen in- en doorgespoelde hoeveelheden. Gelet op de doorgespoelde hoeveelheden moeten de omhullingsmaterialen uit groep 1 slecht worden genoemd, met uitzondering van polypropeen B en D, en polystyreenkorrels. De meeste van deze materialen lopen letterlijk 'vol' met bodemmateriaal, waarbij de doorlatendheid sterk kan teruglopen. Polypropeen G en E in het bijzonder, laten erg veel bodemmateriaal door. Dit komt door de uniforme, relatief dikke en zeer gladde vezel die voor dit soort omhullingen wordt gebruikt. Opvallend is de relatief geringe zanddoorlatendheid van cocos B.

Verschillen in zanddichtheid moeten grotendeels worden toegeschreven aan verschillen in vezeldiameter, oppervlakteruwheid van de vezel, wijze van fabricage, onderlinge oriëntatie van de vezels (de poriëngeometrie), materiaaldikte etc.

De volumineuze materialen uit groep 2 komen beter uit de bus en komen qua doorgespoelde hoeveelheid overeen met de dunne materialen (groep 3). Het betreft in alle gevallen synthetische materialen. Polypropeen F blijkt maar 1/10 van de gewichtshoeveelheid bodemmateriaal door te laten, vergeleken met polypropeen G. Dit verschil wordt veroorzaakt door de veel nauwere poriën en de grotere dikte van polypropeen F, vergeleken met G. Ook polypropeen A doet het in dit opzicht goed.

De volumineuze materialen in segment 4, en bidim uit groep 2 hebben relatief nauwe poriën en laten geen of weinig bodemmateriaal door. Wel spoelen er nog redelijke hoeveelheden zand in deze materialen.

Groep 3 bevat alle dunne omhullingsmaterialen. Bij deze materialen was de ingespoelde hoeveelheid bodemmateriaal niet op betrouwbare wijze vast te stellen. Omdat het minimale hoeveelheden betreft hebben we voor al deze materialen een ingespoelde hoeveelheid van 0.1 gram

aangehouden. Deze hoeveelheid is echter volledig arbitrair; in werkelijkheid is het waarschijnlijk meer. Bij dunne materialen is de hoeveelheid ingespoeld bodemmateriaal echter weinig relevant. Uit de figuur blijkt de goede zanddichtheid van de dunne materialen. Dit feit was in de literatuur al genoegzaam bekend.

5.3. De verandering van de samenstelling van het bodemonster in de doorstroomcilinders

De verandering in de doorlatendheid van verschillende bodemlaagjes in het monster Almeresand is eerder ter sprake gekomen. Deze veranderingen moeten grotendeels worden toegeschreven aan veranderingen in samenstelling van het bodemmateriaal ten gevolge van materiaaltransport (erosie en suffosie). Indien we deze veranderingen zouden kunnen aantonen zijn we weer een stapje verder in onze analyse van de verstoppingsprocessen.

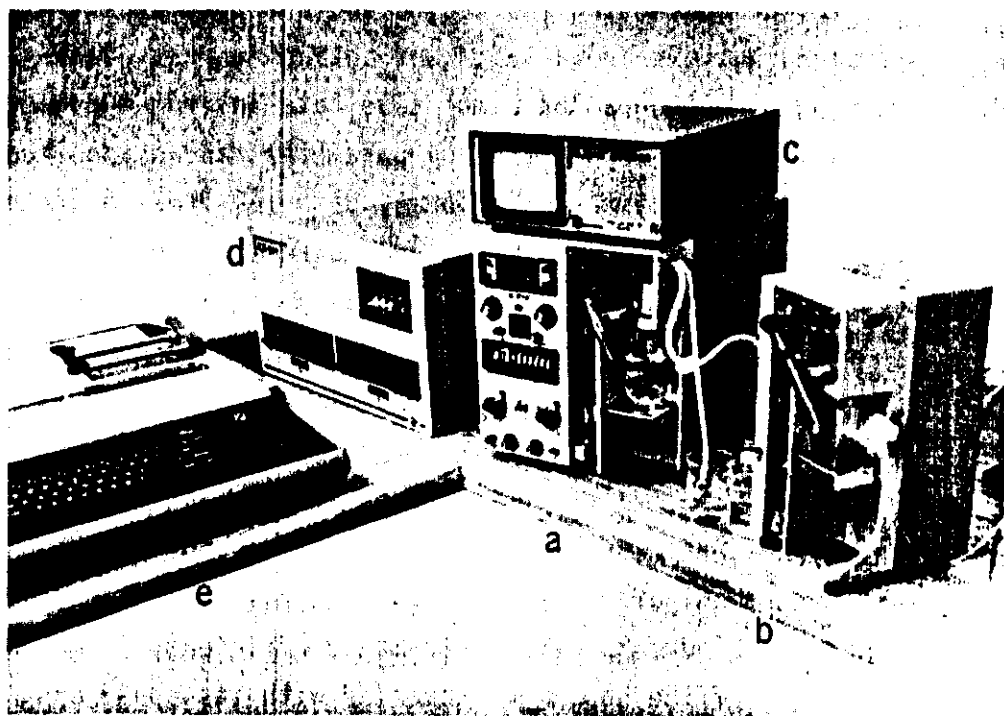


Fig.32. De Elzone deeltjesgrootteteller: a) het meetinstrument b) extra meeteenheid c) monitor d) computer met floppy disc drives e) toetsenbord

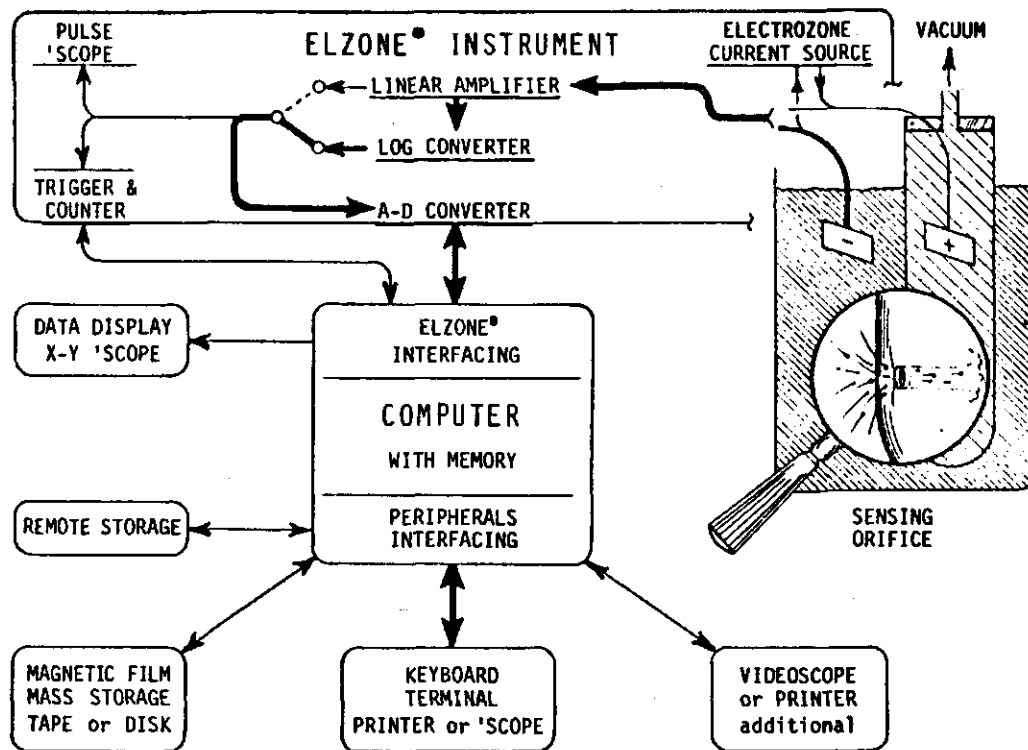


Fig.33. Schematisch overzicht van de werking van de deeltjesgrootte-teller

De doorstromingsopstelling moet worden aangepast om tijdens de proeven monsters met gesuspenderde bodemdeeltjes te kunnen onderzoeken. Dit onderzoek gebeurt met behulp van een 'Elzone' elektronische deeltjesgrootteteller; zie fig 32. Tijdens de 24^e en de 25^e proef zijn provisorisch al enige monsters geanalyseerd om te zien hoe de analyse het beste zou kunnen geschieden. Het principe van een analyse is eenvoudig. De te analyseren bodemdeeltjes worden in suspensie gebracht in een bekersglas; zie fig.33. Met behulp van een vacuumpompje wordt deze suspensie door een gaatje in een reageerbuis gezogen. Door dit gaatje loopt een stroom die in sterkte verandert ten gevolge van de passage van de bodemdeeltjes. Deze veranderingen worden met behulp van een computersysteem geanalyseerd en verwerkt.

Ter illustratie bespreken we hier de resultaten van analyse van een aantal bodemmonsters die werden genomen tijdens, en na de laatste twee doorstromingsproeven. Tijdens deze proeven is een aantal monsters

van het percolerende water genomen, na de proeven is bodemmateriaal onderzocht bovenin, middenin en onderin de grondkolommen in de plexiglas meetcilinders. De korrelgrootteverdeling van deze monsters wordt vergeleken met die van het originele monster van Almerezand, dat niet in een doorstromingsproef is gebruikt. Alle analyses zijn gemiddelden van drie afhankelijke bepalingen. Per bepaling werden ruim 65 000 bodemdeeltjesgeteld; per monster dus ruim 195 000 deeltjes.

In figuur 22 is de korrelgrootteverdelingscurve van het originele Almerezand weergegeven. De diameter van het kleinste gemeten deeltje bedraagt ruim 15 μm (0.015 mm), die van het grootste ruim 155 μm (0.155 mm). De diameter die het meest voorkomt is 94.44 μm . De verdeling is vrij regelmatig; we noemen zo'n verdeling log-normaal. Een log-normale verdeling is een kenmerk van veel in de natuur voorkomende poedervormige stoffen. Een kenmerk van zo'n log-normale verdeling is dat de curve eruitziet als een kerkklok, in dit geval dan wel met een uitloper naar links.

We kunnen de korrelgrootteverdelingscurve als getoond in fig 22 als uitgangspunt nemen en deze gebruiken er de korrelgrootteverdeling van andere monsters mee te vergelijken.

In fig.34 staat de gemiddelde verdeling van de bodemdeeltjes die in het percolerende water in suspensie waren. Het kleinste deeltje meet $\pm 14 \mu\text{m}$, het grootste 26, en de waarde 16.5 μm komt het meeste voor. We kunnen hieruit leren dat de gemiddelde poriegrootte in het Almerezand in de cilinderniet veel groter geweest kan zijn dan 26 μm ; de monsters waren afkomstig uit de piëzometernaalden op 5.4 cm boven het omhullingsmateriaal; dat is halverwege de grondkolom. We kunnen concluderen dat het bodemonster zelf eigenlijk ook als een filter fungeert. Het slecht-doorlatend worden van sommige bodemlaagjes moet dan ook worden verklaard door het in de bodem vastlopen van de fijne, gesuspenderde bodemdeeltjes in die laagjes. Overigens kan deze ene analyse natuurlijk nooit representatief zijn voor de andere gevallen; in de toekomst zal deze analyse veel vaker moeten worden uitgevoerd.

Figuur 35 geeft de korrelgrootteverdeling van het bodemmateriaal dat dóór het omhullingsmateriaal is heengespoeld. Opvallend is de verschuiving van de piek van de verdeling: van 94 μm bij de originele, naar 65 μm bij de door het omhullingsmateriaal gespoelde verdeling. Het aandeel relatief kleine bodemdeeltjes is in het doorgespoelde ma-

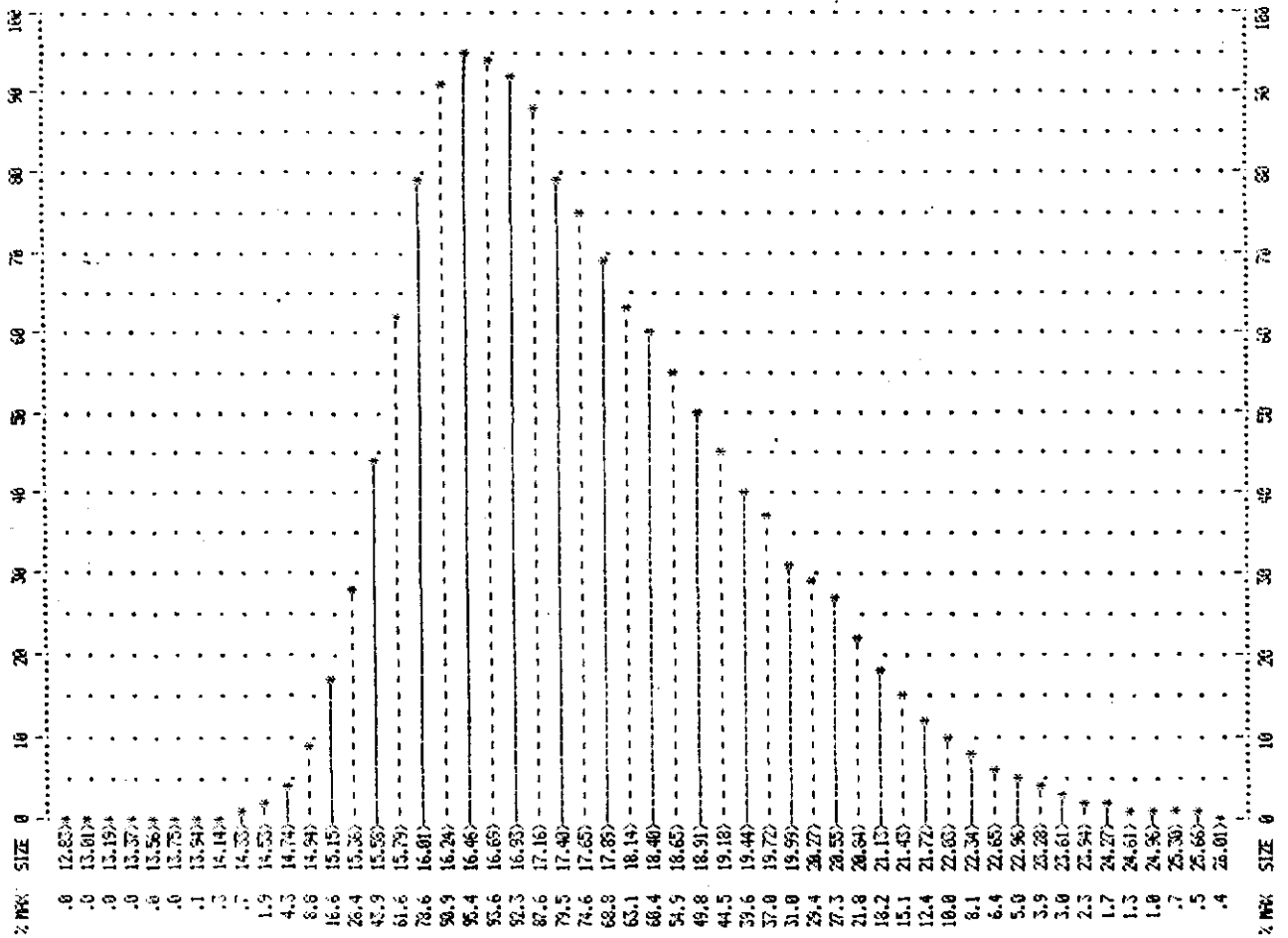
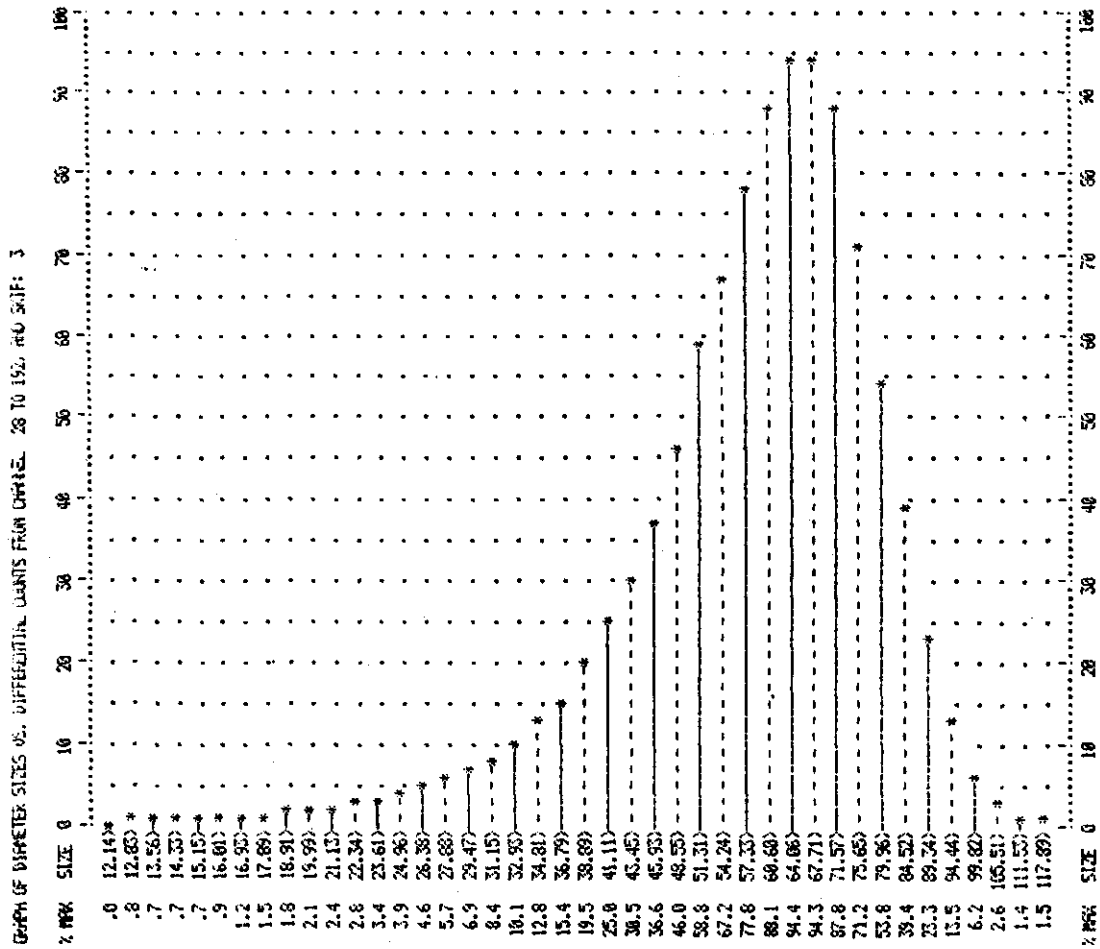


Fig.34. De korrelgrootteverdeling van de bodemdeeltjes die tijdens een doorstromingsproef in suspensie waren.

teriaal groter dan in het uitgangsmateriaal (origineel Almere zand). Kleinere bodemdeeltjes spoelen dus gemakkelijker door dit omhullingsmateriaal dan grotere. Bodemdeeltjes van + 120 µm in diameter blijken nog door het omhullingsmateriaal door te kunnen dringen. Dit betekent dat de van boven naar beneden door het omhullingsmateriaal, grillig verlopende, poriën op zijn hoogst een doorsnede hebben van ongeveer 120 µm.

De verschuiving van de piek naar een lagere waarde is begrijpelijk en verklaarbaar maar in strijd met veldwaarnemingen. In Zeeland, Canada en de Verenigde Staten genomen bodemonsters, geanalyseerd op het ICW, laten zien dat in een drainbuis vrijwel altijd grover materiaal voorkomt dan daarbuiten. Dit komt waarschijnlijk omdat het fijnere materi-



SOIL SAMPLE # 300216; RUN #25, KOLON #7, ALMEREZAND DOOR 1P GESPOELD

Fig. 35. Korrelgrootteverdeling van het door een omhullingsmateriaal gespoeld bodemmateriaal

aal in de buis gemakkelijk bij relatief hoge stroomsnelheden wegspoelt. In de laboratoriumopstelling is dat niet het geval; het grootste deel van de doorgespoelde deeltjes bezinkt in glazen flessen.

Tenslotte bekijken we wat de invloed is van het twee weken lang doorstromen in de plexiglas meetcilinders op de samenstelling van het bodemmonster. Hiertoe hebben we na afloop van proef 24 en 25 bovenin, middenin en onderin het bodemmonster de samenstelling onderzocht. Het resultaat van de analyses staat in figuren 36, 37 en 38. Linksboven (a) staat in alle drie de figuren als referentie de korrelgrootteverdeling van het originele Almeresand. Daaronder (b) de verdeling van Almeresand na twee weken doorstroming. Vergelijken we (a) en (b) dan lijkt

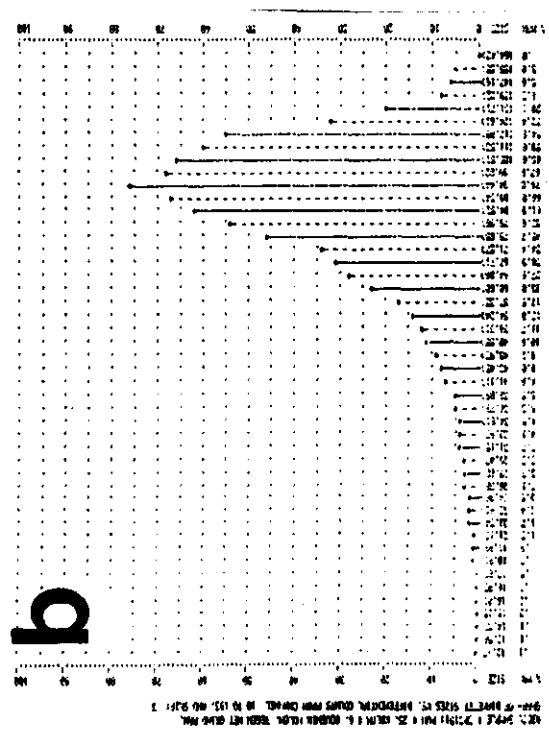
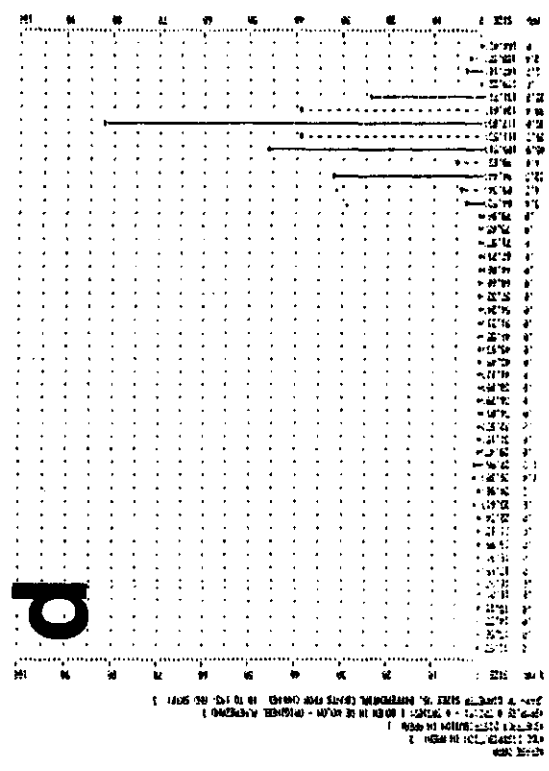
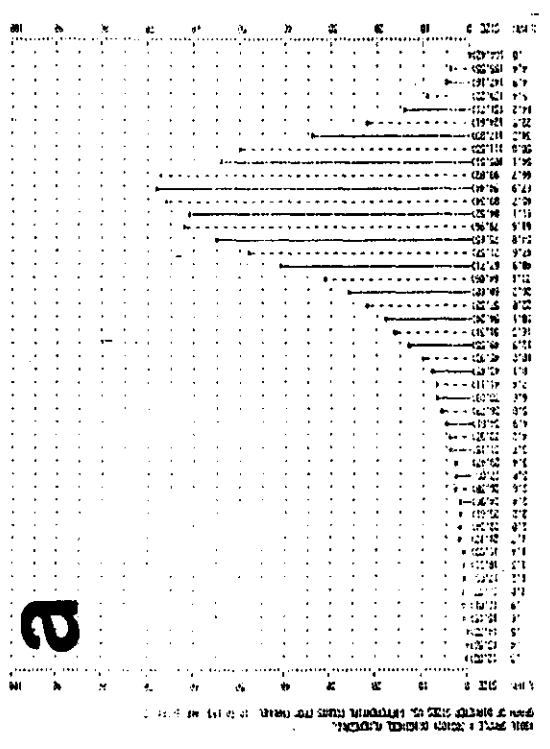
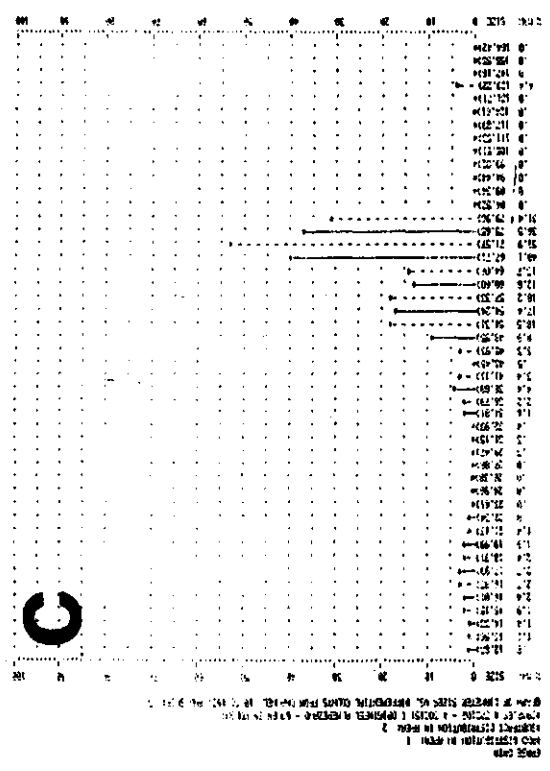


Fig.36. Vergelijking van de korrelgrootteverdeling van het oorspronkelijke Almerezand met dit materiaal boven- in de kolom na afloop van de doorstromingsproef; zie tekst

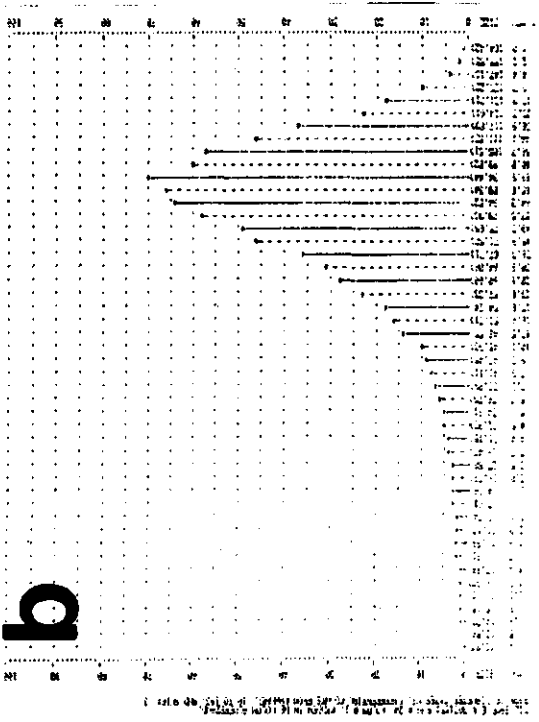
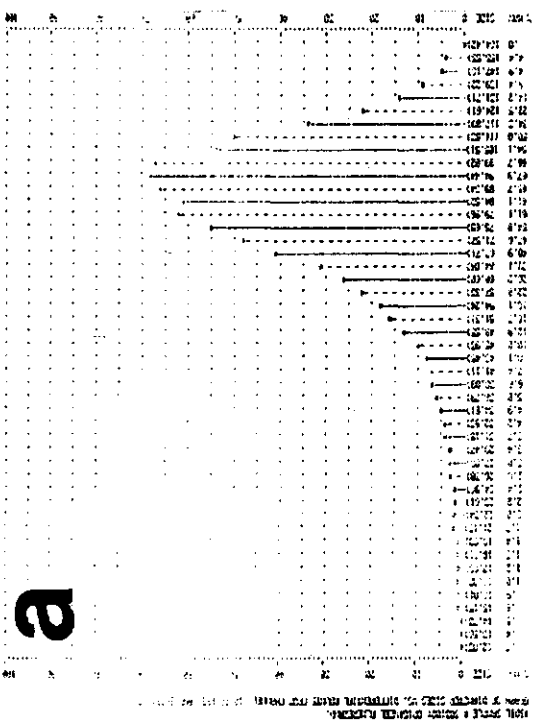
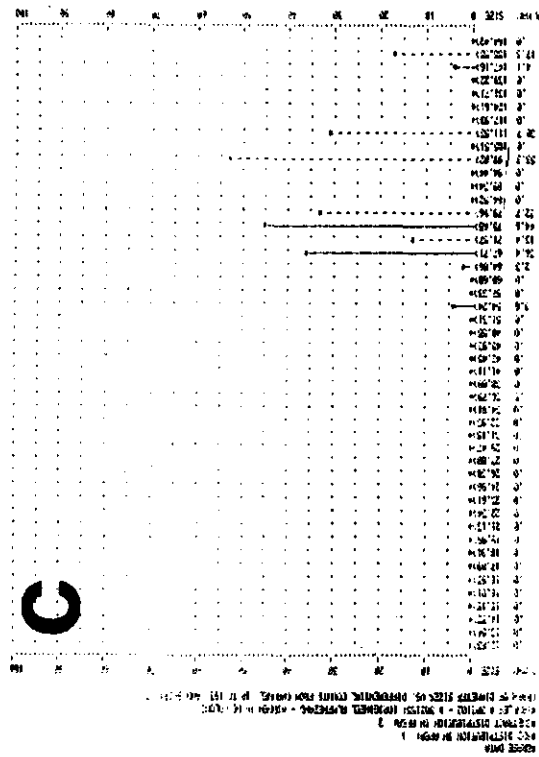


Fig.37. Vergelijking van de korrelgrootteverdeling van het oorspronkelijke Almerzand met dit materiaal in het midden van de kolom na afloop van de doorstromingsproef; zie tekst

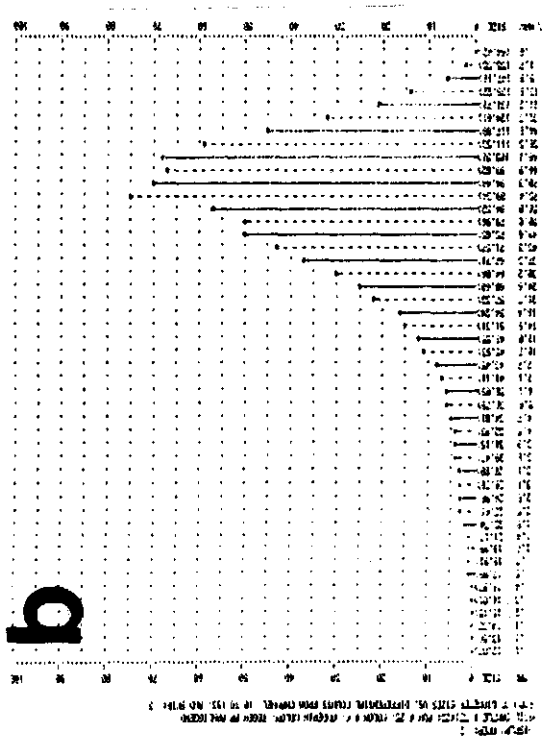
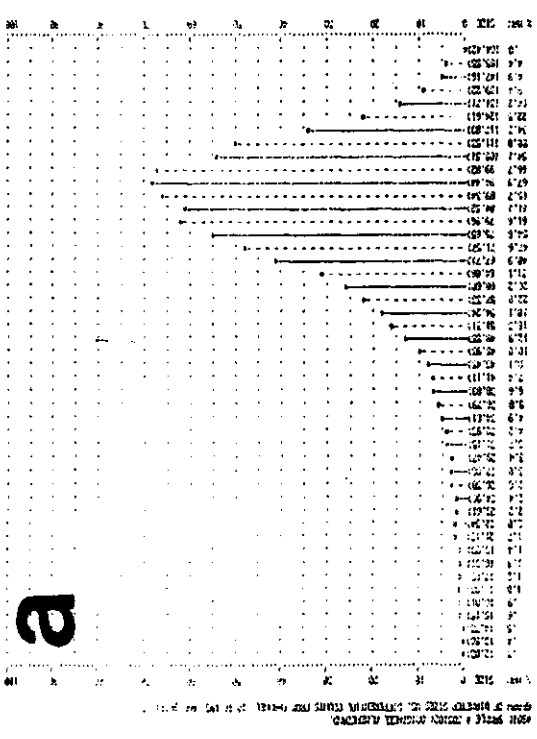
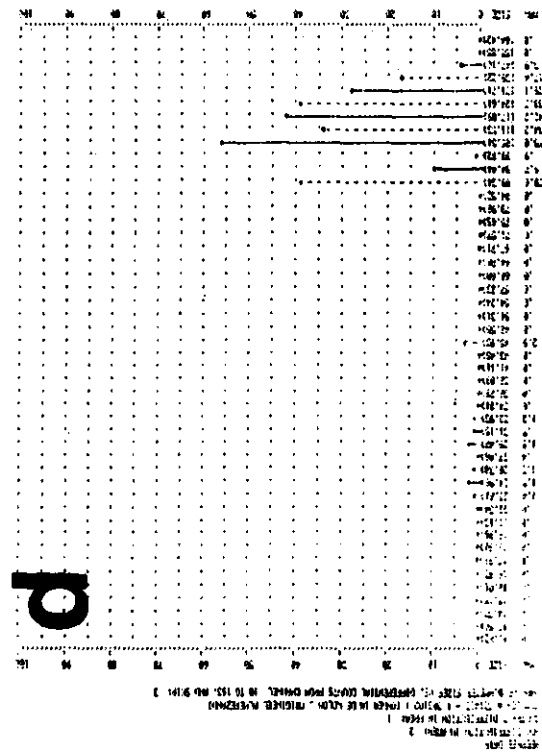
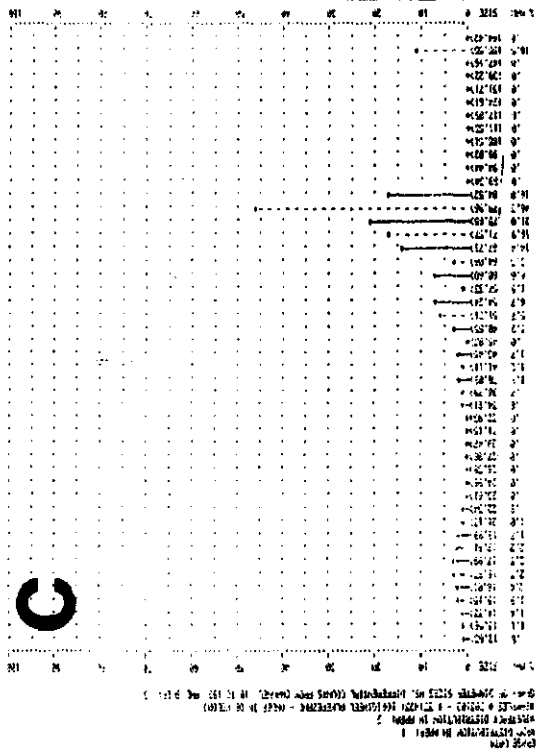


Fig.38. Vergelijking van de korrelgrootteverdeling van het oorspronkelijke Almeresand met dit materiaal onder-
in de kolom na afloop van de doorstromingsproef; zie tekst

er in alle drie de gevallen weinig te zijn veranderd. De enige manier om de geringe verschillen zichtbaar te maken is de twee verdelingen van elkaar aftrekken. Zo is in de figuren (c) de desbetreffende verdeling van het originele Almeresand afgetrokken, en in de figuren (d) net andersom. Het resultaat is dat de figuren (c) te zien is welke bodemfracties in het originele Almeresand meer voorkomen dan in de doorstroomde bodemonsters. Aanloog is in de figuren (d) te zien welke fracties in de doorstroomde bodemonsters meer voorkomen dan in het originele Almeresand. Anders gezegd: in de figuren (c) zijn de fracties te zien die ter plekke zijn uitgespoeld, en in de figuren (d) de fracties die na afloop van de doorstromingsproef relatief meer voorkomen dan aan het begin daarvan.

De figuren leveren een beeld op dat te verwachten was. Bovenin de kolom (fig.36) zijn relatief fijne fracties ($+ 12$ tot $+ 80 \mu\text{m}$) uitgespoeld (c) en zijn de relatief grove deeltjes (groter dan $90 \mu\text{m}$) procentueel beter vertegenwoordigd.

In het midden van de kolom (fig.37) zijn de fijne fracties ($+ 12$ tot $50 \mu\text{m}$) weer 'vastgelopen', terwijl de fractie groter dan $50 \mu\text{m}$ qua samenstelling niet significant is veranderd.

Onderin de kolom zien we hetzelfde beeld als bovenin: hier wordt echter het uitspoelen van de fijne fracties veroorzaakt door de aanwezigheid van het omhullingsmateriaal (fig.38).

Deze (provisorische) resultaten geven aan dat het gevaar van verslemping in de grondkolom, en dus in een drainsleuf in het veld allerm minst denkbeeldig is. Ook de 3-D figuren, waarin het verloop van de doorlatendheden te zien is, wijzen in deze richting. We moeten dus concluderen dat niet alleen het omhullingsmateriaal, maar ook de terugstort bepalend is voor het uiteindelijk al dan niet goed functioneren van een ontwateringssysteem.

5.4. Analyse van verloop van, en interacties tussen doorlatendheden

Het op lange termijn al dan niet goed functioneren van een ontwateringssysteem wordt voor een groot deel bepaald door de waterdoorlatend-

heid van het omhullingsmateriaal, en het bodemmateriaal dat hier direct omheen ligt. We weten dat die doorlatendheden elkaar onderling kunnen beïnvloeden, maar hoe dat precies zit weten we nog niet. We meten al die doorlatendheden en alle waarden staan ook op papier. Per proef hebben we echter zóveel doorlatendheden berekend, dat interpretatie van al die getallen erg gecompliceerd wordt. We kunnen het onszelf gemakkelijker maken door die getallen grafisch weer te geven. Dit soort grafieken, waarin de tijd op de ene as wordt uitgezet, en de verschillende doorlatendheden op de andere, worden door de computer ook volautomatisch getekend, en zijn op het ICW-lab beschikbaar. Op die grafieken kunnen we wel alle waarden, en het verloop ervan, nauwkeurig volgen, maar de onderlinge verbanden worden niet duidelijk en het is juist belangrijk om hier achter te komen.

Het probleem bij dit alles is, dat we teveel getallen in één grafiek willen stoppen: zo'n grafiek wordt dus veel te vol, en is onbruikbaar. Het soort grafiek dat we gebruiken heeft maar twee assen zodat we maar twee grootheden simultaan kunnen bekijken: in dit geval de tijd op de ene as (horizontaal) en alle doorlatendheden (acht stuks) op de andere (verticaal). Zouden we bijvoorbeeld slechts twee of drie doorlatendheden willen bekijken dan ging het nog, maar acht is teveel. We kunnen dit probleem oplossen door een andere grafiekvorm te kiezen: we gaan nl. grafieken tekenen met drie, in plaats van twee assen. In plaats van twee hebben we nu drie richtingen waarin we iets uit kunnen zetten en we krijgen dan ook een ruimtelijke, drie-dimensionale figuur. Het voordeel van deze nieuwe grafiekvorm is dat alle doorlatendheden nu niet meer door elkaar heen getekend worden, maar naast elkaar. We krijgen een soort berglandschap te zien dat op het eerste gezicht moeilijk te interpreteren lijkt. Voor de duidelijkheid wordt de lezer eerst aan de hand van 11 voorbeelden duidelijk gemaakt hoe de ruimtelijke figuren moeten worden geïnterpreteerd. Heeft men dit door dan kan uit de figuren een aantal interessante dingen worden afgeleid. In figuur 39 is bovenaan een doorstroomcilinder, 90 graden gekanteld, getekend. Links zit nu het omhullingsmateriaal, rechts daarvan de bodemlaagjes van het erop liggende bodemmonster. Het water stroomt in de 'echte' opstelling van boven naar beneden, dus in deze gekantelde voorstelling van rechts naar links. We gaan vervolgens op twee tijdstippen, 1 en 2,

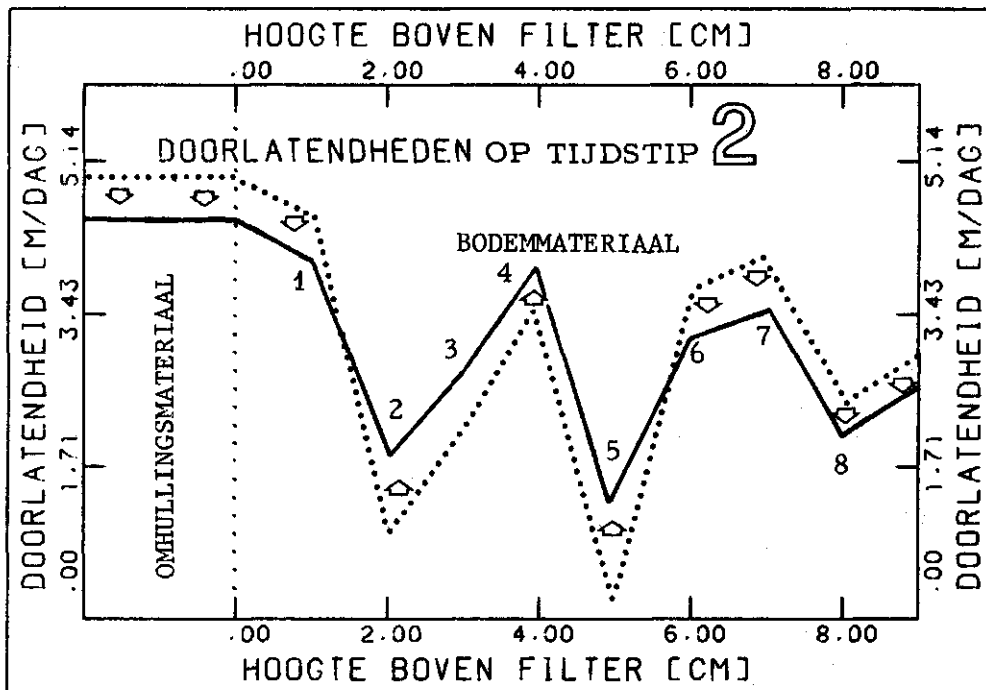
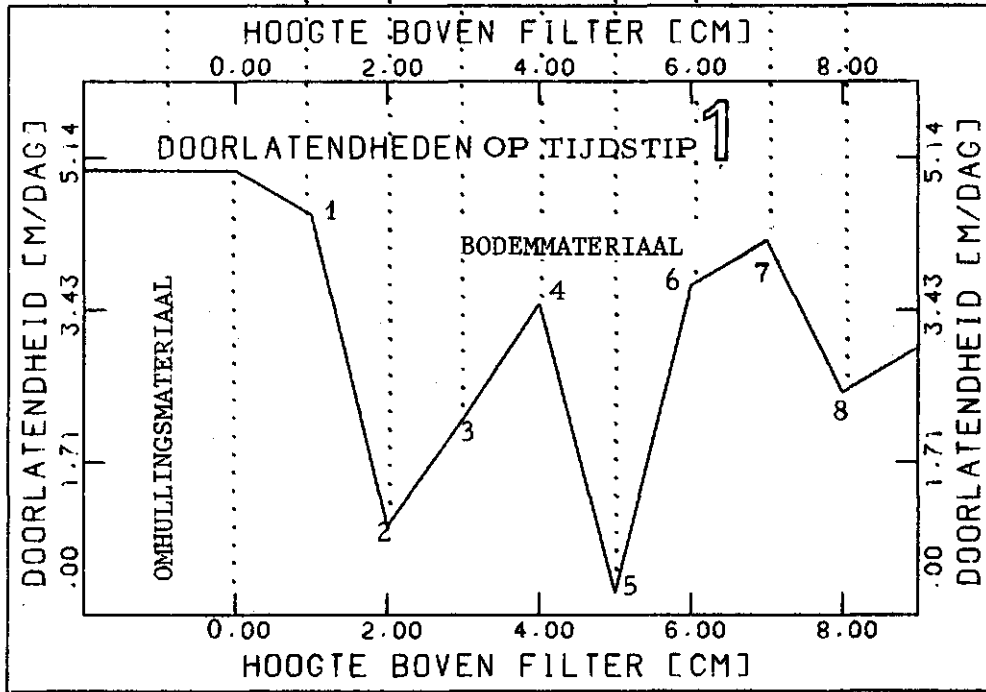
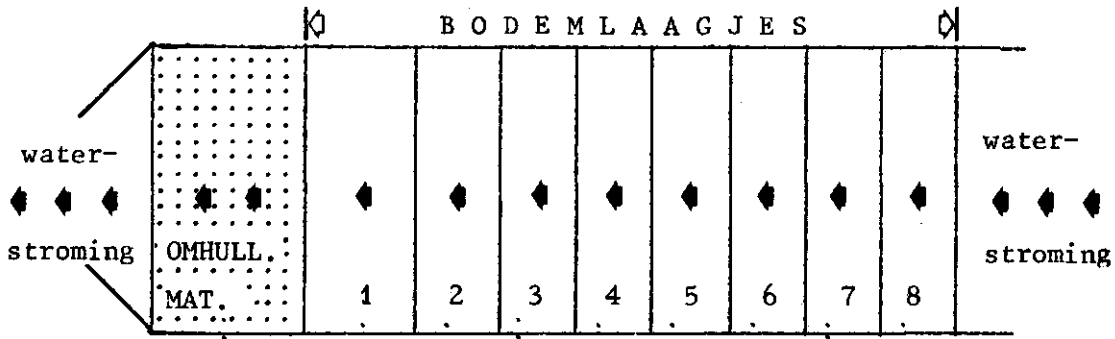


Fig.39 . Weergave van de doorlatendheden van omhullingsmateriaal en de verschillende bodemlaagjes; zie tekst

de doorlatendheden van het omhullingsmateriaal en alle daarop liggende bodemlaagjes tegelijkertijd in één figuur vastleggen; die figuren staan onder de kolom, boven de situatie op tijdstip 1, en daaronder die op tijdstip 2. Op verticale assen staat de doorlatendheid uitgezet, op de horizontale de hoogte van het bodemlaagje boven het omhullingsmateriaal. De stippellijnen geven het punt van de grafiek aan dat correspondeert met het omhullingsmateriaal, en de verschillende bodemlaagjes. Op tijdstip 1 is nu te zien dat het omhullingsmateriaal de hoogste doorlatendheid heeft, gevolgd door bodemlaagje 1. Bodemlaagje 5 is het minst doorlatend. De lijn die alle doorlatendheden op tijdstip 1 met elkaar verbindt, staat, gestippeld, weer getekend in de onderste grafiek (tijdstip 2). In deze figuur is de nieuwe situatie voorgesteld door de doorgetrokken lijn: ten opzichte van die daarvoor, is de doorlatendheid van omhullingsmateriaal, en de bodemlaagjes 1, 6 t/m 8 afgenomen, en die van laagjes 2 t/m 5 toegenomen.

Het is natuurlijk ondoenlijk om meer dan twee van dit soort grafieken in één figuur onder te brengen. Daarom plaatsen we ze als het ware achter elkaar, zodat we een ruimtelijke voorstelling krijgen. Het soort figuren dat we dan krijgen lijken op een kubus waarin een 'berglandschap' is getekend. Aan de hand van elf voorbeelden wordt eerst getoond wat je met dit soort figuren kunt laten zien. Daarna worden 'echte' figuren besproken dat wil zeggen figuren die de tijdens de doorstromingsproeven gerealiseerde waarden van de doorlatendheid weergeven.

De eerste voorbeeldfiguur is figuur 40. In feite kijken we dwars door een doorzichtige kubus, waarin zich een groot gearceerd vlak bevindt. De tijdsfactor is in kijkrichting in de figuur aangebracht: de voorkant van de kubus, die door de perspectiefwerking erg groot uitvalt, valt samen met het begintijdstip van een doorstromingsproef, en de achterkant valt samen met het einde van de proef. De proeven duren gemiddeld twee weken. In de linkerzijkant, en ook onderaan de rechterzijkant zijn verticale lijnen zichtbaar. Tussen elke lijn zit een tijdsverschil van vier uur; zes lijnen naar achteren in de kubus komt overeen met een tijdsverschil van een dag. Twee weken komt overeen met $14 \times 24 = 336$ uur, en het aantal streepjes evenwijdig aan voor- en achterkant van de kubus bedraagt dus ongeveer $336/4 = 84$. Dat betekent dus, dat we in onze ruimtelijke figuur 84 keer een aantal doorlatendheden kunnen laten zien.

De doorlatendheden worden in de figuren weergegeven als de hoogten van de punten van het gearceerde vlak. Wordt zo'n vlak naar achteren toe in de kubus hoger dan nemen we met het voortschrijden van de doorstromingsproef dus de doorlatendheden toe.

Al eerder kwam ter sprake dat we acht doorlatendheden willen bekijken: die van het omhullingsmateriaal, en van zeven afzonderlijke bodemlaagjes. Het eerste bodemlaagje ligt direct op het omhullingsmateriaal, het tweede ligt op het eerste, etc. Samen vormen deze zeven bodemlaagjes het totale bodemmonster, dat in de plexiglas meetcilinders in het laboratorium aanwezig is. In de meetcilinders wordt het omhullingsmateriaal onderaan gemonteerd, en ligt het bodemmateriaal daar bovenop. In de ruimtelijke figuren wordt de doorlatendheid van het omhullingsmateriaal helemaal links getekend. Meer naar rechts komen dan de doorlatendheden van de opeenvolgende bodemlaagjes. Hoe verder naar rechts, des te verder we van het omhullingsmateriaal af zitten en dus hoe hoger in het bodemmonster in de plexiglas meetcilinder. Helemaal tegen de rechterzijkant van de kubus wordt het verloop van de doorlatendheid van het hoogst gelegen, en dus het verst van het omhullingsmateriaal gelegen, bodemlaagje getekend, als functie van de tijd, dat wil zeggen van voren naar achteren toe. Zie ter verduidelijking de bij de figuren getekende schalen.

In figuur 40 is te zien dat het omhullingsmateriaal een relatief hoge doorlatendheid heeft, die tijdens de twee weken dat de doorstromingsproef duurt niet verandert. Alle bodemlaagjes hebben gedurende de hele proef dezelfde, relatief lage doorlatendheid.

Figuur 41 ziet er anders uit. Wat het omhullingsmateriaal betreft is er ten opzichte van de vorige figuur niets veranderd: dit is relatief goed-doorlatend en blijft dit ook gedurende de tijd dat de proef duurt. Alle bodemlaagjes nemen echter in doorlatendheid toe. We beginnen met een bodemmonster dat overal even goed doorlatend is; na twee weken echter blijkt de doorlatendheid van het bodemmateriaal toe te nemen naarmate je dichterbij het omhullingsmateriaal, i.c. lager in de kolom, komt. Een dergelijke gang van zaken kan worden veroorzaakt door het, vooral in de buurt van het omhullingsmateriaal, uitspoelen van zeer fijne bodemdeeltjes (natuurlijke filteropbouw).

In fig. 42 zien we, dat het omhullingsmateriaal de grootste door-

latendheid heeft. In de richting van dit materiaal neemt de doorlatendheid van de bodem toe. Alle waarden blijven gelijk naarmate de tijd verstrijkt. Het zelfde is het geval met figuur 43, alleen met dit verschil dat het omhullingsmateriaal slecht doorlatend is en blijft.

In fig. 44 zien we een ongunstige situatie; het omhullingsmateriaal is weliswaar goeddoorlatend, maar de doorlatendheid van het bodemmateriaal neemt, naarmate je dichterbij het omhullingsmateriaal komt, af. In figuur 45 zien we hetzelfde beeld, alleen in nog ergere mate. In figuur 46 zien we, dat zich in de bodem een natuurlijk filter ontwikkelt, net zoals in figuur 41, maar dit gaat ten koste van de doorlatendheid van het omhullingsmateriaal, die, naarmate de tijd voortschrijdt, terugloopt (gedeeltelijke verstopping). In figuur 47 verstopt het omhullingsmateriaal nog veel sneller.

In fig 48 zien we weer hetzelfde beeld als in figuur 41, alleen zien we dat de doorlatendheid van het derde bodemlaagje boven het omhullingsmateriaal afneemt: dit laagje verslemt. Uiteindelijk zal het ontwateringssysteem slecht functioneren, omdat het water op dit verslechte laagje stagneert.

In figuur 49 zien we een natuurlijke filteropbouw in de bodem. Gedurende de eerste $5 \times 4 = 20$ uur verstopt het omhullingsmateriaal enigszins, om zicht gedurende de rest van de periode langzaam grotendeels te herstellen. In het laatste voorbeeld, figuur 50 zien we hetzelfde beeld. Bovendien neemt in het begin de doorlatendheid van alle bodemlaagjes gedurende $8 \times 4 = 32$ uur vrij snel toe. Dit komt in de praktijk (i.c. de laboratoriumproeven) regelmatig voor en wordt veroorzaakt door het op grote schaal uitspoelen van fijne bodemdeeltjes uit het gehele bodemmonster.

De zojuist besproken figuren zien er fraai uit en werden met behulp van speciale programmatuur gegenereerd; zij zijn niet getekend aan de hand van laboratoriumexperimenten. De figuren die wél aan de hand van geregistreerde gegevens werden getekend, zien er veel rommeliger uit en zijn wellicht moeilijker te interpreteren. De lezer wordt aangeraden niet tot bestudering van de 'echte' figuren over te gaan alvorens hij eerst de essentie van de interpretatie goed heeft begrepen.

[46.505] LCPM STUYT 22-May-83 21:19

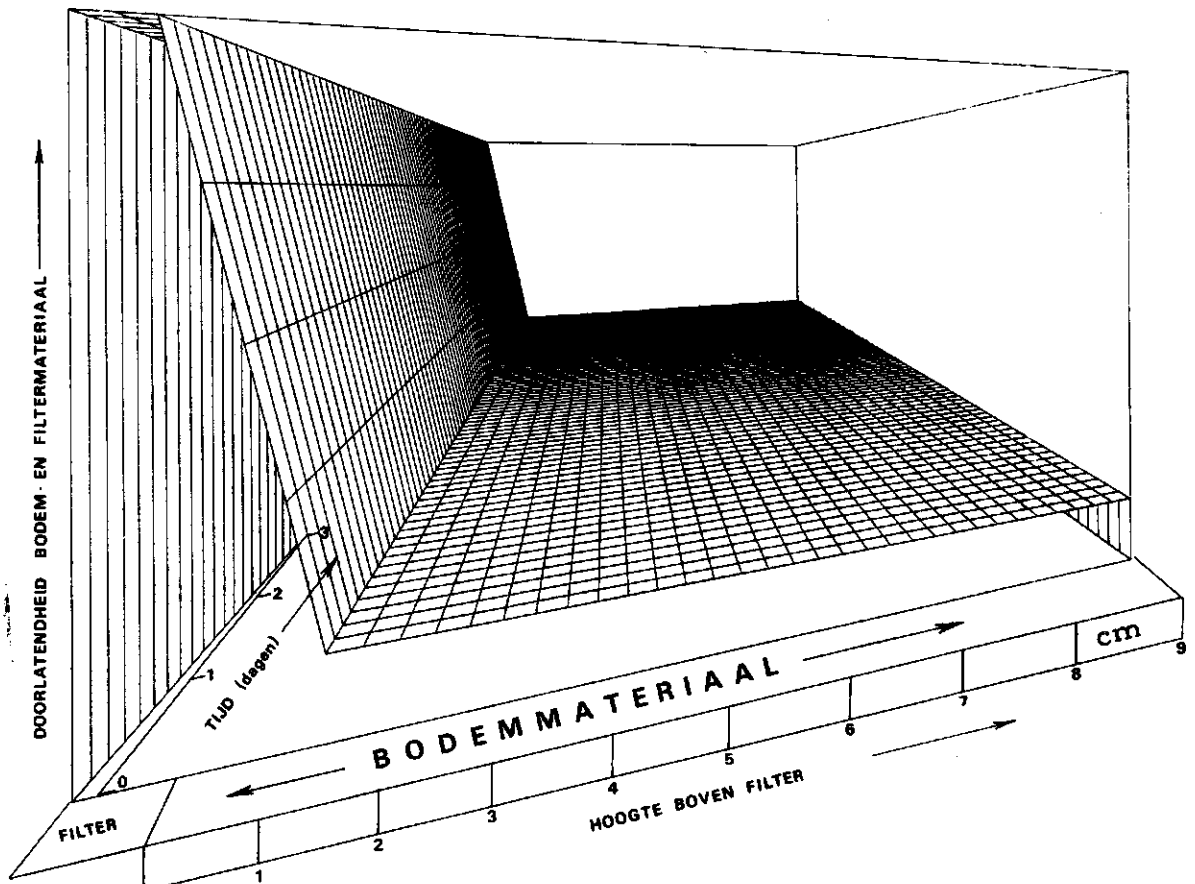


Fig. 40

NIVEAU GRONDVLAK EN BOVENVLAK	-0.25	1.75
COORDINATEN VAN HET OOG =	12.00	-10.00 20.00

[46.505] LCPM STUYT 24-May-83 18:25

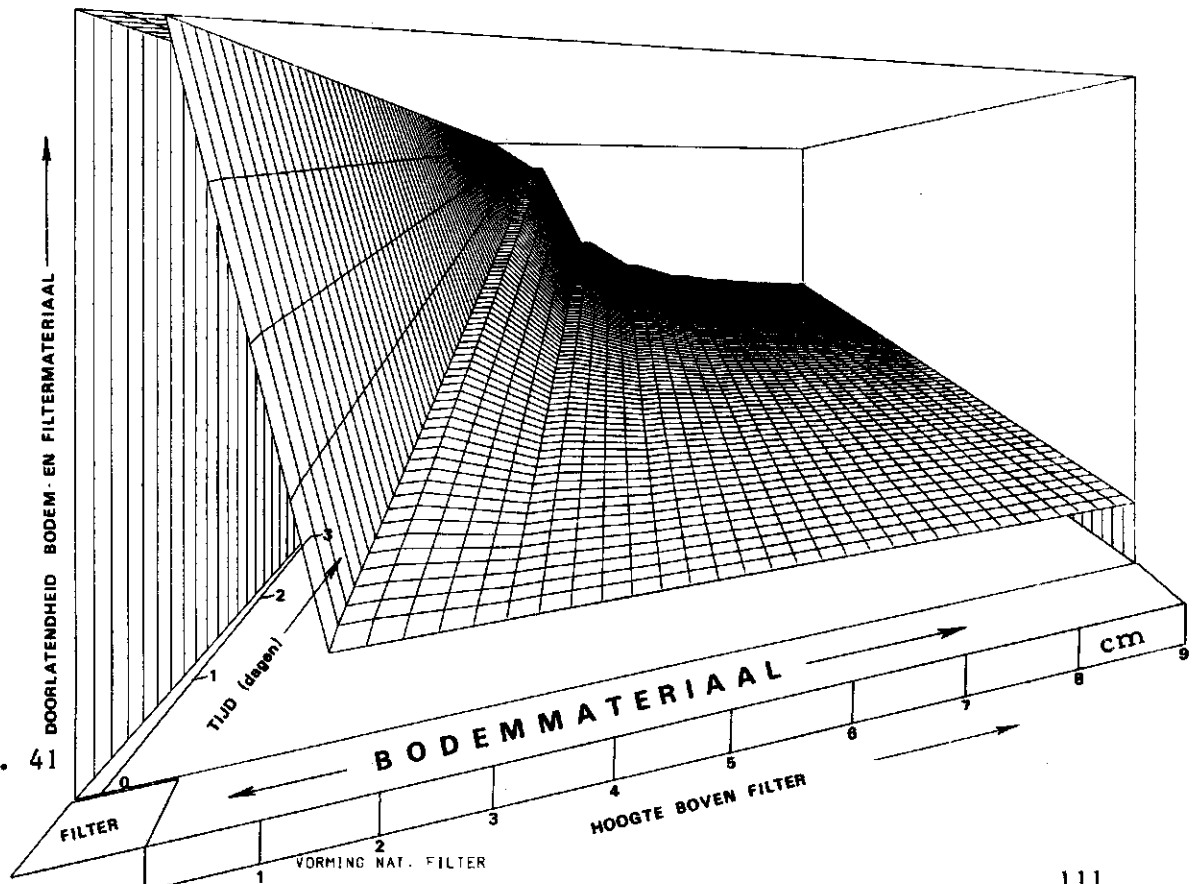


Fig. 41

NIVEAU GRONDVLAK EN BOVENVLAK	-0.25	1.75
COORDINATEN VAN HET OOG =	12.00	-10.00 20.00

[46.505] LCPM STUYT 24-May-83 18:03

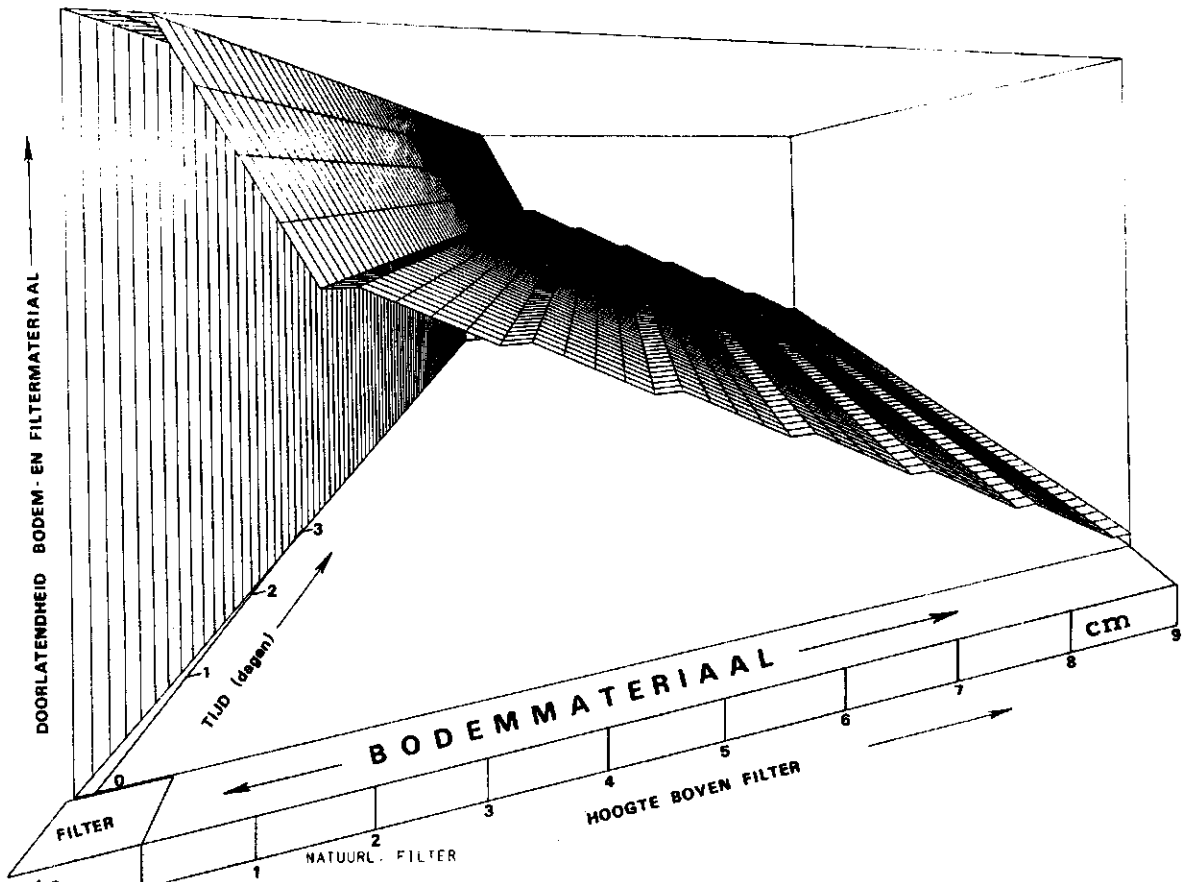


Fig. 42

NIVEAU	GRONDVLAK EN BOVENVLAK	-0.25	1.75
COORDINATEN VAN HET OOC		12.00	-10.00 20.00

[46.505] LCPM STUYT 26-May-83 18:07

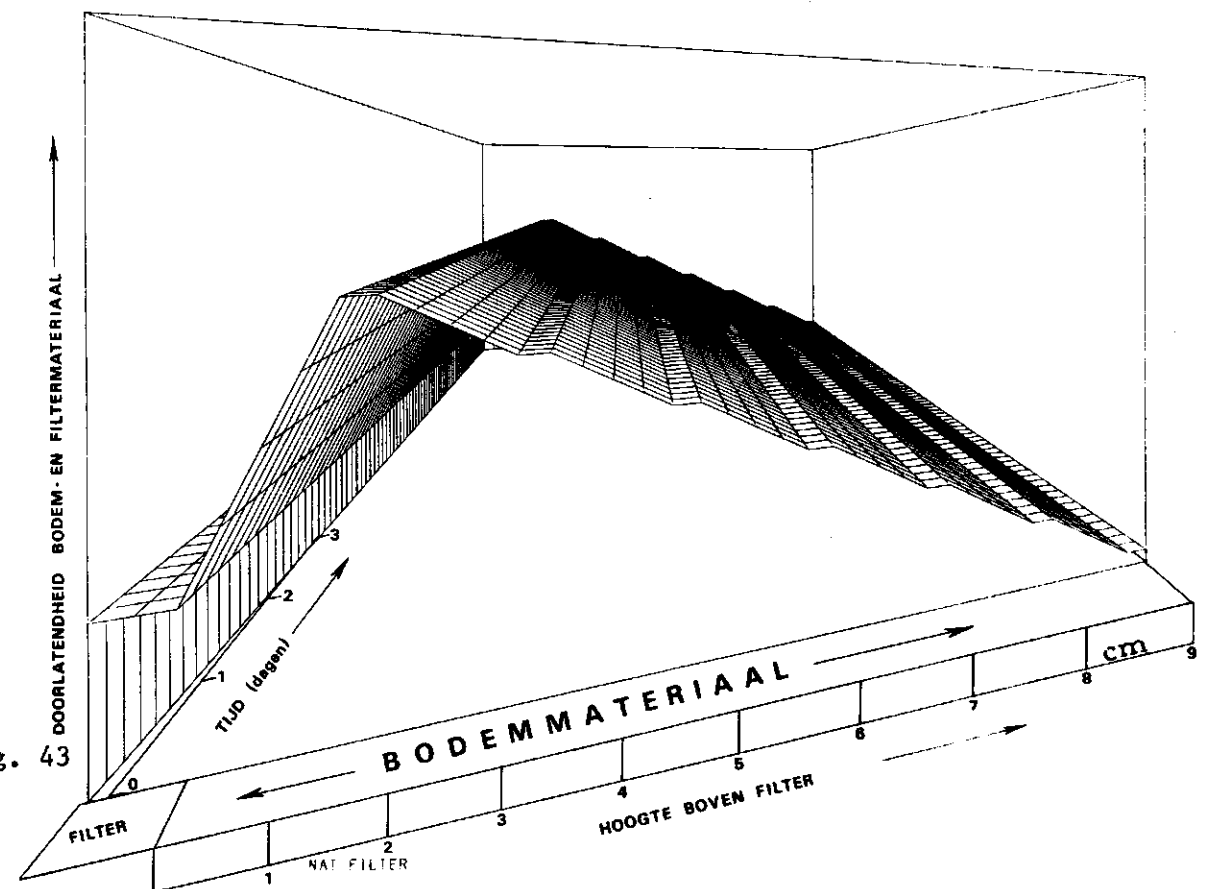


Fig. 43

NIVEAU	GRONDVLAK EN BOVENVLAK	-0.25	1.75
COORDINATEN VAN HET OOC		12.00	-10.00 20.00

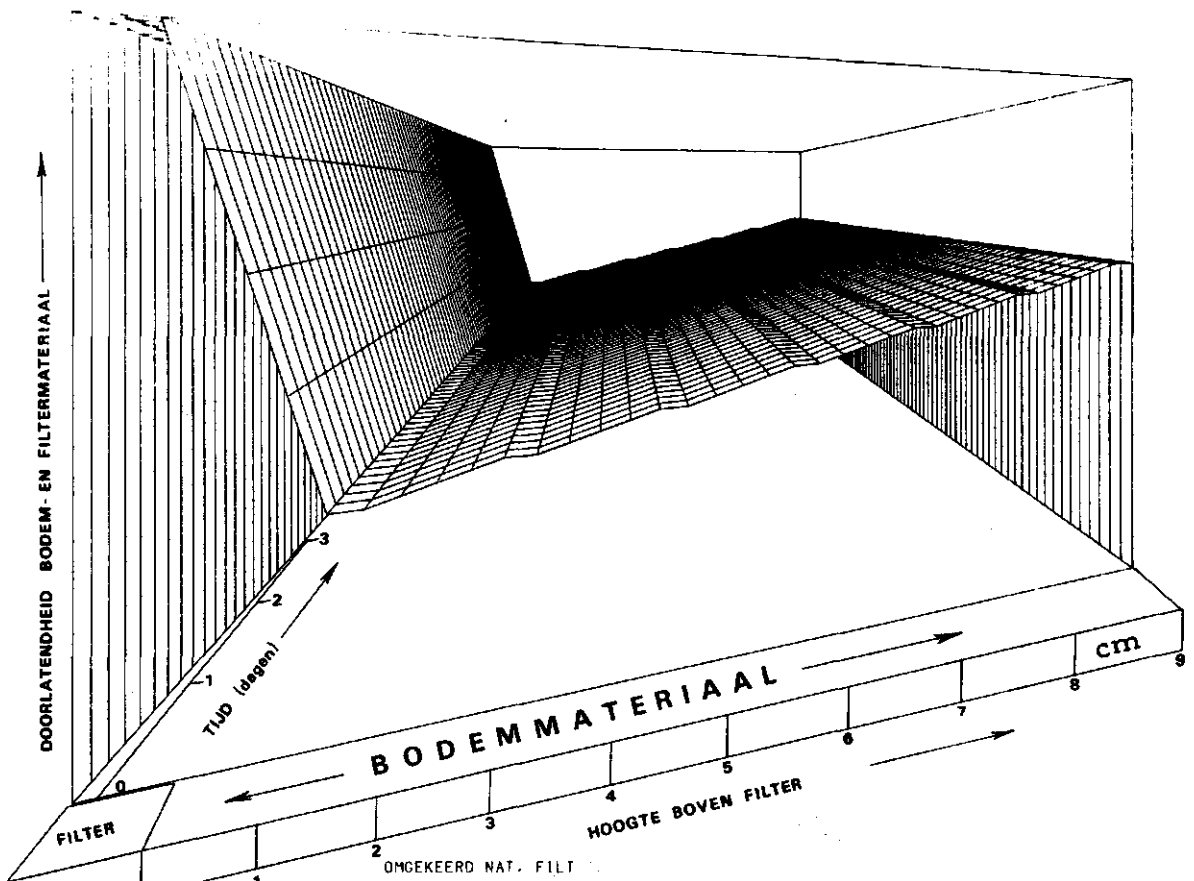


Fig. 44

NIVEAU GRONDVLAK EN BOVENVLAK	-0.25	1.75
COORDINATEN VAN HET DOG =	12.00	-10.00 20.00

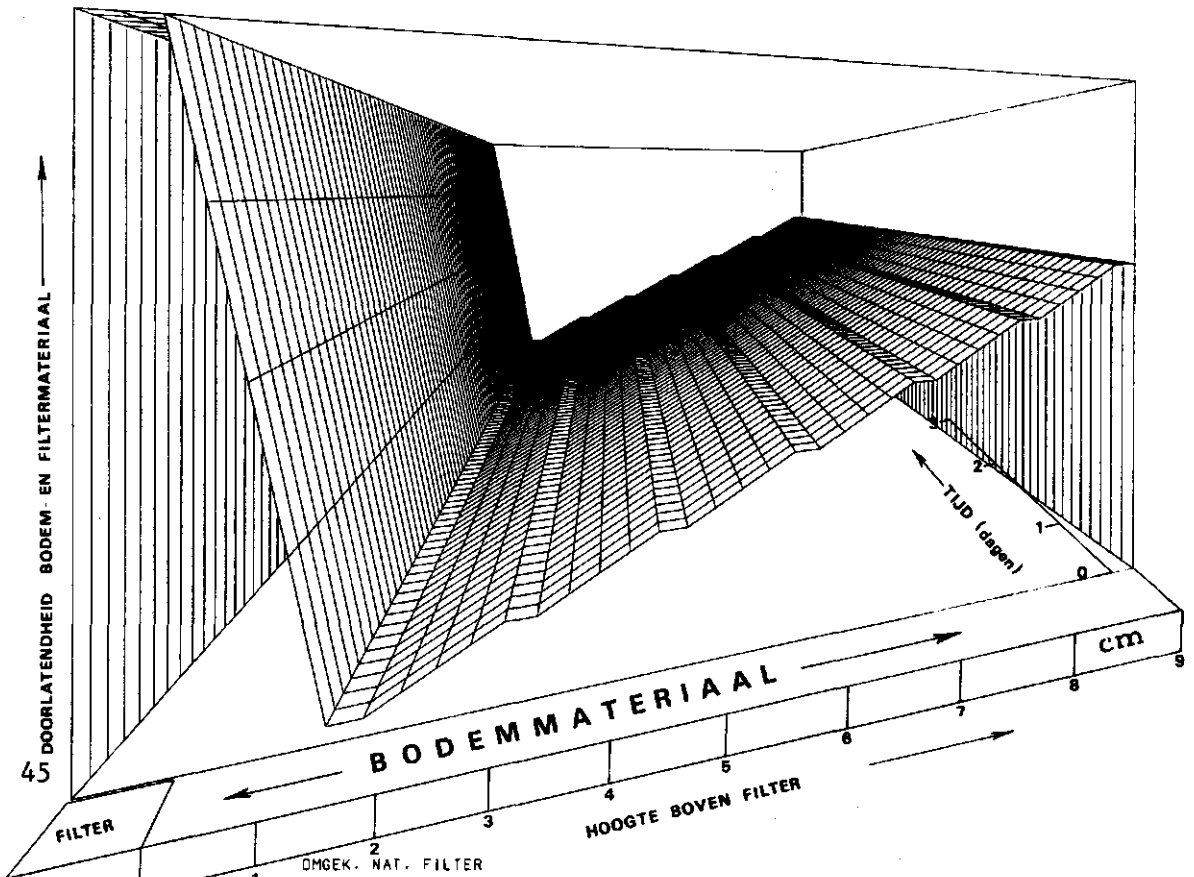


Fig. 45

NIVEAU GRONDVLAK EN BOVENVLAK	-0.25	1.75
COORDINATEN VAN HET DOG =	12.00	-10.00 20.00

[46.505] LCPM STUYT 22-May-83 21:46

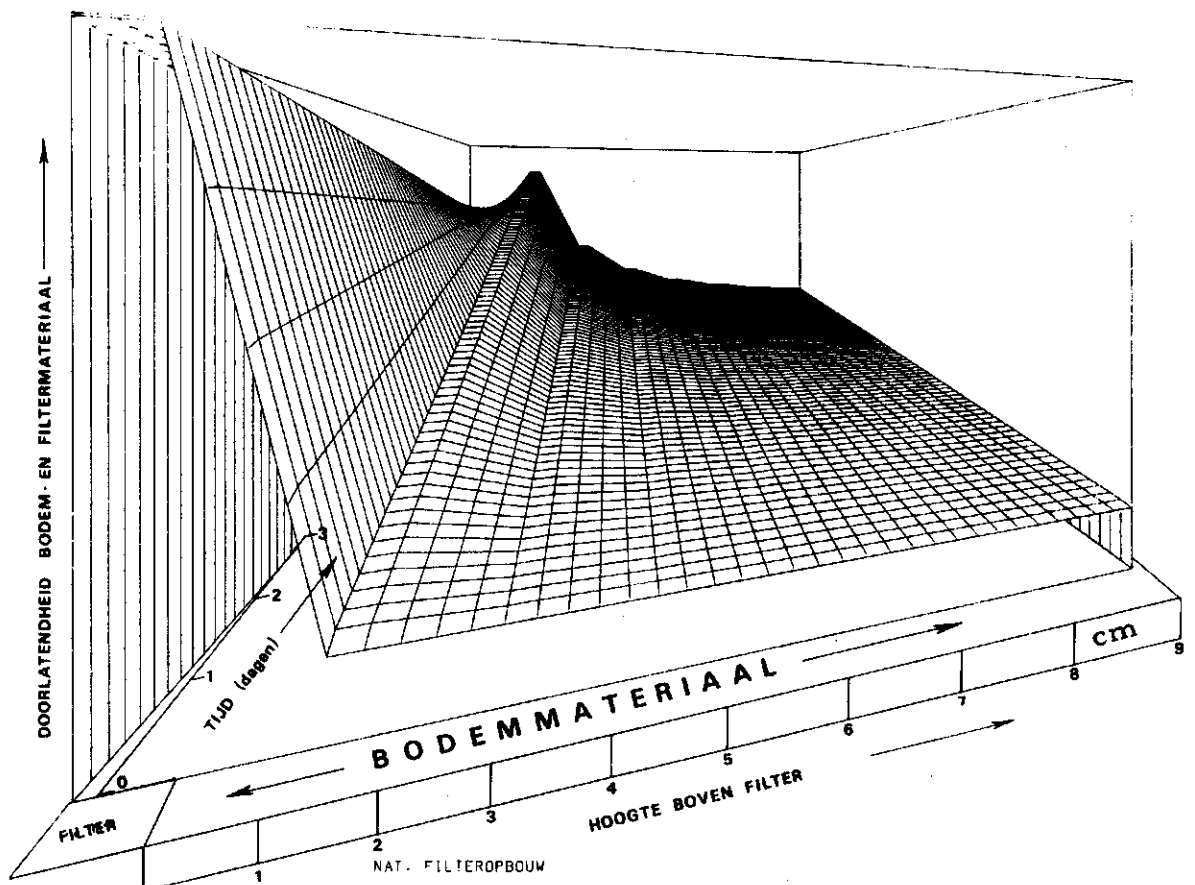


Fig. 46

NIVEAU GRONDVLAK EN BOVENVLAK -0.25 1.75
 COORDINATEN VAN HET OOC = 12.00 -10.00 20.00

[46.505] LCPM STUYT 22-May-83 21:52

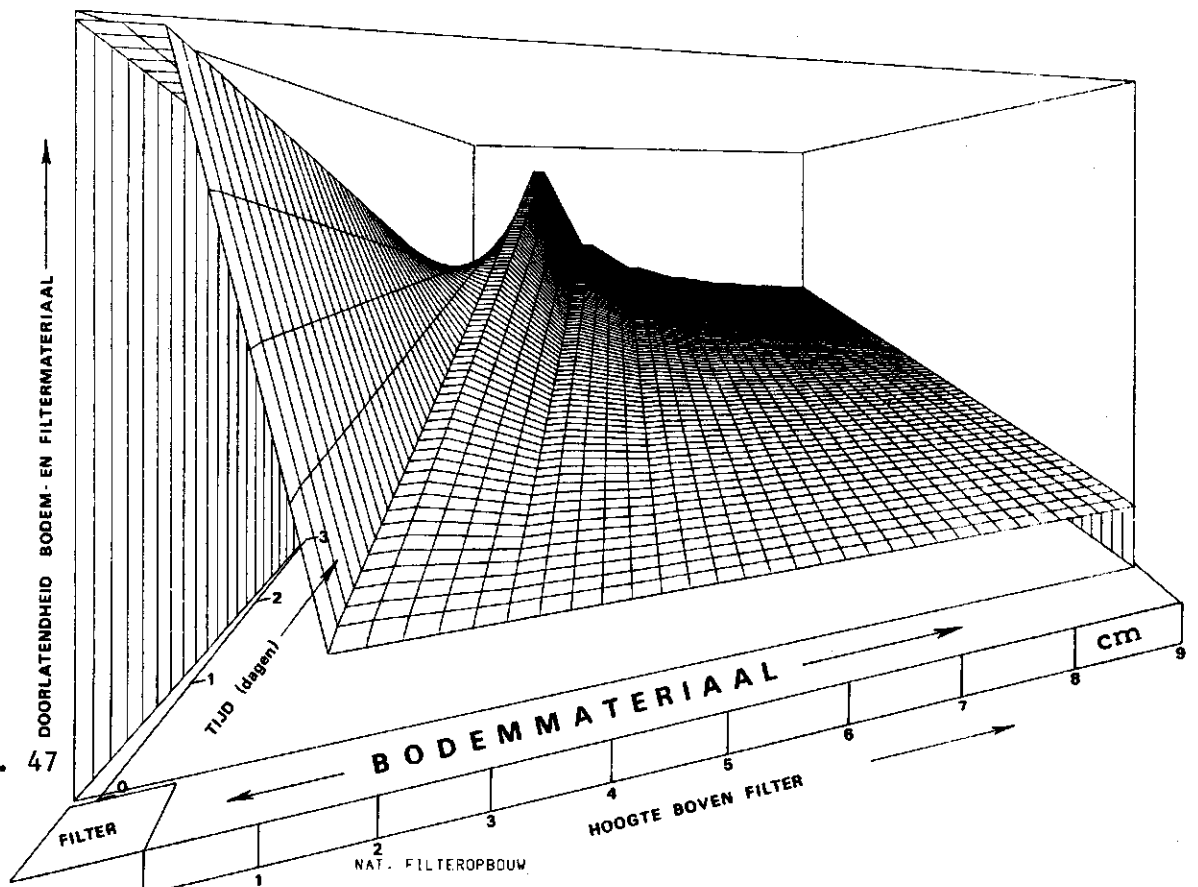


Fig. 47

NIVEAU GRONDVLAK EN BOVENVLAK -0.25 1.75
 COORDINATEN VAN HET OOC = 12.00 -10.00 20.00

[46.505] LCPM STUYT 24-May-83 18:18

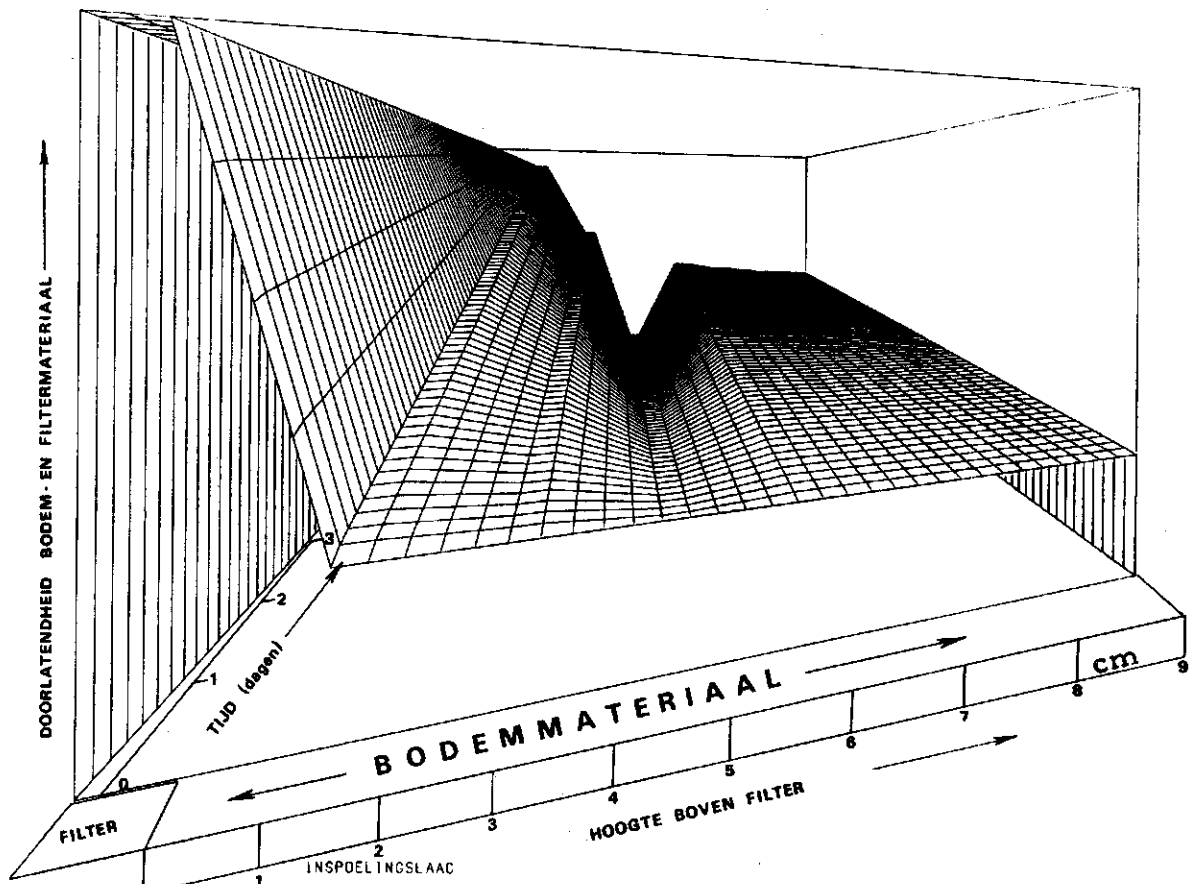


Fig. 48

NIVEAU GRONDVLAK EN BOVENVLAK -0.25 1.75
 COORDINATEN VAN HET OOC = 12.00 -10.00 20.00

[46.505] LCPM STUYT 24-May-83 18:29

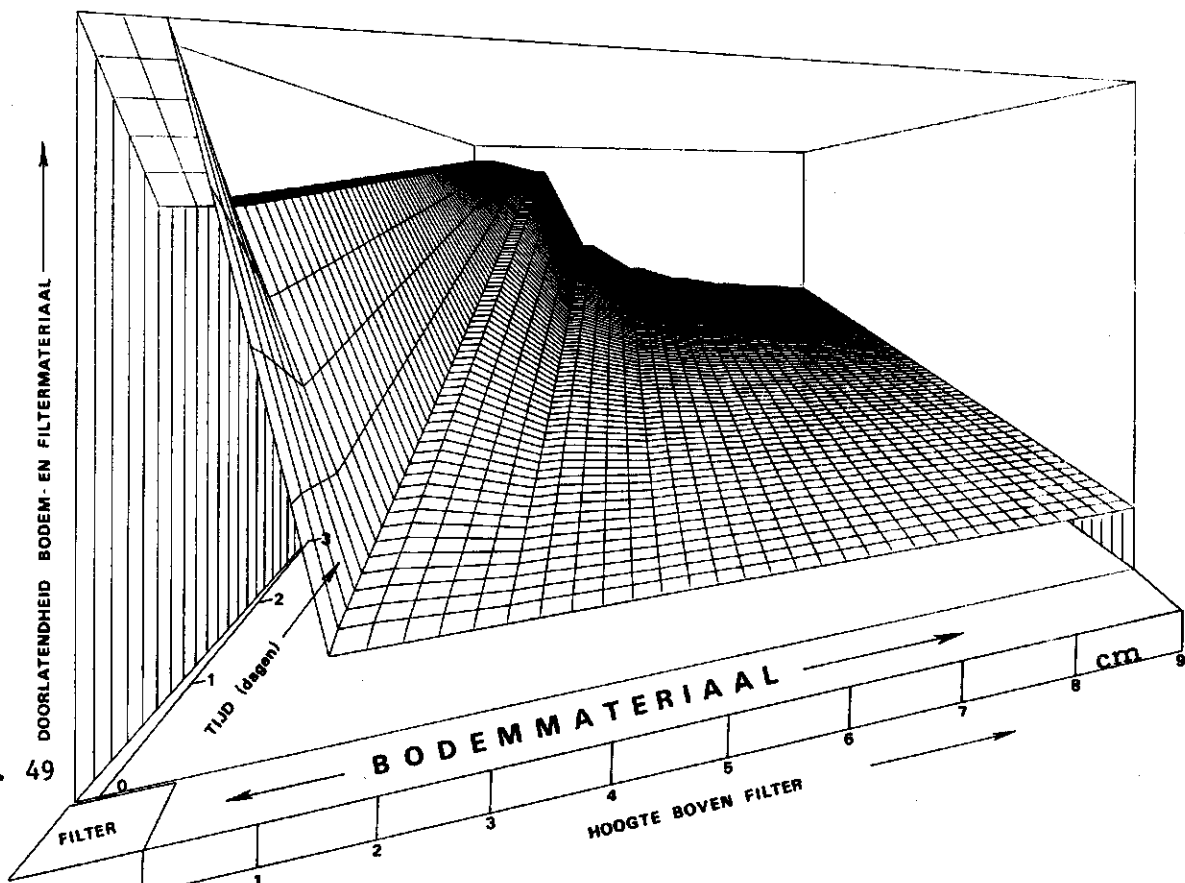


Fig. 49

NIVEAU GRONDVLAK EN BOVENVLAK -0.25 1.75
 COORDINATEN VAN HET OOC = 12.00 -10.00 20.00

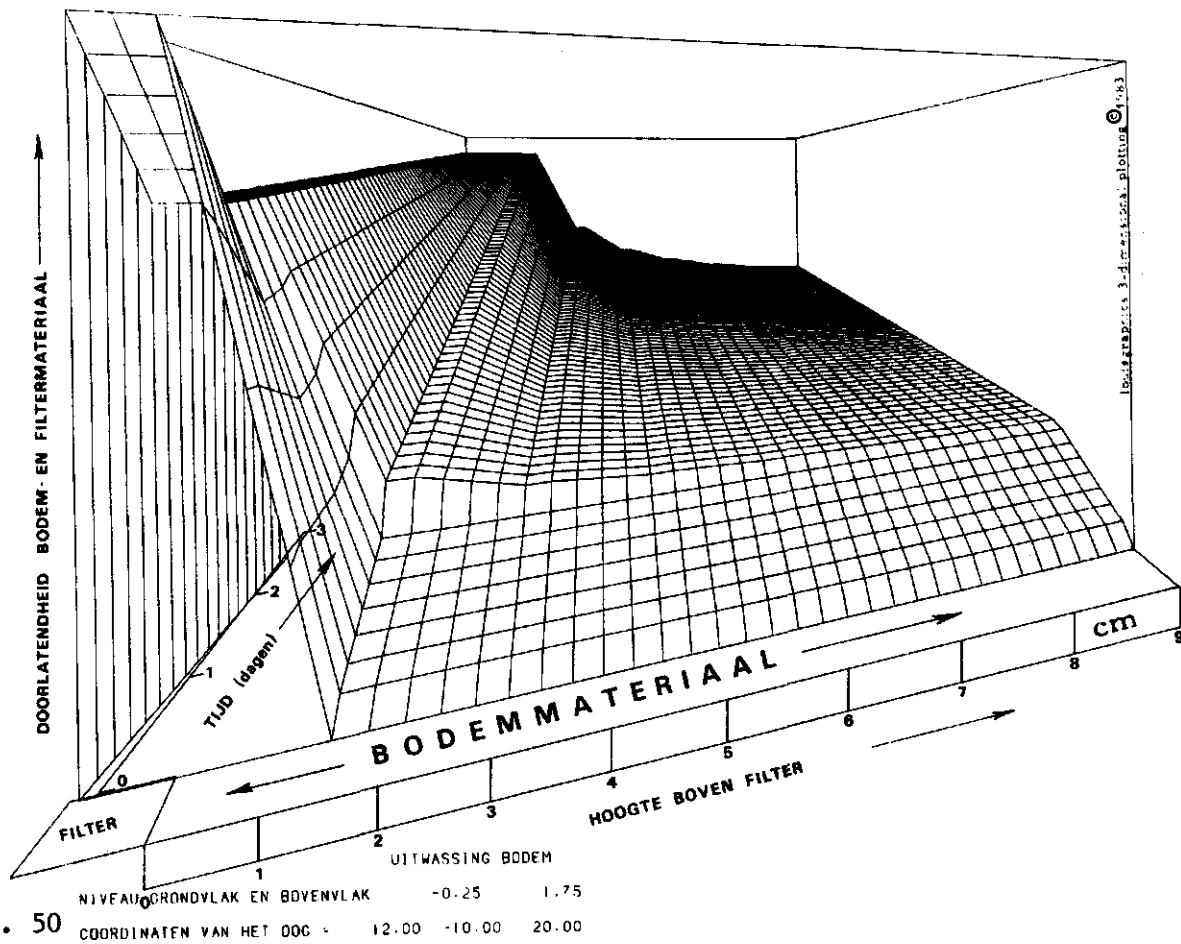


Fig. 50

Tot slot van dit hoofdstuk worden 46 figuren besproken die het verloop van de doorlatendheden van bodem- en omhullingsmateriaal laten zien. Na analyse van de gegevens van elke doorstromingsproef werden drie gegevens van twee doorstroomcilinders voor drie-dimensionale weergave geselecteerd, die het gemiddelde beeld het beste weergaven. Een storing in het computersysteem is er de oorzaak van dat van proeven 1 en 2 (beide bidim) slechts één figuur beschikbaar is, en dat de tekeningen van proef 4b (polypropeen A) en proef 7 (cerex) verloren zijn gegaan. De gegevens zijn om deze redenen niet volledig en bij het trekken van conclusies dient dan ook terughoudendheid te worden betracht.

De figuren kunnen in vijf groepen worden ingedeeld, te weten:-

- 1). Omhullingsmaterialen waarbij de doorlatendheid van het bodemmateriaal, behoudens het begin van de proef, met de tijd weinig variabel is.
- 2). Omhullingsmaterialen waarbij zich in het bodemmateriaal inspoelingslaagjes met lage doorlatendheid vormen.

- 3). Omhullingsmaterialen waarbij de doorlatendheid van het bodemmateriaal zich in ongunstige zin ontwikkelt.
- 4). Omhullingsmaterialen waarbij de doorlatendheid van het bodemmateriaal zich in gunstige zin ontwikkelt.
- 5). Omhullingsmaterialen waarbij de veranderingen in doorlatendheid van het bodemmateriaal een onregelmatig verloop hebben.

GROEP 1

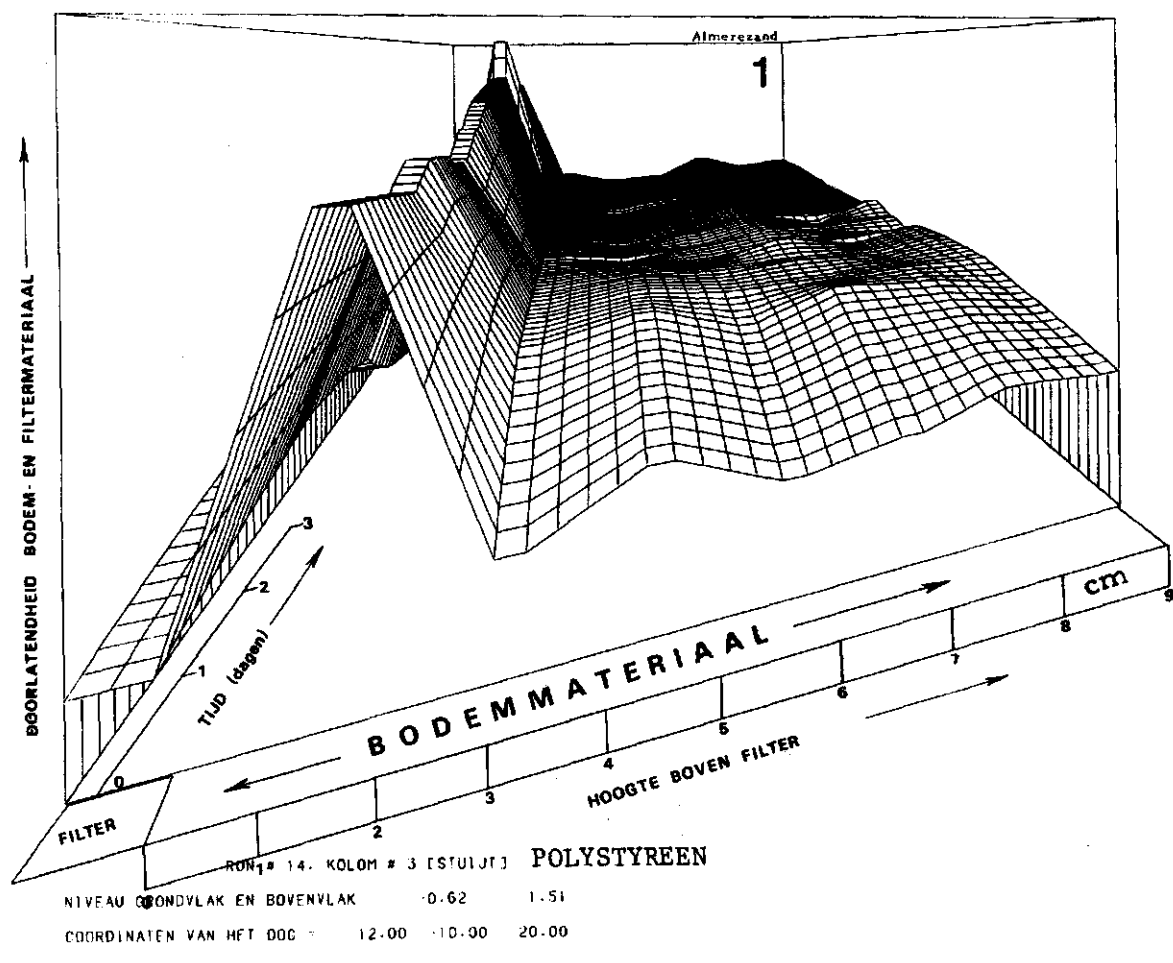
OMHULLINGSMATERIALEN WAARBIJ DE DOORLATENDHEID VAN HET BODEMMATERIAAL,
BEHOUDENS HET BEGIN VAN DE PROEF, WEINIG VARIABEL IS

1). We zien dat het omhullingsmateriaal een slechte doorlatendheid heeft.

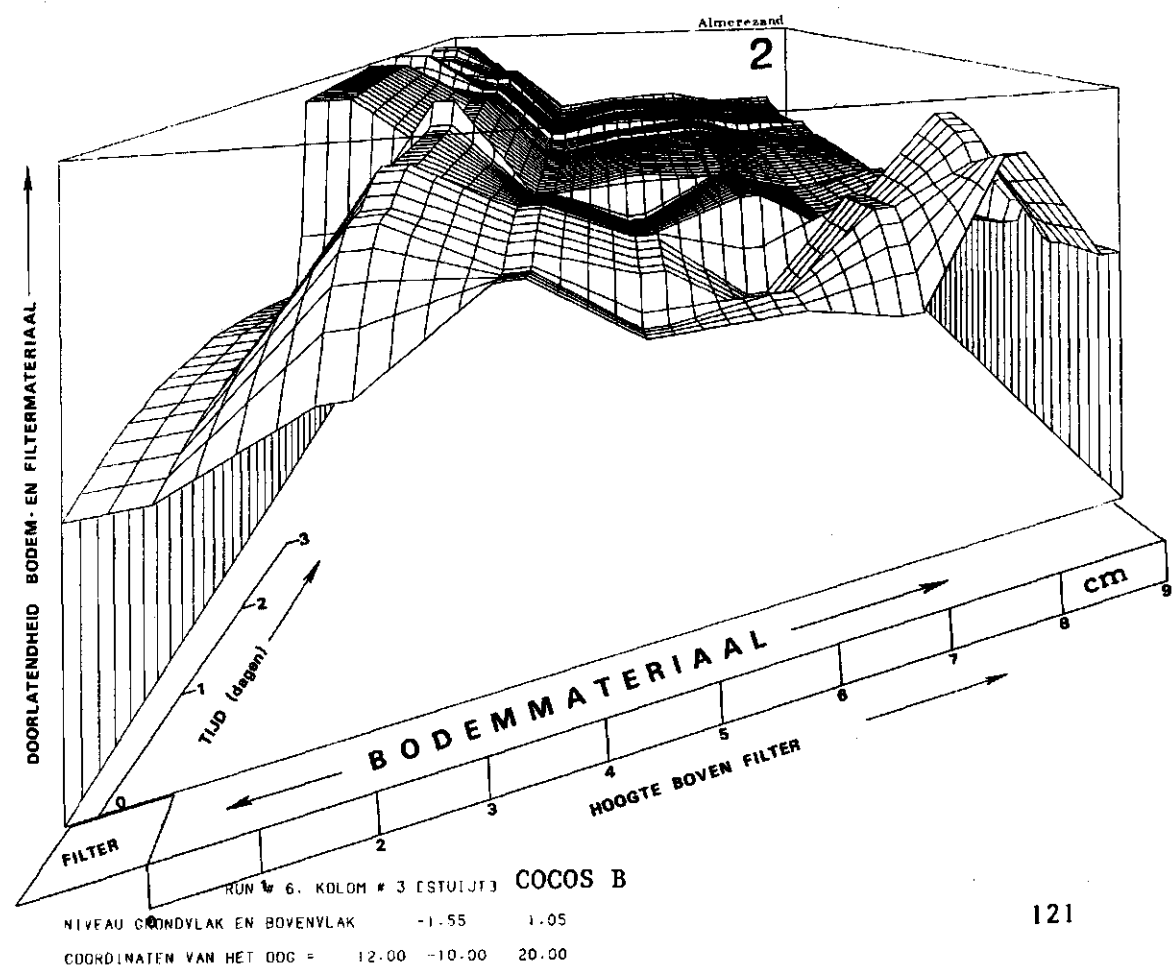
De doorlatendheid van het hierop liggende bodemlaagje is goed en neemt met de tijd zelfs nog iets toe. De doorlatendheid van de hierop liggende bodemlaagjes varieert nauwelijks qua plaats en tijd. Wellicht was het bodemmateriaal tijdens deze proef sterk samengedrukt en hebben zich weinig deeltjes onder invloed van de stromingsdruk van het water kunnen losmaken. - Gedurende de eerste twee dagen neemt de doorlatendheid van alle hogergelegen bodemlaagjes enigszins toe. Dit is het gevolg van het uitspoelen van een hoeveelheid zeer fijne bodemdeeltjes uit dit deel van het bodemonmonster. Tegelijkertijd neemt de doorlatendheid van het eerste bodemlaagje enigszins af; misschien is een gedeelte van die fijne fractie in dat laagje weer 'vastgelopen'.

2). In het begin zien we een aantal schommelingen in de doorlatendheden en ook, dat de vernadelde cocos gedeeltelijk is dichtgeslibt. Na vier dagen 'herstelt' het omhullingsmateriaal zich en stelt zich een stabiel evenwicht in, zodat er de rest van de tijd dat de doorstromingsproef duurt niet veel meer verandert. Tegen het omhullingsmateriaal aan heeft zich een mooi natuurlijk filter in de bodem ontwikkeld.

[46.505] LCPM STUFT 13 JUNI 83 10:52



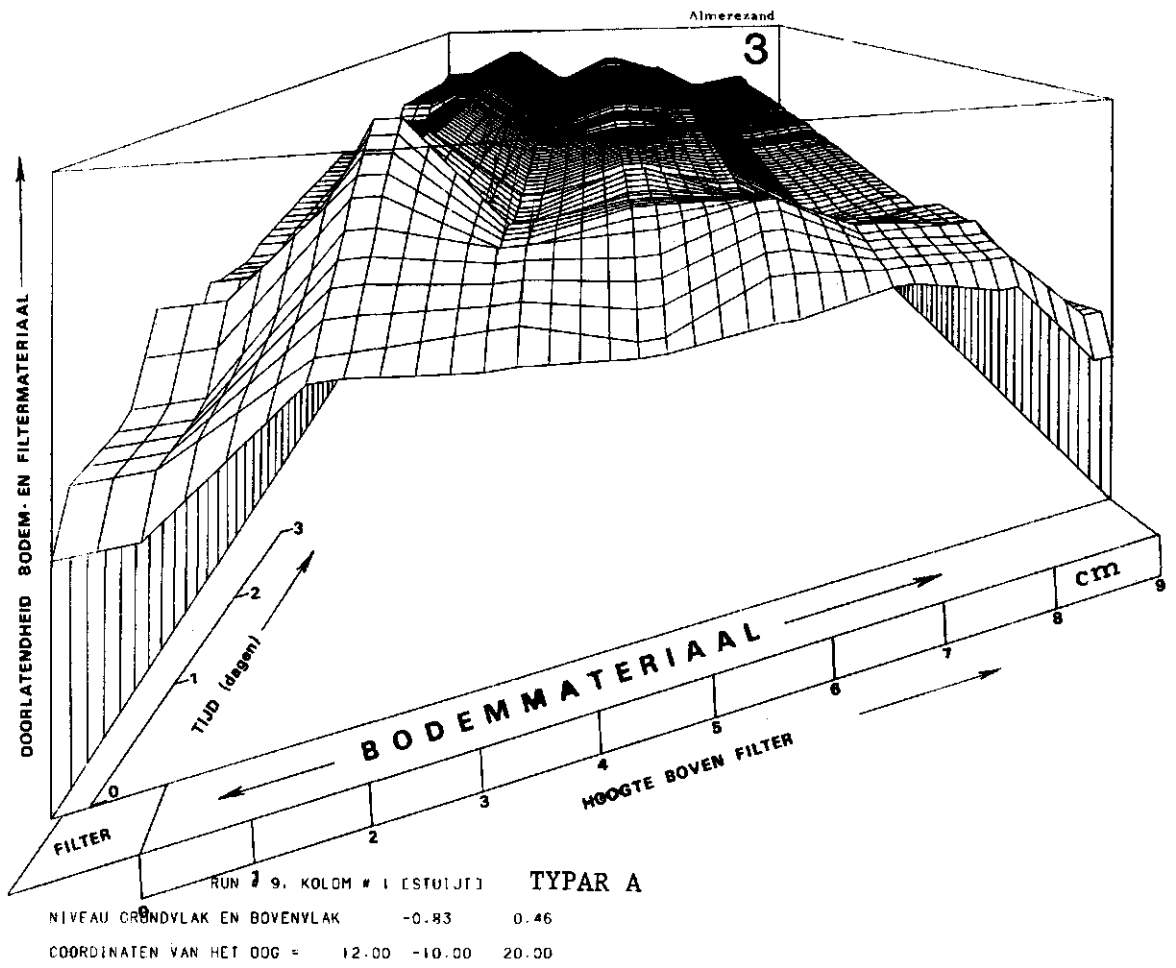
[46.505] LCPM STUFT 23 JUNI 83 10:52



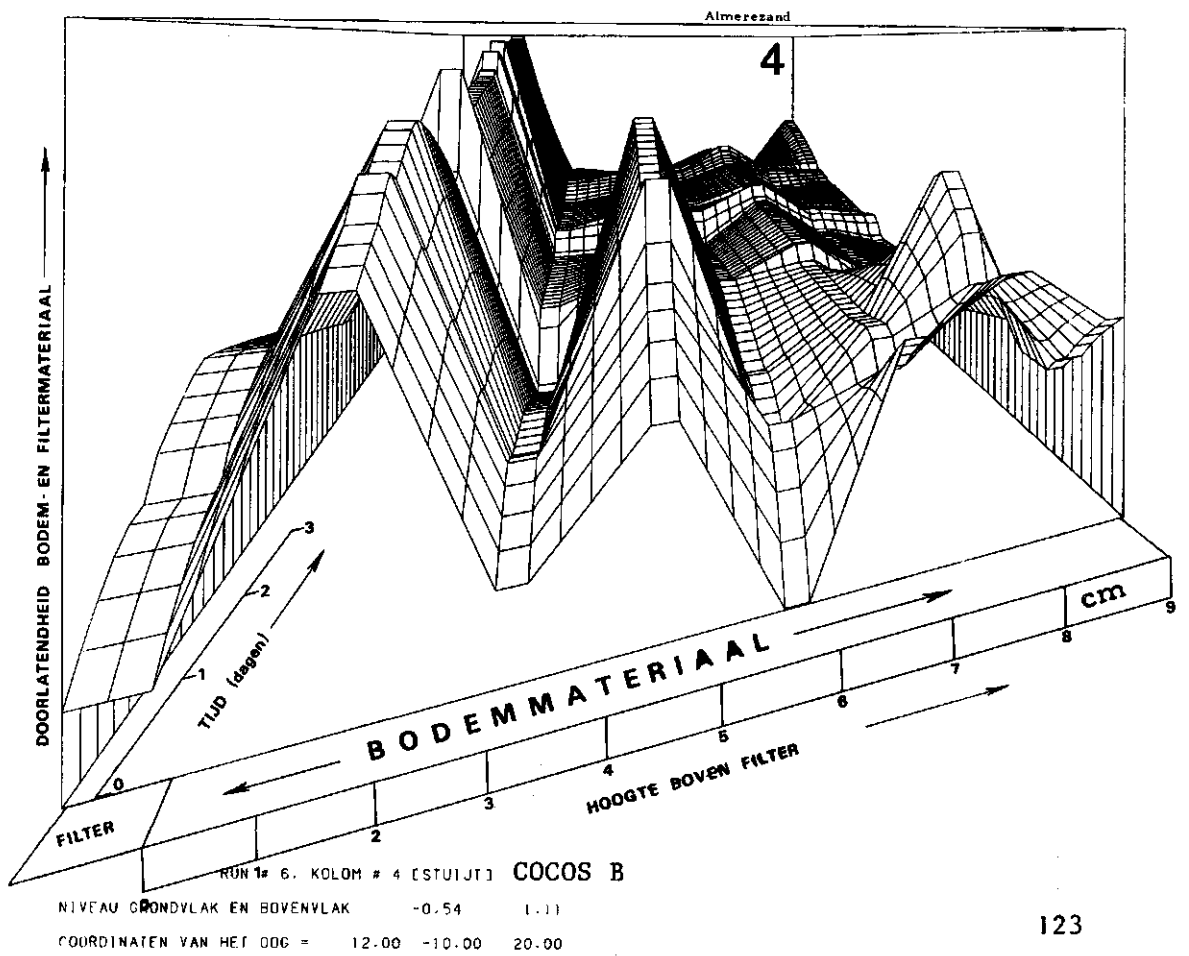
3). Ook hier zien we aan het begin van de proef een algehele toename in doorlatendheden ten gevolge van het uitwassen van fijne bodemdeeltjes. Na twee dagen treden er nauwelijks nog veranderingen op. Bovenop het natuurlijke filter (= het eerste, tegen het omhullingsmateriaal aanliggende bodemlaagje) heeft zich een laagje met een iets lagere doorlatendheid ontwikkeld.

4). Deze doorstromingsproef wordt, evenals die welke besproken werd bij No. 2, in het begin gekenmerkt door sterke doorlatendheidsschommelingen maar ook hier stelt zich na enige dagen weer een vrij stabiele toestand in. De vernadelde cocos ontwikkelt ook weer een mooi natuurlijk filter, maar is in dit geval zelf gedeeltelijk verstopt geraakt.

[46.505] LCPN # 1 23-JUL-83 11:15



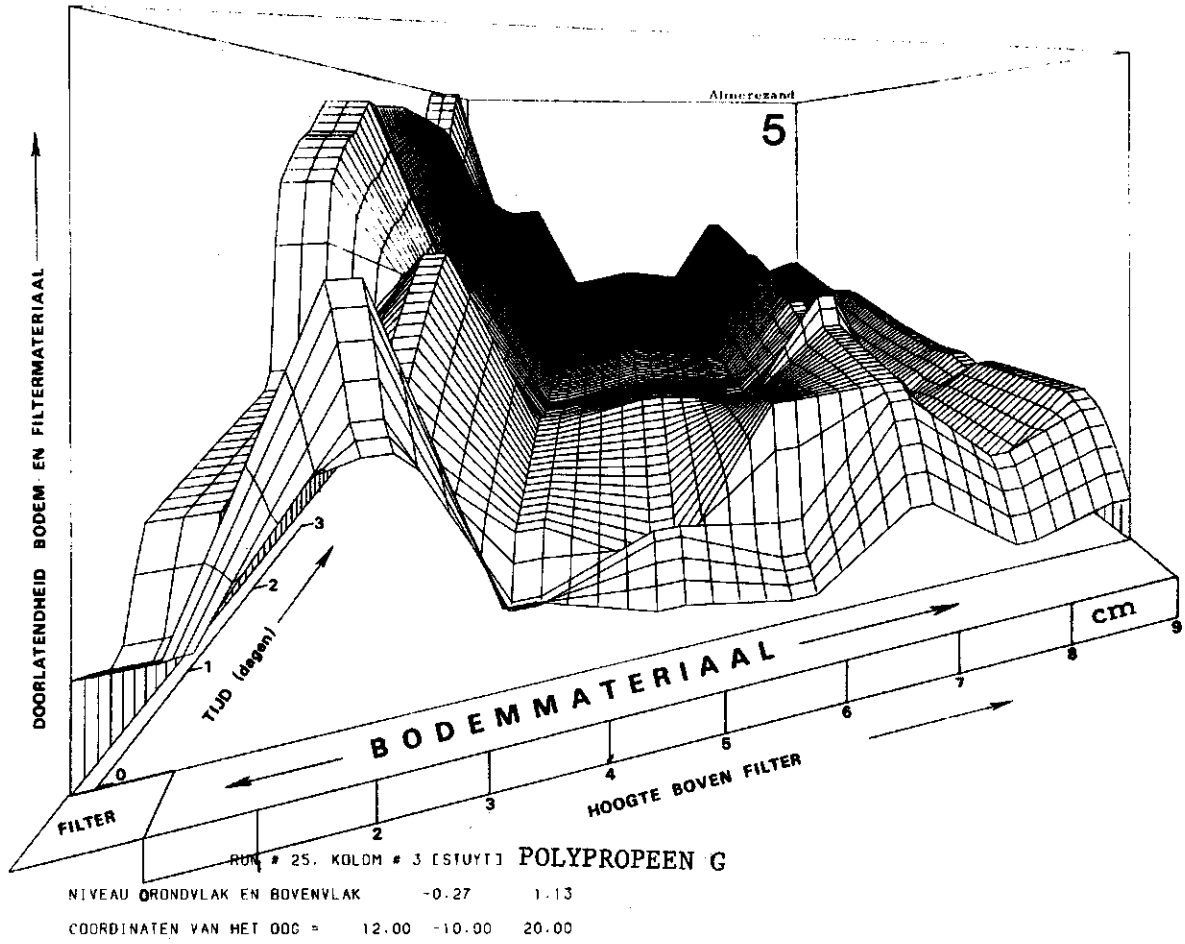
[46.505] LCPN # 1 23-JUL-83 10:55



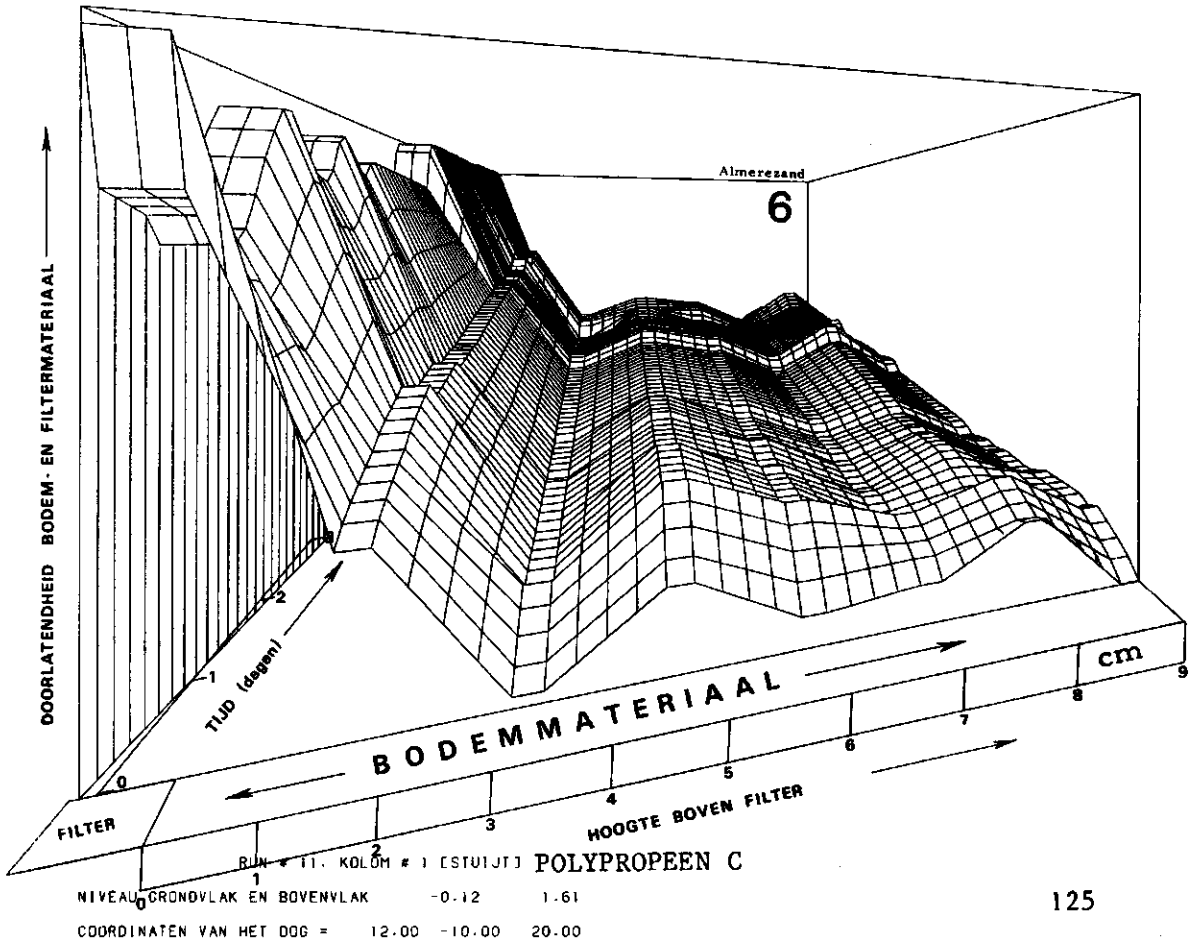
5). Gedurende de eerste dagen verstopt de uitspoelende fractie het omhullingsmateriaal en het eerste bodemlaagje, maar zodra dit proces is gestopt herstellen dit laagje, en vervolgens het omhullingsmateriaal zich. Opvallend is de relatief hoge doorlatendheid van het omhullingsmateriaal.

6). Ook in dit geval verstopt het omhullingsmateriaal eerst door het uitspoelen van de fijne fractie, maar herstelt. Er treedt daarna opvallend weinig verandering in de doorlatendheid meer op; het verloop vertoont een gunstig beeld ware het niet dat de doorlatendheid van het tweede bodemlaagje vrij laag is en de ontwaterende werking van het systeem ongunstig beïnvloedt.

[46.505] LCPM STUYT 27-May-83 21:10



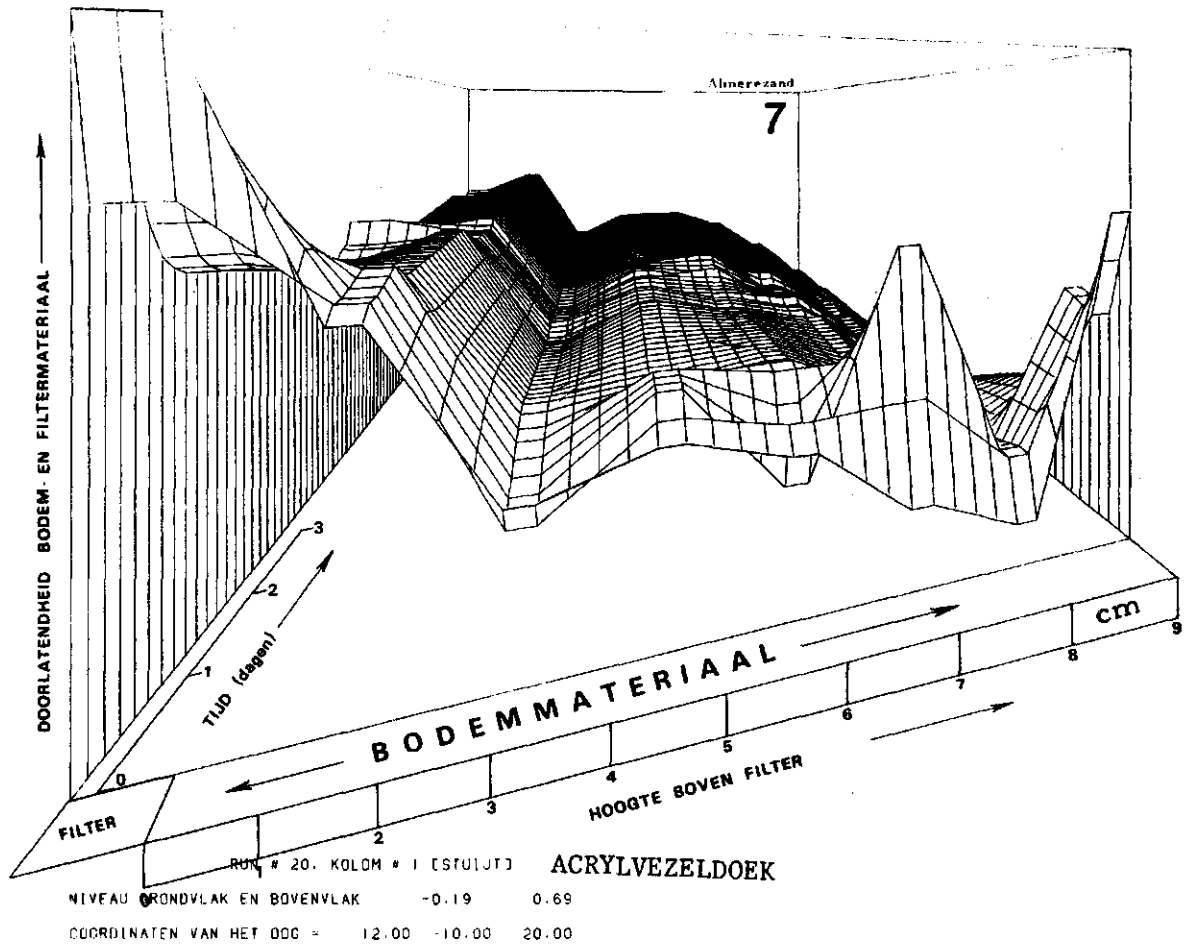
[46.505] LCPM STUYT 23-Jul-83 11:32



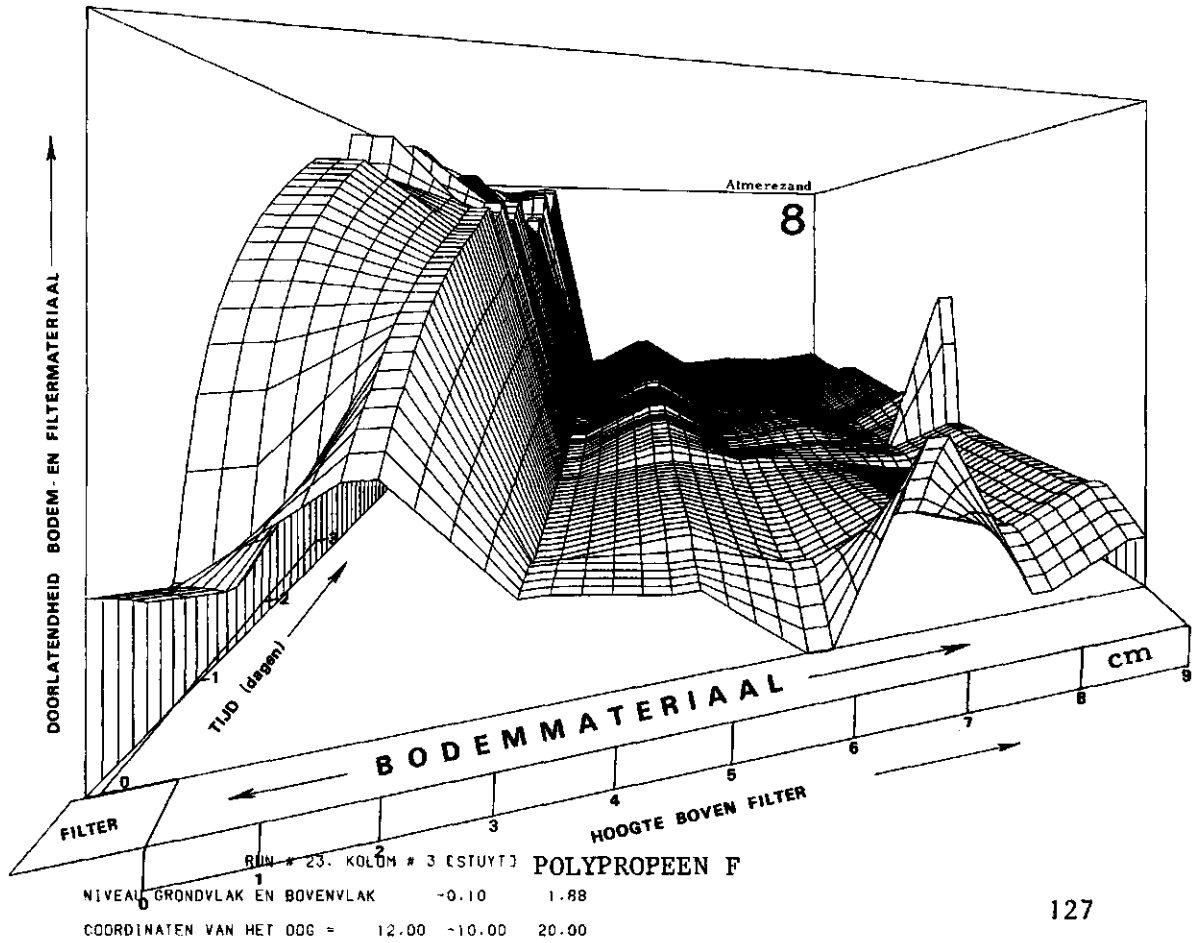
7). Het omhullingsmateriaal slibt blijkbaar gedeeltelijk dicht door de eerste 'lading' zeer fijn materiaal die in het bodemmateriaal in suspensie raakt zodra de doorstromingsproef begint. Daarna is de situatie stabiel. Van een 'herstel' van het omhullingsmateriaal, zoals we bij cocos B (No. 2) en polypropeen (No. 5) zagen is bij acrylvezeldoek echter geen sprake.

8). Het omhullingsmateriaal, dat blijkbaar tijdens het vullen van de doorstroomcilinder gedeeltelijk was 'volgelopen' met Almeresand (*basisverstopping*; zie pag. 36) herstelt zich bijzonder fraai en ontwikkelt tegelijkertijd een goed natuurlijk filter. Jammer, dat het tweede bodemlaagje slecht-doorlatend is en blijft. - Het 'topje' aan de rechterkant van de figuur is een meetfout.

[46.505] LCPM STUJT 13-Jul-83 07:09



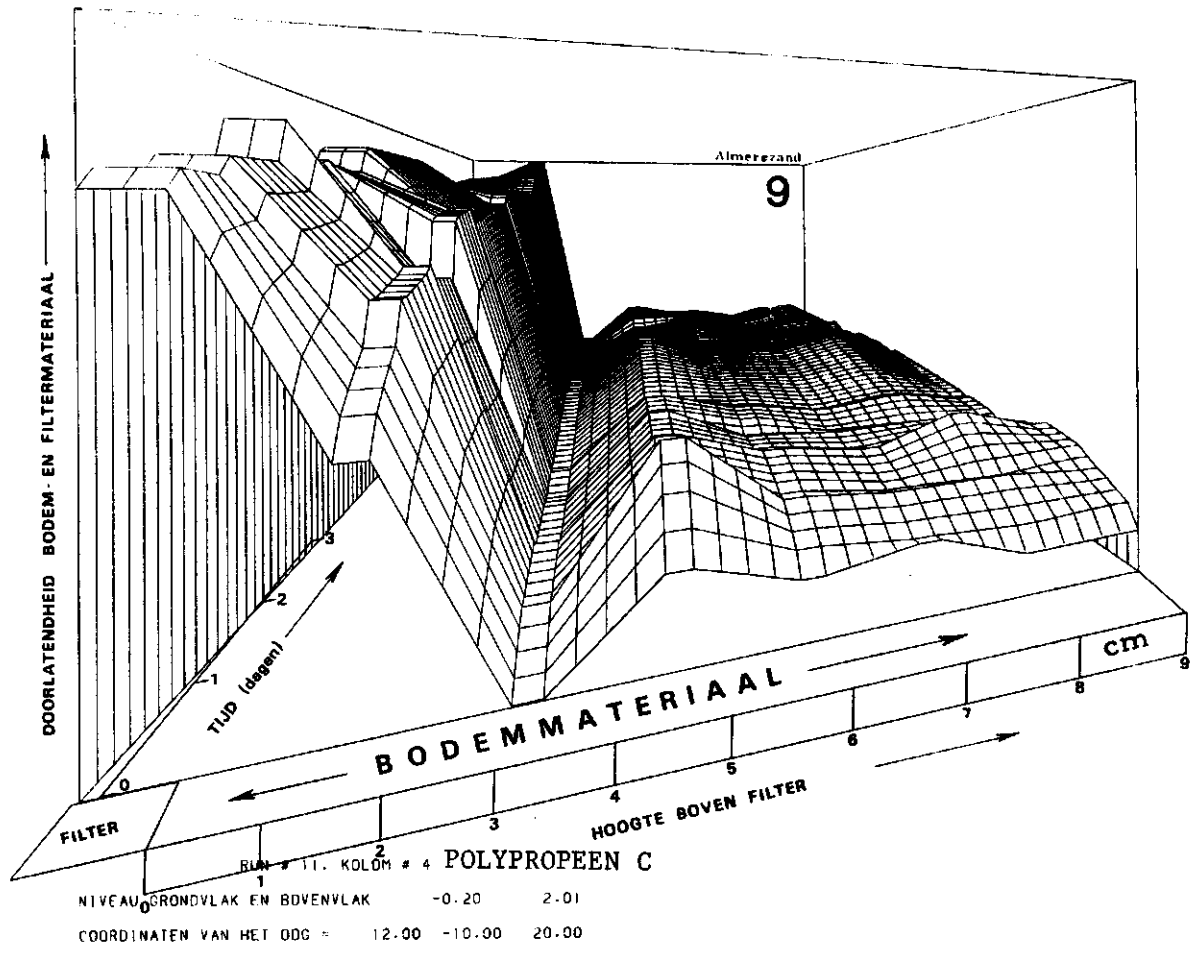
[46.505] LCPM STUJT 26-May-83 18:20



9). In tegenstelling tot het vorige geval neemt de doorlatendheid van omhullingsmateriaal en het eerste bodemlaagje met de tijd alleen nog maar toe. Zeer opvallend is de slechte doorlatendheid van het tweede bodemlaagje: dit is trouwens vanaf het begin van de doorstromingsproef al zo. We bestuderen dit verschijnsel nader in de tweede groep.

De volumineuze materialen hebben in groep 1 duidelijk de overhand.

[46.505] LCPV ST. Y. 23-Jul-83 11:36



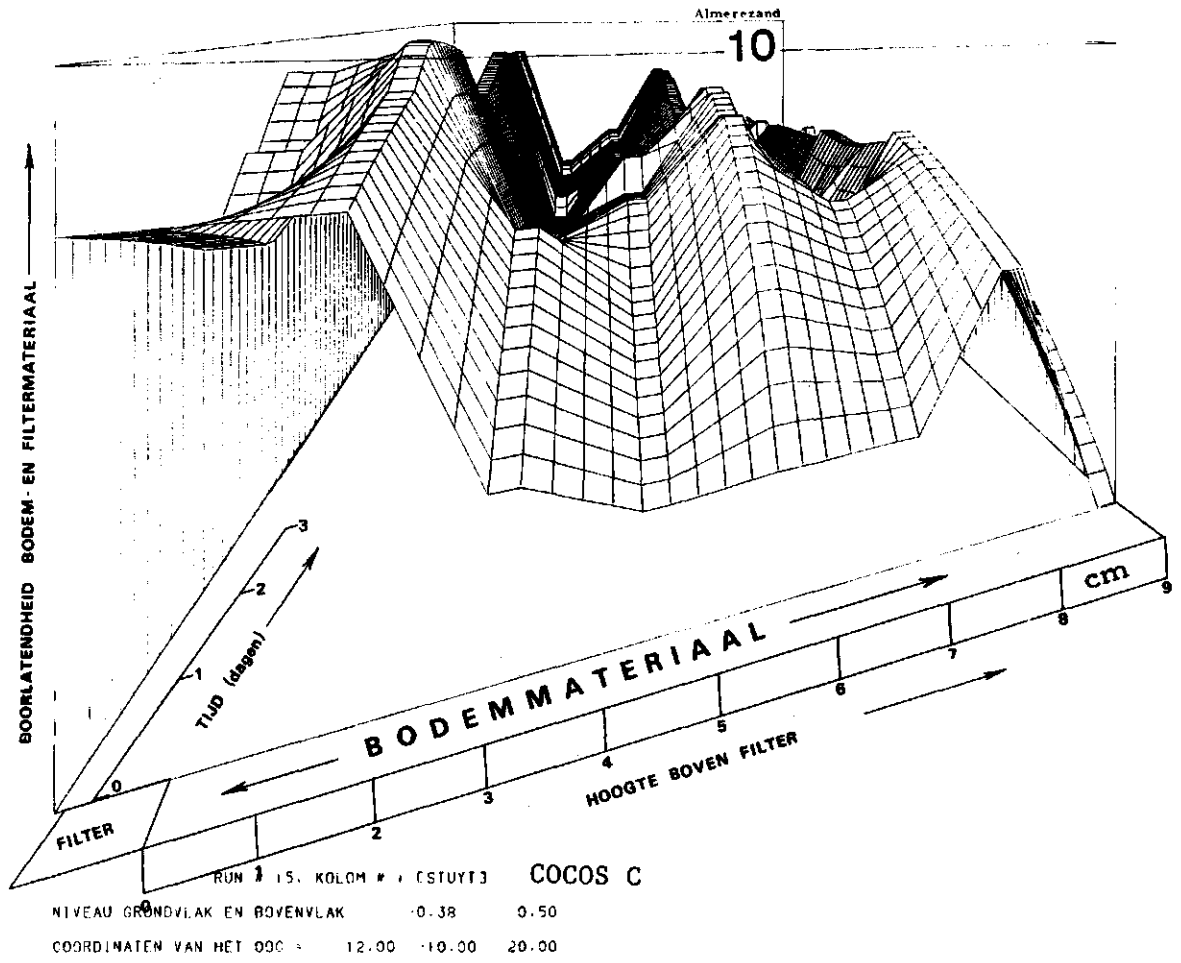
GROEP_2

OMHULLINGSMATERIALEN WAARBIJ ZICH IN HET BODEMMATERIAAL
LAAGJES MET SLECHTE DOORLATENDHEID VORMEN

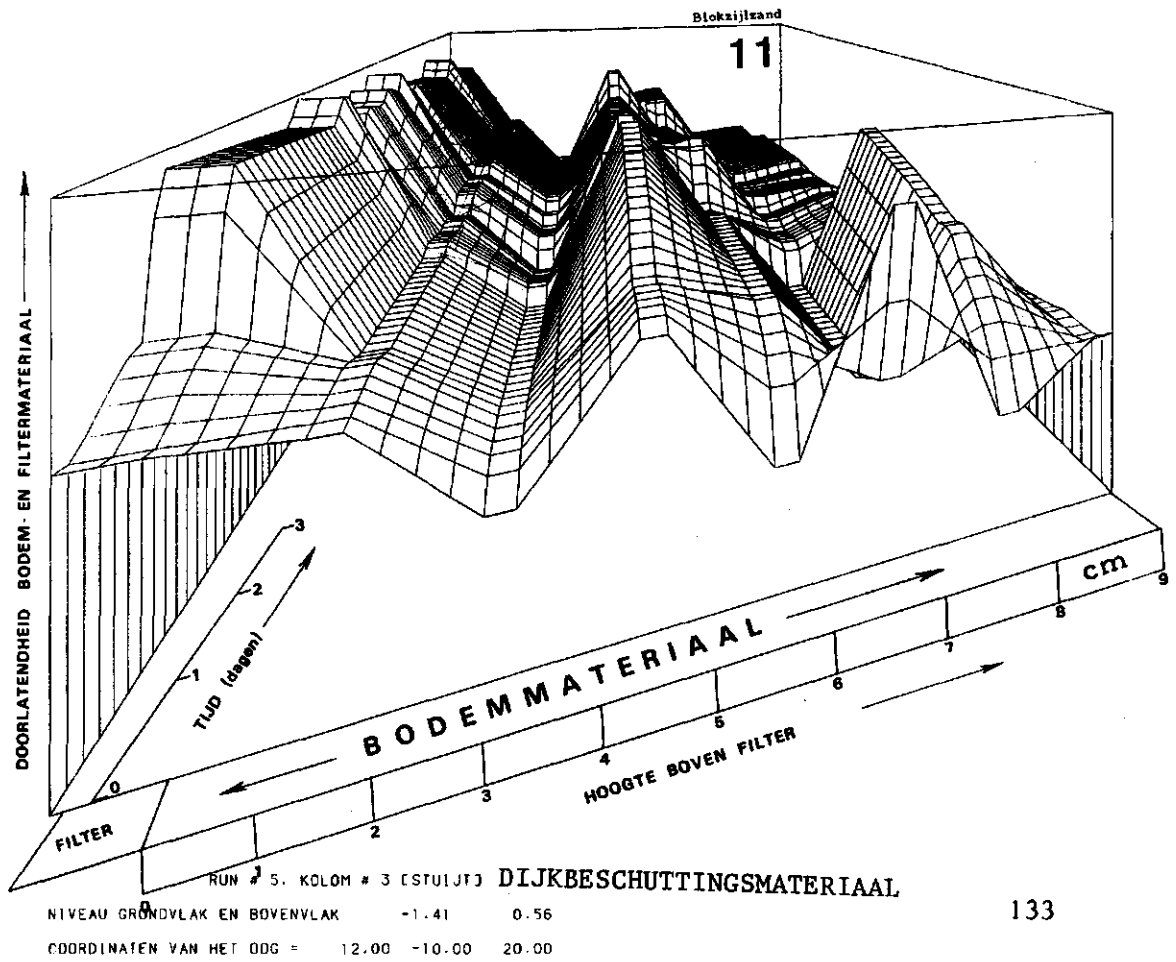
10). In dit geval ontwikkelt de doorlatendheid zich in eerste instantie zeer gunstig. Na twee dagen echter verandert de situatie en vormen zich drie laagjes met een hoge, en daartussen twee met een lage doorlatendheid. Bovendien blijkt het omhullingsmateriaal dichtgeslibt te zijn. Het is vreemd te zien hoe zo'n in eerste instantie gunstige ontwikkeling om kan slaan in een ongunstige toestand. Het debiet is tijdens deze proef niet noemenswaard veranderd.

11). Bij Blokzijlzand, dat fijner en minder goed doorlatend is dan Almere-zand, zien we dat er tijdens het begin van de proef minder fijne deeltjes uitspoelen. Afgezien van het vijfde bodemlaagje en het omhullingsmateriaal, verandert er in de doorlatendheden niet zo veel meer. Ook hier blijft echter het tweede bodemlaagje slecht doorlatend.

E46.5052 LCPM STUJT 6-Jun-83 18:02



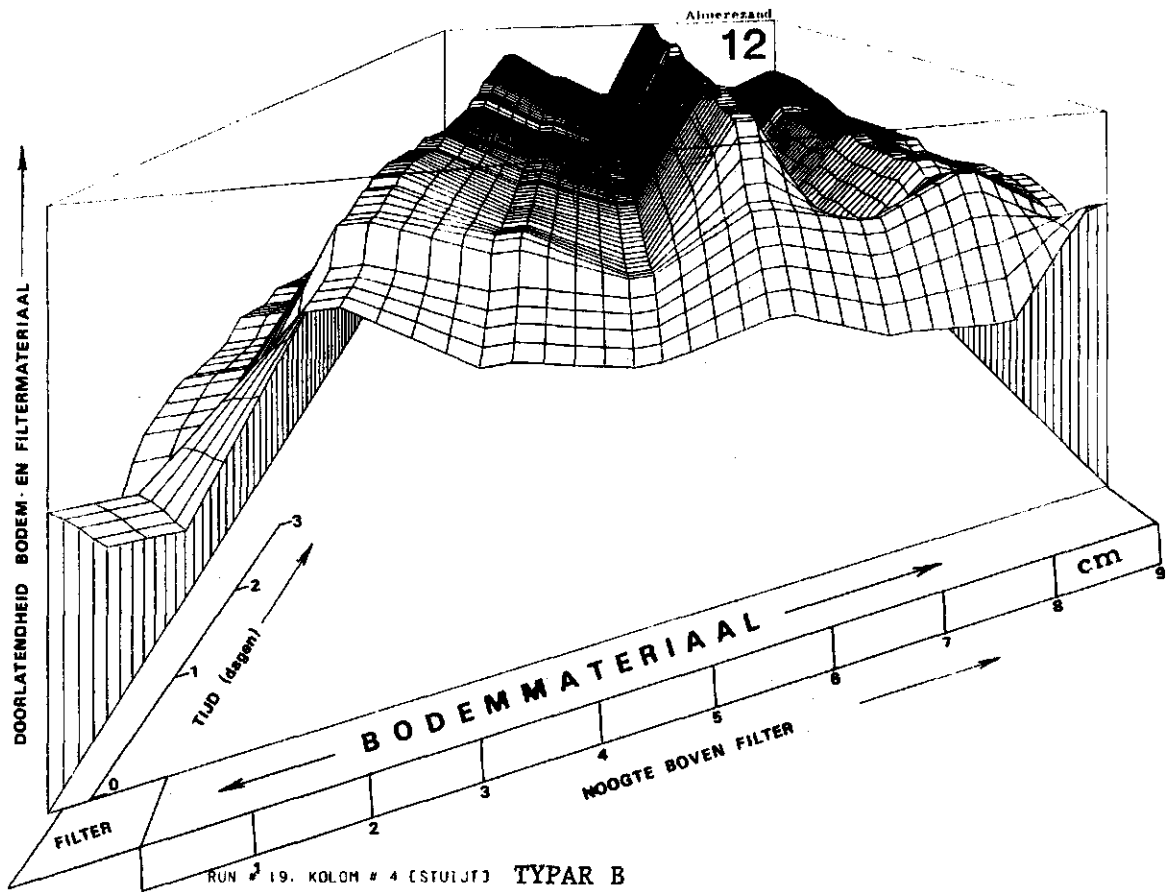
E46.5051 LCPM STUJT 23-Jul-83 10:49



12). Typar B heeft een te dichte structuur en verstopt gedeel-
lijk door het uitspoelen van de fijne fractie. In dit geval begonnen
we de doorstromingsproef met een vrij homogeen bodemmateriaal (door-
latendheid overal ongeveer hetzelfde) terwijl de eindsituatie duidelijk
verschillen laat zien.

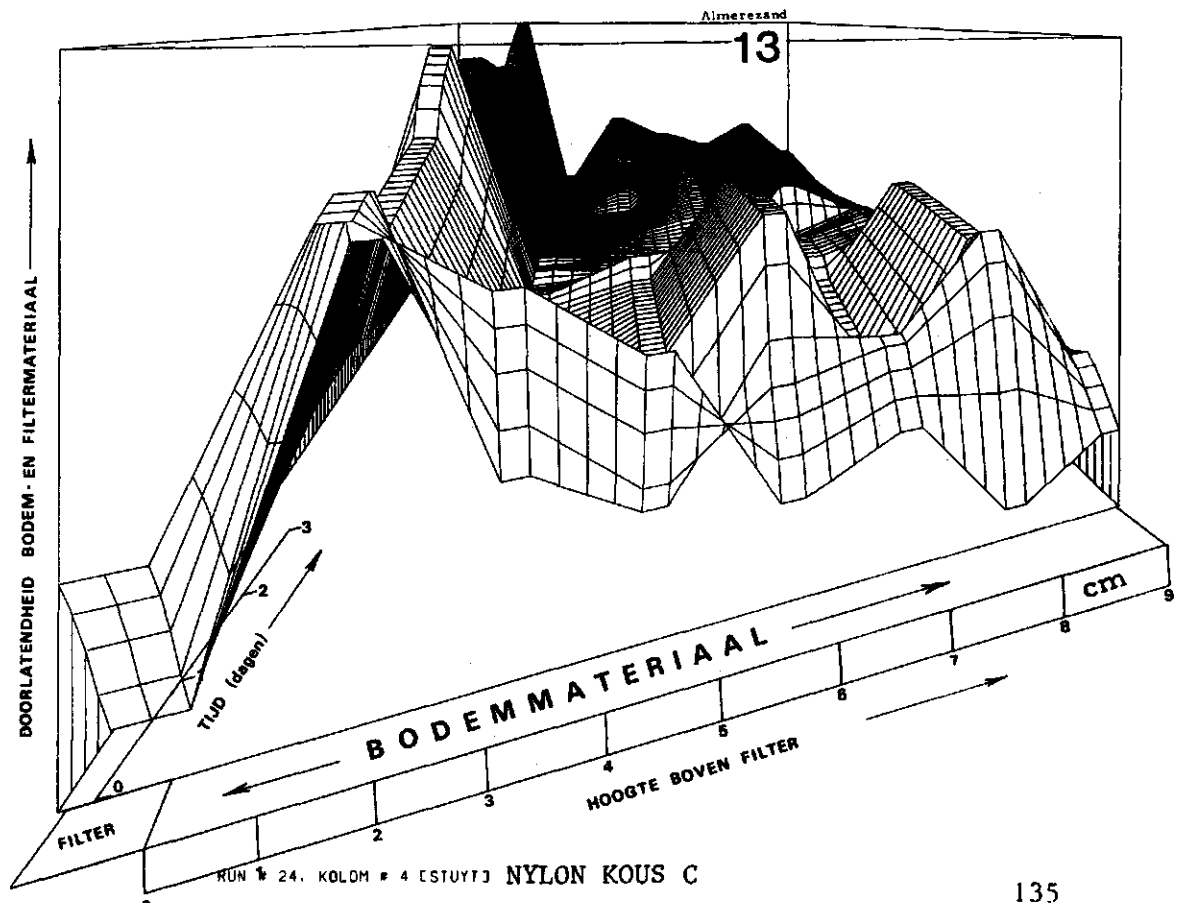
13). Vooral in het begin veel veranderingen waarbij het omhullingsmateriaal
zelf verstopt, maar een zeer goed natuurlijk filter ontwikkelt. Aan
het eind van de proef is de doorlatendheid van het omhullingsmateriaal
0.43 m/dag, die van het eerste bodemlaagje (natuurlijk filter) 4.38
m/dag, en die van het tweede bodemlaagje 0.59 m/dag. Afgezien van dat
tweede bodemlaagje is de ontwikkeling van de doorlatendheden in het bo-
demmonster gunstig. We moeten ons afvragen hoe het komt dat de door-
latendheid van het op het natuurlijk filter gelegen bodemlaagje regel-
matig zo slecht is; het komt tē vaak voor om het af te doen als een toe-
vallige ontwikkeling.

[46.505] LCPM STUYT 30-Jun-83 18:30



RUN # 19. KOLON # 4 (STUIJT) **TYPAR B**
 NIVEAU GRONDVLAK EN BOVENVLAK -0.64 0.29
 COORDINATEN VAN HET OOG = 12.00 -10.00 20.00

[46.505] LCPM STUYT 31-May-83 18:11

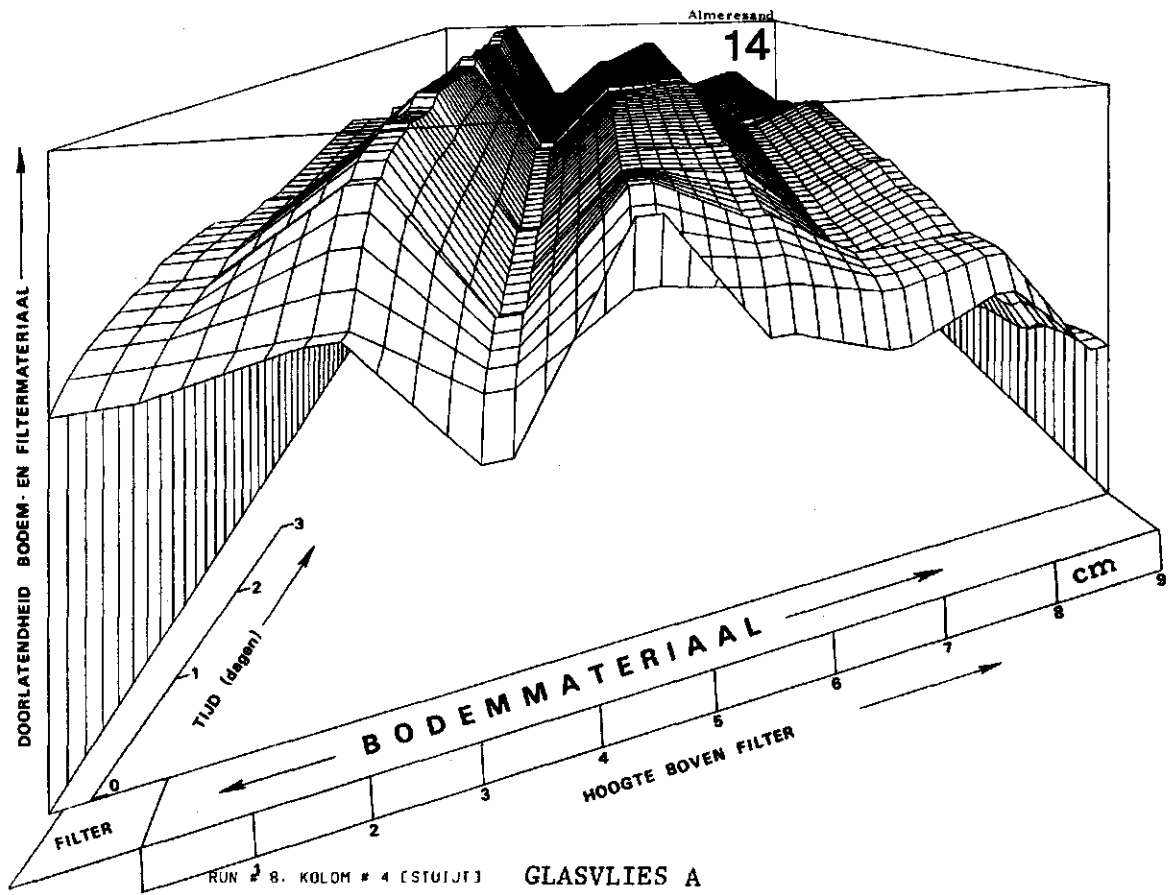


RUN # 24. KOLON # 4 (STUIJT) **NYLON KOUS C**
 NIVEAU GRONDVLAK EN BOVENVLAK -0.43 0.64
 COORDINATEN VAN HET OOG = 12.00 -10.00 20.00

14). Ook in dit geval een dun omhullingsmateriaal met hetzelfde beeld, al zijn de verschillen hier niet zo groot als in het vorige geval. We zien dat hier het tweede bodemlaagje al vanaf het begin slecht doorlatend is. Vrij snel heeft zich in de bodem een stabiele situatie ingesteld. In deze situatie werken op de bodemdeeltjes - in deze laboratoriumopstelling - twee krachten: de zwaartekracht en de stromingsdruk, veroorzaakt door het langsstromende water. Zolang er uit het bodemmateriaal niet teveel wegspoelt (door suffosie en/of erosie) blijft de bodem ondanks genoemde krachten stabiel.

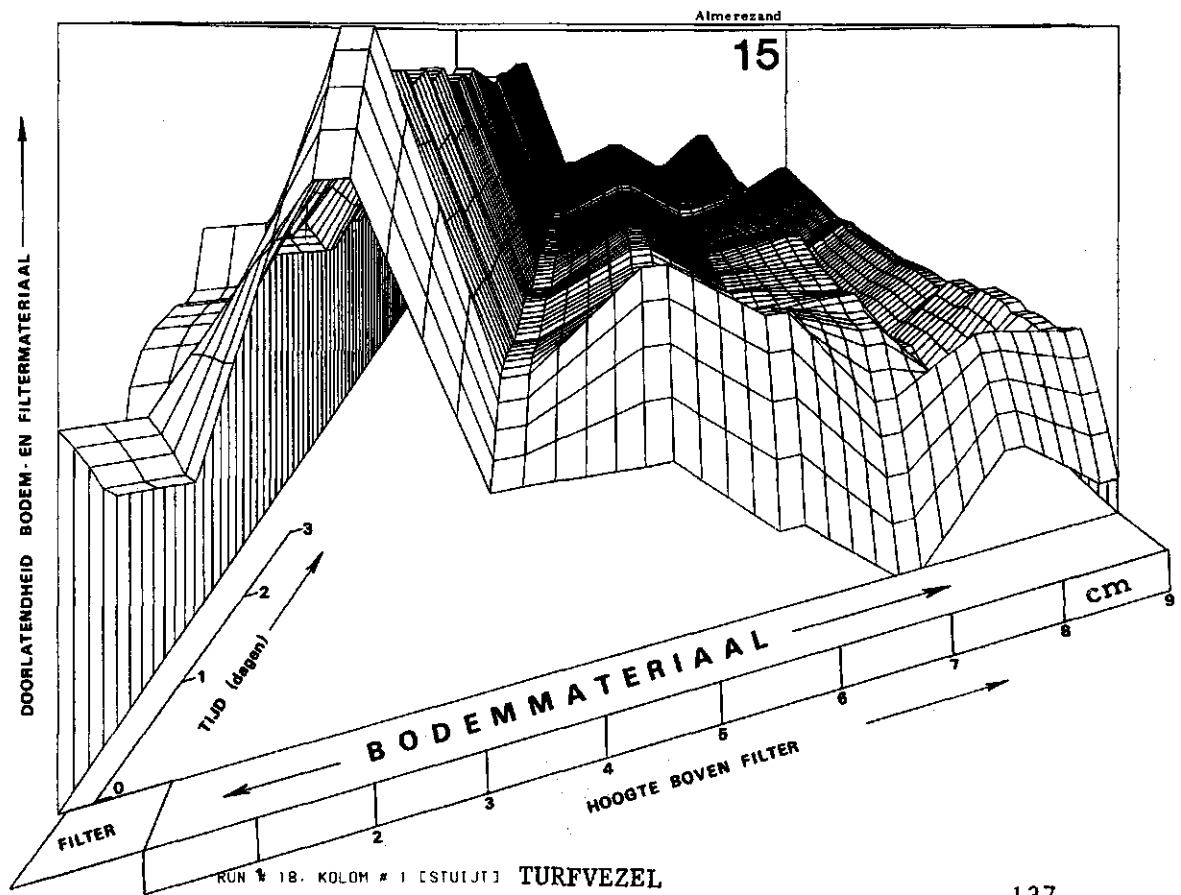
15). Ontwikkelt zich echter een natuurlijk filter vlakbij het omhullingsmateriaal zoals ook hier bij turfvezelomhulling, dan treedt die stabilisatie op een andere manier op, nl. door de vorming van stabiele gewelven of 'bruggen'. Door de ontwikkeling van het natuurlijke bodemfilter zijn de fijnste deeltjes weggespoeld en blijft een grof, goed doorlatend 'bodemskelet' over. Dat is niet het geval met het bodemlaagje dat hierop ligt; dit bevat relatief meer fijne bodemdeeltjes. Uit de literatuur en ook uit onderzoek is bekend dat de enige manier waarop fijnkorrelig materiaal zich op grofkorrelig materiaal kan stabiliseren, de vorming van stabiele gewelven is. Dit verschijnsel treedt bijvoorbeeld ook op bij zoutvaatjes: alleen door voortdurend schudden komt er zout uit de strooier.

[46.505] LCPY STUYT 23-Jul-83 11:10



NIVEAU GRONDVLAK EN BOVENVLAK -0.73 0.48
 COORDINATEN VAN HET OOG = 12.00 -10.00 20.00

[46.505] LCPY STUYT 6-Jul-83 07:41

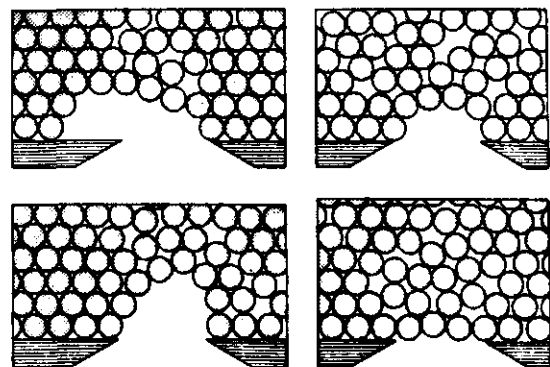


NIVEAU GRONDVLAK EN BOVENVLAK -0.28 0.55
 COORDINATEN VAN HET OOG = 12.00 -10.00 20.00

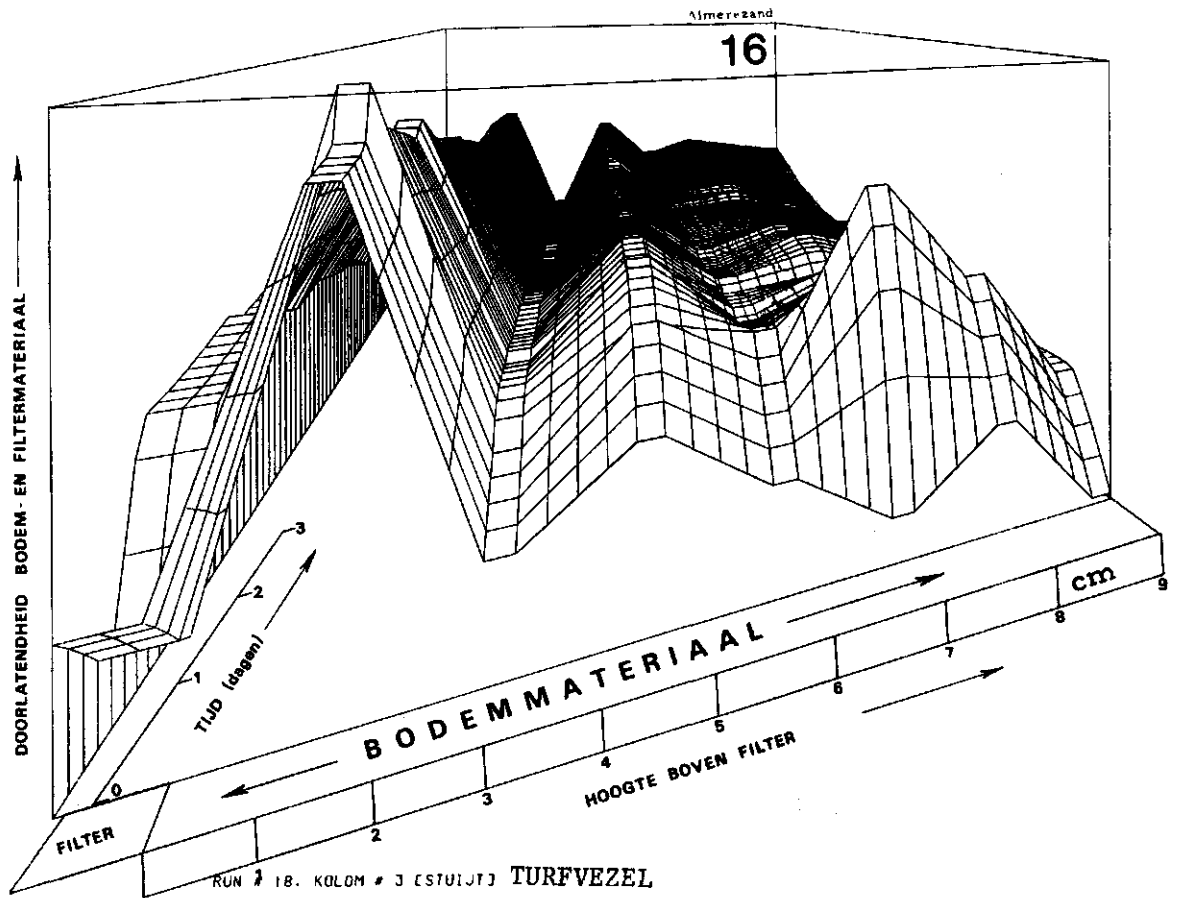
16). De zoutkorrels vormen stabiele gewelven boven de openingen van de strooier. Deze gewelven kunnen er uit zien als die welke getekend zijn in onderstaande figuren. Bij stabiele gewelven versterkt het verstoppende effect zichzelf omdat de grootte van de poriën daar ter plaatse relatief zeer gering is. Deze poriën kunnen door de stromingsdruk zelfs nog meer in elkaar gedrukt worden en dit veroorzaakt hoogstwaarschijnlijk de relatief geringe doorlatendheid van het tweede bodemlaagje. Ook bij deze proef is dat weer het geval.

17). Ook hier weer hetzelfde beeld. Het valt op dat de ontwikkeling van een natuurlijk filter in de bodem zowel bij dunne als bij volumineuze materialen tot stand komt. Ook opvallend is, dat zo'n natuurlijk filter zich meestal direct na het begin van de doorstromingsproef vormt. Zouden we inderdaad kunnen aantonen dat de ontwikkeling van een natuurlijk bodemfilter en stabiele gewelven vlak daarboven hand in hand gaan, dan komt onze onvoorwaardelijke voorkeur voor de ontwikkeling van natuurlijke bodemfilters in een ander daglicht te staan. - Het is overigens nog maar de vraag of de hier geconstateerde verschijnselen ook optreden met meer realistisch bodemmateriaal, waarmee de doorstromingsproeven zullen worden voortgezet.

Verschillende vormen van stabiele gewelven in korrelig materiaal



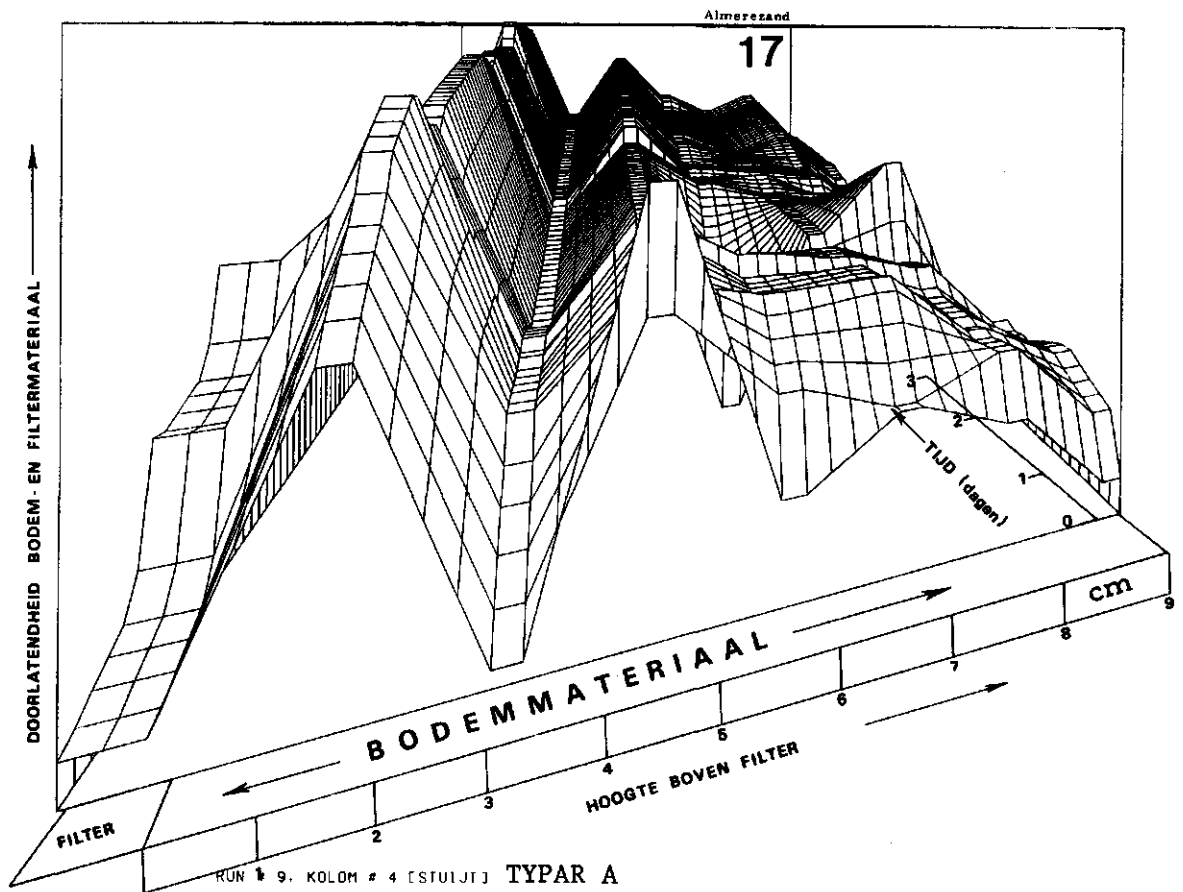
[46.505] LCPM STUYT 6-Jul-83 07:47



RUN # 18. KOLOM # 3 (STUIJT) TURFVEZEL

NIVEAU GRONDVLAK EN BOVENVLAK	-0.44	0.44	
COORDINATEN VAN HET OOG =	12.00	-10.00	20.00

[46.505] LCPM STUYT 23-Jul-83 11:19

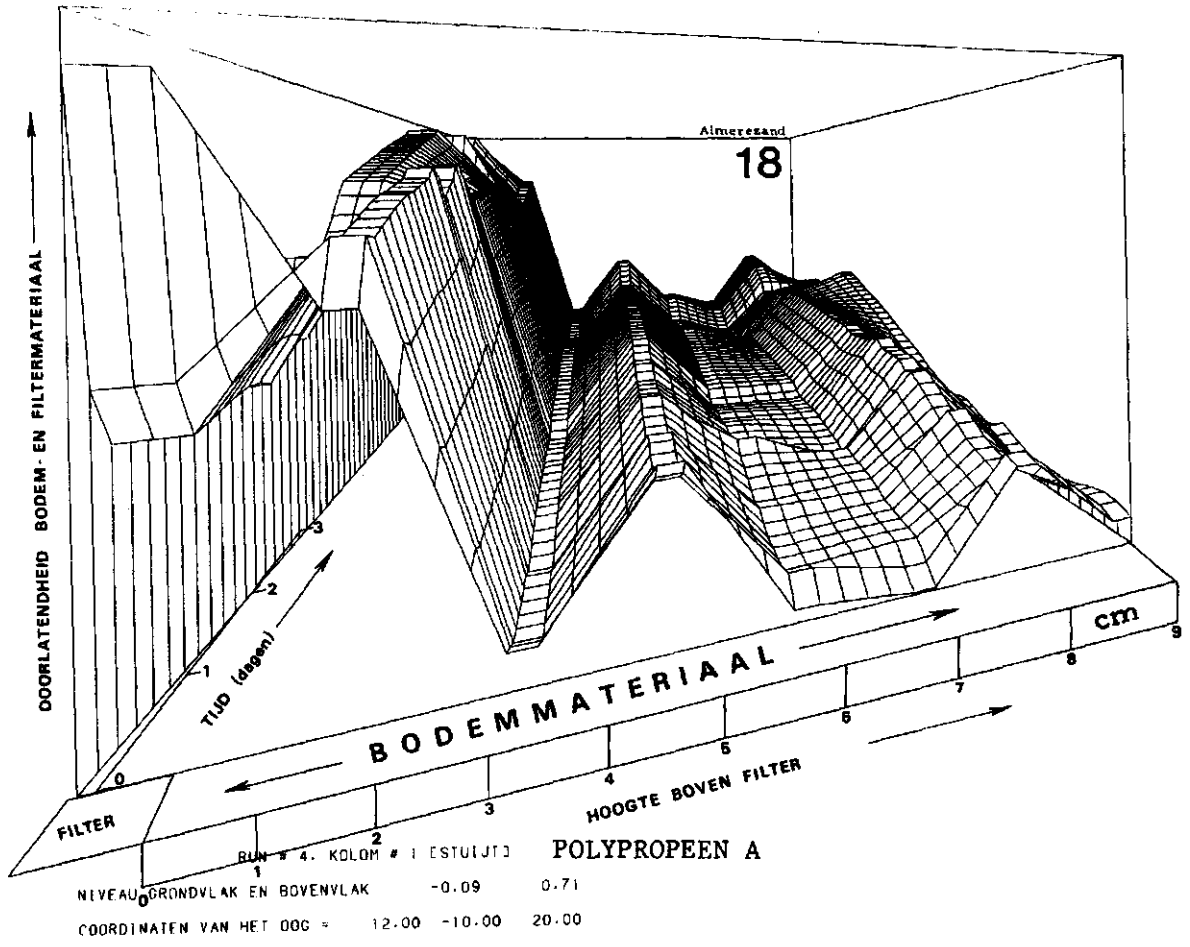


RUN # 9. KOLOM # 4 (STUIJT) TYPAR A

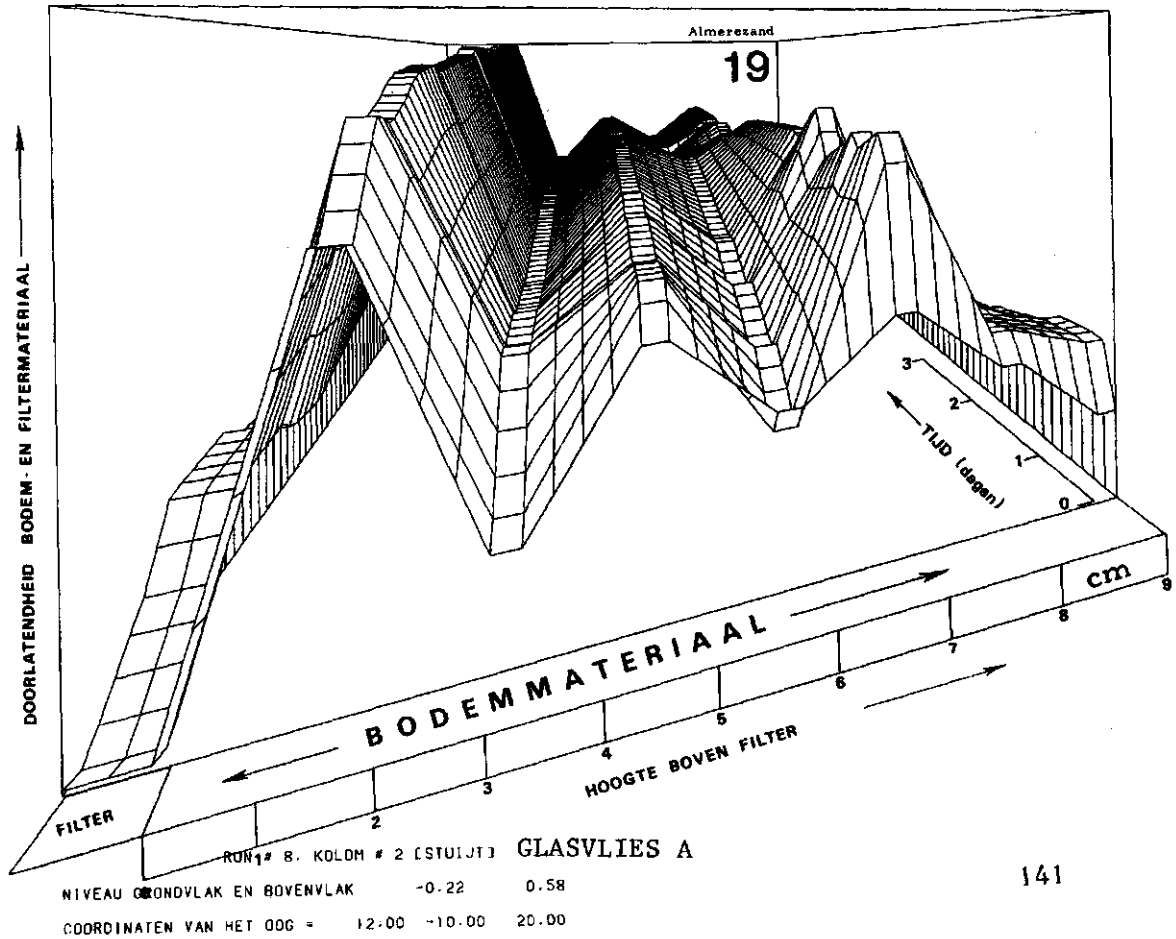
NIVEAU GRONDVLAK EN BOVENVLAK	-0.31	0.56	
COORDINATEN VAN HET OOG =	12.00	-10.00	20.00

- 18). Resten nog twee belangrijke constateringën aangaande de materialen in deze groep. Opvallend is dat er, gezien de verhouding van de geteste dunne en volumineuze materialen, relatief veel dunne materialen in deze groep voorkomen. Dit valt misschien te verklaren uit het feit dat bij volumineuze materialen veel gemakkelijker kontaktersie optreedt dan bij dunne; daar heeft kontaktsuffosie de overhand. Alleen bij kontaktsuffosie lijkt het gevaar van het optreden van stabiele gewelfvorming reëel, omdat in deze gevallen ten gevolge van de suffosie een relatief 'open' structuur met grove bodemdeeltjes overblijft. De vorming van een slecht doorlatend laagje is zeer opvallend bij het laatste voorbeeld (figuur 23 op pag. 141). In dit geval werd chemisch voorbehandeld bodemmateriaal gebruikt, zodat de onderlinge binding tussen de bodemdeeltjes, de cohesie, minimaal is. Het lijkt dus waarschijnlijk dat de toestand van de bodem tijdens installatie van het ontwateringssysteem (structuur, vochtigheidsgraad etc.) bepalend is voor de verdere ontwikkeling van de doorlatendheden met de tijd.
- 19). Er blijven nu nog vijf figuren over waar we dezelfde verschijnselen constateren. Zij worden niet apart besproken.

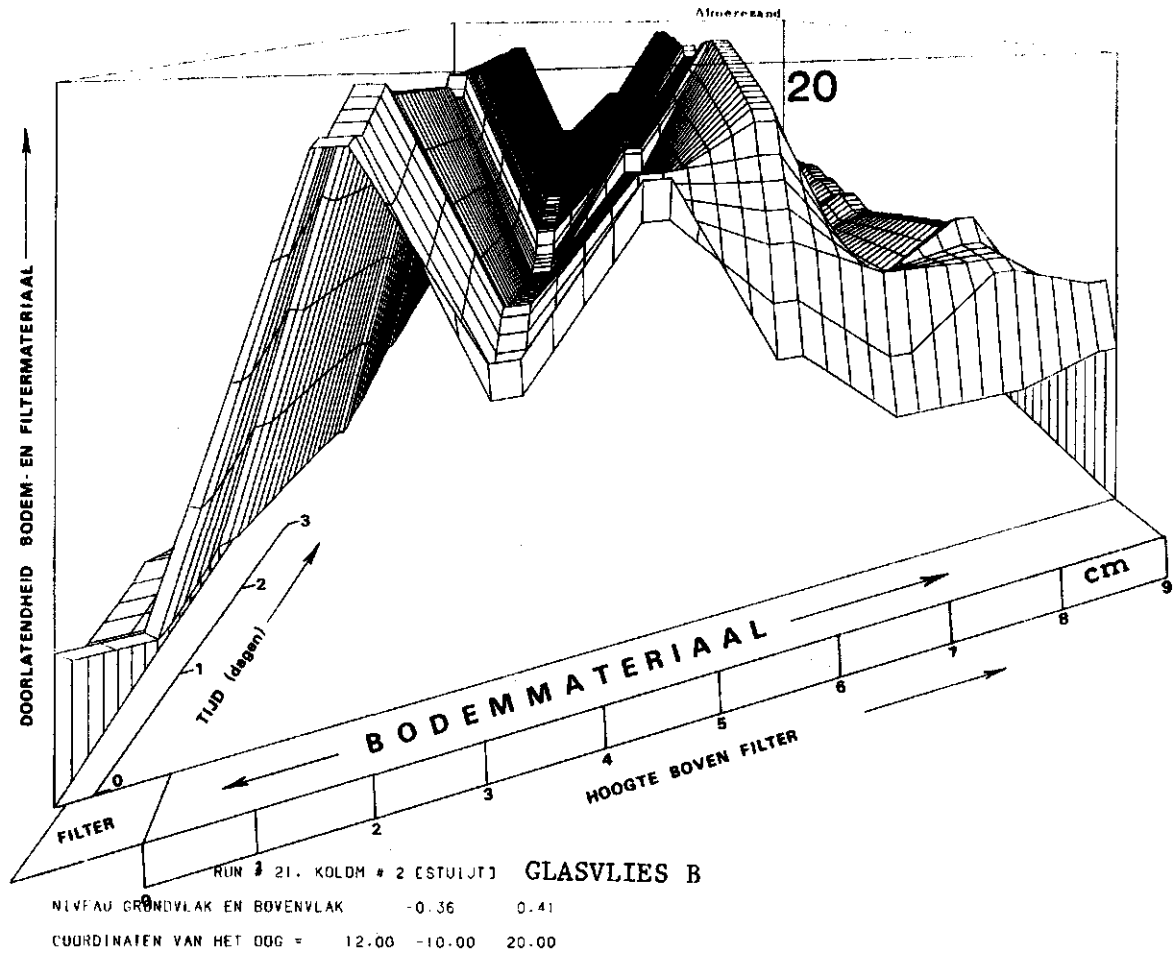
[46.505] LCPCM STUWT 23-JUL-83 10:40



[46.505] LCPCM STUWT 23-JUL-83 11:06

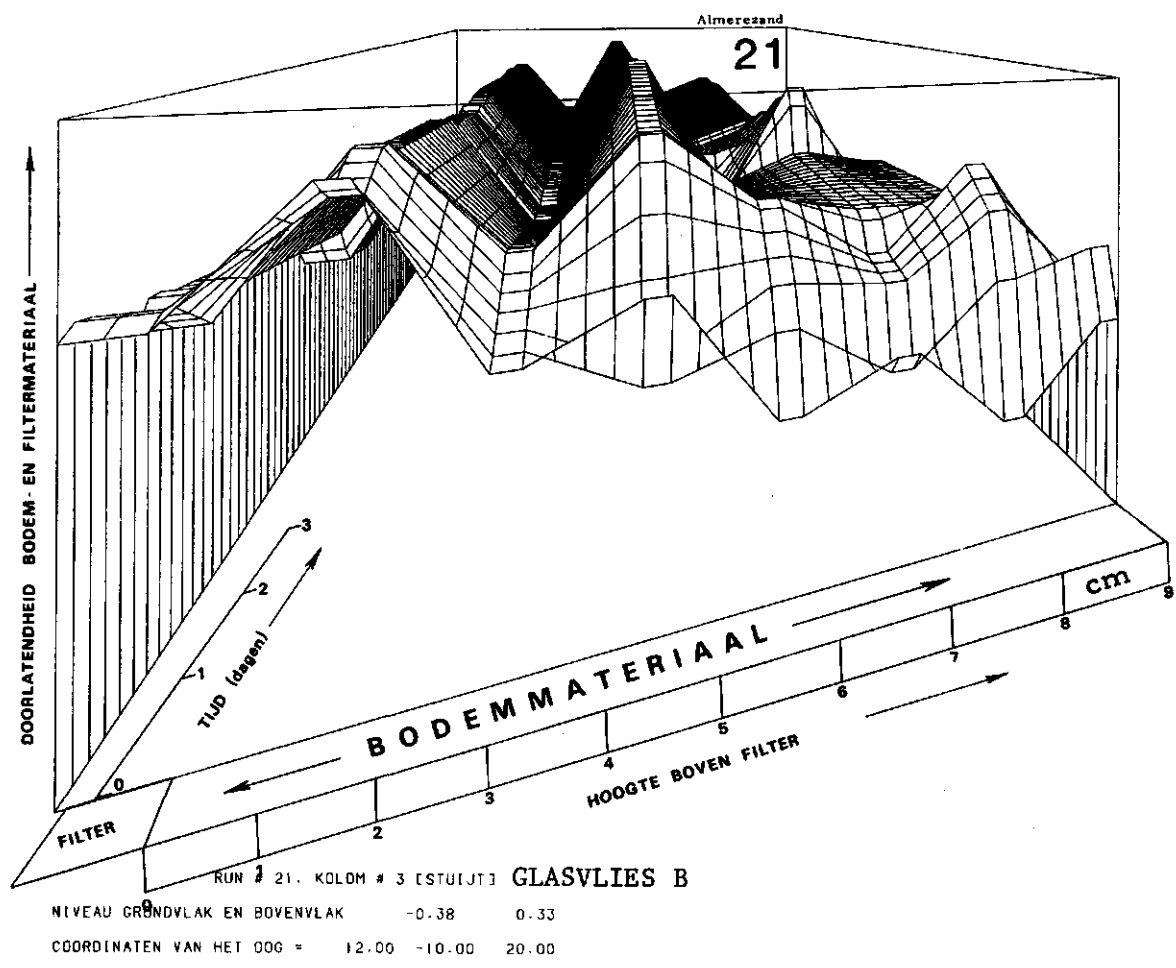


[46.505] LCPM STUYT 13-JUL-83 07:21

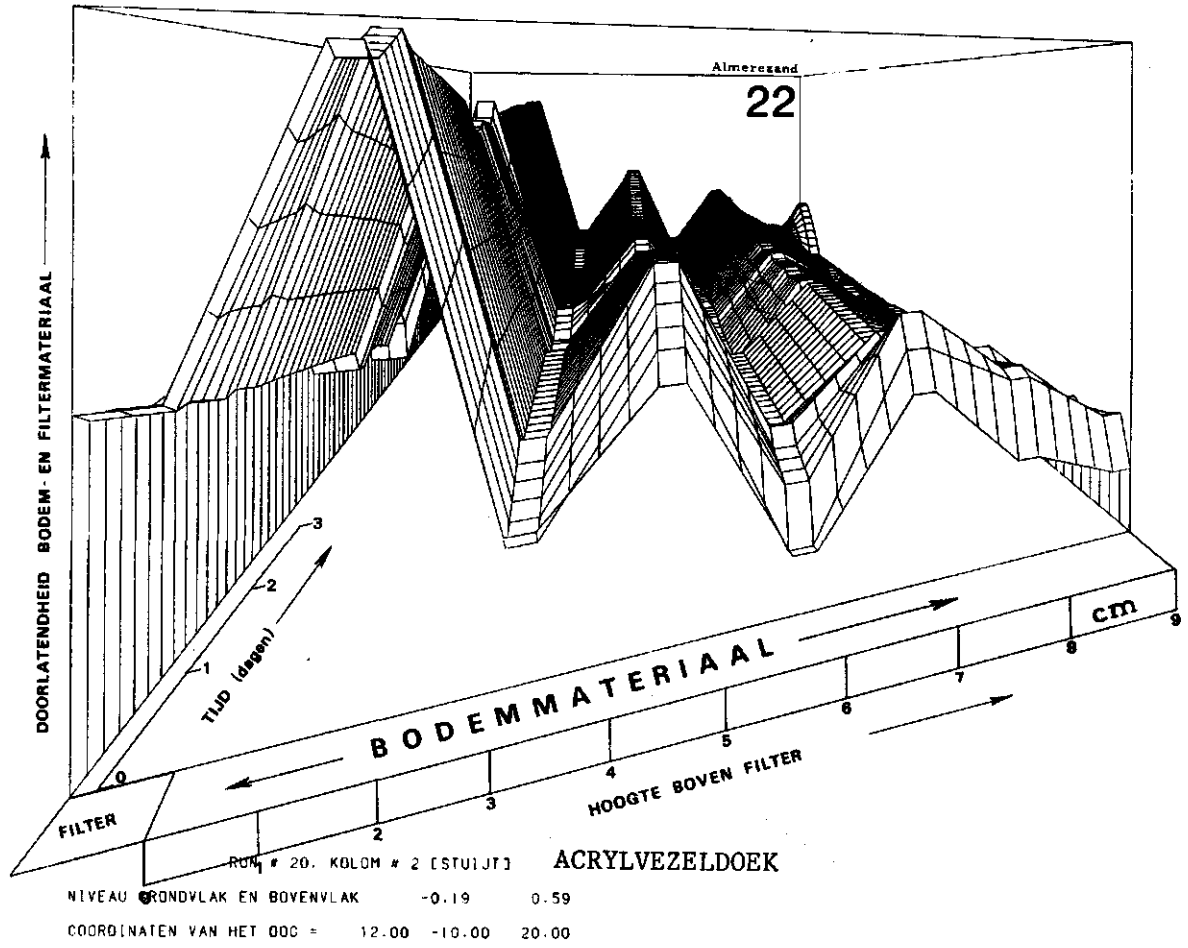


[46.505] LCPM STUYT 13-JUL-83 07:25

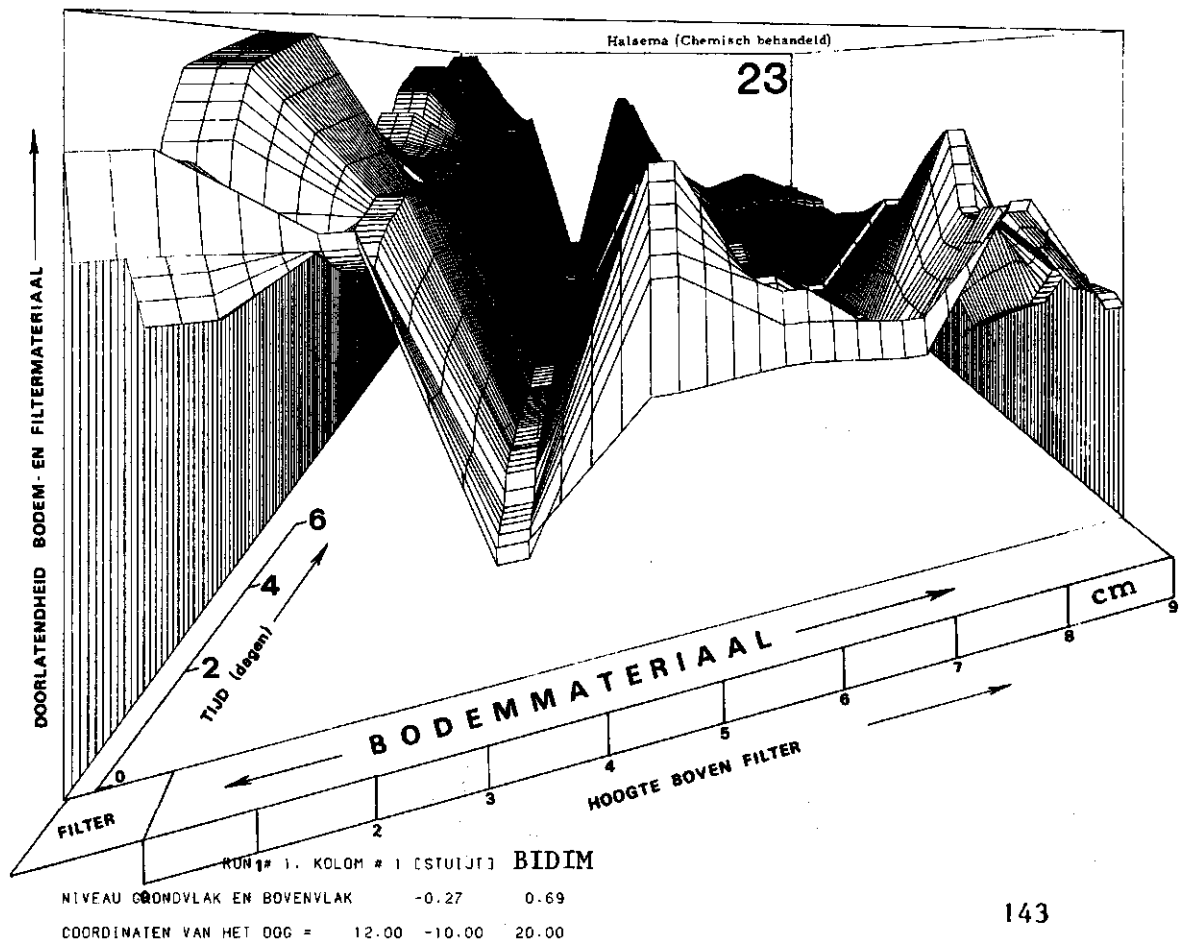
142



[46.505] LCPM STUJT 13-Jul-83 07:13



[46.505] LCPM STUJT 23-Jul-83 11:47



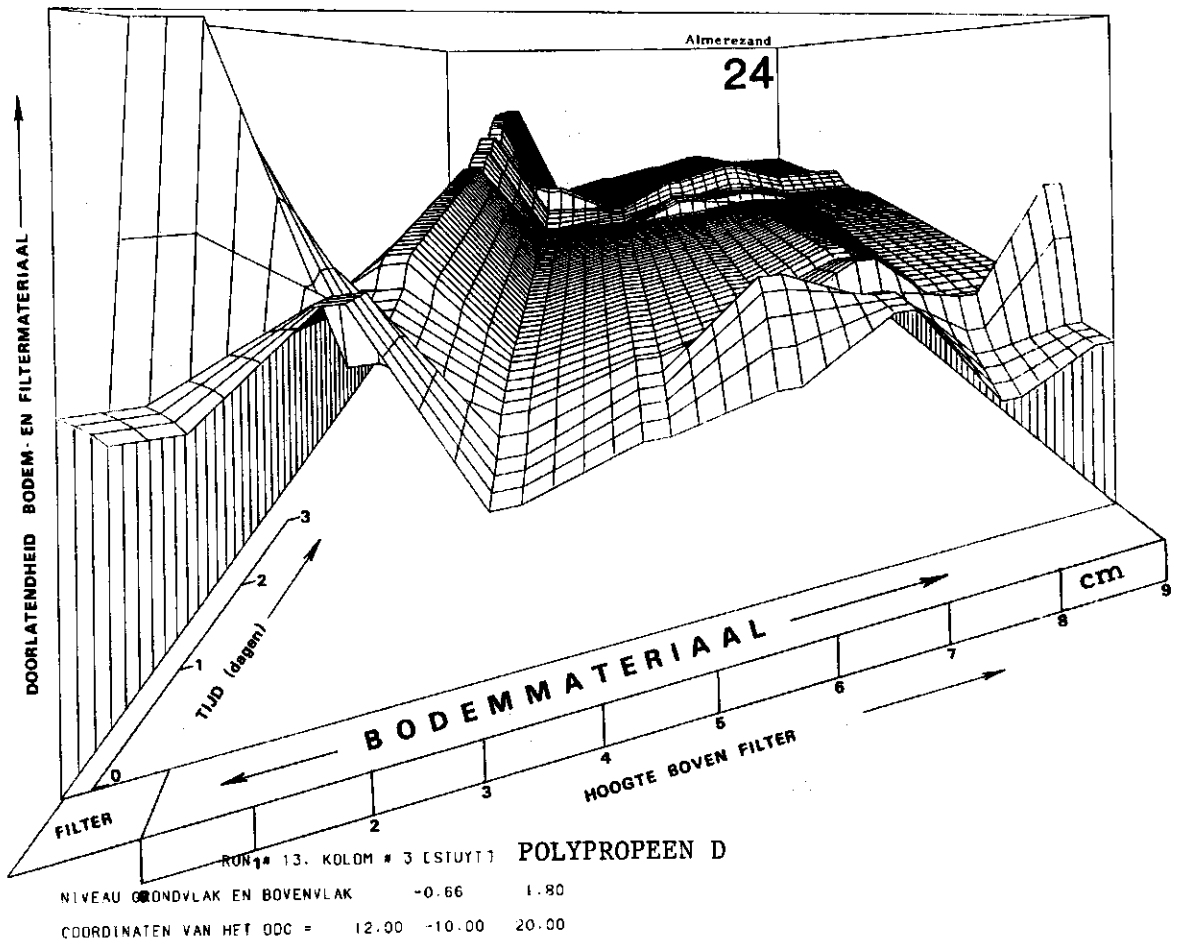
GROEP 3

OMHULLINGSMATERIALEN WAARBIJ DE DOORLATENDHEID VAN HET
BODEMMATERIAAL ZICH IN ONGUNSTIGE ZIN ONTWIKKELT

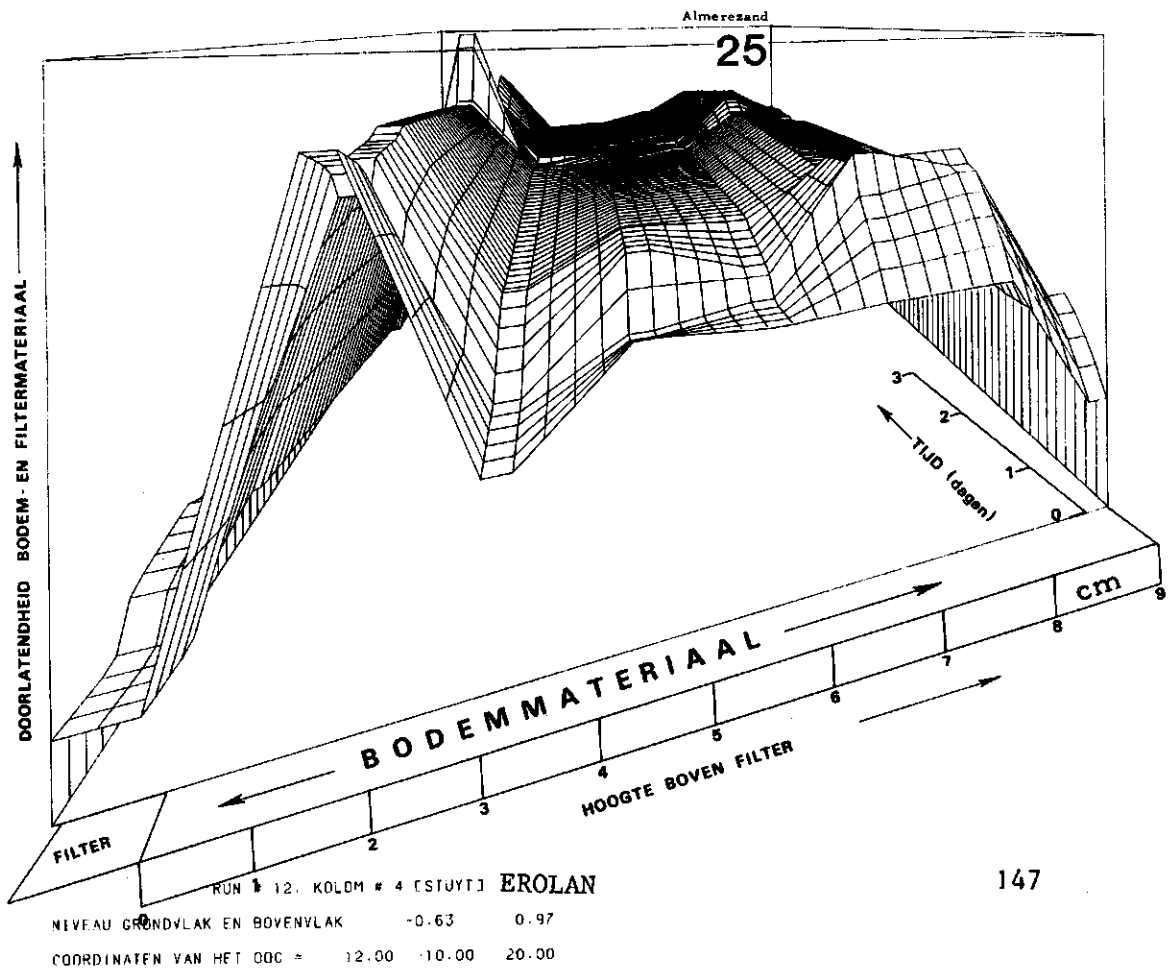
24). Na aanvankelijk enige wilde schommelingen in doorlatendheid blijkt de opbouw daarvan zich ongunstig te ontwikkelen. Afgezien van een goed ontwikkeld natuurlijk filter in de bodem neemt de doorlatendheid in de richting van het omhullingsmateriaal af. Het omhullingsmateriaal is zelf verstopt geraakt. Waarom dit hier zo verloopt kan (nog) niet worden verklaard, maar de uiteindelijke ongunstige tendens in doorlatendheid blijkt er vanaf het begin al in te zitten.

25). Ook in dit geval een afnemende doorlatendheid in de richting van het omhullingsmateriaal. Deze tendens is in eerste instantie al enigszins aanwezig maar wordt nog versterkt door de uitwassing van het fijne bodemmateriaal tijdens de eerste uren van de doorstromingsproef.

[46.505] LCPM STUUT 18-May-83 19:00



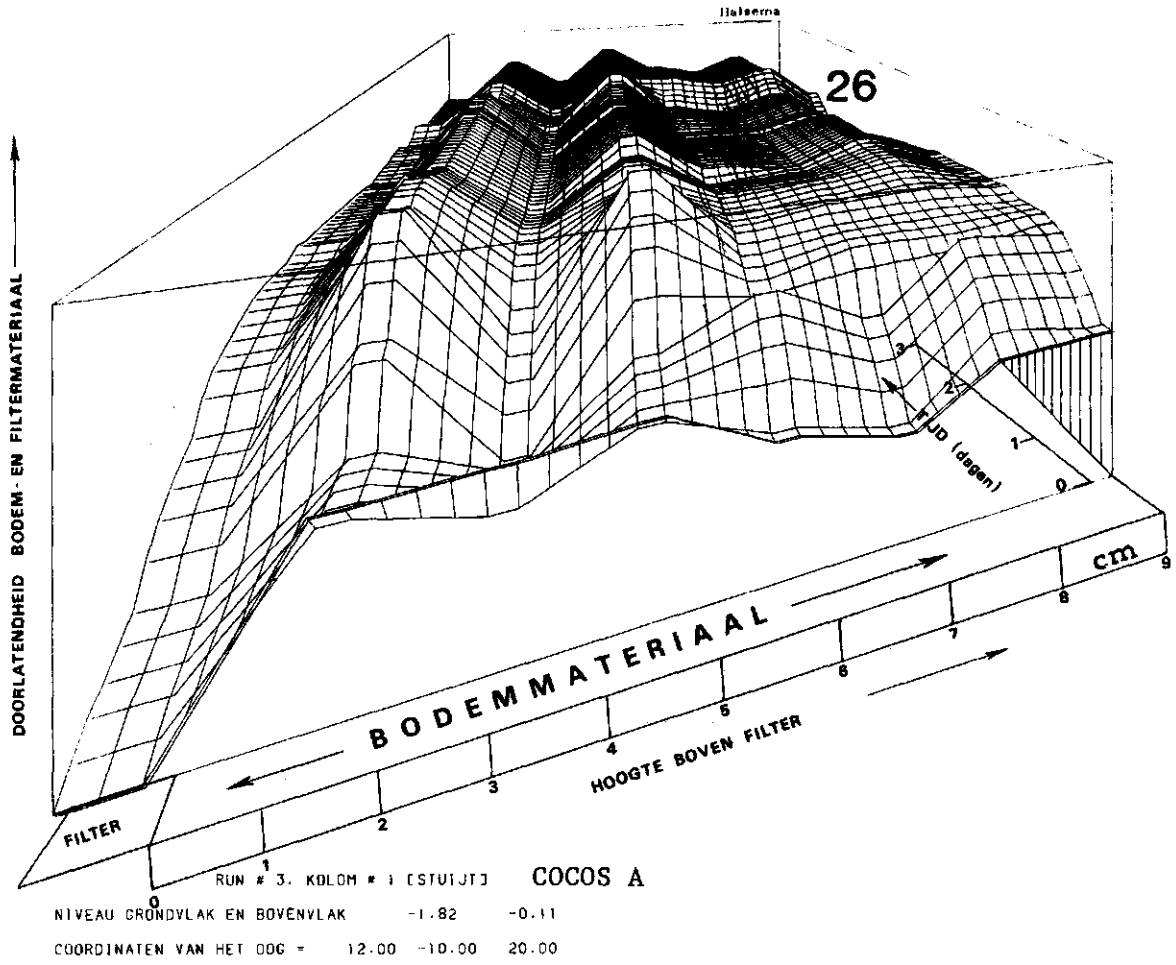
[46.505] LCPM STUUT 19-May-83 18:22



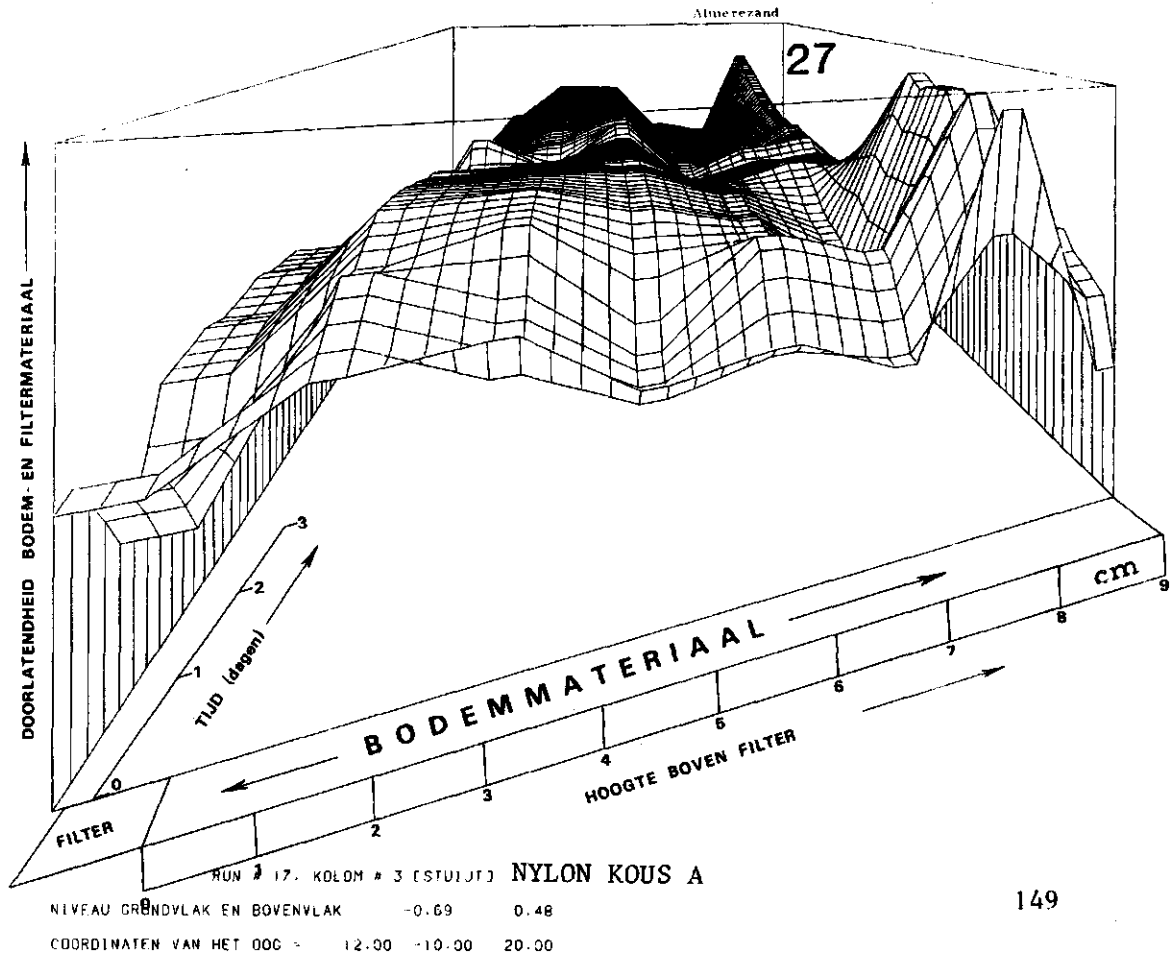
26). In dit geval spoelt eerst bodemmateriaal uit de bovenste, en daarna uit de iets lager gelegen bodemlaagjes. Uiteindelijk is de verdeling van de doorlatendheden redelijk, maar die van het omhullingsmateriaal is laag; de cocos is gedeeltelijk verstopt.

27). We zien dat de doorlatendheden gedurende de eerste week weinig variabel zijn; daarna treden er simultaan de nodige veranderingen op, die zich tot het einde van de proef voortzetten. Er vormt zich een inspoelingslaag op het omhullingsmateriaal, dat zelf ook verstopt raakt.

[46,505] LCPN - 23-JUL-83



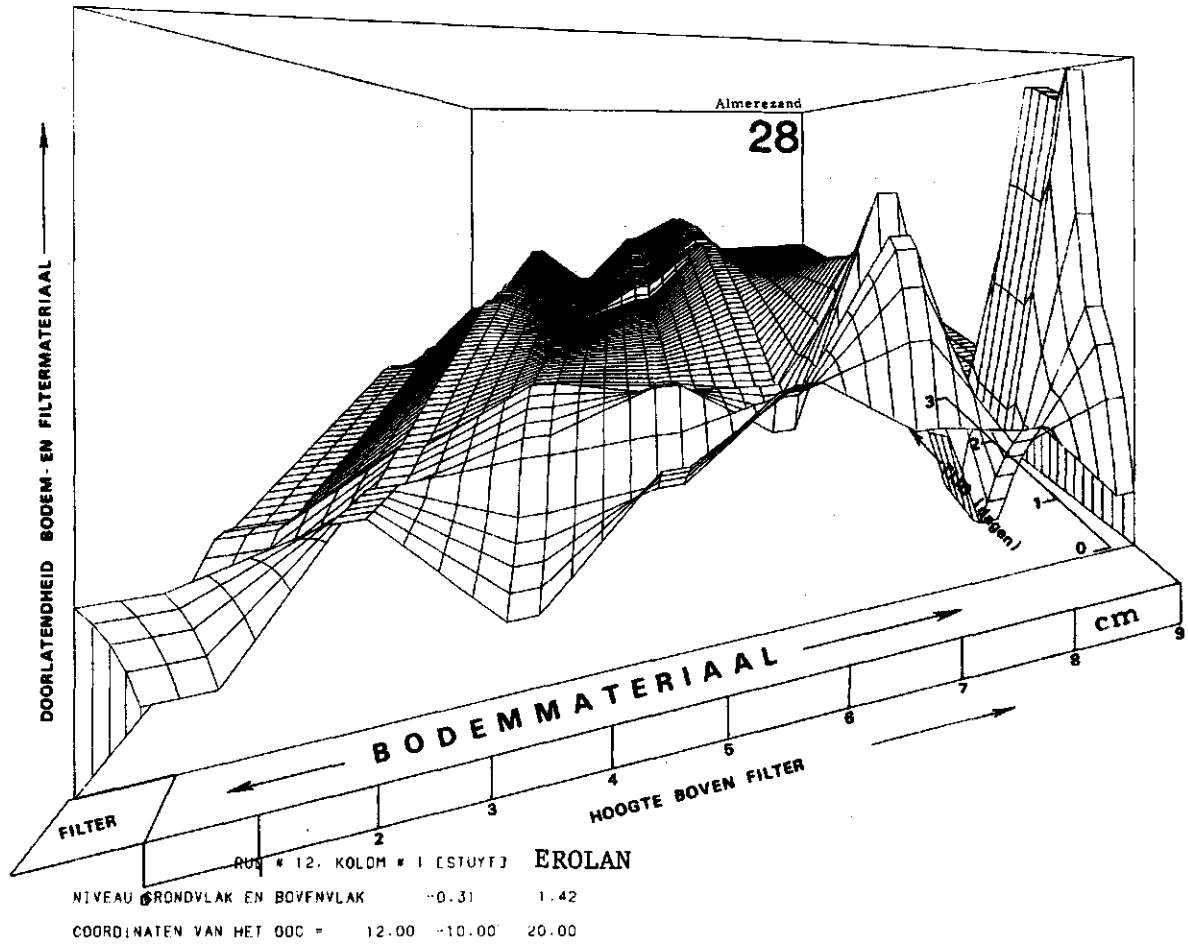
[46,505] LCPN - 28-JUN-83 07:27



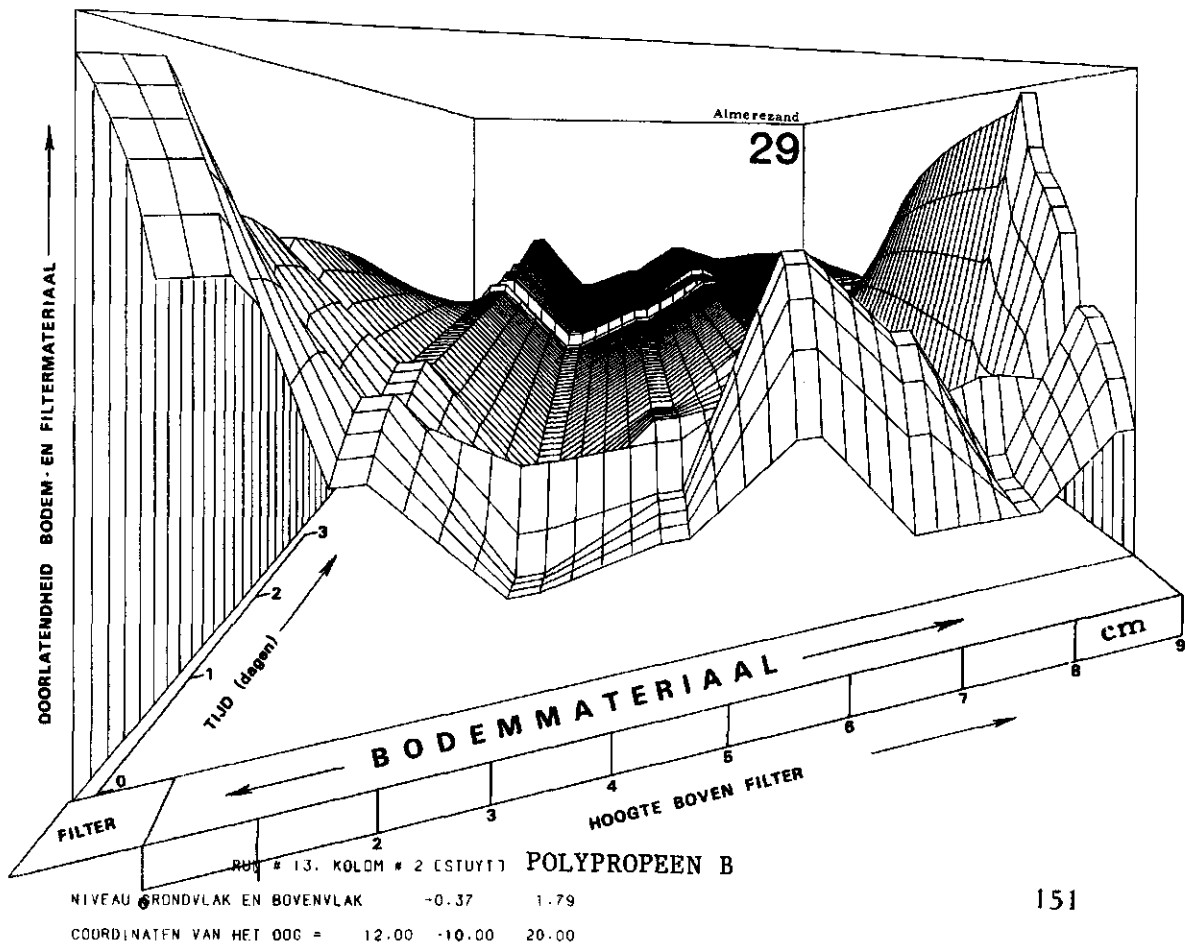
28). Opvallend is de geleidelijke verstopping van het tweede bodemlaagje, terwijl het derde en het vierde laagje juist beter doorlatend worden. Wellicht is hier sprake van materiaaltransport van de laatstgenoemde twee laagjes naar het eerstgenoemde. Ook het omhullingsmateriaal raakt steeds meer verstopt.

29). De ontwikkeling van een natuurlijk filter in de bodem gaat steeds verder, maar tegelijkertijd slibt het omhullingsmateriaal dicht.

[46.505] LCPM STUYT 19-May-83 18:16



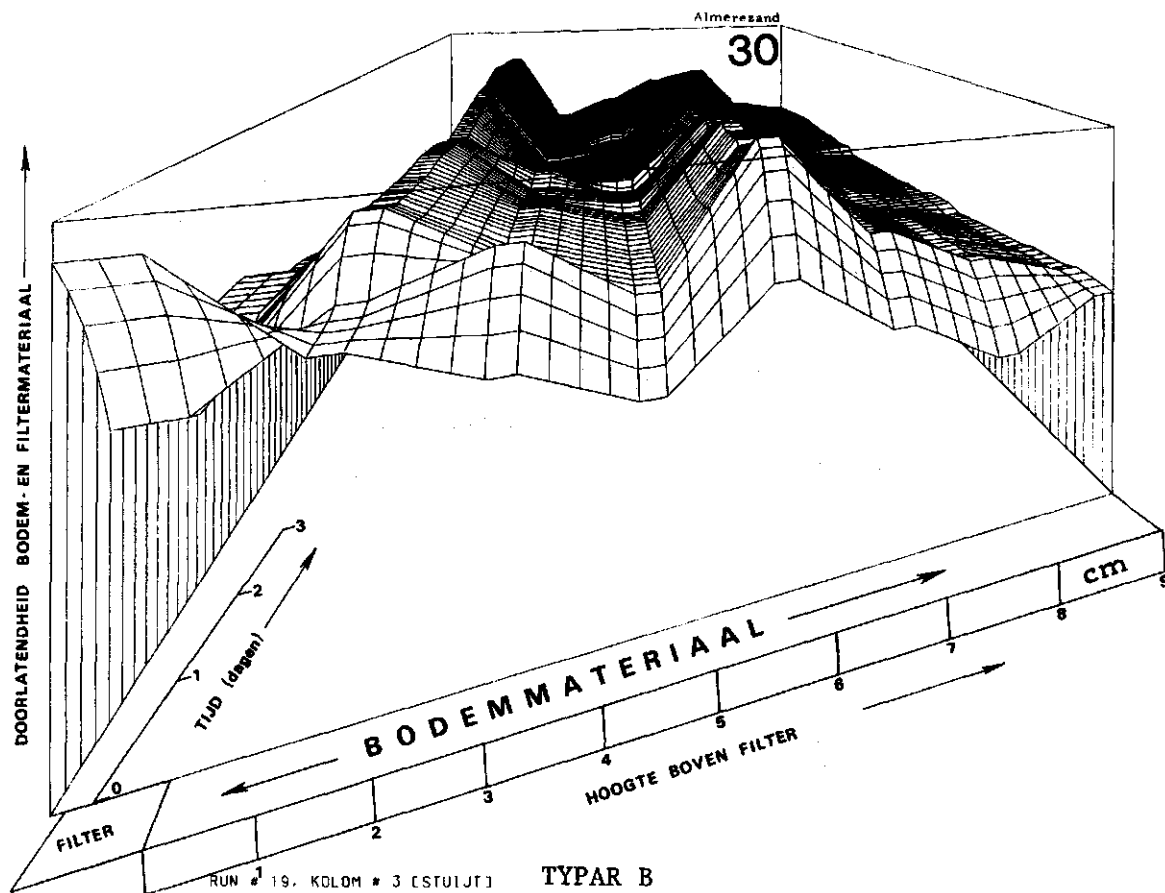
[46.505] LCPM STUYT 18-May-83 18:56



30). Dit omhullingsmateriaal ontwikkelt langzamerhand een mooi natuurlijk bodemfilter. Het slibt echter tegelijkertijd zelf dicht en ook de ontwikkeling van de doorlatendheden van hogergelegen bodemlaagjes is ongunstig.

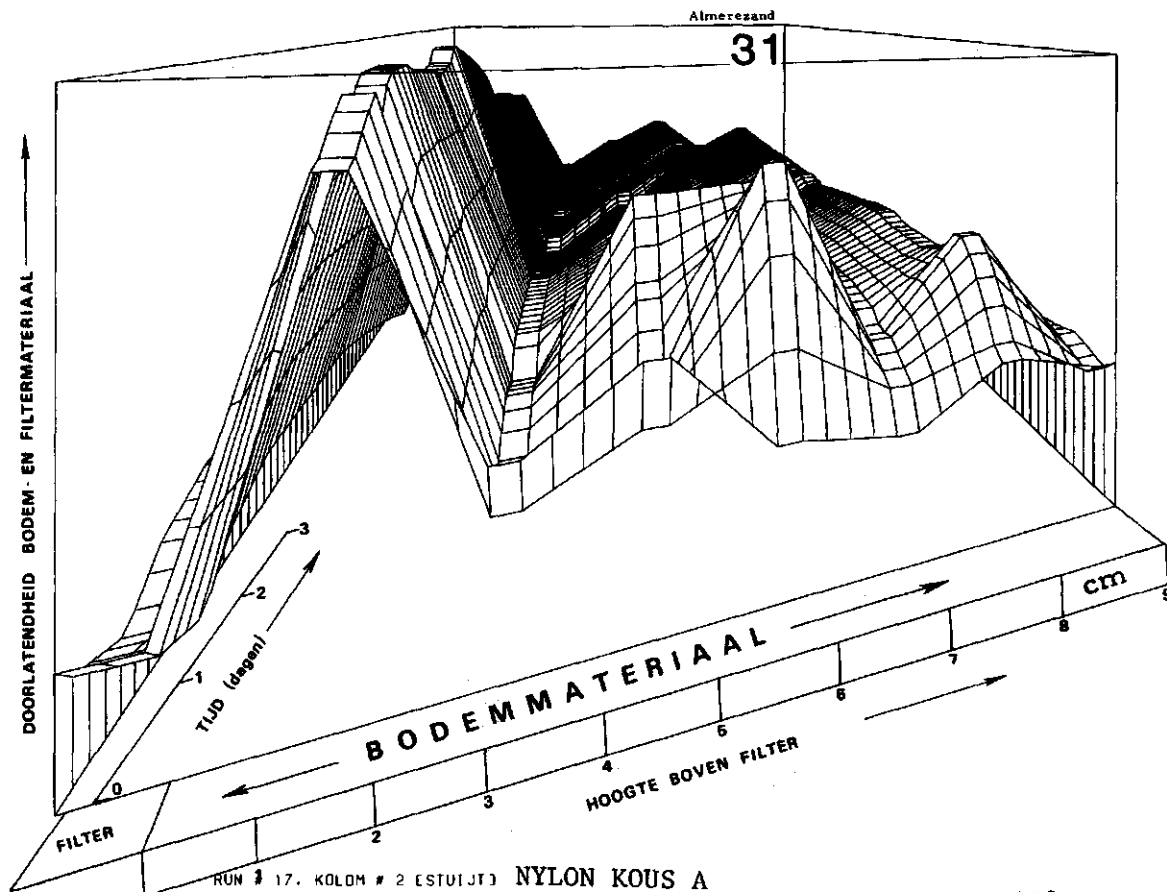
31). Vergelijking van deze figuur met fig. 27 (pag. 147) geeft aan hoe variabel de processen kunnen zijn, ondanks min of meer dezelfde randvoorwaarden. Blijkbaar is het omhullingsmateriaal in dit geval iets strakker gespannen zodat er een beter natuurlijk filter kon ontstaan. Daarom treedt ook weer stabiele gewelfvorming op en is het uiteindelijke verloop van de doorlatendheden niet gunstig.

[46.505] LCPM STUJT 30-Jun-83 18:22



RUN # 19. KOLM # 3 ESTUIJT] **TYPAR B**
 NIVEAU GRONDVLAK EN BOVENVLAK -1.00 0.28
 COORDINATEN VAN HET OOC = 12.00 -10.00 20.00

[46.505] LCPM STUJT 28-Jun-83 07:24

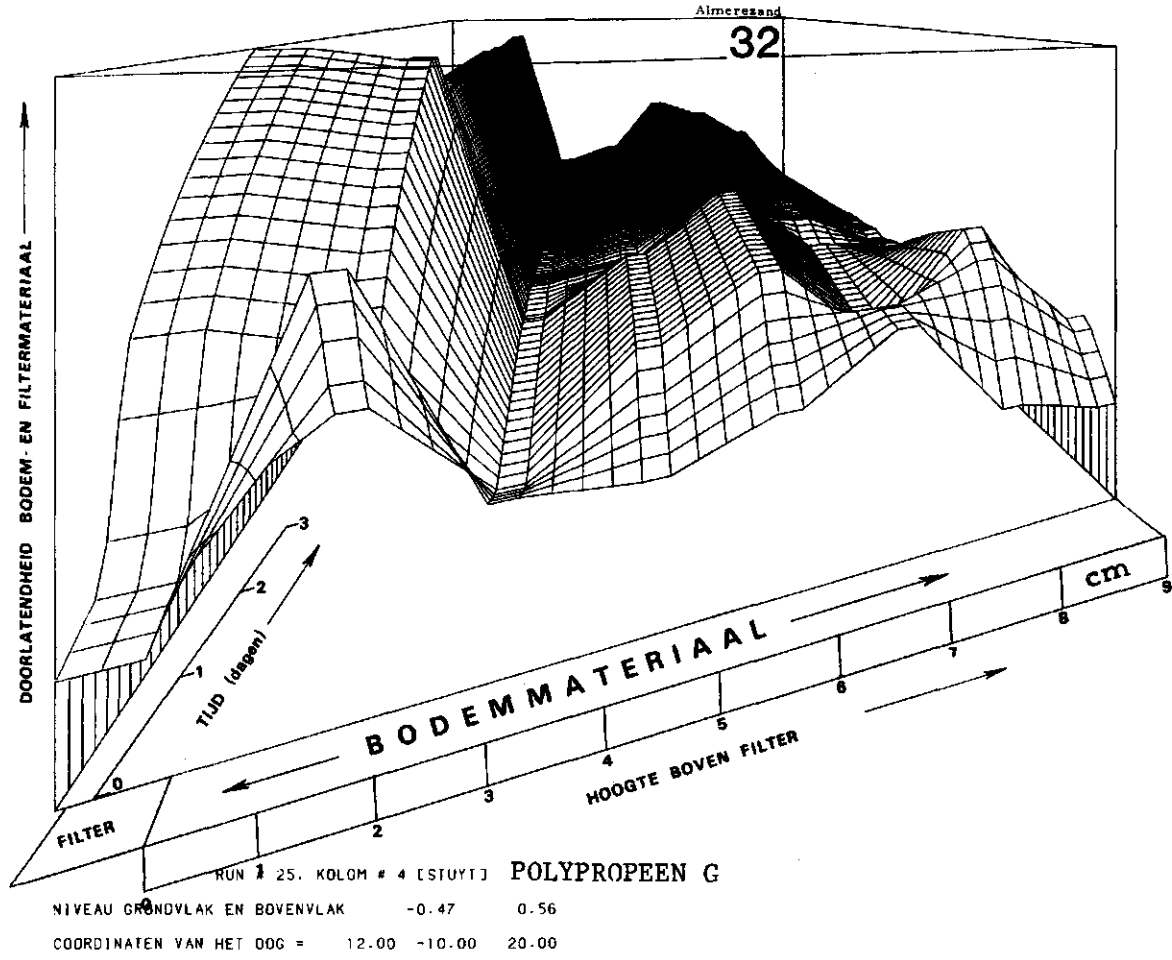


RUN # 17. KOLM # 2 ESTUIJT] **NYLON KOUS A**
 NIVEAU GRONDVLAK EN BOVENVLAK -0.84 1.00
 COORDINATEN VAN HET OOC = 12.00 -10.00 20.00

32). Zodra de eerste 'golf' sediment is gepasseerd (het eerste bodemlaagje loopt hiermee vol) herstellen omhullingsmateriaal en eerste bodemlaagje zich op fraaie wijze. Uiteindelijk wordt toch dat tweede bodemlaagje weer de 'bottleneck', terwijl zich daarboven in de bodemkolom een gunstige ontwikkeling voortzet.

De verhouding dunne/ volumineuze omhullingsmaterialen is, gegeven de geteste hoeveelheden ongeveer gelijk; wat dit betreft verdient geen van beide typen materiaal de voorkeur.

E 46.5053 LCPM STUYT 27-May-83 21:15



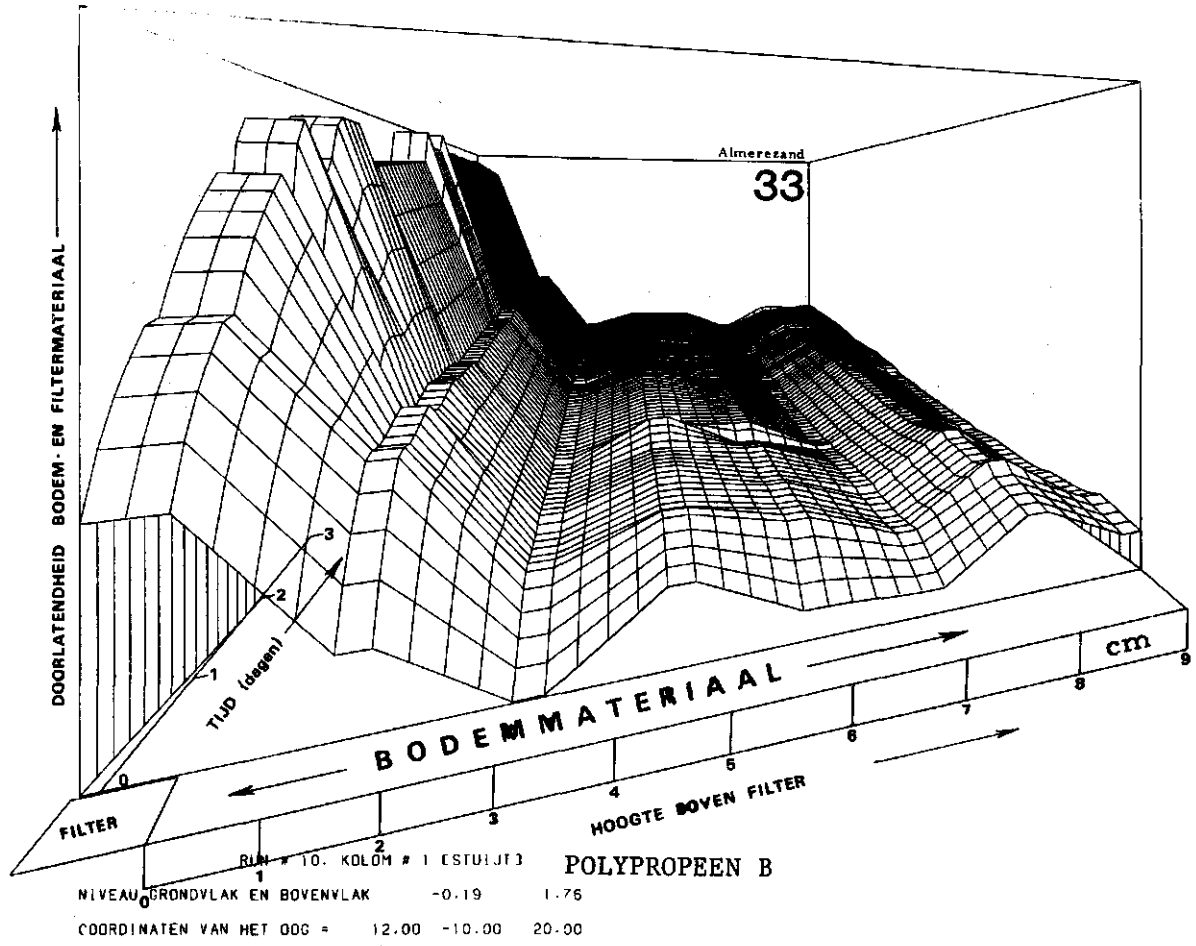
GROEP 4

OMHULLINGSMATERIALEN WAARBIJ DE DOORLATENDHEID VAN HET
BODEMMATERIAAL ZICH IN GUNSTIGE ZIN ONTWIKKELT

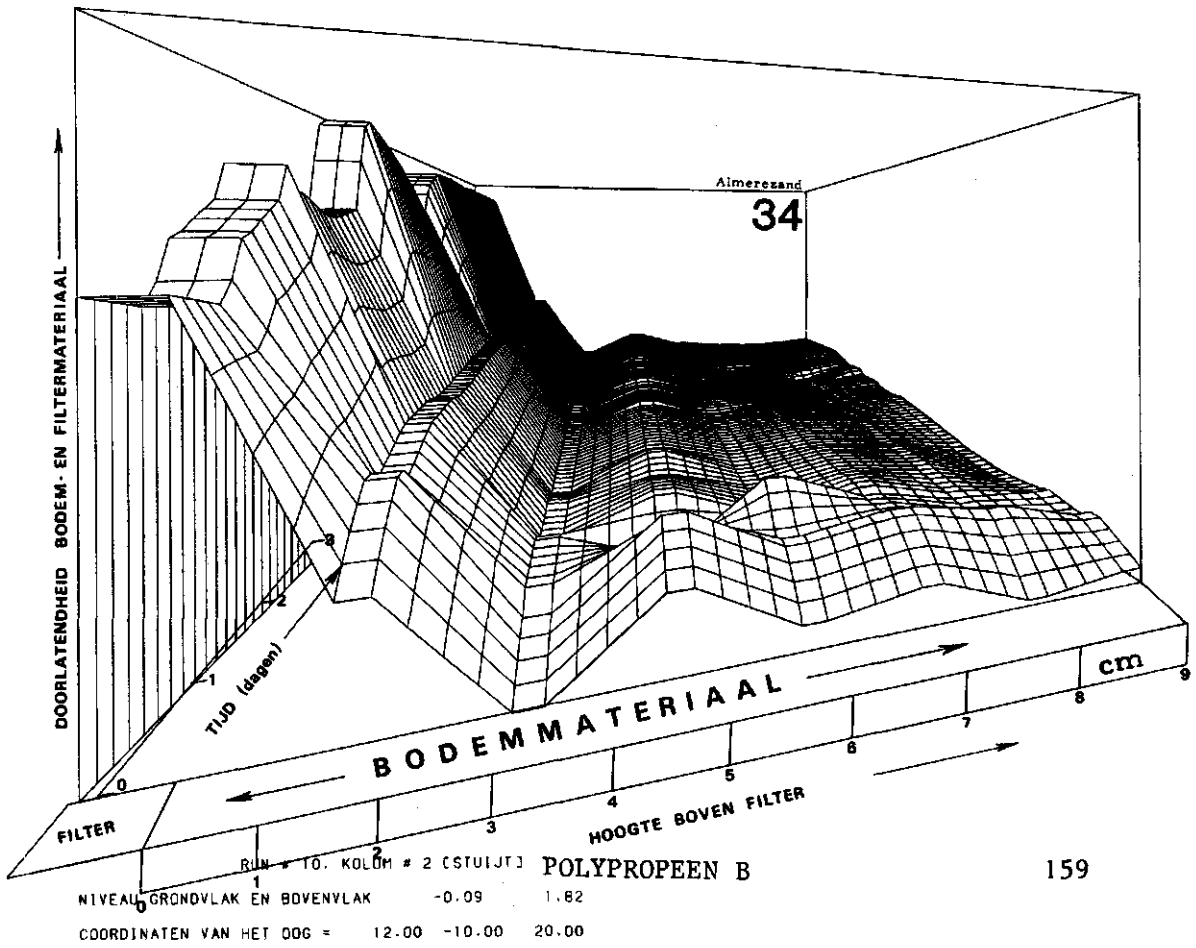
33). Bij deze groep omhullingsmaterialen zien we een zich gunstig ontwikkelend verloop van de doorlatendheden met de tijd; in het algemeen neemt de doorlatendheid van het bodemmateriaal van boven naar beneden in de doorstroomcilinder, dus richting omhullingsmateriaal, toe. Bij dit omhullingsmateriaal, dat zeer goed uit de bus komt, zien we een fraai beeld van een ontwikkeling van een natuurlijk bodemfilter, terwijl het omhullingsmateriaal tegelijkertijd een maximale doorlatendheid ontwikkelt. Van een dichtgeslibt tweede bodemlaagje is slechts in zeer geringe mate sprake. In het regelmatige oppervlak is duidelijk een meetfout zichtbaar.

34). Ook hier komt eenzelfde type meetfout voor. Dit bewuste omhullingsmateriaal is speciaal voor dit onderzoek geproduceerd en is zeer homogeen. Dit komt tot uiting in de sterke overeenkomst tussen deze, en de vorige figuur. Het moet dus mogelijk zijn een omhullingsmateriaal zó te maken dat je invloed kunt uitoefenen op de bodemfysische processen in de buurt van een drainbuis.

[46.505] LCPM STUVT 23-Jul-83 11:24



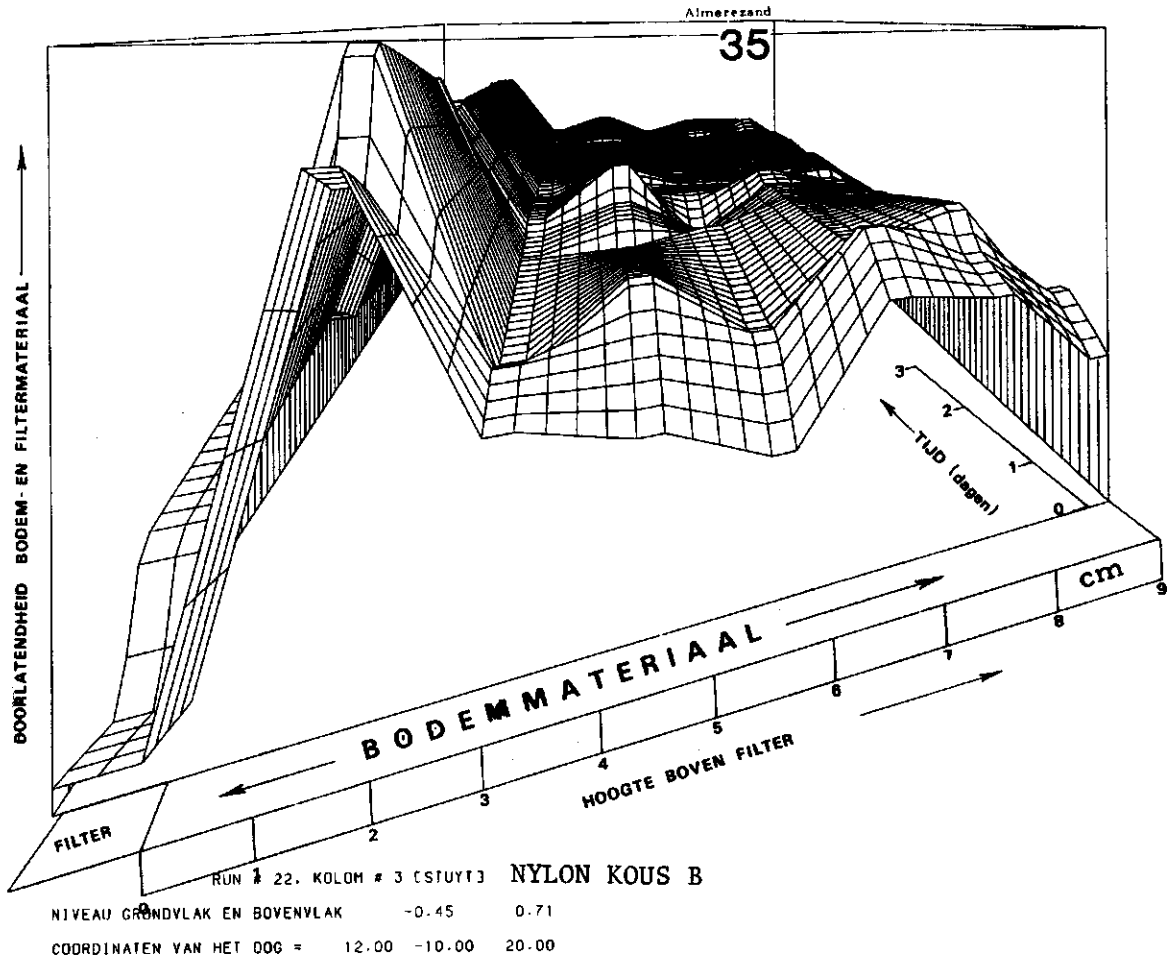
[46.505] LCPM STUVT 23-Jul-83 11:28



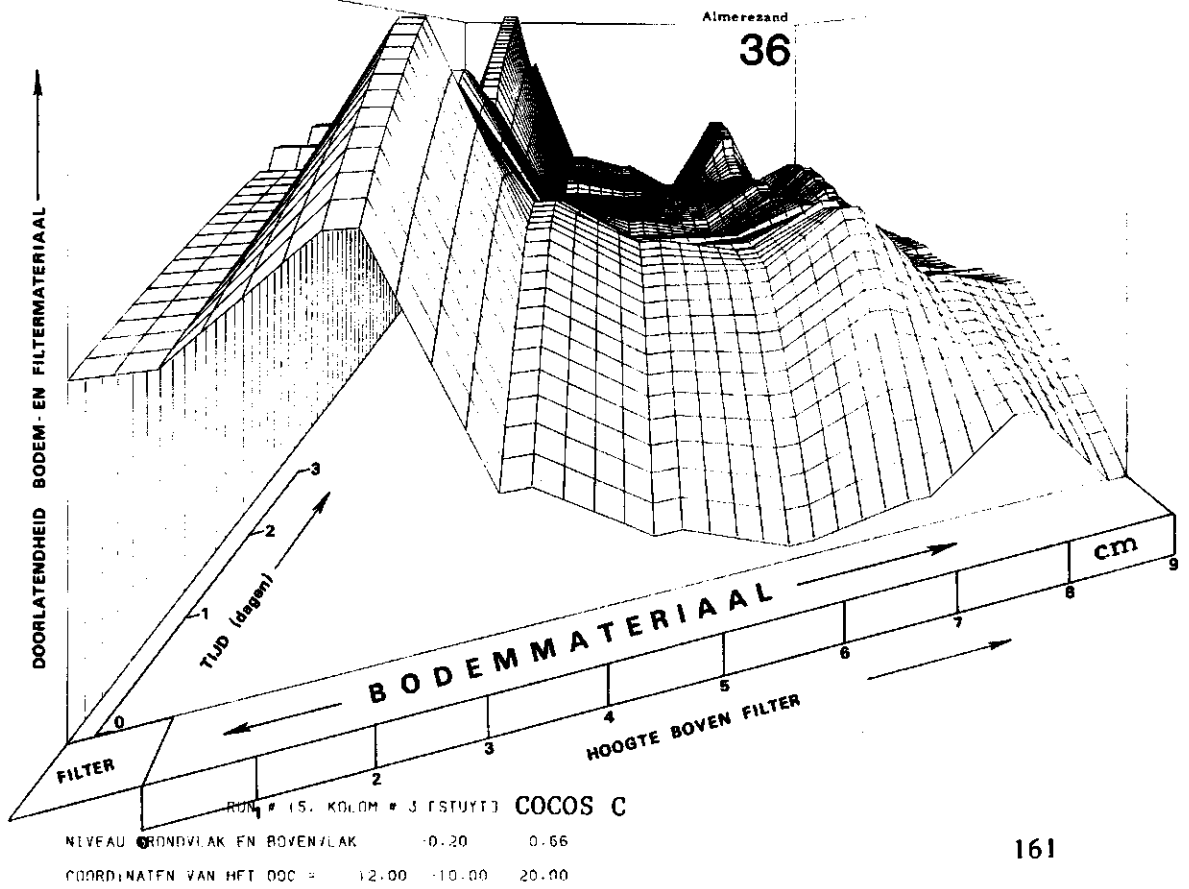
35). In dit geval is er sprake van het in eerste instantie gedeeltelijk dichtslibben van een natuurlijk filter, maar dit herstelt zich zodra de uitwassing van hoger gelegen, fijne deeltjes voorbij is. Dit geeft nogmaals aan hoe afhankelijk de processen in de verschillende bodemlaagjes kunnen zijn. Tegen het einde lijkt zich toch weer een laagsgewijze diversificatie van de doorlatendheden te gaan voltrekken. Eigenlijk is deze doorstromingsproef dus te vroeg beëindigd.

36). Deze proef toont ons het fraaiste voorbeeld van een over de gehele linie toenemende doorlatendheid ten gevolge van de uitwassing van fijne bodemdeeltjes. Nadat de zaak is gestabiliseerd blijkt het natuurlijke filter zich weer sterker te gaan ontwikkelen. We eindigen met een gunstig beeld, hoewel er vanuit het vijfde bodemlaagje uitspoeling naar het vierde bodemlaagje voordoet.

[46.505] LCPM STUYT 25-May-83 18:39



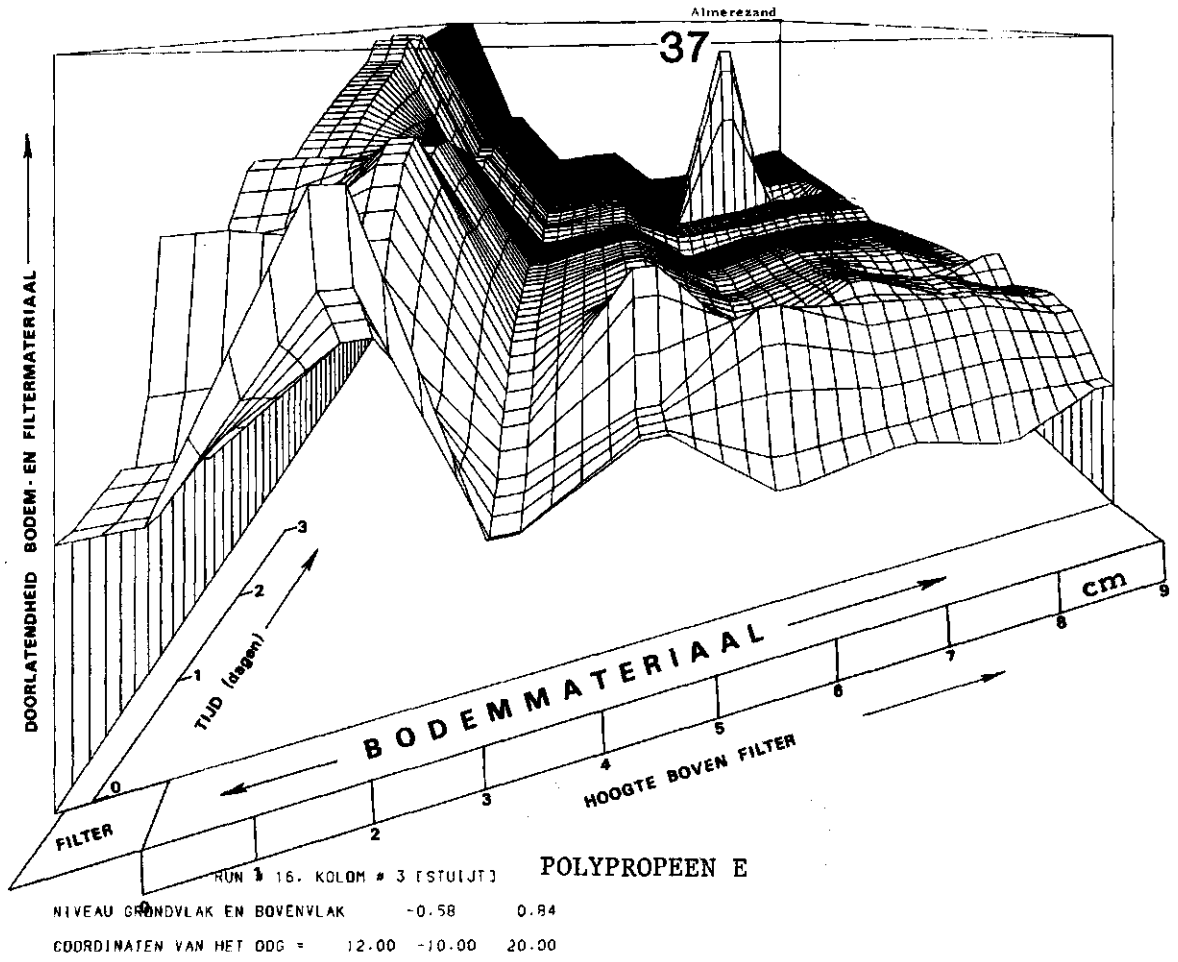
[46.505] LCPM STUYT 6-Jun-83 18:06



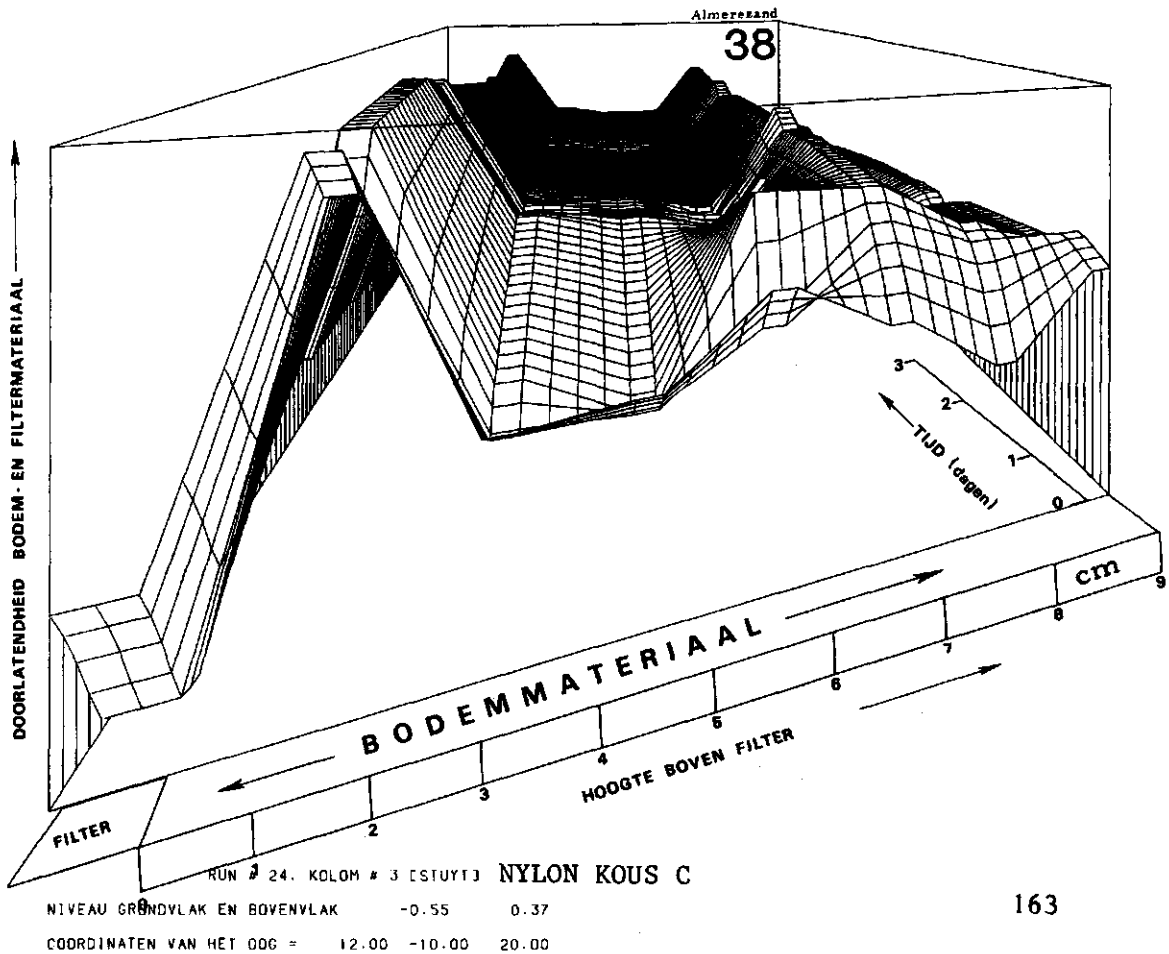
37). Afgezien van de meetfout in het tweede deel van deze doorstromingsproef - de 'bergtop' - en van het weer in eerste instantie dichtslibben van het natuurlijke bodemfilter eindigt deze proef met een nagenoeg perfecte opbouw in doorlatendheden van bodem- en omhullingsmateriaal. Ook hier valt weer op dat een slecht doorlatend tweede bodemlaagje ontbreekt.

38). Evenals dit bij het dunne omhullingsmateriaal van fig. 35 (pag. 159) het geval was, slaat ook hier het natuurlijke bodemfilter tijdelijk gedeeltelijk dicht. In tegenstelling tot de nylon kous (B) slaat het omhullingsmateriaal hier zelf ook dicht. Het uiteindelijke beeld is, afgezien van een matig-doorlatend omhullingsmateriaal, gunstig.

[46.505] LCPM STUYT 20-Jun-83 18:02



[46.505] LCPM STUYT 31-May-83 18:04

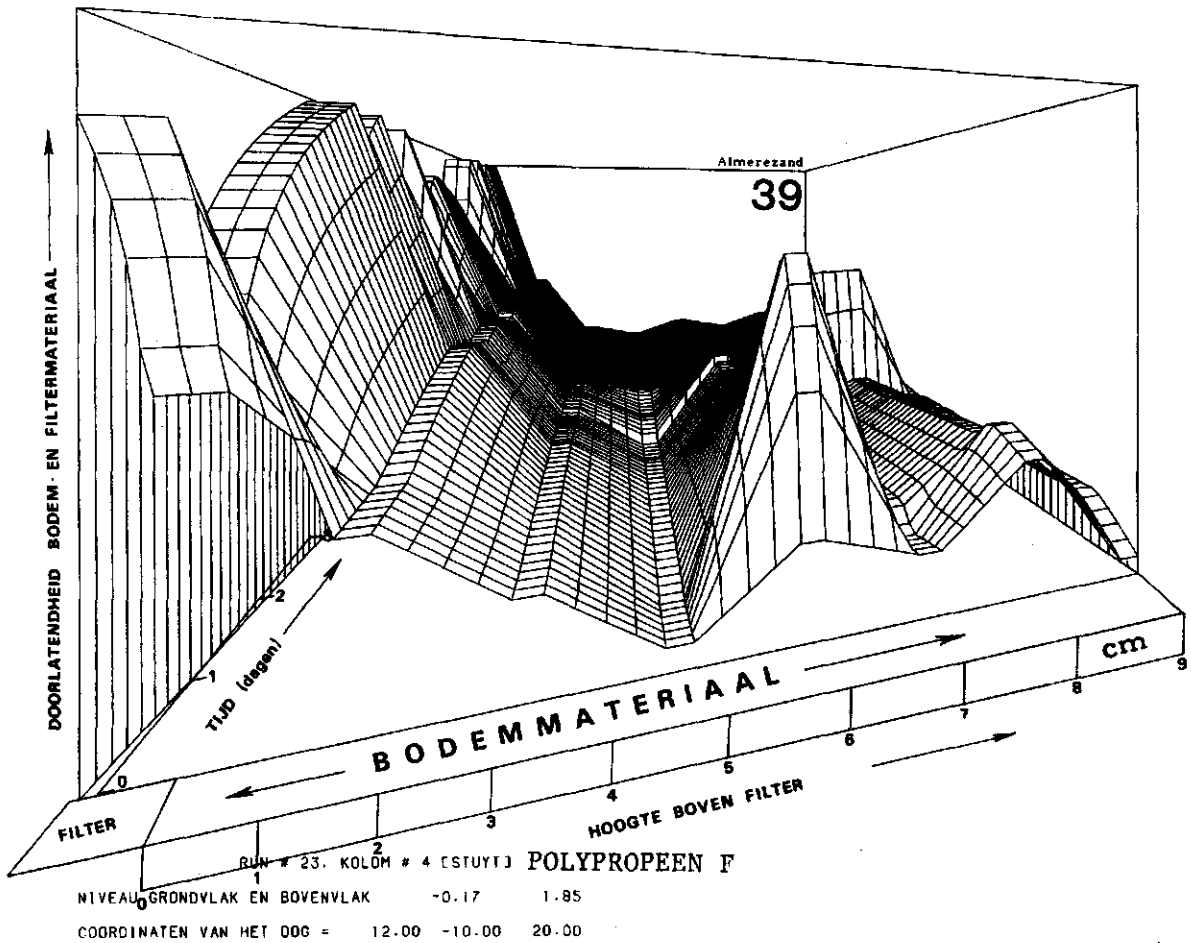


39). Een fraai beeld van 'beïnvloeding op afstand' toont ons deze figuur. Getuige de sterke doorlatendheidstoename van het vierde bodemlaagje, moet hier zeer fijn materiaal vrijkomen en in suspensie gaan. Dit materiaal kan klaarblijkelijk ongehinderd de rest van de bodem passeren, en loopt in het omhullingsmateriaal weer vast. De structuur van het bodemmateriaal zal in werkelijkheid bij verstoppingsverschijnselen een belangrijke rol moeten spelen: bij een bodem met een goed-ontwikkelde structuur kunnen grote hoeveelheden bodemmateriaal het omhullingsmateriaal immers via spleten, wormgangen e.d. bereiken. Waarschijnlijk was er in dit geval ook sprake van een toevallige grote porie, waardoor het gesuspendeerde materiaal gemakkelijk het omhullingsmateriaal kon bereiken.

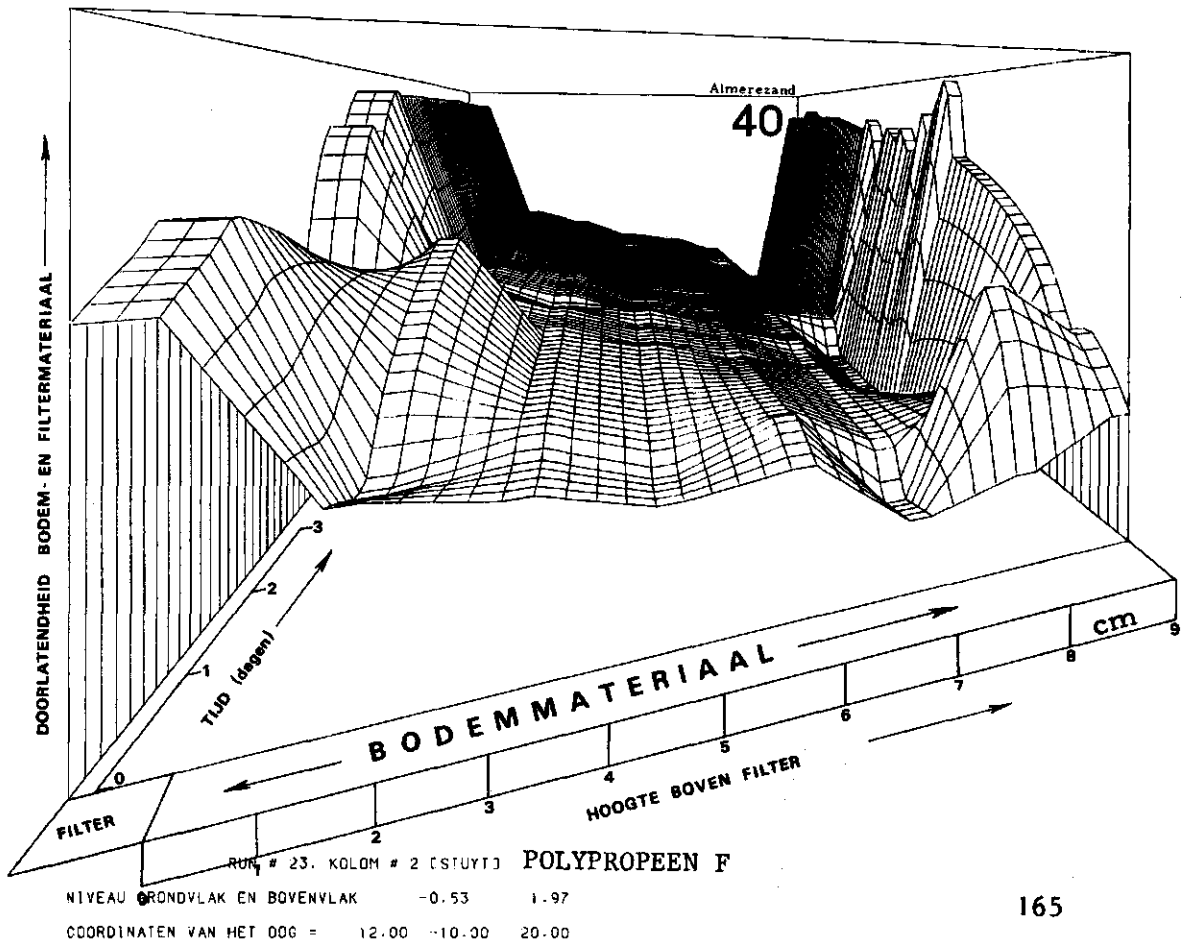
40). Bij dit laatste voorbeeld verstopt het omhullingsmateriaal eveneens (vergelijk met figuur 39), maar nu ten gevolge van uitspoeling vanuit het eerste bodemlaagje. Uiteindelijk stelt zich een zeer stabiele toestand in met een perfect verloop van de doorlatendheden van bodem- en omhullingsmateriaal. - Tijdens deze doorstromingsproef was er iets te weinig bodemmateriaal in de doorstroomcilinder gedaan zodat het 'zevende bodemlaagje' in werkelijk grotendeels met grind was gevuld: vandaar de hoge doorlatendheid aan de rechterkant van deze figuur.

In deze groep hebben de volumineuze materialen de overhand.

[46.505] LCPM STUYT 26-May-83 18:28



[46.505] LCPM STUYT 26-May-83 18:14

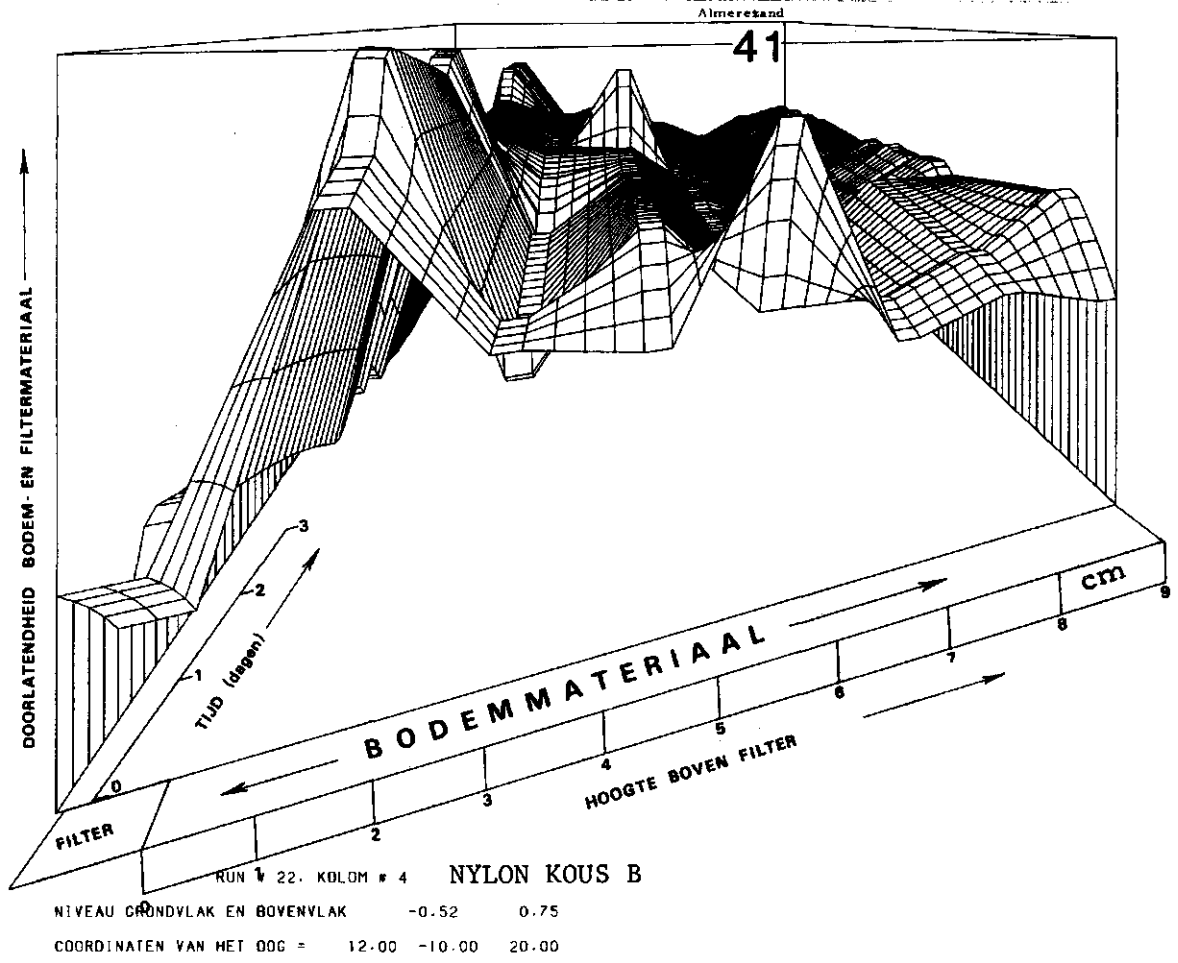


GROEP 5

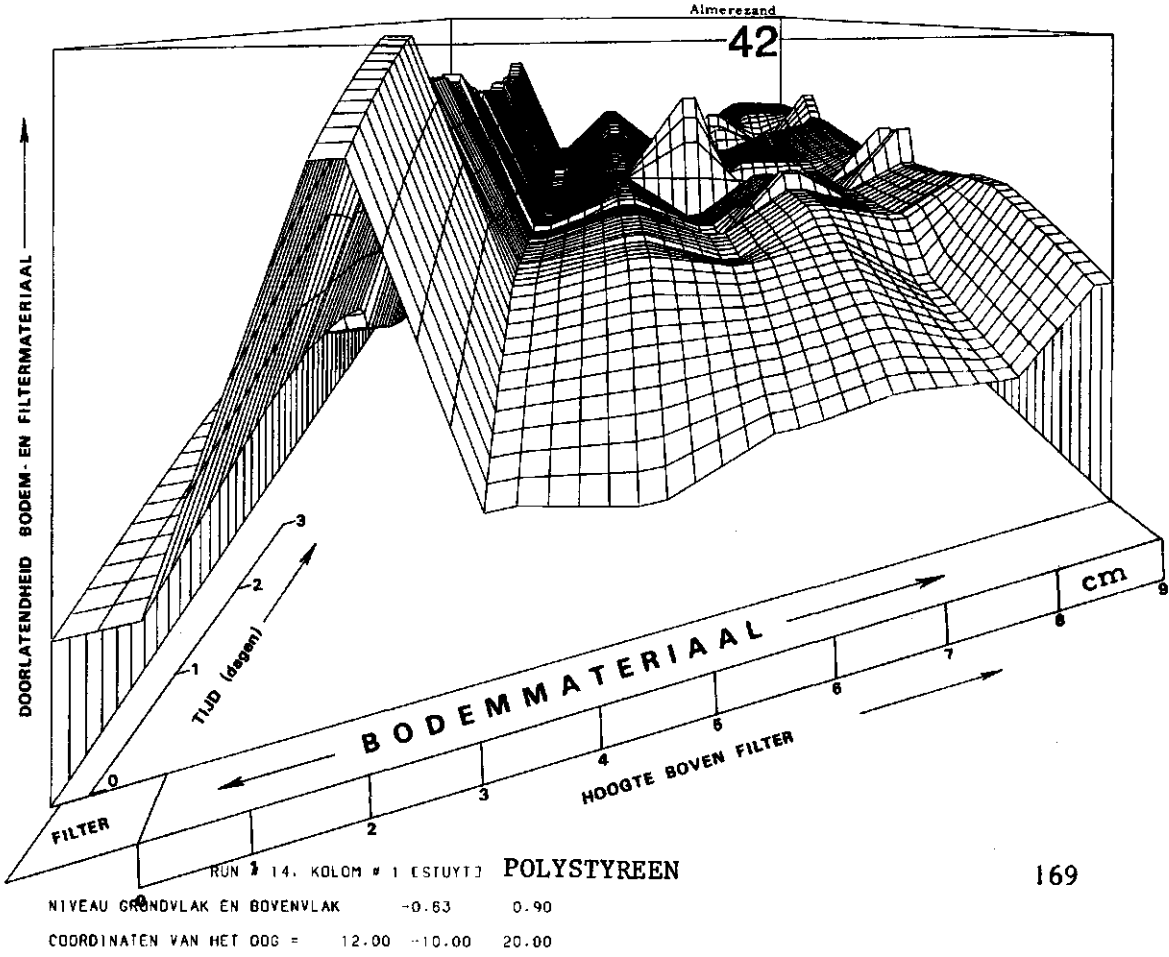
OMHULLINGSMATERIALEN WAARBIJ DE VERANDERINGEN IN DOOR-
LATENDHEID EEN ONREGELMATIG VERLOOP HEBBEN

41) t/m 46). Er resten nu nog zes voorbeelden met ontwikkelingen in doorlatendheid die combinaties zijn van de eerder besproken gevallen. Deze veranderingen (naar tijd en plaats) hebben een onregelmatig verloop; algemene conclusies zijn er niet uit te trekken.

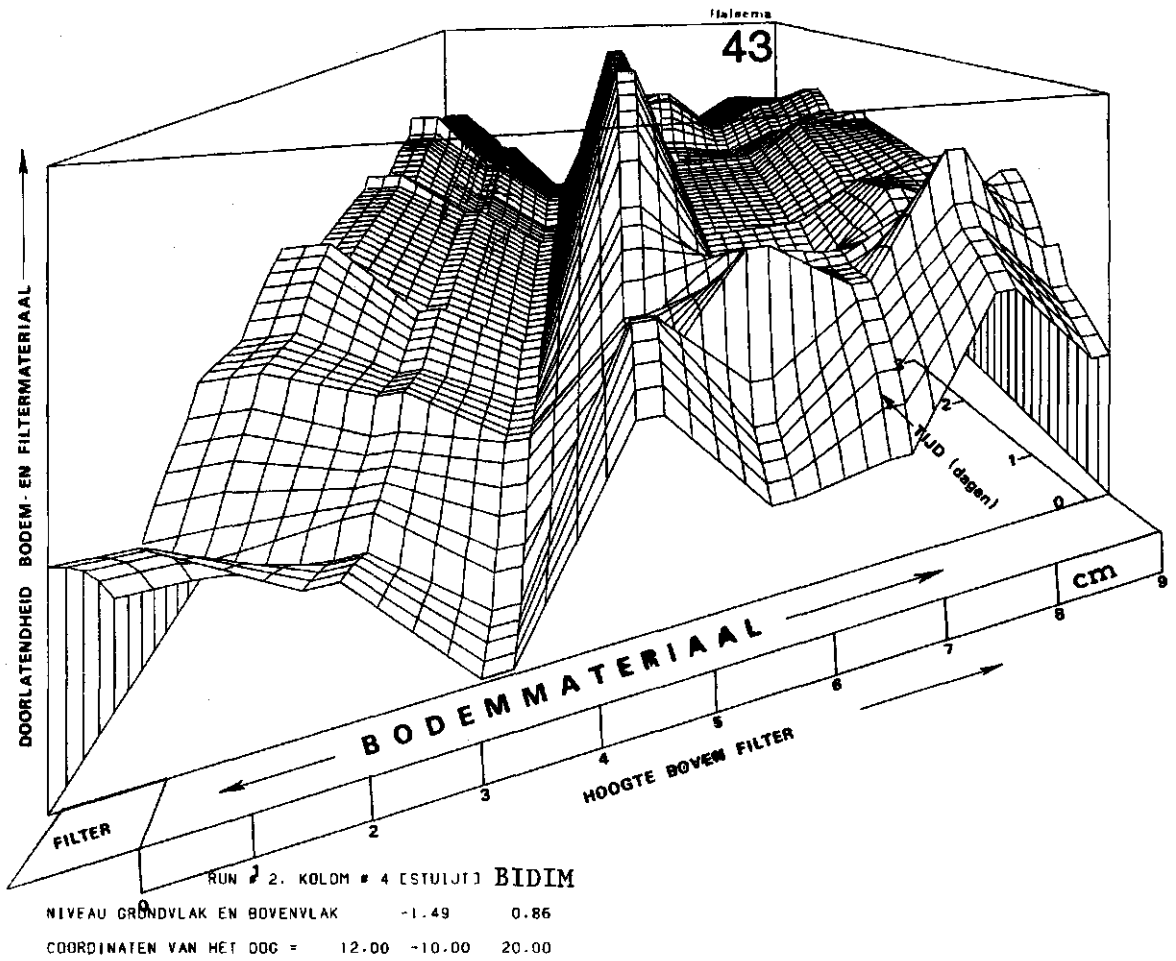
[46.505] LCPM STUYT 25-May-83 18:47



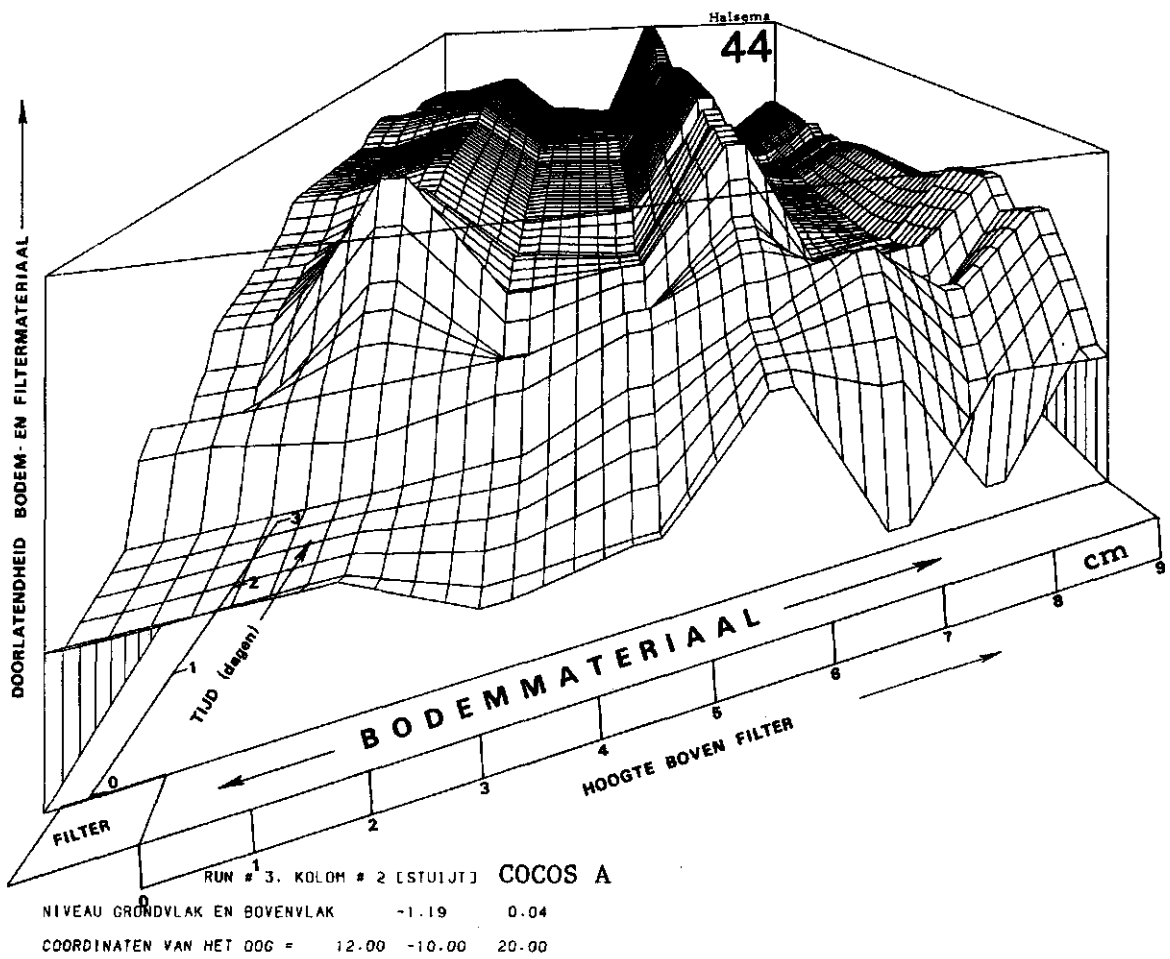
[46.505] LCPM STUYT 13-Jun-83



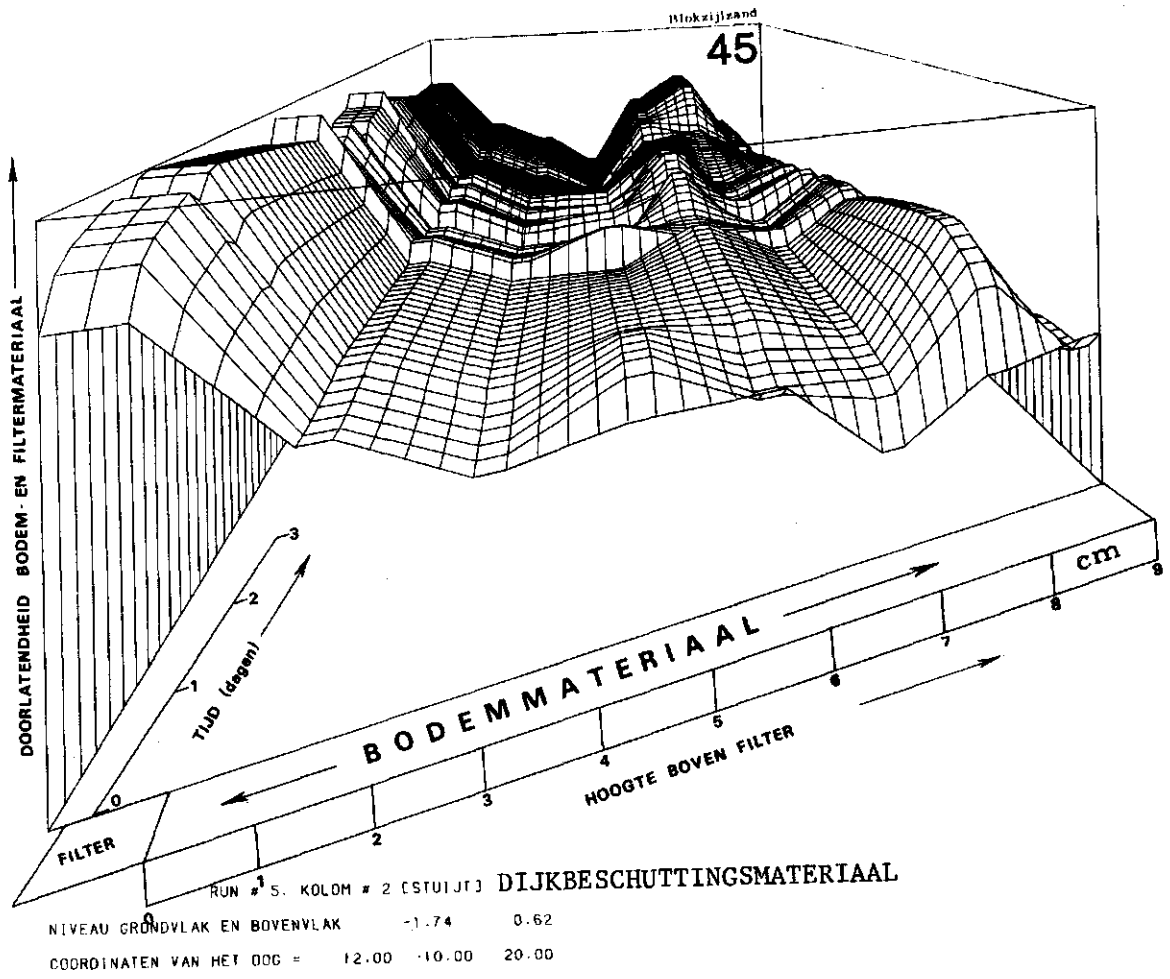
[46.505] LCPM STUJT 23-Jul-83 10:26



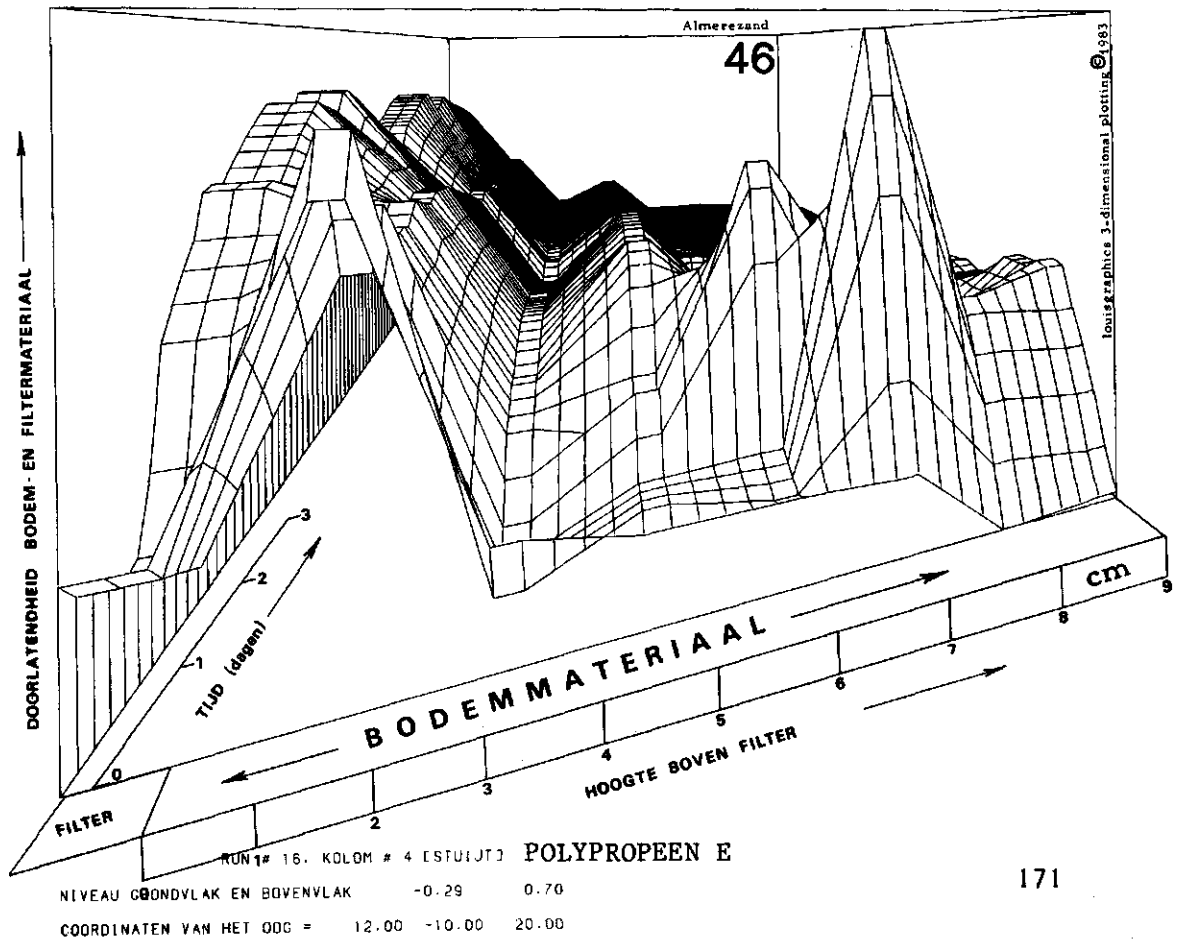
[46.505] LCPM STUJT 23-Jul-83 10:36



[46.505] LCPM STUYT 23-Jul-83 10:46



[46.505] LCPM STUYT 20-Jun-83 18:05



6. BESLUIT

In de afgelopen drie jaar is op het ICW een uitgebreid onderzoek naar de eigenschappen van drainageomhullingsmaterialen van de grond gekomen. Drie jaar onderzoek blijkt onvoldoende om het probleem van mechanische verstopping van buizen en omhullingsmaterialen te kunnen oplossen. Een aantal voorzichtige conclusies mag echter wèl worden getrokken.

Bij het beschouwen van het verstoppingsprobleem moeten we in het vervolg niet meer alleen naar het gedrag van het omhullingsmateriaal kijken maar ook naar dat van de bodem die daar tegen aan ligt: bodem- en omhullingsmateriaal zijn een onverbrekelijke twee-eenheid.

Daarnaast mag uit de gegevens voorzichtig worden geconcludeerd dat dunne omhullingsmaterialen wellicht niet zo slecht zijn als in ons land wel wordt aangenomen, althans wat de mechanische verstoppingsverschijnselen betreft. Bestaat er gevaar voor chemische verstopping dan blijven volumineuze materialen in ieder geval de voorkeur verdienen.

Gegeven de duidelijke verschillen in werking van sommige omhullingsmaterialen van kunststof, met name de verschillende polypropeensoorten, is de hoop op het uiteindelijk kunnen opstellen van ontwerpnormen voor vezelvormige omhullingsmaterialen toegenomen.

Bij de verschillende soorten cocos zien we verschillen in werking. Naast de kwaliteit van de gebruikte cocosvezels is duidelijk dat de wijze waarop deze om de buis worden gewikkeld (vernadelen bijvoorbeeld) een grote invloed heeft.

De titel van dit rapport geeft aan dat het een *interim*-rapportage betreft: het onderzoek zal nog een aantal jaren moeten worden voortgezet. Om deze reden is het thans nog niet verantwoord een uitspraak te doen omtrent de eventuele geschiktheid van de onderzochte omhullingsmaterialen; de lezer wordt uitgenodigd om zelf aan de hand van de verstrekte gegevens conclusies te trekken. Naar verwachting wordt onze kennis van de problematiek in de nabije toekomst dermate vergroot dat meer verantwoorde keuzes betreffende materiaalsoorten mogelijk zijn.

LITERATUURPGAVE

- DENNIS, C.W. and P.A. DAVIES. 1983. Filter Openings Measured by a Suction Method (in press)
- DIERICKX, W. 1982. Structural stability of soil and the need for drainage envelopes. Proc. ASAE Fourth Nat. Drain. Symp., ASAE, St. Joseph, MI USA: 79-86
- FAYOUX, D. et E. EVON. 1982. Influence de la fibrométrie sur les caractéristiques de filtration des géotextiles aiguilletés. Proc. Sec. Int. Conf. Géotextiles, Las Vegas, USA. Vol. 1: 49-54
- FORD, H.W. 1983. Biological Clogging of Synthetic Drain Envelopes. Proc. Sec. Int. Drain. Workshop, CPTA, Carmel, IN USA: 215-220
- GIROUD, J.P. 1982. Filter Criteria for Geotextiles, Proc. Sec. Int. Conf. Geotextiles, Las Vegas, USA. Vol. 1: 103-108
- GOURC, J.P., Y. FAURE, A. ROLLIN, et J. LAFLEUR. 1982. Loi structurale de perméabilité pour les géotextiles. Proc. Sec. Int. Conf. Géotextiles, Las Vegas, USA. Vol. 1: 149-154
- HALIBURTON, T.A. and P.D. WOOD. 1982. Evaluation of the US Army Corps of Engineer Gradient Ratio Test for Geotextile Performance. Proc. Sec. Int. Conf. Geotextiles, Las Vegas, USA. Vol. 1: 97-102
- KELLNER, L., R.J. BALLY and S. MATEI. 1982. Some Aspects concerning Retaining Capacity of Geotextiles. Proc. Sec. Int. Conf. Geotextiles, Las Vegas, USA. Vol. 1: 85-90
- KIWA, 1982. Verstopping van Persputten. Mededeling nr. 71. 445 pp.
- KNOPS, J.A.C. 1979. Research on Envelope Materials for Subsurface Drains. Proc. Int. Drain. Workshop (Ed. J. Wesseling). ILRI, Wageningen, Netherlands: 368-392
- LAGACE, R. and R.W. SKAGGS. 1983. Prediction of Drain Silting and Filter Requirement Criteria. Proc. Sec. Int. Drain. Workshop, CPTA, Carmel, IN USA: 161-171
- LERK, C.F. 1965. Enkele aspecten van de ontijzering van grondwater. Proefschrift T.H. Delft, 130 pp.

- LOUBINOUX, D., Y. FAURE, J.P. GROUC et C. MACHIZAUD. Conservation de la fonction filtre des géotextiles sous sollicitations dynamiques et statiques. Proc. Sec. Int. Conf. Géotextiles, Las Vegas, USA. Vol. 1: 43-48
- LOUDIERE, D. et D. FAYOUX. 1982. Filtration et drainage au moyen de géotextiles: essais et specifications. Proc. Sec. Int. Conf. Géotextiles, Las Vegas, USA. Vol. 1: 61-66
- MINTZ, D.M. 1966. Modern Theory of Filtration. Proceedings of a conference, about 1966 (?)
- MUNGAN, N. 1965. Permeability Reduction Through Changes in pH and Salinity. J. Petr. Techn. 12: 1449-1453
- NEDERLANDSE VERENIGING KUST- EN OEVERWERKEN . 1983. Kunststoffilters in Kust- en Oeverwerken. 180 pp.
- OGINK, H.J.M. 1975. Investigations on the hydraulic characteristics of synthetic fabrics. Waterloopkundig Laboratorium, Delft. Netherlands. Publication No. 146.
- SEIJGER, L.G. 1978. Laboratorium Onderzoek van Omhullingsmaterialen voor Drainbuizen. Nota ICW 1088. 70 pp.
- SIGNOR, D.C. 1973. Laboratory Facility for Studies related to Artificial Recharge. In: Reprints of Papers for the Second Int. Symp. on Underground Waste Management and Artificial Recharge, New Orleans, Louisiana, AAPG: 799-882
- SOTTON, M., B. LECLERCQ, N. FEDOROFF, D. FAYOUX et J.L. PAUTE. 1982. Contribution à l'étude du colmatage des géotextiles. Approche Morphologique. Proc. Sec. Int. Conf. Géotextiles, Las Vegas, USA. Vol. 1: 109-114
- STUYT, L.C.P.M. 1983. Drainage Envelope Research in the Netherlands. Proc. Sec. Int. Drain. Workshop, CPTA, Carmel, IN, USA: 106-123 (Reprint beschikbaar in de vorm van ICW-'Report' No. 8).
- SWEETLAND, D.B. 1977. The performance of non-woven fabrics as drainage screens in subdrains. Unpubl. M.Sc.-Thesis, Univ. of Strathclyde, Dept. of Civil Eng., Glasgow, UK
- WESSELINGH, J.A. 1980. Deep bed filtration. Particle Technology Workshop, Loughborough Univ. Technology/TH Delft, Vol. 1
- WILLARDSON, L.S. 1983. Exit Gradients at Drain Openings. Proc. Sec. Int. Drain. Workshop, CPTA, Carmel, IN, USA: 198-202

- WITTMANN, L. 1982. Soil Filtration Phenomena of Geotextiles. Proc. Int. Conf. Geotextiles, Las Vegas, USA. Vol. 1: 79-83
- ZASLAVSKY, D. 1979. Definition of the drainage filter problem and a possible use of soil conditioners. Proc. Inst. Drain. Workshop (Ed. J. Wesseling). ILRI, Wageningen, Netherlands: 340-353
- ZIEMS, J. 1969. Beitrag zur Kontaktersion nichtbindiger Erdstoffe. Dissertation Technische Univ. Dresden, DDR. 208 pp.

AANTAL SCATTERDIAGRAMMEN KLOM # 1,2,3 EN 4 RESPECTIEVELIJK 5, 3, 3 EN 1. --- DE UITVOER VAN DE CALCMP-PLOTTER AL OPGERAAD ?

AANTEKENINGEN

STUYT'S APPLIED SOFTWARE "FINGER LICKIN' GOOD" --- RUNNING ON THE DEC-10 SYSTEM OF THE LANDBOUWHOOGESCHOOL ESIZK CORE3 APRIL 1983