

NN31545.1295

**BIBLIOTHEEK
STARINGGEBOUW**

Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding
Wageningen

**ONDERZOEK NAAR MOGELIJKHEDEN OM DE INFILTRATIE VAN
REGENWATER IN EEN AFVALSTORT TE VERMINDEREN**

3. Experimentele resultaten

BIBLIOTHEEK DE HAAFF
Droevendaalsesteeg 3a
Postbus 241
6700 AE Wageningen

ing. G.J. Agelink

Dit rapport is het derde interim-rapport over het project 'Oppervlakkige afvoer van regenwater op vuilstortterreinen'. Het project wordt grotendeels gefinancierd door het Ministerie van Volksgezondheid en Milieuhygiëne

1790348

16 FEB. 1998



I N H O U D

	blz.
1. INLEIDING	1
2. LABORATORIUM EXPERIMENTEN	1
2.1. Opzet van de laboratoriumexperimenten	1
2.2. Afvoerverloop in een afdeklag tijdens berekening met een regensimulator	3
2.3. Conclusies	6
3. VELDEXPERIMENTEN	7
3.1. Opzet van experimenten	7
3.2. Metingen gedurende het winterhalfjaar	9
3.3. Metingen tijdens kunstmatige berekening	16
3.4. Conclusies	21
4. ONDERZOEK NAAR ALTERNATIEVE MATERIALEN	22
4.1. Opzet van de experimenten	22
4.2. Bepaling van de doorlaatfactor in kolommen	23
4.3. Bepaling van de doorlaatfactor in lysimeters	26
4.4. Conclusies	30
5. DISCUSSIE EN CONCLUSIES	31
LITERATUUR	34

1. INLEIDING

De infiltratie van regenwater in een afvalstort is geheel afhankelijk van de aard van de afdekgrond op het stort. De storttechniek heeft hierop nauwelijks invloed. De afdeklaag kan bestaan uit meerdere lagen, waarbij bijvoorbeeld met klei of leem een slecht doorlatende laag kan worden gemaakt. Een dergelijke opbouw is getest zowel in het laboratorium als in het veld. De opzet van de experimenten werd reeds uitvoerig beschreven in het tweede interimrapport (AGELINK, 1981).

De experimenten waren vooral gericht op het ontwerpen van een afdeklaag bestaande uit natuurlijke materialen. Later is ook het gebruik van alternatieve materialen om een stort af te dekken bestudeerd (boorgruis, vlieg-as, bentoniet). In het onderzoek zijn geen kunststoffen betrokken omdat is aangenomen dat dergelijke producten volledig ondoorlatend zullen zijn. In hoeverre kunststoffen in staat zijn om de krachten op te vangen die ontstaan tijdens zakking van een stort, zal eventueel grootschalig moeten worden getest. Ook de afvoer van het gevormde stortgas verdient daarbij aandacht.

2. LABORATORIUM-EXPERIMENTEN

2.1. Opzet van de laboratoriumexperimenten

De experimenten zijn uitgevoerd met behulp van een modelbak met een oppervlak van circa $0,6 \text{ m}^2$, geplaatst op een helling van 1 : 7 (fig. 1). Het doel was het effect van de fysische eigenschappen van de afdeklaag op de infiltratie te onderzoeken, dit in relatie tot de neerslagintensiteit. In het tweede interimrapport is de opzet van de laboratorium experimenten uitvoerig beschreven (AGELINK, 1981).

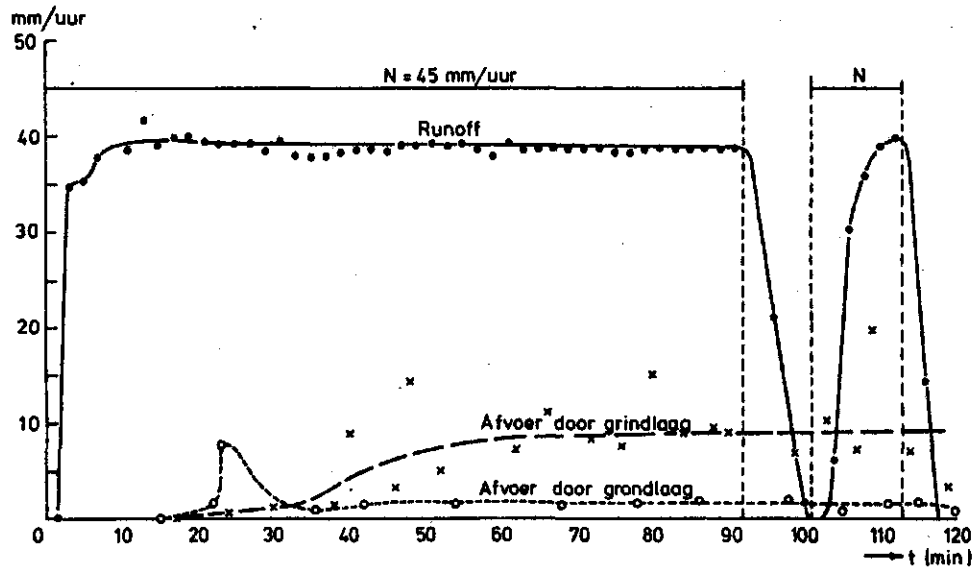


Fig. 2. Het verloop van de oppervlakteafvoer en infiltratie tijdens een beregeningsproef (45 mm/uur gedurende 113 minuten)

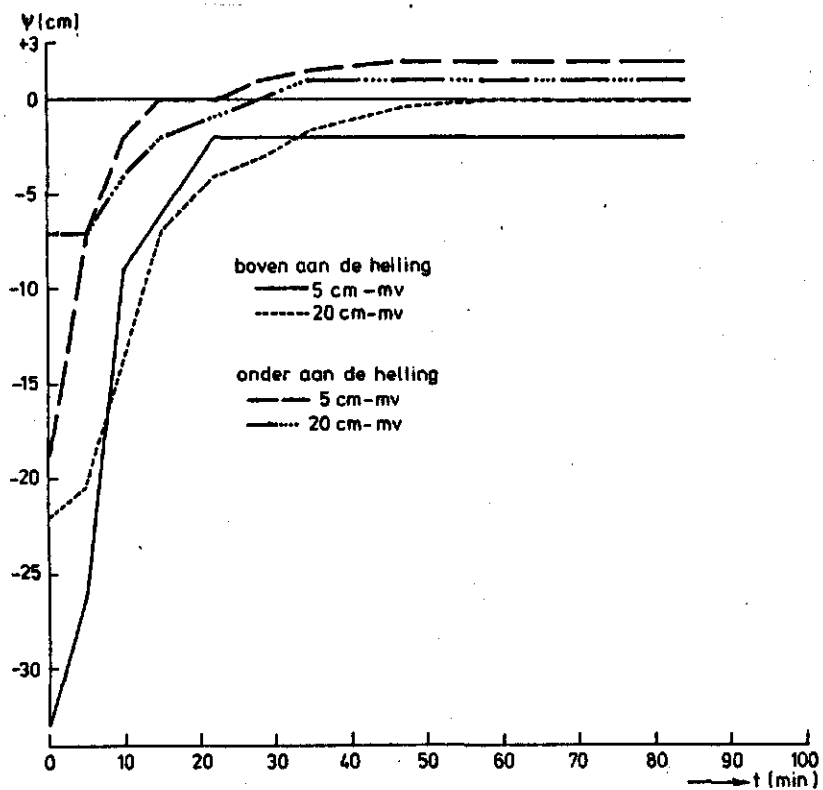


Fig. 3. Het verloop van de vochtspanning tijdens een beregeningsproef met een intensiteit van 45 mm/uur gedurende 113 minuten

Nu geldt:

$$\left. \begin{array}{l} N = 45 \text{ mm/uur} \\ R = 39 \text{ mm/uur} \end{array} \right\} I \text{ (infiltratie)} = N - R = 6 \text{ mm/uur}$$

$$\left. \begin{array}{l} A_1 = 1,5 \text{ mm/uur} \\ A_2 = 8,5 \text{ mm/uur} \end{array} \right\} A_1 + A_2 = 10 \text{ mm/uur}$$

Feitelijk zouden deze twee waarden aan elkaar gelijk moeten zijn. Vermoedelijk is dit verschil veroorzaakt door meetfouten (neerslag en afvoer).

De berging aan het oppervlak is berekend door na een korte stop de grond droog te laten vallen en dan de berekening weer te starten. De aldus te berekenen berging wordt onderverdeeld in depression- en detention storage (AGELINK en HOEKS, 1980).

$$\begin{array}{l} \text{Depression storage : } 1,5 \text{ min. } \cdot 39 \text{ mm/uur} = 0,98 \text{ mm} \\ \text{Detention storage : } 3,5 \text{ min. } \cdot 39 \text{ mm/uur} = 2,28 \text{ mm} \\ \hline \text{Totale berging oppervlak} = 3,26 \text{ mm} \end{array}$$

De berging in de grond is berekend over de eerste 70 min.

$$\left. \begin{array}{l} \Sigma N = 52,50 \text{ mm} \\ ER = 42,86 \text{ mm} \end{array} \right\} I = 9,64 \text{ mm}$$
$$\left. \begin{array}{l} \Sigma A_1 = 1,56 \text{ mm} \\ \Sigma A_2 = 4,00 \text{ mm} \end{array} \right\} \Sigma A = 5,56 \text{ mm}$$

De berging B in de grond is
4,08 mm

In fig. 4 is een samenvattend beeld gegeven van de relatie tussen oppervlakte afvoer en neerslagintensiteit.

In de figuur is goed de invloed van de neerslagintensiteit op de oppervlakteafvoer te zien: - Hoe hoger de intensiteit des te groter de oppervlakteafvoer
- Hoe hoger de intensiteit des te eerder komt de oppervlakteafvoer op gang

Voorts is de invloed van een natte- dan wel droge uitgangssituatie goed waarneembaar. De oppervlakteafvoer komt eerder op gang in geval van een natte uitgangssituatie.

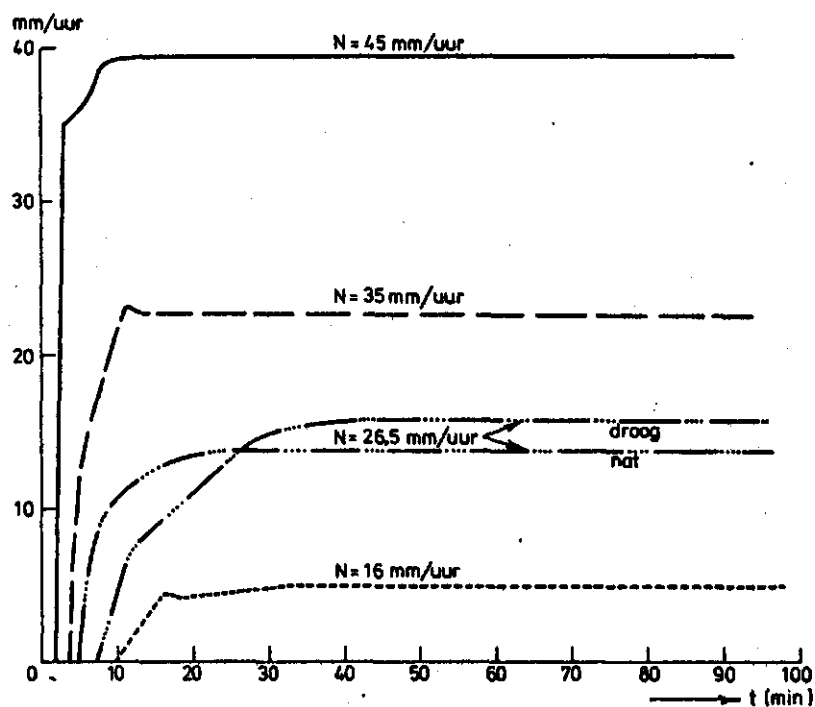


Fig. 4. De invloed van de neerslagintensiteit op de oppervlakteafvoer

2.3. Conclusies

De voorwaarden waaronder oppervlakteafvoer optreedt zijn tweerlei. Als de neerslagintensiteit de infiltratiecapaciteit overtreft vindt oppervlakteafvoer plaats. De andere mogelijkheid is dat de afvoer van het geïnfiltreerde water gering is. In het laatste geval zal het grondwater tot in het maaiveld stijgen, waarna oppervlakteafvoer optreedt. Een combinatie van beide vond plaats bij de proeven met de modelbak (fig. 2). De neerslagintensiteit is groter dan de infiltratiecapaciteit. Hierdoor stijgt de oppervlakteafvoer naar 35 mm/uur. Op dat moment zou de evenwichtssituatie zijn ontstaan, ware het niet dat de afvoer via de grond- en grindlaag kleiner blijkt te zijn dan de infiltratiecapaciteit. Hierdoor stijgt de oppervlakteafvoer vervolgens tot 39 mm/uur. Nu is de evenwichtstoestand bereikt, er verandert niets meer.

De afvoer door de grondlaag ten gevolge van de helling blijkt naar verhouding gering te zijn. Denken we ons onder de bewortelingslaag een slecht doorlatende laag, dan is dit een belangrijk gegeven. Zonder goede ontwatering kan, ook op een hellend vlak, de trage afvoer door de laag een stijging van de grondwaterstand veroorzaken, waardoor het grondwater tot in het maaiveld stijgt. Vrijwel alle neerslag moet nu over het oppervlak worden afgevoerd. Dus ook op een hellend vlak is een goede ontwatering noodzakelijk.

Een andere component van de waterbalans is de berging op het oppervlak. Als men afvoer over het oppervlak wil bevorderen moet gezorgd worden voor een minimale depression- en detention storage. Hiervoor is respectievelijk een glad oppervlak (geen kuilen) en een korte begroeiing noodzakelijk. Om echter de kans op erosie zoveel mogelijk te voorkomen zou een slecht geegaliseerd oppervlak met een forse begroeiing (hoog gras) gewenst zijn. Het water stagneert op deze wijze, de kans op infiltratie stijgt, die op erosie neemt af. In dit geval dient het ontwateringssysteem boven de slecht doorlatende laag goed te functioneren.

3. VELDEXPERIMENTEN

3.1. O p z e t v a n e x p e r i m e n t e n

In de tweede interimnota (AGELINK, 1981) is de opzet van de experimenten reeds uitvoerig beschreven, hier wordt volstaan met een korte uiteenzetting.

Op het terrein van de VAM in Wijster is een lysimeterbak van 50m x 10m gebouwd. Met deze lysimeterbak is het mogelijk onder praktijkomstandigheden het effect van een afdeklaag op de waterhuishouding van een afvalstort te meten.

De granulaire samenstelling van de gebruikte grondsoorten staat vermeld in tabel 2.

Tabel 2. Granulaire samenstelling van de in de lysimeterbak gebruikte grondsoorten

pH	Hoofdebestanddelen in % van de grond				Hoofdebestanddelen in % van de minerale delen														N	U					
	Humus	Ca	af- slib- baar	to- taal sand	afvalfbare delen							sand													
					<2	2-4	4-8	8-16	16-25	25-35	35-50	50-75	75-105	105-150	150-210	210-300	300-420	420-1700							
laag	KCl	Glv	EL	CO ₂																					
0-25	4,8	43,7	-	28,3	28,0	31,3	6,2	5,0	7,8	0,7	2,7	3,5	4,1	2,7	5,7	6,0	4,1	3,3	15,9	16					
25-50	4,3	0,5	-	1,4	98,1	0,5	0,1	0,2	0,6	0,0	0,1	4,6	8,0	9,0	28,5	31,0	13,1	3,4	0,9	145					
50-75	4,2	0,0	-	19,5	80,5	12,5	0,8	2,1	4,1	1,6	4,5	4,9	6,4	9,4	19,0	14,4	10,3	5,9	7,1	120					
75-100	4,3	0,5	-	1,4	98,1	0,5	0,1	0,2	0,6	0,0	0,1	4,6	8,0	9,0	28,5	31,0	13,1	3,4	0,9	145					

Fig. 5 toont de inrichting van de lysimeterbak, fig. 6 laat zien hoe de afdeklag in de bak is opgebouwd.

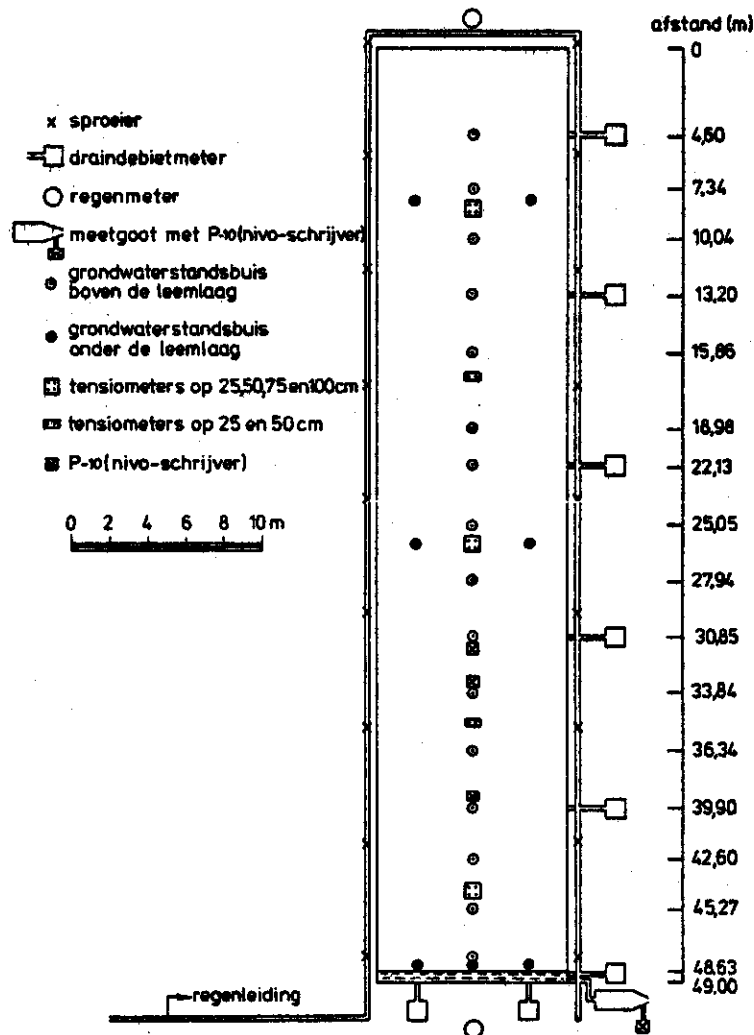


Fig. 5. Inrichting van het proefveld in Wijster

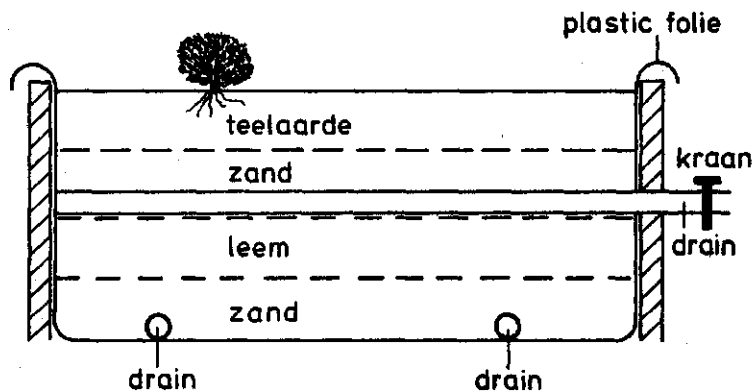


Fig. 6. Dwarsdoorsnede van de lysimeterbak

De resultaten van de veldexperimenten zijn tweeledig. Enerzijds de resultaten van de beregeningsproeven, anderszijds die van de metingen die verricht zijn in de periode september 1980 t/m juni 1981.

3.2. Metingen gedurende het winterhalfjaar

Van september '80 t/m juni 1981 zijn diverse metingen verricht:

- neerslag
- afvoer boven de leemlaag
- afvoer onder de leemlaag
- oppervlakteafvoer
- grondwaterstanden
- vochtspanningen in de verschillende lagen op diverse plaatsen
- temperaturen " " " " " " " "

In fig. 7 is de relatie tussen de neerslag en de hoeveelheid water die via de leemlaag wordt afgevoerd weergegeven.

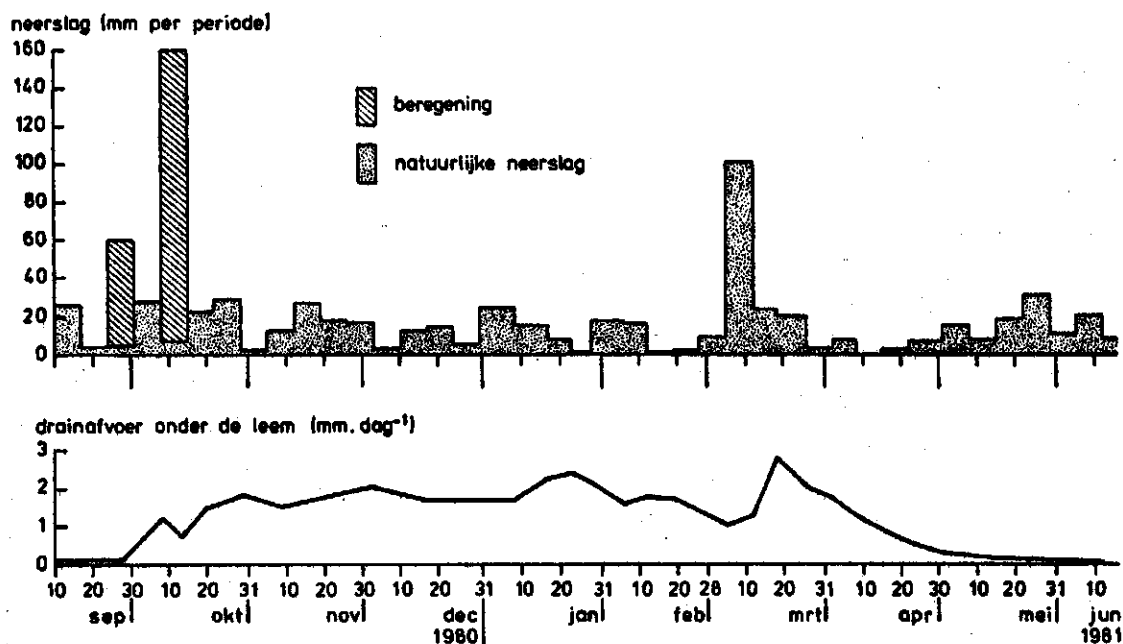


Fig. 7. Wegzijing door de leemlaag, in relatie met het neerslagpatroon

In de figuur is te zien dat de leemlaag een vertragend en nivelerend effect heeft op de afvoer. De lijn vertoont weinig grote pieken of dalen. De gevolgen van een zeer zware bui zijn pas na 1 à 2 dagen waarneembaar en houden lang aan. De afvoerintensiteit is klein ten opzichte van de neerslagintensiteit. Maximaal bedraagt de wegzijing door de leem circa 2,5 mm/etm. Gedurende het winterhalfjaar was de afvoer gemiddeld 1,5 à 2 mm/etm, terwijl de totale afvoer 335 mm bedroeg. In feite kan het totale neerslagoverschot dus via de leemlaag worden afgevoerd. De bovenste 50 cm heeft een bufferende werking. Tijdens regenbuien wordt het water hierin geborgen. Vervolgens wordt het zeer geleidelijk en gestaag

afgevoerd via de leemlaag. Daarbij droogt de bovengrond weer uit, zodat bij een volgende bui opnieuw water kan worden geborgen. Indien de berging boven de leemlaag kleiner zou zijn, zal het effect van de leemlaag als ondoorlatende laag toenemen. Dit komt enerzijds doordat in dat geval meer water over het oppervlak zal worden afgevoerd en anderszijds doordat de afvoer onder de leemlaag minder lang zal aanhouden, nadat de neerslag is gestopt.

Het afvoer verloop boven de leem vertoont een heel ander beeld. Dit is te zien in fig. 8.

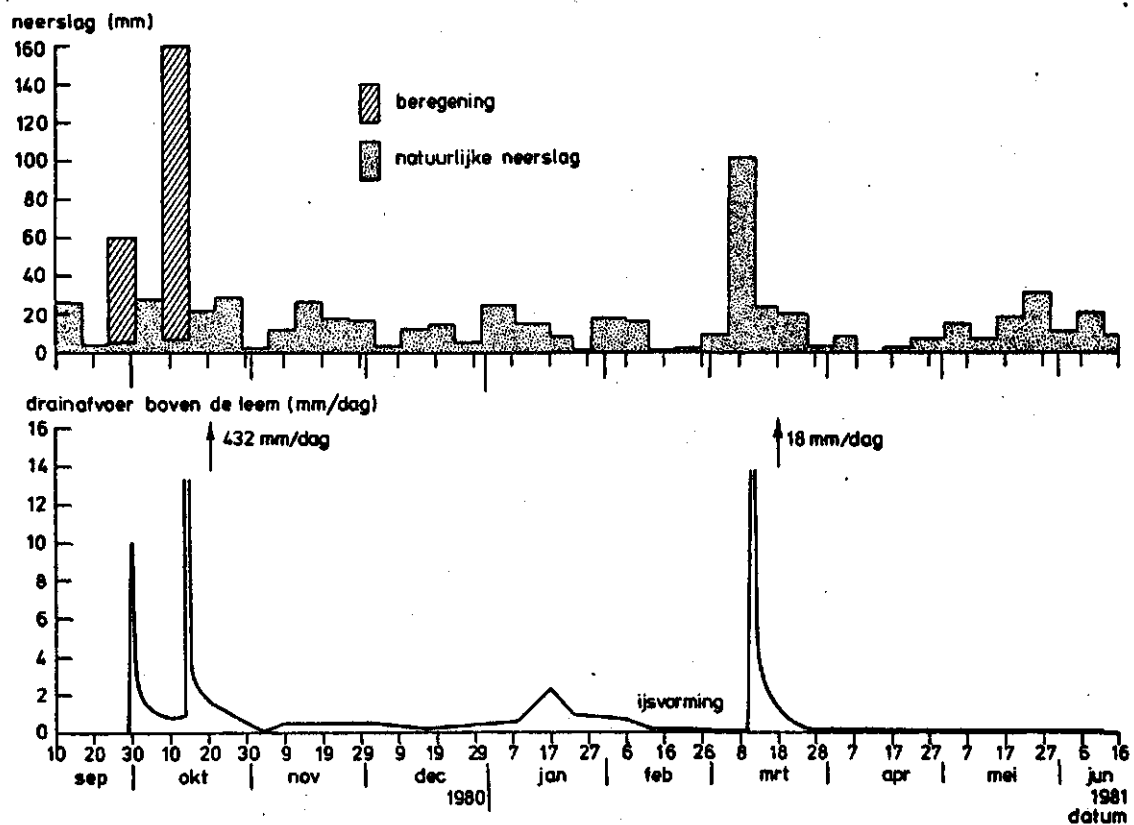


Fig. 8. De invloed van de neerslag op de afvoer boven de leemlaag

Van de drains boven de leemlaag loopt alleen de onderste vrijwel continu. Alleen tijdens langdurige neerslag met grote intensiteit voeren alle drains boven de leemlaag water af. Dit is gedurende de meetperiode slechts éénmaal voorgekomen (12/3/'81). De andere pieken zijn veroorzaakt door beregeningsproeven. Alleen de onderste drain

voert gedurende het winterhalfjaar vrijwel continu water af. Een klein deel van het water kan, dank zij de helling, via onverzadigde stroming door de laag boven de leem worden afgevoerd en komt onder in de bak waar zich dan een waterspiegel opbouwt. Het water stroomt nu via de onderste drain weg. De drains hoger op de helling voeren niet af omdat de vochtspanning daar kleiner dan nul is.

In nota 1175 (AGELINK en HOEKS, 1981) is de onverzadigde stroming geschat met de formule (BOELS, 1980):

$$q_x = k_o \cdot \sin \gamma \cdot \frac{\cos \gamma}{\alpha} \cdot e^{\alpha \psi_s} \left(v - e^{-\frac{\alpha H}{\cos \gamma}} \right)$$

waarin:

q_x = afvoer door de afdeklaag ($\text{cm}^2 \cdot \text{dag}^{-1}$)

k_o = verzadigde doorlatendheid afdeklaag ($\text{cm} \cdot \text{dag}^{-1}$)

γ = hellingshoek

α = constante in de k - ψ -relatie van Rijtema

ψ_s = vochtspanning op de grenslaag (cm)

v = stroomsnelheid volgens Darcy ($\text{cm} \cdot \text{dag}^{-1}$)

H = dikte van de afdeklaag (cm)

In het laboratorium is de in te voeren k_o bepaald: k_o (teelaarde) is 9,2 m/etm., k_o zand is 8,43 m/etm. Gerekend is met een gemiddelde k_o voor de bovenste 50 cm van 9 m/etm.

$\alpha = 0,224$, behorende bij Coarse Sand: $k_o = 1120$ cm/dag (RIJTEMA, 1969)

$\psi_s = -5$ cm

$H = 50$ cm

Met bovenstaande gegevens is berekend hoeveel water er via de onverzadigde stroming kan worden afgevoerd. Volgens berekening is dit 0,53 mm/etm. De berekende waarde (0,53 mm/etm.) komt goed overeen met de gemeten waarde (0,4 mm/etm.).

De relatie tussen neerslag en het verloop van de grondwaterstand is weergegeven in fig. 9.

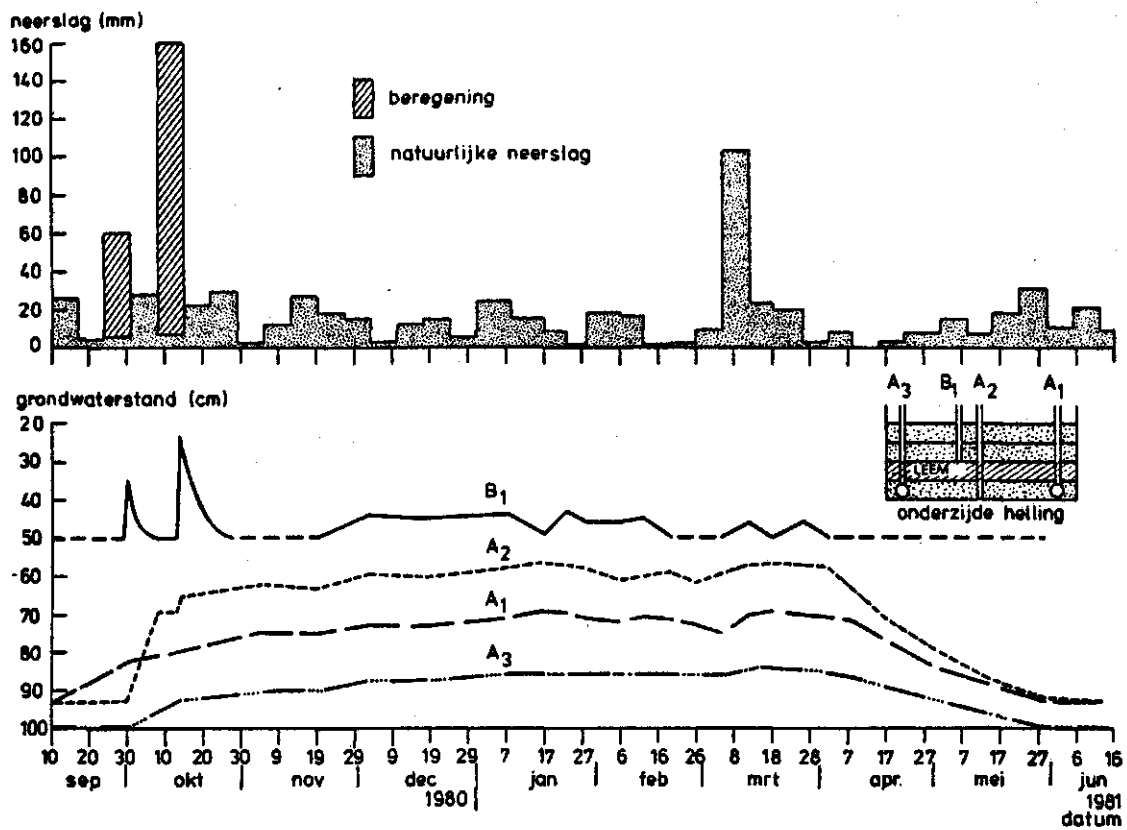


Fig. 9. De invloed van de neerslag op het verloop van de 'grondwaterstand' onder en boven de leemlaag aan de onderzijde van de helling

Ook hier is de bufferwerking van de leemlaag goed waarneembaar. Het verloop van de grondwaterstand onder de leemlaag is zeer gelijkmatig. Boven de leemlaag zijn echter veel pieken en dalen te zien. Wat opvalt is dat de grondwaterstanden gemeten op de beide lengtedrains (A₁ en A₃) geen gelijke waarde hebben. Dit kan veroorzaakt zijn door de ongelijkmatige ondergrond.

Om de berging in de grond te kunnen berekenen zijn tensiometercupjes geplaatst waarmee de vochtspanning is gemeten. In fig. 10 is het verloop van de vochtspanning uitgezet tegen de tijd (voor de periode 1/4 - 15/6). In iedere laag is een cupje geplaatst, dit op vijf verschillende plaatsen op de helling.

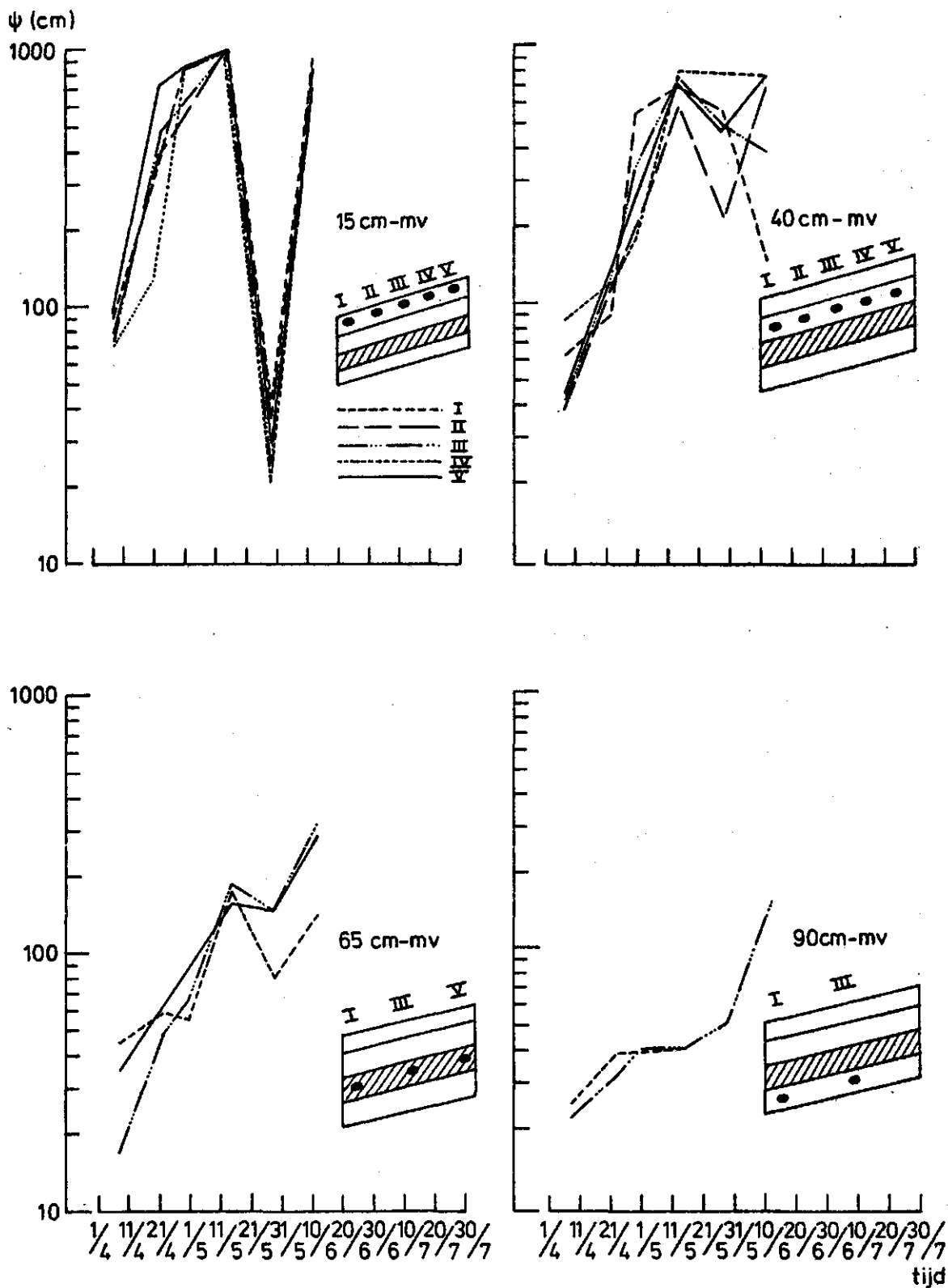


Fig. 10. Vochtspanningsbepalingen op verschillende diepten en op verschillende plaatsen op de helling voor de periode 1/4 - 15/6/1981

Op 15 cm diepte varieert de vochtspanning heel sterk (-20 cm tot het einde meetbereik van circa -800 cm). Dit is het gevolg van de sterke vochtgehalteveranderingen onder invloed van neerslag en verdamping. Er is geen duidelijk verband waarneembaar tussen het vochtspanningsverloop en de plaats op de helling. Het verloop is op de verschillende meetplaatsen vrijwel gelijk.

Ook op 40 cm diepte is er geen verband te vinden tussen vochtspanning en plaats op de helling. Wel is goed te zien dat de invloed van neerslag en verdamping hier minder is.

In de leemlaag (-65 cm) is een geleidelijke stijging van de vochtspanning waarneembaar (op een korte bevochtigingsperiode na). Door de grote bergingscapaciteit van de teelaarde-laag is de reactie van de vochtspanning op neerslag en verdamping hier veel minder dan daarboven.

De laag onder de leemlaag droogt gestadig uit. Na 29 mei 1981 wordt de afvoer onder de leemlaag nihil, een grondwaterstand is nauwelijks meer waarneembaar (fig. 7 en 9). Pas nu gaat de uitdroging snel (vrij grof zand).

Ook het temperatuurverloop in de afdeklaag is gemeten. In fig. 11 is duidelijk te zien dat de temperatuur boven aan de helling altijd hoger is dan die onder aan de helling. Voorts is de temperatuur onder in de afdeklaag steeds hoger geweest dan die boven in de afdeklaag.

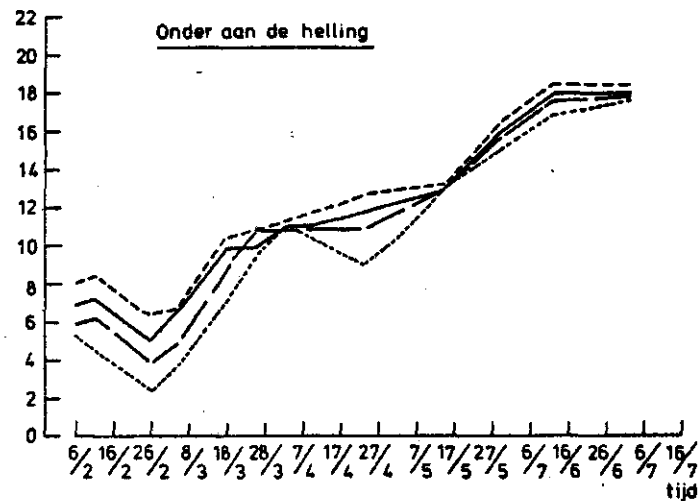
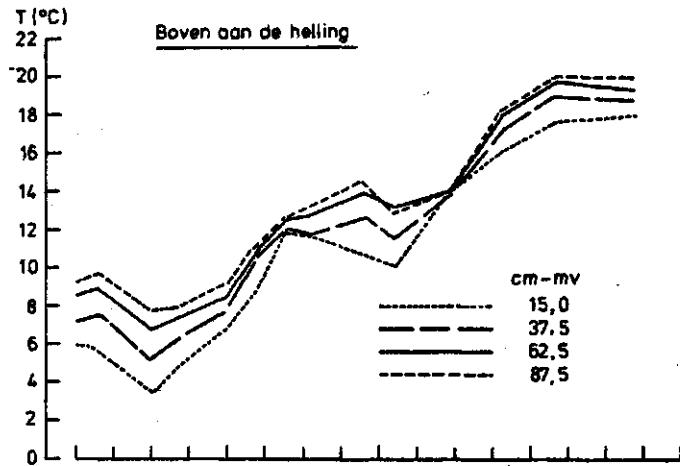


Fig. 11. Temperatuurverloop onder en boven aan de helling, op verschillende diepten en op verschillende plaatsen

3.3. Metingen tijdens kunstmatige beregening

Om niet afhankelijk te zijn van de natuurlijke neerslag en snel de invloed van de neerslagintensiteit op de infiltratie en de oppervlakteafvoer te kunnen onderzoeken, is het proefobject voorzien van

een beregeningsinstallatie (AGELINK, 1981). De maximaal te bereiken neerslagintensiteit is circa 34 mm/uur.

Tijdens de opbouw van de afdeklaag zijn, nadat de leemlaag aangelegd was, beregeningsproeven uitgevoerd op de leem. Zodoende kon tevens een leemlaag als oppervlaktelaag worden getest. Door de geringe infiltratiecapaciteit van de leem (circa 2 mm/etm.) werd het grootste deel van de neerslag direct over het oppervlak afgevoerd. Spoedig bleek dat het uitvoeren van beregeningsproeven op een onbegroeide leemlaag geen zin had. Reeds bij geringe neerslagintensiteit trad erosie op. Bij voortzetting van de proeven zou de leem in korte tijd weggespoeld zijn (fig. 12).



Fig. 12. Erosieverschijnselen als gevolg van het uitvoeren van beregeningsproeven op een onbegroeide leemlaag

De beregeningsproeven werden voortgezet toen de afdeklaag geheel opgebouwd was. Tijdens de eerste proef was het gras juist ingezaaid. Ook de teelaardelaag bleek als zodanig niet bestand tegen het afstromende water. Dit ondanks de hoge infiltratiecapaciteit van de teelaarde. Dat er toch oppervlakteafvoer plaatsvond komt doordat de oppervlaktelaag als het ware dichtslaat tengevolge van de neerslag. De proeven werden uitgesteld tot het moment dat zich een gesloten grasmat had gevormd. Vanaf dat moment is er zelfs bij de grootste neerslagintensiteit (34 mm/uur) geen erosie meer waargenomen. Bij voortzetting van de proeven bleek dat alleen bij grote neerslagintensiteit (34 mm/uur) van lange duur (3 uur) oppervlakteafvoer optrad. Het grondwater moet daartoe eerst tot in het maaiveld stijgen.

De resultaten van een dergelijke bui staan hieronder weergegeven. Berekening vond plaats gedurende $4\frac{1}{2}$ uur bij nagenoeg windstil weer. De neerslag werd gemeten met behulp van eenvoudige regenmeters waarop direct het aantal mm afleesbaar is. Twaalf van dergelijke meters stonden in het veld (fig. 13). Gedurende de berekening zijn de meters 6 maal opgenomen, de waarden zijn per punt getotaliseerd. Behalve onder aan de helling was de verdeling matig tot goed. De gemiddelde neerslagintensiteit bleek 34 mm/uur. Dit kwam overeen met de berekende neerslagintensiteit uitgaande van de sproeigegevens en de gemeten druk op de sproeiers. Deze druk bedroeg bij de onderste sproeier 2,4 ato en bij de bovenste sproeier 3,4 ato. Dit wordt veroorzaakt door het hoogteverschil onder en boven aan de helling van circa 10,50 m, wat overeenkomt met 12 meter waterkolom (1,2 ato).

In fig. 14 is het verloop van de grondwaterstand getekend. De opbolling tussen de drains is bovenaan de helling kleiner dan onderaan. De oorzaak is dat de standen direct na beëindiging van de berekening zijn opgenomen. De grondwaterstandsbuisjes bovenaan de helling zijn het laatst opgenomen. De grondwaterstand daalde echter na het beëindigen van de berekening zo snel, dat dit effect bij de laatste metingen bovenaan de helling al duidelijk merkbaar was.

REGENMETING 14-10-80

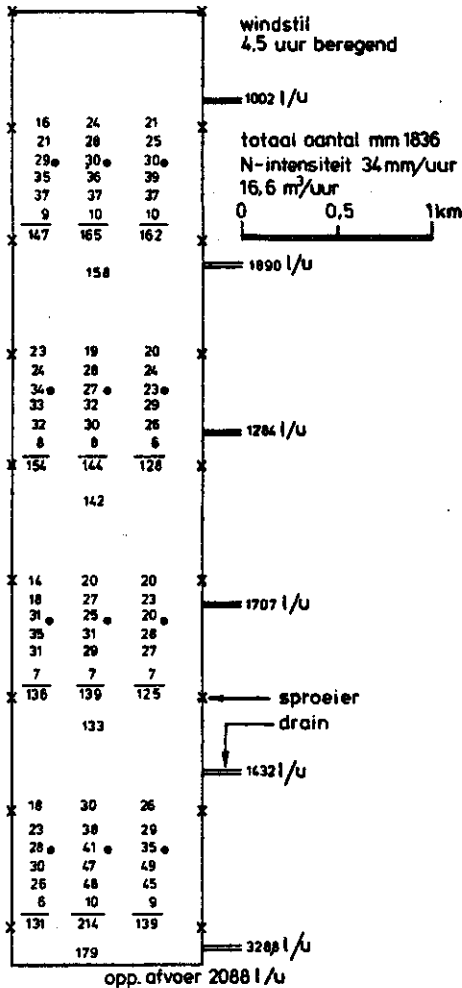


Fig. 13. Meting van neerslag tijdens een beregeningsproef (34 mm/uur gedurende 4,5 uur)

De afvoer boven de leemlaag bedroeg maximaal 18,0 mm/uur. De afvoer onder de leem bleef op de dag dat de proef plaatsvond nagenoeg constant. De gemeten afvoer was en bleef 0,033 mm/uur. Oppervlakteafvoer kon zonder problemen worden gemeten met een HS- (AGELINK, 1981). Opvallend in fig. 15 is dat na het stoppen van de beregening de oppervlakteafvoer niet zo snel terugvalt als bij laboratoriumproeven het geval was. Naast de veel langere helling zal waarschijnlijk ook de begroeiing hierbij een rol spelen.

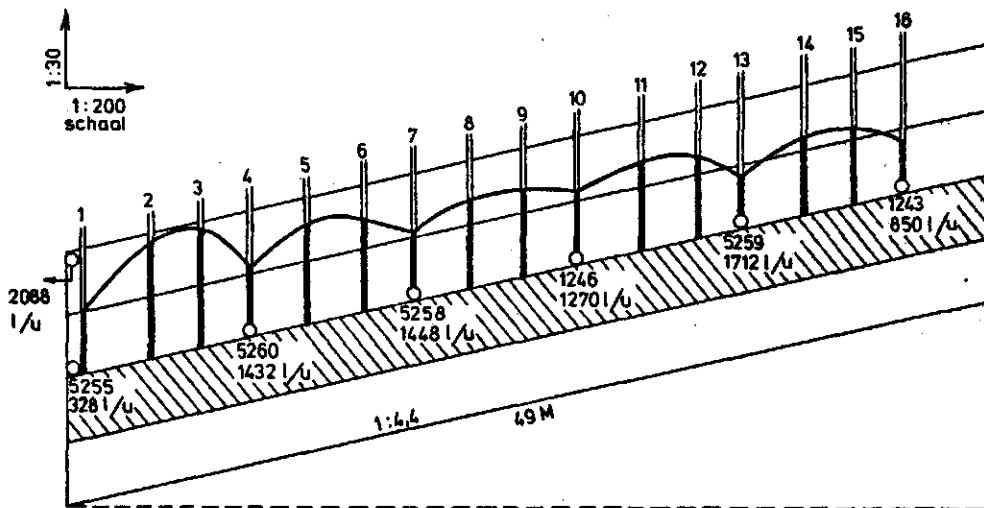


Fig. 14. De grondwaterstand boven de leemlaag juist na beëindiging van de beregening (34 mm/uur gedurende 4,5 uur)

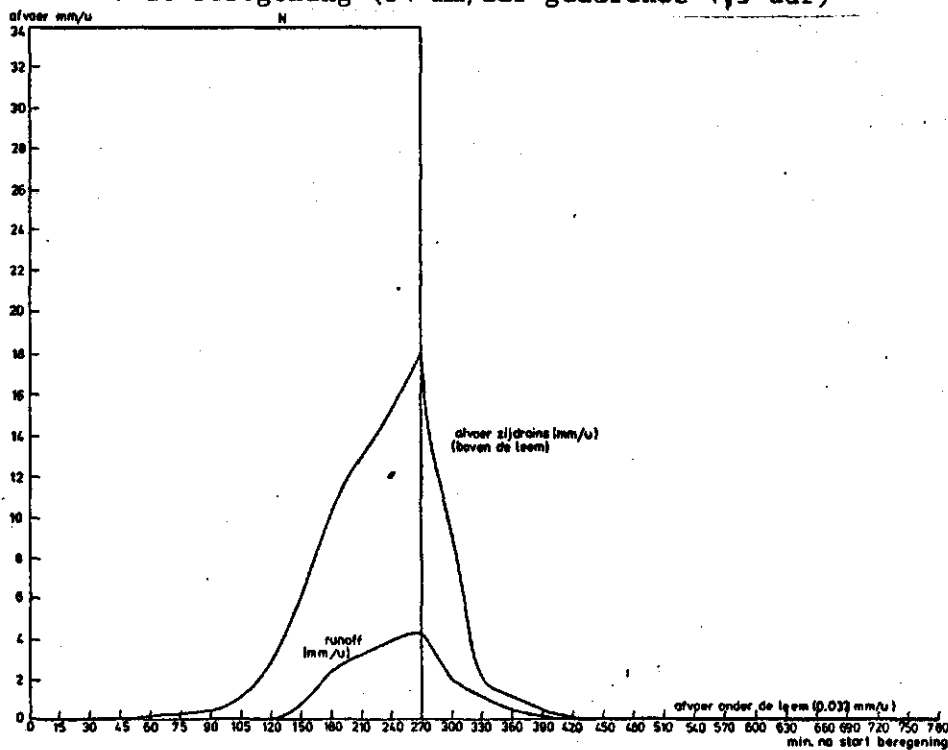


Fig. 15. Oppervlakteafvoer, afvoer boven de leemlaag en de afvoer onder de leem juist na beëindiging van de beregening (34 mm/uur gedurende 4,5 uur)

3.4. C o n c l u s i e s

De problemen die ontstaan door infiltratie van regenwater in een stort doen zich vooral voor in het winterhalfjaar. Deze periode kenmerkt zich door langdurige neerslag met geringe intensiteit en een te verwaarlozen verdamping. Dit heeft tot gevolg dat er een neerslagoverschot ontstaat. Door het aanbrengen van een waterkerende laag moet voorkomen worden dat dit neerslagoverschot in het afval infiltreert. Het direct bevorderen van de oppervlakteafvoer door het aanbrengen van een zeer slecht doorlatende top laag lijkt niet haalbaar. De kans dat op den duur, ook bij een begroeid oppervlak, erosie optreedt is groot. Verder biedt een dergelijke laag slechte bewortelingsmogelijkheden voor de beplanting. Bovendien zal door de begroeiing structuurverbetering optreden, waardoor de doorlatendheid toeneemt.

Het is dan noodzakelijk op de slecht doorlatende laag een laag goed bewortelbare grond aan te brengen. De neerslag infiltreert in de bewortelbare laag en stagneert op de slecht doorlatende laag. Uit experimenten is gebleken dat een leemlaag, afgedekt met een goed bewortelbare grond niet voldoet. De gebruikte teelaarde had een grote bergingscapaciteit. Het geborgen water werd zeer geleidelijk en gestaag afgevoerd via de leemlaag. Met een gemiddelde snelheid van 1,5 à 2 mm/etm. vond dit gedurende het hele winterhalfjaar plaats. Dit betekent dat gedurende het winterhalfjaar 250 à 300 mm via de leemlaag afgevoerd werd. Dit is praktisch het gehele neerslagoverschot. Om een werkelijke bescherming te bieden zal voor het maken van een waterkerende laag materiaal nodig zijn met een lagere doorlatendheid dan de gebruikte leem. Dit materiaal zal in de natuur niet overal voorhanden zijn. Daarbij komt, dat, ingeval van afdekking aan de bovenzijde van een stort het te gebruiken materiaal moet worden vergraven. Hierdoor zal de doorlatendheid toenemen. Het lijkt dan ook reëel uit te zien naar alternatieve materialen die mogelijk wel een werkelijke bescherming kunnen bieden.

4. ONDERZOEK NAAR ALTERNATIEVE MATERIALEN

4.1. Opzet van de experimenten

Aan het eind van het voorgaande hoofdstuk is geconcludeerd dat leem als materiaal voor een waterkerende laag niet voldoet. Daarom is gezocht naar andere materialen die mogelijk wel voldoen. Hierbij is ook gekeken naar eventueel bruikbare afvalstoffen als vliegas en boorgruis. Wat beide betreft zijn de milieuhygiënische aspecten buiten beschouwing gelaten, alleen de doorlatendheid was binnen het kader van dit onderzoek van belang.

De experimenten vonden plaats in het laboratorium (kolomproeven) en op de proefboerderij Sinderhoeve van het ICW te Renkum (proeven in lysimeters).

In kolomproeven werd de doorlatendheid bepaald van:

- mengsel zand met bentoniet (25 vol.% bentoniet)
- " vliegas met bentoniet (0 tot 10 gew.% bentoniet)
- " zand met vliegas (0 tot 100 gew.% vliegas)
- boorgruis

In de lysimeters werd de doorlatendheid bepaald van:

- mengsel zand met bentoniet (12 gew. % bentoniet)
- " zand met bentoniet (16 gew. % ")
- " vliegas met bentoniet (12 gew. % ")
- " vliegas met cement (16 gew. % cement)
- boorgruis
- leem (droog verdicht)
- leem (nat verdicht)

Hoewel leem tijdens de veldexperimenten al was getest, is het ook in het onderzoek naar alternatieve materialen meegenomen, om het effect op de doorlatendheid van nat dan wel droog verdichte leem te kunnen bepalen.

4.2. B e p a l i n g v a n d e d o o r l a a t f a c t o r i n k o l o m m e n

In fig. 16 is de meetopstelling geschetst.

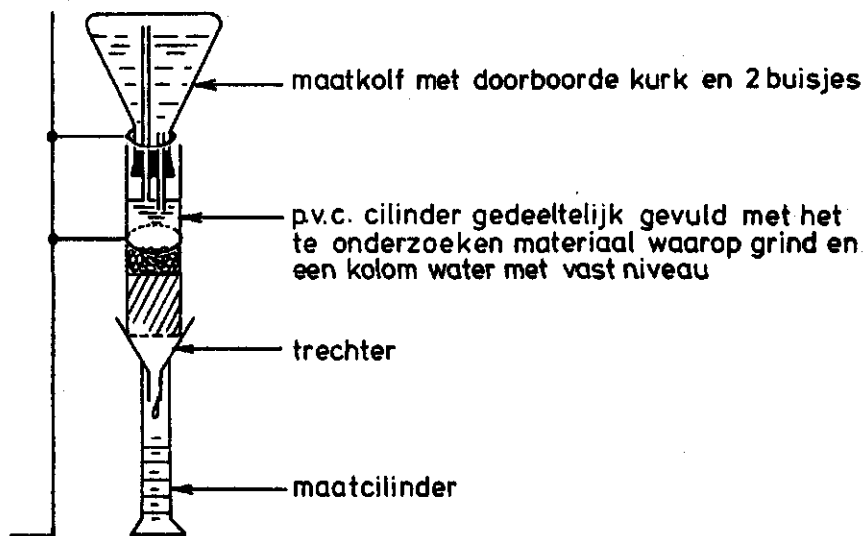


Fig. 16. Meetopstelling voor het bepalen van de doorlatendheid in kolommen

Met behulp van deze opstelling en de volgende formules kan nu de doorlaatfactor worden berekend:

$$v = k \cdot i$$

en

$$q = v \cdot A$$

(1)

waarin:

v = filtersnelheid (cm/etm.)

k = doorlaatfactor (cm/etm.)

i = potentiaal gradiënt (= verhang)

q = debiet (cm³/etm.)

A = oppervlak van de kolom (33,18 cm²)

Het debiet q wordt gemeten, het oppervlak is bekend, de gradiënt is eveneens bekend daar gemeten wordt met een kolom water van 10 cm op grondkolom van eveneens 10 cm, waardoor de gradiënt 1 blijft. k kan nu worden berekend.

- Mengsel zand met bentoniet

Geprobeerd is de doorlaatfactor te bepalen van een mengsel bestaande uit 4 delen zand en 1 deel bentoniet. Dit bleek niet mogelijk. Het oppervlak van de kolom bleek te klein om een meetbare hoeveelheid water te kunnen opvangen. In de lysimeters, die een veel groter oppervlak hebben is de proef herhaald.

- Mengsel vliegas met bentoniet

Daar het er naar uitziet dat in de toekomst meer electriciteitscentrales kolen zullen gaan stoken, zal het afvalproduct vliegas in grotere hoeveelheden worden geproduceerd. Door de grote hoeveelheden is het mogelijk dat een deel van de geproduceerde vliegas gestort zal moeten worden. In dit verband is gezocht naar een nuttige toepassing op een stort. Hiertoe is vliegas gemengd met bentoniet om een slecht doorlatende laag te verkrijgen. In een kolom gaf dit de volgende resultaten (fig. 17).

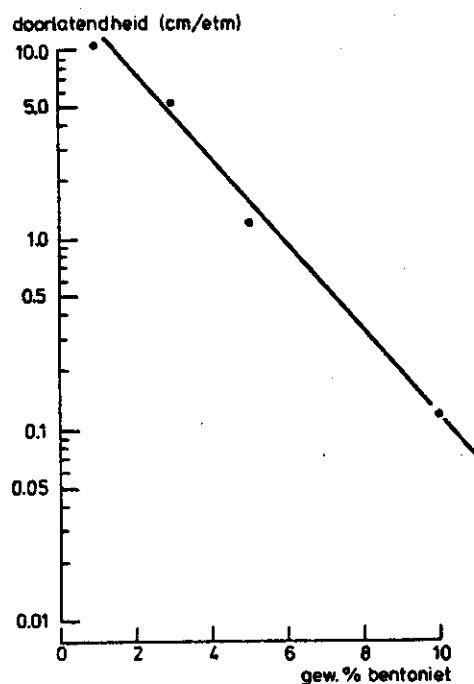


Fig. 17. De afname van de doorlatendheid van een mengsel van vliegas met bentoniet door een toenemend gewichtspercentage bentoniet

Toevoeging van meer dan 10 gewichtsprocenten bentoniet had geen zin, omdat daarmee de doorlatendheid dusdanig klein werd, dat het debiet niet goed meer was te meten.

- Mengsel zand met vliegas

Zowel zand als vliegas zijn op zich goed doorlatend. Door menging van het zeer fijn korrelige vliegas (poeder) met grof zand is geprobeerd een 2-toppig materiaal te verkrijgen dat als kenmerk een lage doorlatendheid heeft. In fig. 18 is duidelijk te zien dat de doorlatendheid van het grove zand enorm afneemt door het bijmengen van vliegas. De laagst gemeten doorlaatfactor bedroeg echter nog 40 mm/etm.

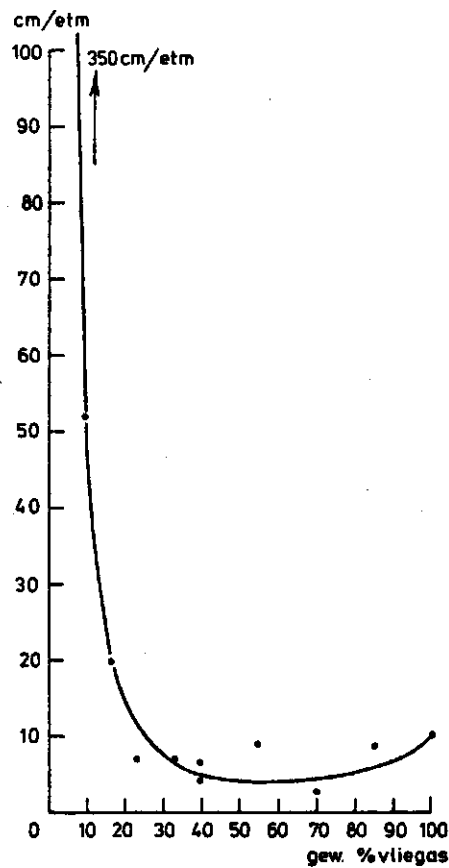


Fig. 18. De afname van de doorlatendheid van een mengsel van zand met vliegas door een toenemend gewichtspercentage vliegas

- Boorgruis

Als laatste is in een kolom de doorlatendheid van boorgruis bepaald. Dit materiaal is een afvalproduct van de NAM (Nederlandse Aardolie

Maatschappij)). In boorgruis zit naast veel zand en steentjes ook bentoniet. Het materiaal bevat tevens veel zout. Boorgruis wordt tot nu toe nog gestort. Gezien de relatief hoge doorlatendheid van circa 100 mm/etm. lijkt gebruik in een waterkerende laag niet zinvol.

4.3. B e p a l i n g v a n d e d o o r l a a t f a c t o r i n l y s i m e t e r s

Bepaling van de doorlatendheid van materialen in lysimeters is vooral bij zeer slecht doorlatende materialen betrouwbaarder dan in kolommen. Dit komt door het veel grotere oppervlak van lysimeters, waardoor het te meten debiet groter is. De lysimeters op de proefboerderij de Sinderhoeve in Renkum hebben een oppervlak van 16 680 cm². Dit betekent dat de te meten hoeveelheid water bij een doorlatendheid van bijvoorbeeld 0,01 mm/etm. toch nog 16,6 cm³/etm. bedraagt. Dit is nauwkeurig te meten. Net als bij de kolomproeven wordt de doorlatendheid uitgerekend met de formules

$$v = k \cdot i$$

en

$$q = vA$$

In de lysimeters is de waarde van de gradiënt bepaald met behulp van tensiometers. De kupjes zijn boven en onder de slecht doorlatende laag geplaatst. Door het potentiaalverschil onder en boven de laag te delen door de dikte van de laag wordt de gradiënt i verkregen. Het debiet q wordt gemeten, A is bekend en de doorlaatfactor k is dan te berekenen. Fig. 19 toont een lysimeter.

- Mengsel zand met bentoniet

Wat in de kleine kolommen niet lukte verliep in de lysimeters goed. De gekozen mengverhouding is gebaseerd op normen zoals die enerzijds staan vermeld in de door de leverancier geleverde brochure (16 gewichtsprocenten bentoniet) en anderszijds in het interimrapport van de Heidemij (Heidemij, 1981), 'Bodemafdichting met in de natuur voorkomende materialen (12 gewichtsprocenten bentoniet). De gebruikte



Fig. 19. Opname van een lysimeterbak op de proefboerderij Sinderhoeve waarin doorlatendheidsproeven plaatsvonden.

bentoniet is afkomstig van de 'American Colloid Company' en wordt verkocht onder de naam SLS71.

De bentoniet is gemengd door de bovenste 5 cm van een laag grof humeus zand (fig. 19). Na menging vond verdichting plaats. De resultaten waren bevredigend. In het geval van 12 gewichtsprocenten bentoniet varieerde de doorlatendheid van 0,2 mm/etm. tot 0,03 mm/etm. Ofwel van $2,3 \times 10^{-9}$ m/sec. tot $3,47 \times 10^{-10}$ m/sec. De doorlatendheid behorende bij een mengsel met 16 gewichtsprocenten varieerde van 0,2 mm/etm. tot 0,01 mm/etm, dat is $2,3 \times 10^{-9}$ m/sec. tot $1,15 \times 10^{-10}$ m/sec. In fig. 20 is de doorlatendheid van de beide mengsels uitgezet tegen de tijd.

In de figuur is te zien dat de doorlatendheid van beide mengsels afneemt in de tijd, waarbij bedacht moet worden dat het tijdsbestek relatief kort is.

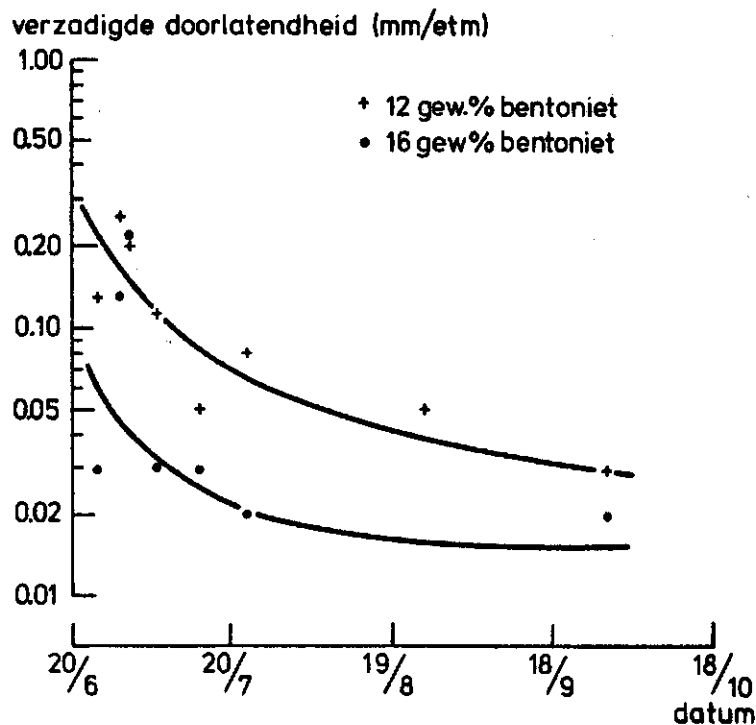


Fig. 20. Het verloop van de doorlatendheid van twee mengsels bestaande uit zand met bentoniet (12 en 16 gewichtsprocenten bentoniet) in de tijd

De hier bepaalde k -waarde is gelijk aan de filtersnelheid voor het geval dat de gradiënt 1 is (zie vergelijking (1)). Daar de gradiënt tijdens de proeven in de lysimeters is bepaald met behulp van vochtspanningsmetingen kwam duidelijk naar voren hoe groot het vochtspanningsverschil onder en boven de laag kan zijn. In het geval met bentoniet bleek het verschil circa 50 cm te zijn over een laagdikte van 5 cm. Dat wil zeggen dat de gradiënt in de orde van 10 komt te liggen. De hoeveelheid water die werkelijk door de laag heen gaat wordt dan de berekende k -waarde vermenigvuldigd met deze gradiënt ($q = k \cdot i \cdot A$). Als de k -waarde 0,01 mm/etm bedraagt, zal er in werkelijkheid 0,1 mm/etm. doorgaan. Dat wil zeggen dat er gedurende het winterhalfjaar circa 18 mm in het afval percoleert.

- Mengsel vliegas met bentoniet

Om een slecht doorlatend materiaal te verkrijgen is een mengsel van vliegas met bentoniet gemaakt. In kolomproeven liet het zich aanzien dat een zeer lage doorlatendheid verkregen zou kunnen worden. In de lysimeter verliep het anders. Zowel vliegas als bentoniet zijn in droge toestand poedervormige materialen. Wanneer het mengsel in een klein kolommetje zit kan het poeder makkelijk verdicht worden door de cilinder van geringe hoogte enige malen op de tafel te laten vallen. In de lysimeter bleek het niet mogelijk direct een goede verdichting van het droge materiaal te bewerkstelligen. Bevochtigen en daarna verdichten ging niet omdat door de bentoniet slechts de bovenste 1 à 2 cm nat wordt. Deze blijft dan aan het verdichtingsapparaat plakken. Tijdens het aanbrengen van grind en een laag water van 10 cm ontstonden als het ware trechters in het materiaal, waardoor het water snel werd afgevoerd. Hierdoor kon geen reële meting worden verricht. Wanneer het verdichtingsprobleem kan worden opgelost moet het mengsel, mede gezien de hoopvolle resultaten in de kolomproeven goed kunnen voldoen als slecht doorlatende laag.

- Mengsel vliegas met cement

Hiervoor geldt in feite hetzelfde als voor vliegas met bentoniet: Ook hier bleek een reële meting niet mogelijk.

Bij een menging met 16 gewichtsprocenten cement ontstond op den duur een starre plaat die makkelijk kan breken. Gezien de grote oppervlakte op een stort en de kans op onregelmatige zakking, lijkt dit mengsel niet geschikt.

- Boorgruis

Om zeker te zijn dat de uitkomsten van de kolomproeven juist waren (100 mm/etm.) is de doorlatendheid van boorgruis ook in de lysimeter bepaald. In de lysimeter bleek het boorgruis een doorlatendheid van 2000 mm/etm. te hebben. Het grote verschil wordt mede veroorzaakt door verschil in verdichting.

- Leem

De gebruikte leem was dezelfde als die in de lysimeter in Wijster is aangebracht. De leem was hier eerst vergraven, toen onder droge omstandigheden aangebracht en verdicht.

Om na te gaan in welke mate een verpeste structuur invloed heeft op de doorlatendheid is in twee lysimeters 25 cm leem aangebracht. In de ene lysimeter is de leem onder zeer natte omstandigheden verdicht, in de andere is dit onder droge omstandigheden gebeurd. Er blijkt een aanzienlijk verschil te zijn in de doorlatendheid van nat en droog verdichte leem. De nat verdichte leem liet 0,5 - 2,0 mm/etm. door, de droog verdichte 10 mm/etm. Gedurende de meetperiode viel een toename in de doorlatendheid te constateren. Dit in tegenstelling tot de bentoniet mengsels.

4.4. Conclusies

De belangrijkste conclusies die uit het onderzoek naar alternatieve afdekmaterialen volgen, kunnen als volgt worden samengevat (tabel 3):

Tabel 3. Doorlaatfactoren van de diverse geteste materialen

Kolom experimenten		Lysimeter experimenten	
Materiaal	k-waarde (mm/etm.)	Materiaal	k-waarde (mm/etm.)
zand/bentoniet	*	zand/bentoniet (12 gew. %)	0,2 - 0,03
vlieggas/bentoniet (10 gew.%)	1,2	zand/bentoniet (16 gew.%)	0,2 - 0,01
zand/vlieggas	40,0	vlieggas/bentoniet (12 gew.%)	**
		vlieggas/cement (16 gew.%)	**
boorgruis	100,0	boorgruis	2000
		leem (droog ver- dicht)	7,0 - 10,0
		leem (nat ver- dicht)	0,5 - 2,0

*niet meetbaar debiet

**door verdichtingsproblemen geen reële waarden meetbaar

Van de onderzochte alternatieven blijven uiteindelijk twee mengsels over die in aanmerking komen om op grote schaal te worden uitgetest: zand/bentoniet en vliegias/bentoniet.

Tot nu toe is steeds uitgegaan van een laagdikte van beide mengsels van 5 cm. Gezien de grote invloed van de gradiënt op de doorlatendheid van zeer slecht doorlatende materialen lijkt het beter uit te gaan van een laagdikte van 10 cm. Bij gelijkblijvend potentiaal verschil zal de gradiënt hierdoor worden gehalveerd en daarmee ook de werkelijk doorgelaten hoeveelheid water.

5. DISCUSSIE EN CONCLUSIES

Om de mogelijkheden van infiltratie van regenwater in een afvalstort te verminderen zijn diverse experimenten verricht.

De experimenten werden ten dele op het laboratorium verricht en voor een deel in het veld. In het laboratorium werd de afvoer over en door een laag grond bestudeerd met behulp van een bak van circa $0,6 \text{ m}^2$ waarin een 25 cm dikke laag grond was aangebracht op een laag grind van circa 5 cm.

Om het afvoerproces op praktijkschaal te kunnen bestuderen is op het terrein van de VAM in Wijster een 'Lysimeterbak' gebouwd, met een oppervlak van 490 m^2 . In de lysimeterbak is een afdeklaag met daarin een slecht doorlatende leemlaag aangebracht. Naast beide genoemde experimenten zijn nog diverse materialen onderzocht op hun bruikbaarheid als slecht doorlatende laag. Dit vond plaats in kolommen en lysimeters.

Om de mogelijke infiltratie in een stort te verminderen is in eerste instantie gedacht aan het bevorderen van de afvoer over het oppervlak. Dit kan op verschillende wijzen. Op een toplaag met een zeer geringe infiltratiecapaciteit van bijvoorbeeld 2 mm/uur zal het grootste deel van de neerslag met een intensiteit groter dan 2 mm/uur over het oppervlak worden afgevoerd. Op een goed geëgaliseerde helling zal het water snel over het oppervlak wegstromen. Een andere manier om de oppervlakteafvoer te bevorderen is ervoor te zorgen dat het geïnfiltreerde water niet weg kan. Dit is bijvoorbeeld

het geval bij een slechtdoorlatende laag onder een teelaarde laag, het water kan tot in het maaiveld stijgen waarna oppervlakteafvoer optreedt. Het direct bevorderen van de afvoer over het oppervlak lijkt echter niet gunstig. De kans dat op den duur erosie optreedt is groot. Tevens biedt een laag met een zeer geringe infiltratiecapaciteit slechte bewortelingsmogelijkheden en zal er op den duur structuurverbetering optreden, dan zal daarmee de doorlatendheid toenemen. Om genoemde nadelen te voorkomen, dan wel te beperken kan een waterkerende laag afgedekt worden met een teelaarde laag. Om te voorkomen dat het water tot in het maaiveld zal stijgen moet er op de waterkerende laag een drainagesysteem worden aangebracht.

Als een waterkerende laag direct op het afval wordt aangebracht, is de kans op lekkage groot, dit onder meer vanwege een onregelmatige ondergrond en uitstekende delen. Om lekkage te voorkomen dient het vuil eerst afgedekt te worden met een laag zand (circa 25 cm).

Om op praktijkschaal het afvoerproces van een zodanig opgebouwde afdeklaag te kunnen bestuderen is op het terrein van de VAM in Wijster een afdeklaag met leem in een lysimeter van 490 m^2 aangebracht.

De leemlaag bleek gedurende het winterhalfjaar $1,5 \text{ à } 2 \text{ mm/etm.}$ door te laten. Door de grote bergingscapaciteit van de teelaarde er boven werd continu water aan leem toegevoerd. De leemlaag bleef tot eind mei water afvoeren, hoewel er in mei weinig neerslag viel. Op deze wijze kan praktisch het hele neerslagoverschot worden afgevoerd.

Het is zeer moeilijk natuurlijke materialen te vinden die minder water doorlaten dan leem. In kolommen zijn daarom diverse alternatieve materialen getest. Voor gebruik als slecht doorlatende laag zijn feitelijk maar 2 mengsels mogelijk geschikt:

Een mengsel van zand met 16 gewichtsprocenten bentoniet en, als het probleem van verdichten opgelost is, het mengsel vliegas met bentoniet.

Tevens bleek dat hoe slechter de doorlatendheid is, hoe groter het vochtspanningsverschil onder en boven de laag is. Hierdoor ontstaat vooral bij een dunne laag een grote gradiënt, wat inhoudt, dat de hoeveelheid water die werkelijk wordt doorgelaten, afhankelijk van de gradiënt, enige malen groter is dan de k-waarde.

Het mengsel zand met bentoniet is getest in een lysimeterbak van $1,67 \text{ m}^2$. De resultaten zijn goed. Het is echter wel aan te bevelen om een dergelijk mengsel nog eens op grote schaal te testen om te kunnen onderzoeken hoe het mengen op grote schaal verloopt en of er eventueel scheuren in de laag ontstaan.

LITERATUUR

AGELINK, G.J. en J. HOEKS, 1980. Onderzoek naar mogelijkheden om de infiltratie van regenwater in een afvalstort te verminderen

1. Literatuuronderzoek. Nota ICW 1175, Wageningen

_____ 1981. Onderzoek naar mogelijkheden om de infiltratie van regenwater in een afvalstort te verminderen

2. Opzet van experimenten. Nota ICW 1246, Wageningen

BOELS, D., 1980. Persoonlijke mededeling

HEIDEMIJ ADVIESBUREAU ARNHEM, 1981. Bodem afdichting met in de natuur voorkomende materialen. Concept-rapport

RIJTEMA, P.E., 1969. Soil moisture forecasting. Nota ICW 513, Wageningen