

ALTERRA
Wageningen Universiteit & Research centre
Omgevingswetenschappen
Centrum Water & Klimaat
Team Integraal Waterbeheer

ONDERZOEK NAAR DE PRAKTISCHE UITVOERBAARHEID VAN BOVENAFDICHTING
OP AFVALSTORTTERREINEN

Deelrapport 3

EXPERIMENTELE RESULTATEN VAN HET
HYDROLOGISCH ONDERZOEK OP DE PROEFVELDEN

A.H. Ryhiner, J. Hoeks en
A.H.M. van Heesen

INSTITUUT VOOR CULTUURTECHNIEK EN WATERHUISHOUDING (ICW)

Wageningen, juni 1985

I N H O U D

	Blz.
VOORWOORD	
1. INLEIDING	1
2. PROEFOPZET EN MEETPROGRAMMA	2
2.1. Inrichting van de proefvelden	2
2.2. Meting van enkele waterbalanstermen	4
2.3. Grondwaterstanden en vochtspanningen	5
2.4. Overige metingen	7
3. FYSISCH EIGENSCHAPPEN VAN DE AFDEKGROND	8
4. NEERSLAG EN VERDAMPING	11
4.1. Neerslag	11
4.2. Verdamping	15
5. OPPERVLAKE -AFVOER EN DRAINAFVOER	17
5.1. Storingen in de afvoermetingen	17
5.2. Oppervlakte-afvoer	17
5.3. Drainafvoer	19
6. METINGEN IN DE AFDEKLAAG	27
6.1. Berging van water in de afdeklaag	27
6.2. Grondwaterstand	29
6.3. Bodemtemperatuur	31
6.4. Lekkage van stortgas	34
6.5. Zettingen	38
7. WATERBALANSEN VAN DE PROEFVELDEN	39
8. CONCLUSIES	44
LITERATUUR	46
BIJLAGEN	

ALTERRA

Wageningen Universiteit & Research centr
Omgevingswetenschappen
Centrum Water & Klimaat
Team Integraal Waterbeheer

VOORWOORD

Het hier beschreven onderzoek naar de praktische uitvoerbaarheid van bovenafdichting van stortplaatsen sluit aan bij het eerder uitgevoerde onderzoeksproject 'Vermindering van de infiltratie van regenwater in afvalstortterreinen', waarvan het eindrapport is verschenen in de Bodembeschermingsreeks van het Ministerie voor Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (HOEKS en AGELINK, 1982).

Het onderzoek wordt uitgevoerd door het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding (ICW) in samenwerking met de Vuil Afvoer Maatschappij (VAM) en wordt grotendeels gefinancierd door het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (VROM).

Het project wordt begeleid door een door het Ministerie ingestelde begeleidingscommissie waarin de volgende personen zitting hebben.

- | | |
|---------------------------------------|--|
| - dr. mr. D.A. Zeilmaker | Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Hoofdafdeling Bodem |
| - drs. J.P.N. Smit | Idem, Directie Afvalstoffen en Schone Technologie |
| - ir. K. Strijbis | Heidemij Adviesbureau, Arnhem |
| - ir. D. Beker | Rijks Instituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne (RIVM) |
| - dr. ir. P.E. Rijtema | Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Hoofdafdeling Waterkwaliteit |
| - dr. ir. J. Hoeks (projectleider) | Idem |
| - A.H. Ryhiner | Idem |
| - prof. ir. D.A. Kraijenhof v.d. Leur | Landbouwhogeschool, Vakgroep Hydraulica en Afvoerhydrologie |
| - ir. L. Eppink | Landbouwhogeschool, Vakgroep Cultuurtechniek |
| - J. Oosthoek | Vuil Afvoer Maatschappij (VAM) |
| - J.A. van Dommelen | Idem |
| - ir. J. Stellema | Regionale Inspectie Milieuhygiëne voor de provincies Groningen, Friesland en Drenthe |

De rapportage over het onderzoek vindt plaats in de vorm van een aantal deelrapporten en een eindrapport. Dit rapport is het derde deelrapport in deze reeks.

ALTERRA
Wageningen Universiteit & Research centre
Omgevingswetenschappen
Centrum Water & Klimaat
Team Integraal Waterbeheer

1. INLEIDING

In november 1982 zijn drie proefvelden aangelegd op de oostelijke helling van het afvalstort bij het VAM-bedrijf in Wijster. Deze proefvelden zijn ingericht om het effect van afdichtingslagen op de infiltratie van regenwater in het afvalstort te onderzoeken. De praktische ervaringen opgedaan met de aanleg van de proefvelden, in het bijzonder de constructie van dergelijke afdichtingslagen, is beschreven in Deelrapport 1 (VAN DOMMELEN e.a., 1983). De elders beschikbare kennis en ervaring, mede ontleend aan literatuuronderzoek, is vastgelegd in Deelrapport 2 (HOEKS en RYHINER, 1985).

De afdichtingslagen op de drie proefvelden bestaan uit de volgende materialen:

- proefveld 1: bitumen-membraan (Hypofors)
- proefveld 2: 10 cm zand/bentoniet mengsel (mengverhouding 100:10)
- proefveld 3: 20 cm zand/bentoniet mengsel (mengverhouding 100:7,5)

Op de afdichtingslagen is een laag afdekgrond ter dikte van ca. 100 cm (na zetting 80-90 cm) aangebracht met daarin een drainagesysteem vlak boven de afdichtingslaag. Onderaan de helling (helling 1:3) is een goot geconstrueerd voor de opvang van over het oppervlak afstromend regenwater. Voor uitvoerige informatie omtrent aanleg en inrichting van de proefvelden wordt verwezen naar het eerder genoemde Deelrapport 1 (VAN DOMMELEN e.a., 1983).

De metingen, welke zijn verricht in de periode november 1982 tot mei 1985, hadden tot doel om aan de hand van waterbalansen uitspraken te doen omtrent de waterdichtheid van de gebruikte afdichtingsmaterialen en eventuele veranderingen in waterdichtheid onder invloed van onregelmatige zetting van het onderliggende afval.

Voor het onderzoek naar de waterdichtheid van de aangebracht afdichtingslagen is uitgegaan van de volgende waterbalansvergelijking (in mm's):

$$N = E_{\text{act}} + A_{\text{drain}} + A_{\text{opp}} + A_{\text{lek}} + \Delta B \quad (1)$$

waarin: N = neerslag
 E_{act} = werkelijke verdamping
 A_{drain} = afvoer via het drainagesysteem
 A_{opp} = afvoer over het grondoppervlak
 A_{lek} = lekkage door de afdichtingslaag
 ΔB = wijziging van de vochtvoorraad in de afdeklaag

In het kader van dit waterbalansonderzoek zijn in de periode november 1982 tot mei 1985 enkele waterbalans termen direct gemeten, zoals de neerslag en de afvoer via het drainagesysteem en het bodemoppervlak. De verdamping is berekend aan de hand van bekende relaties met de open waterverdamping, terwijl de berging ten dele kan worden afgeleid uit vochtspanningsmetingen en grondwaterstandsmetingen maar bovendien verwaarloosbaar klein wordt als de beschouwde periode gunstig wordt gekozen. De lekkage door de afdichtingslaag is niet direct gemeten en moet dus als respoost uit deze balans worden berekend.

Bij onderlinge vergelijking van de drie proefvelden kan uiteraard direct een vergelijking worden gemaakt tussen de gemeten afvoeren, aan nemende dat de verdamping en de berging onderling niet veel verschillen. Dit laatste is alleen waar als de opgebrachte afdekgrond redelijk homogeen is. In Deelrapport 1 is echter reeds beschreven dat de eigenschappen van de afdekgrond nogal verschillen per veld. De vergelijking van afvoeren moet daarom met de nodige voorzichtigheid gebeuren.

De resultaten van het waterbalansonderzoek en de meetgegevens met betrekking tot afvoeren, grondwaterstanden, bodemtemperaturen en gaslekkage zijn beschreven in dit rapport.

2. PROEFOPZET EN MEETPROGRAMMA

2.1. Inrichting van de proefvelden

De aanleg en inrichting van de proefvelden is uitvoerig beschreven in het eerste deelrapport (VAN DOMMELEN e.a., 1983). Hier wordt volstaan met een korte samenvatting van de belangrijkste gegevens.

De proefvelden zijn aangelegd op een helling op de OZO-flank van het afvalstort van de VAM in Wijster. Bij aanleg bedroeg het stijgings-

percentage van de helling 33% (1:3), later is door zetting van het afval dit percentage afgenomen tot minder dan 30%. De proefvelden, elk ter grootte van $30 \times 60 \text{ m}^2$, zijn ingezaaid met gras en onderling van elkaar gescheiden met scheidingswanden bestaande uit (niet-waterdichte) eternit-platen. De drains liggen juist boven de afdichtingslaag, evenwijdig aan de hoogtelijnen en op onderlinge afstanden van 15 meter. Langs de scheidingswand monden deze drains uit in een verzamel drain, die het water afvoert naar een meetput beneden aan de helling. De oppervlakte-afvoer wordt opgevangen in een goot onder langs de helling en wordt eveneens afgevoerd naar de meetput.

Op de drie proefvelden zijn verschillende materialen gebruikt voor de constructie van de afdichtingslaag. De belangrijkste gegevens kunnen als volgt worden samengevat:

Proefveld 1:

- afdichtingslaag van 4 mm dik bitumen-membraan (merk Hypofors);
- banen ter breedte van 5 meter zijn in het veld aan elkaar gelast met hete bitumen (overlap 50 cm);
- bitumen-membraan is 50 cm opgezet tegen de scheidingswanden.

Proefveld 2:

- afdichtingslaag bestaande uit mengsel van zand en Wyoming bentoniet (leverancier CEBO-Holland);
- mengverhouding zand: bentoniet = 100:10, gemengd in een asfaltmenginstallatie;
- laagdikte ca. 10 cm, na verdichting tot ca. 1800 kg.m^{-3} met brede rupsbanden;
- afdichtingslaag ligt vlak tegen de scheidingswanden;
- geen bijzondere maatregelen getroffen om scheidingswand waterdicht te maken.

Proefveld 3:

- afdichtingslaag bestaande uit mengsel van zand en Wyoming bentoniet;
- mengverhouding zand: bentoniet = 100:7,5;
- laagdikte na verdichting ca. 20 cm;
- overige gegevens: zie proefveld 2.

Op de afdichtingslaag is vervolgens een laag van ca. 100 cm afdekgrond aangebracht. Deze afdekgrond bestaat uit zwarte teelaarde met een hoog humusgehalte (5-25%).

2.2. Meting van enkele waterbalanstermen

De neerslag is continue geregistreerd met behulp van twee pluviografen RI en RII, respectievelijk onder aan en boven op de helling, met een opvangopening op 1,50 meter boven maaiveld. Na registratie wordt de neerslag opgevangen in een voorraadvat, zodat aan het eind van de maand (later wekelijks) de totale hoeveelheid neerslag kon worden gemeten en vergeleken met de geregistreerde hoeveelheden.

De drainafvoer en oppervlakte-afvoer zijn per proefveld gemeten met behulp van kantelbakken, die in een meetput bijeen zijn gebracht (zie ook fig. 4 in Deelrapport 1). De kantelbak bestaat uit twee compartimenten, elk met een inhoud van ca. 1 liter, die gezamenlijk om een horizontale as draaien (fig. 1). Het aantal kantelingen wordt geregistreerd door een mechanisch telwerk.

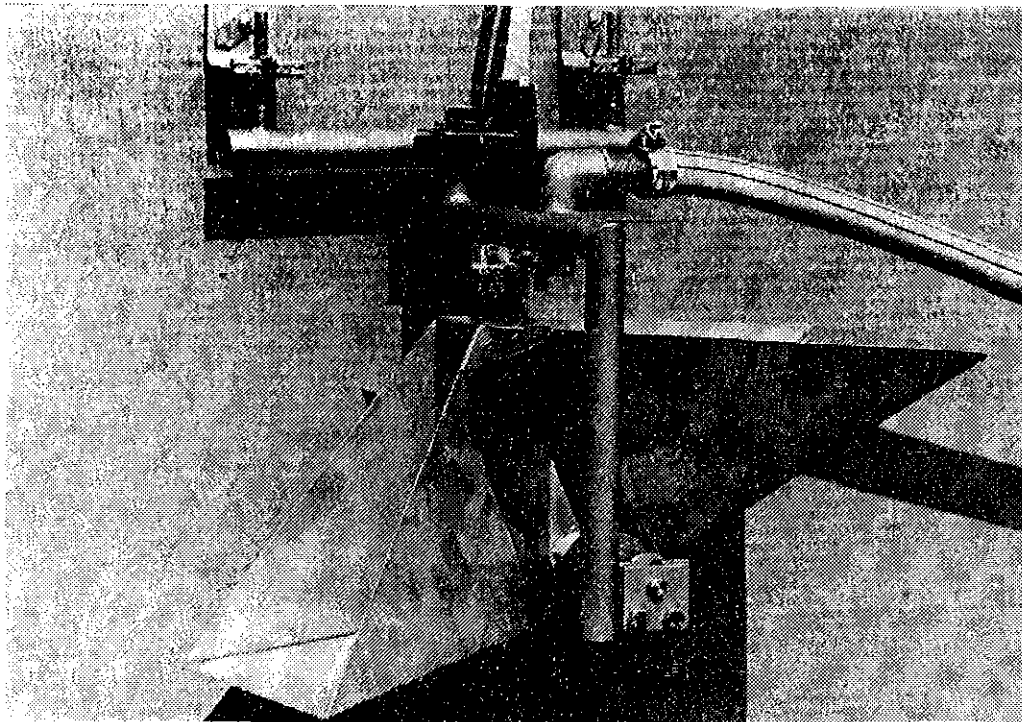


Fig. 1. Kantelbak voor meting van drain- en oppervlakte-afvoeren
(foto RIVM, Bilthoven)

De afvoeren zijn meestal wekelijks gemeten door de standen van de tellers op te nemen. Daarmee is de cumulatieve afvoer dus van week tot week bekend. Gelijktijdig werden ook de afvoersnelheden gemeten door gedurende 1 à 3 minuten het aantal kantelingen op te nemen.

2.3. Grondwaterstanden en vochtspanningen

De grondwaterstand is wekelijks gemeten in een groot aantal grondwaterstandsbuizen op de helling van de proefvelden. Daartoe zijn op elk proefveld 12 grondwaterstandsbuizen aangebracht, waarbij het filter zich juist boven de afsluitende laag bevindt. De posities van de peilbuizen ten opzichte van de drains zijn weergegeven in fig. 2. De corresponderende maaiveldhoogten, opgenomen op 3 februari 1983, zijn vermeld in meters ten opzichte van NAP.

De vochtspanning in de afdekgrond is gemeten met behulp van ingegraven tensiometercups. Op elk proefveld zijn op drie plaatsen vochtspanningsmetingen verricht, namelijk onder, midden en boven op de helling. De exacte locaties zijn gegeven in Deelrapport 1 (VAN DOMMELEN e.a., 1983). Er is steeds op vier diepten gemeten, namelijk 25, 50, 75 en ca. 90 cm beneden maaiveld, waarbij de laatste zich juist boven de afsluitende laag bevindt.

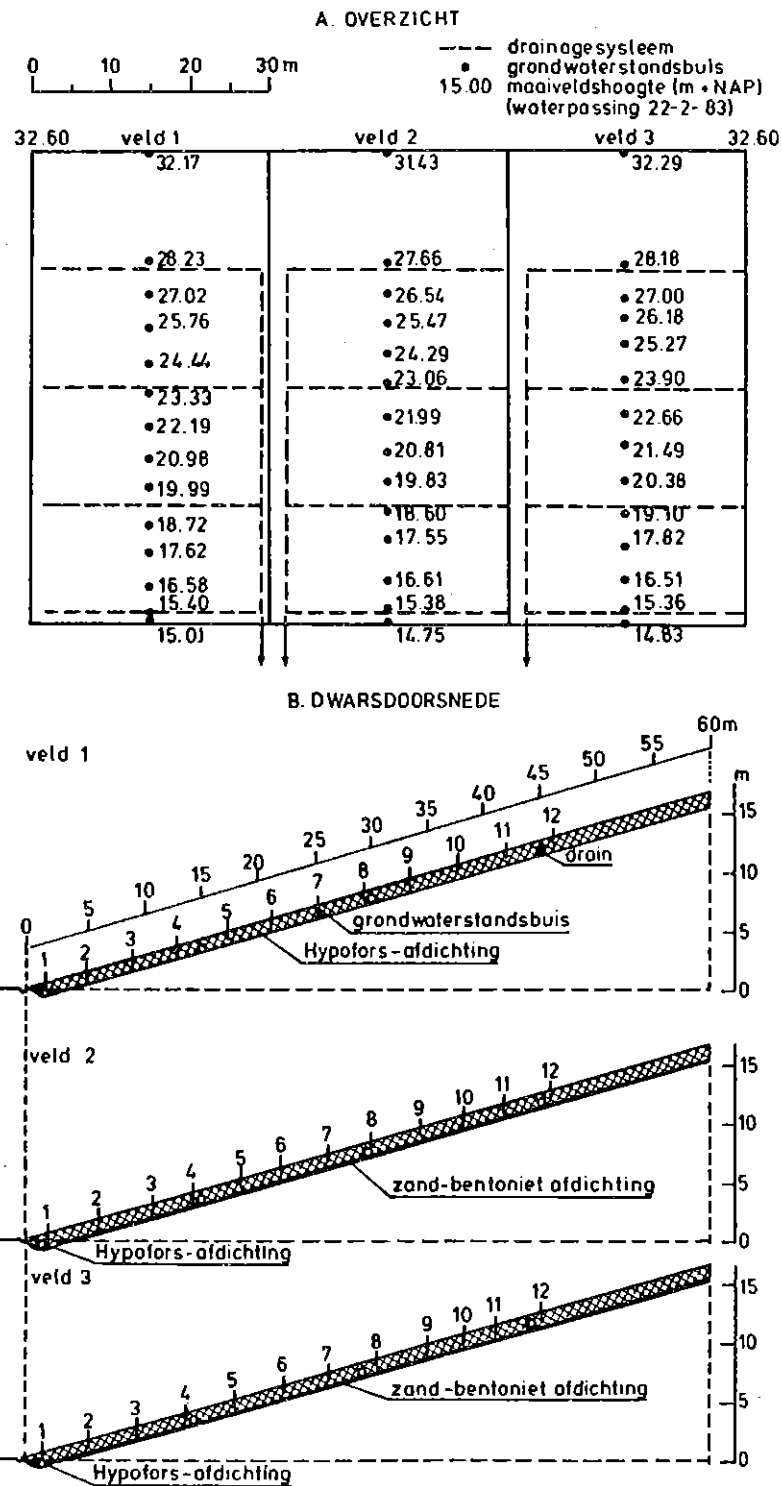


Fig. 2. Positie van de grondwaterstandsbuizen ten opzichte van de drains in de drie proefvelden. (A. Overzicht met waterpasgegevens; B. Dwarsdoorsnede)

2.4. Overige metingen

Meer of minder regelmatig zijn nog een aantal metingen verricht om aanvullende informatie te verkrijgen omtrent fysische eigenschappen van de afdekgrond, zettingen, temperaturen in de afdeklaag, en lekkage van stortgas door de afdichtingslaag.

De fysische eigenschappen van de afdekgrond zijn bepaald door op meerdere plaatsen per proefveld grondmonsters te nemen, die op het Bedrijfslaboratorium te Oosterbeek zijn onderzocht met betrekking tot granulair samenstelling, organische stofgehalte, kalkgehalte en pH.

De vochtkarakteristiek (pF-curve) is vastgesteld aan de hand van ringmonsters (inhoud 100 cm^3). De hogere pF-waarden (3,4 en 4,2) werden bepaald aan losse, gestoorde grondmonsters. De ringmonsters zijn tevens gebruikt voor de bepaling van het droog volumegewicht van de grond. De verzadigde doorlatendheid is eveneens bepaald aan ringmonsters met een inhoud van 100 cm^3 .

De zetting, in hoofdzaak het gevolg van zetting van het onderliggende afval, is enkele malen vastgesteld aan de hand van waterpassingen. Daarbij werd de maaiveldhoogte gemeten ter plaatse van de grondwaterstandsbuizen en bij de hoekpunten van de drie proefvelden.

De temperatuur van de afdeklaag is aanvankelijk alleen op proefveld 3 gemeten, onder en boven aan de helling. Daartoe zijn per meetlocatie vier temperatuurvoelers ingegraven op 25, 50, 75 en ca. 90 cm beneden maaiveld. De bedrijfszekerheid van de temperatuurvoelers liet voor een groot deel van 1983 te wensen over, omdat de snoeren van de voelers regelmatig, waarschijnlijk door konijnen, werden stukgebeten. Eind november 1983 werden de beschadigde voelers vervangen en de boven de grond uitstekende snoeren beveiligd door ze in een ingegraven pvc-buis, voorzien van deksel, op te bergen.

In de loop van 1984 werden de temperatuurvoelers onder op de helling van proefveld 3 verwijderd en verplaatst naar proefveld 1 boven aan de helling. Wegens gaslekkage en de daarmee gepaard gaande hoge temperaturen in de grond zijn de voelers later nogmaals verplaatst naar een locatie lager op de helling van proefveld 1.

Lekkage van stortgas door de afdichtingslaag is mogelijk op plaatsen waar lekken in de afdichtingslaag zijn ontstaan. Deze gaslekken zal vooral optreden onder drogere omstandigheden in het groeiseizoen en kan dan oorzaak zijn van het afsterven van de vegetatie. Daarom is

de schade aan de grasvegetatie nauwlettend vervolgd en in kaart gebracht.

Het opsporen van gaslekkage is tevens gebeurd door meting van het methaangehalte met behulp van een gaslekzoekmeter (verbrandingsprincipe) en meting van het zuurstofgehalte met behulp van een zuurstofdetectiemeter. Bij gaslekkage, ook bij kleine lekken zal het zuurstofgehalte in de afdeklaag sterk dalen vooral als gevolg van oxydatie van methaan door methaan-oxyderende bacteriën (HOEKS, 1972).

3. FYSISCH EIGENSCHAPPEN VAN DE AFDEKGROND

De granulaire samenstelling van de afdekgrond is per monster gegeven in Bijlage 1. Daaruit blijkt dat er belangrijke verschillen bestaan tussen de proefvelden, terwijl met name op proefveld 1 ook verschillen bestaan tussen de afdekgrond onder en boven op de helling en tussen de bovenlaag (0-50 cm) en de onderlaag (50-100 cm). Deze verschillen in samenstelling en de daarmee samenhangende gevoeligheid voor erosie is ook beschreven in Deelrapport 1 (VAN DOMMELEN e.a., 1983).

In verband met de op te stellen waterbalansen zijn de gegevens per proefveld gemiddeld en samengevat in tabel 1.

Tabel 1. Fysische eigenschappen van de afdekgrond op de drie proefvelden (naar gegevens van Bedrijfslaboratorium voor Grond- en gewasonderzoek, Oosterbeek)

Omschrijving	Veld 1	Veld 2	Veld 3
pH-H ₂ O	6,4	6,6	6,2
pH-KCl	5,7	5,6	5,5
in % van stoofdroge grond:			
. organische stof	11,6	11,5	25,1
. CaCO ₃	0,1	0,1	0,3
. afslibbaar 0- 16 µm	7,7	4,7	8,2
. totaal zand 16-2000 µm	80,7	83,7	66,4
in % van minerale fractie:			
. 0- 2 µm	6,0	3,9	7,1
. 2- 16 µm	2,9	1,5	4,2
. 16- 50 µm	11,7	7,6	10,7
. 50-420 µm	75,3	82,9	71,6
. >420 µm	4,4	4,1	6,4
M-cijfer (µm)	128	145	140

De afdekgrond op proefveld 3 is redelijk homogeen en heeft een moerig tot venig karakter (25% organische stof). Deze grond is ook aanwezig op proefveld 1 op een diepte van meer dan 50 cm beneden maaiveld. Hoger op de helling ligt deze grond ook aan het maaiveld. Lager op de helling van proefveld 1 bestaat de bovenlaag (0-50 cm) uit humeus zand met een organische stofgehalte van ca. 5%. De afdekgrond op veld 2 heeft een organische stofgehalte in de orde van 10-13%, bovendien is de minerale fractie iets minder leem- en lutumhoudend dan op de velden 1 en 3.

De verschillen in grondsoort kwamen ook duidelijk naar voren bij de bepaling van de vochtkarakteristiek van de afdekgrond. De pF-curven (relatie tussen vochtgehalte en vochtspanning) verschillen aanzienlijk voor de verschillende grondmonsters (zie bijlage 2). Deze verschillen hangen sterk samen met het organische stofgehalte en de dichtheid van de grond. De monsters zijn genomen op 30 juni 1983. Gezien de hoge grondwaterstanden in de voorafgaande winterperiode mag worden aangenomen dat de zetting van de afdeklaag op dat moment nog betrekkelijk gering was. Na uitdroging van de grond is de afdeklaag, die oorspronkelijk ca. 100 cm dik was, door zetting ingeklonken tot een laagdikte van 80 à 90 cm. Dit zal een grote invloed hebben op de pF-curve, met name op de vochtgehalten bij lage pF-waarden omdat het totaal poriënvolume afneemt. In tabel 2 zijn de gegevens per proefveld gemiddeld en is bovendien een schatting gegeven van de waarden na zetting tot een laagdikte van 85 cm. Met name op veld 3 mag worden verwacht dat door oxydatie van organische stof op langere termijn een voortgaande zetting plaats vind. Uiteindelijk zullen de pF-curven van de drie proefvelden daardoor dichterbij elkaar komen te liggen.

Tabel 2. Vochtkarakteristieken van de afdekgrond op de drie proefvelden (veld 1 en 2: gemiddelde van 6 monsters; veld 3: gemiddelde van 5 monsters)

Omschrijving	Situatie 30-6-83			Na zetting		
	veld 1	veld 2	veld 3	veld 1	veld 2	veld 3
droog volumegegewicht (g.cm ⁻³)	0,86	1,09	0,58	1,01	1,28	0,68
dichtheid vaste fase (g.cm ⁻³)	2,51	2,51	2,34	2,51	2,51	2,34
poriënvolume (vol. %)	66	57	75	60	51	71
vochtgehalte bij pF 0,5 (vol. %)	64	56	74	58	50	70
idem pF 1,5 (vol. %)	62	52	72	56	47	68
idem pF 2,0 (vol. %)	56	46	67	51	42	63
idem pF 4,2 (vol. %)	10	21	16	10	21	16

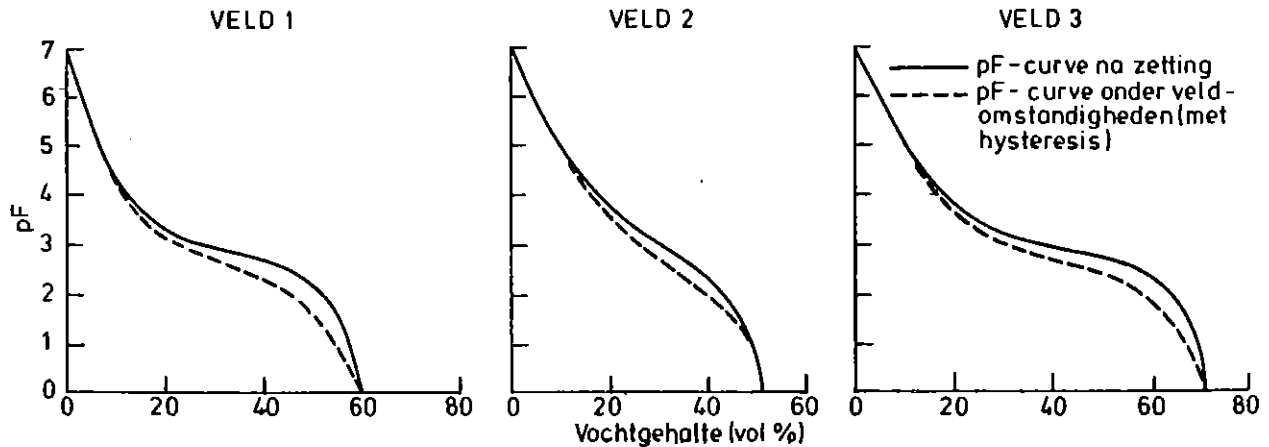


Fig. 3. De vochtkarakteristieken (pF-curven) van de afdekgrond op de drie proefvelden, geschat op grond van meetgegevens en rekening houdend met zetting en hysteresis onder veldomstandigheden (veld 2: voor pF 4,2 vochtgehalte gewijzigd in 15 vol. %)

De pF-curven, zoals weergegeven in fig. 3, zijn bepaald door de monsters eerst te verzadigen en er vervolgens door het aanleggen van onderdruk water aan te onttrekken. Het is algemeen bekend dat op deze manier hogere vochtgehalten worden gevonden bij de verschillende pF-waarden dan wanneer men, van de droge kant komend, het monster bevochtigt. Dit hysteresis-effect wordt veroorzaakt door het zogenaamde 'ink-bottle' effect (hangt samen met de kromming van de watermeniscus in een porie), door insluiting van lucht in zogenaamde 'dead-end pores' en door het hydrofoob karakter van organische stof. Ook zwel- en krimpverschijnselen kunnen een belangrijk effect hebben op de vorm van de pF-curve.

Uit onderzoek van BOHEEMEN en HUMBERT (1984) blijkt dat onder veldomstandigheden vrijwel altijd lagere vochtgehalten worden gevonden dan op grond van de in het laboratorium bepaalde pF-curve verwacht mag worden. Dit verschil schreven zij toe aan hysteresis-effecten tengevolge van herhaald uitdrogen en bevochtigen. Dit betekent dat met name de vochtgehalten bij pF 1,5 en 2,0 onder veldomstandigheden lager uitvallen dan in tabel 2 is vermeld, mogelijk ca. 5 vol. % lager.

De vochtinhoud van de profielen is berekend in afhankelijkheid van de vochttoestand (tabel 3), rekening houdend met zetting en hysteresisverschijnselen.

Tabel 3. Vochtinhoud (in mm's) van de afdeklagen op de drie proefvelden in afhankelijkheid van de vochttoestand (laagdikte na zetting 85 cm)

Omschrijving vochttoestand	Veld 1	Veld 2	Veld 3
verzadiging	510	435	605
veldcapaciteit (pF 2)	380	340	490
verwelkingspunt (pF 4,2)	85	125*	135
beschikbaar vocht (pF 2-4,2)	295	215	355
Beschikbaar voor de plant**	215	160	260

*geschat vochtgehalte 15 vol. % aangezien de waarde in tabel 2 (21 vol. %) onwaarschijnlijk wordt geacht

**aannname: in bovenste 40 cm is alle beschikbaar vocht beschikbaar voor de plant, in onderste 45 cm is slechts de helft beschikbaar voor de plant (afrondding op 5-tallen mm's)

Gezien de spreiding in de laboratorium-resultaten en de niet gemeten hysteresis-effecten moeten de cijfers in tabel 3 worden gezien als globale schattingen, waarbij afwijkingen van 10% niet onmogelijk zijn.

4. NEERSLAG EN VERDAMPING

4.1. Neerslag

De neerslag is gemeten met twee regenmeters respectievelijk onder en boven aan de helling. De regenmeter aan de voet van de helling (RI) geeft de meest betrouwbare resultaten. De metingen bovenop de helling (RII) zijn wegens enorme windeffecten niet betrouwbaar gebleken en blijven daarom buiten beschouwing. De regencijfers van beide pluviografen zijn onderling vergeleken en eveneens met regencijfers van het KNMI-station in Dwingeloo en het Biologisch Station in Drijber (tabel 4). Daaruit blijkt dat de pluviograaf RII boven aan de helling aanmerkelijk minder neerslag registreert dan de pluviograaf RI onder aan de helling. Dit is het gevolg van hoge windsnelheden boven op de helling, die vooral tijdens buien in het winterhalfjaar de metingen ongunstig hebben beïnvloed. Bovendien is regenmeter RII vele keren verstopt geraakt door inwaaiend stof. Tijdens de zomerperiode waren de verschillen tussen beide meters veel geringer.

De regencijfers van pluviograaf RI onder aan de helling blijken redelijk overeen te stemmen met de regencijfers van het dichtstbij gelegen weerstation (Biologisch Station Drijber).

In tabel 5 zijn de waarnemingen met regenmeter RI vergeleken met die van het Biologisch Station in Drijber (dhr. De Vries) en het KNMI-station in Dwingeloo. Uit de hoge correlatiecoëfficiënt blijkt dat de waarnemingen onderling nauw gecorreleerd zijn. Uit deze tabel blijkt verder dat de neerslagmetingen op het proefterrein systematisch 11-15% lager liggen dan de gegevens van de normaal opgestelde regensmeters (opening 0,40 m boven maaiveld) op de nabijgelegen stations. Dit verschil moet enerzijds worden toegeschreven aan de windfout van de hoog opgestelde (1,50 m boven maaiveld) pluviograaf bij het proefveld en anderzijds aan de ongunstige aërodynamische vorm van deze pluviograaf. Zo vonden COLENBRANDER en STOL (1970) voor een dergelijke pluviograaf in de winter een tekort van 8 à 9% ten opzichte van de standaard-regenmeter. In de zomer bedroeg dit tekort slechts 2 à 3%. Volgens BRAAK (1945) en DEKKER (1979) is de windfout als gevolg van het verschil in opvanghoogte (0,40 m tegenover 1,50 m) ongeveer 2,0 à 2,4% voor de winterperiode en 1,2 à 1,4% voor de zomerperiode (gemeten in De Bilt). Overigens vertoont de standaard regenmeter op 0,40 m hoogte nog weer een afwijking van gemiddeld 2 à 8% ten opzichte van een grondregensmeter. De tekorten nemen af wanneer de regenmeter goed beschermt staat opgesteld (DE ZEEUW, 1963). Op een goed beschutte plaats, zoals geldt voor regenmeter RI, bedraagt het totale tekort ten opzichte van de grondmeter ca. 4 à 5%.

Uit de regressie-analyse blijkt dat de standaardafwijking toeneemt met de afstand. Voor het Biologisch Station op een afstand van ca. 1 km van het proefterrein bedraagt de standaardafwijking 7,69 mm en voor Dwingeloo op een afstand van ca. 10 km bedraagt deze 11,23 mm bij een gemiddelde maandsom van 76,18 mm.

De overeenstemming tussen het Biologisch Station in Drijber en het KNMI-station in Dwingeloo is goed, waaruit mag worden geconcludeerd dat de waarnemingen van het Biologisch Station representatief zijn voor het gebied. Daarom zijn voor die perioden, waarin waarnemingen ontbreken als gevolg van het niet goed functioneren van de pluviograaf, de ontbrekende waarden berekend uit de regencijfers van het Biologisch Station te Drijber met de vergelijking $y = 2,29 + 0,89 x$ (x = regencijfer van het Biologisch Station). Hoewel in feite de neer-

Tabel 4. Regencijfers in(mm's) van de twee pluviografen bij de proefvelden, vergeleken met regencijfers van het Biologisch Station Drijber

Periode	Onder aan helling RI	Boven aan helling RII	Biologisch Station Drijber
29/12- 3/2-1983	122,0	96,0	121,9
3/ 2- 1/3	-	-	-
1/ 3-30/3	83,5	27,0	85,3
30/ 3- 4/5	118,8	42,7	119,5
4/ 5- 3/6	123,4	129,4	137,8
3/ 6-28/6	41,5	37,9	49,6
28/ 6- 3/8	27,7	23,3	23,4
3/ 8-31/8	9,4	6,8	8,6
Totaal	526,3	363,1	546,1

Tabel 5. Resultaten van de regressie-analyse volgens de vergelijking $y = a + bx$, voor de relatie tussen de maandsommen van de neerslag gemeten op het proefterrein te Wijster (RI), het Biologisch Station te Drijber en het KNMI-station te Dwingeloo

Station voor neerslagmeting		Coëfficiënten		Standaard- afwijking S_{xy}	Correlatie- coëfficiënt r
y	x	b	a		
Wijster (RI)	B.S. Drijber	$0,89 + 0,13$	2,29	7,69	0,97
Wijster (RI)	Dwingeloo	$0,85 \pm 0,15$	-1,30	11,23	0,97
B.S. Drijber	Dwingeloo	$0,99 + 0,15$	-7,03	9,52	0,97

slaghoeveelheid op een helling lager is (per m^2 oppervlak) dan op een horizontaal vlak en de neerslagcijfers dus enerzijds gecorrigeerd behoren te worden voor de hellingshoek (ca. 5% lager op een 1:3 helling), is deze correctie achterwege gelaten omdat de regencijfers anderzijds met ca. 5% verhoogd zouden moeten worden als gevolg van de 1,50 m hoge opvanghoogte (windeffect: ca. 2-8%).

Een overzicht van de gemeten neerslag, weergegeven als neerslagsom per decade, is gegeven in fig. 4 voor de periode november 1982 tot en met december 1984.

Het jaar 1983 onderscheidt zich door een extreem natte winter- en voorjaarperiode, gevolgd door een droge zomer- en najaarperiode. In de maanden januari tot en met mei 1983 viel 497,7 mm neerslag tegen normaal 278,0 mm (zie fig. 5). Gemiddeld was het jaar 1984 iets nat-
ter dan 1983. De jaarsom van de neerslag was totaal 846,3 mm in 1984 en 838,6 mm in 1983 tegen 822 mm normaal.

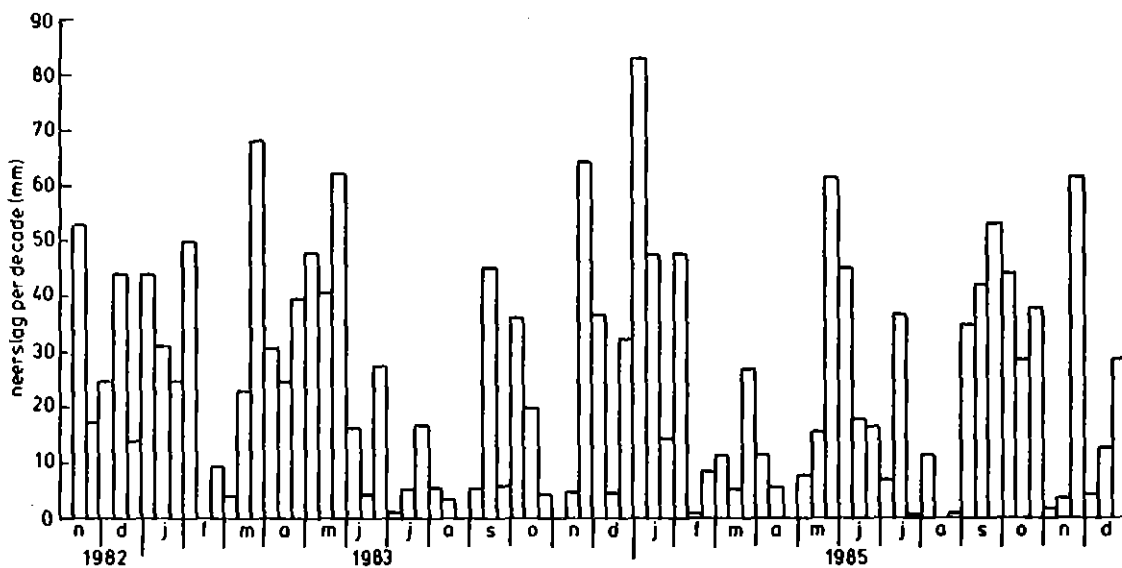


Fig. 4. Verdeling van de neerslag, weergegeven als neerslagsom per decade, in de periode november 1982 tot en met december 1984

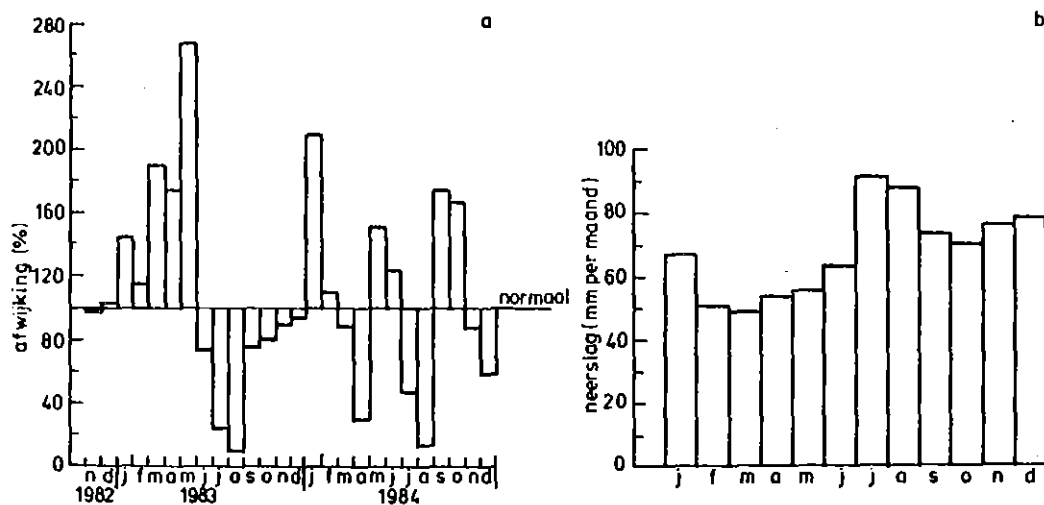


Fig. 5. Vergelijking van de neerslaggegevens te Wijster met de maand-
normalen van het KNMI-station te Dwingeloo: A. afwijkingen te
Wijster (in %); B. normale gebiedsgemiddelden (in mm per maand)

4.2. Verdamping

De verdamping is niet afzonderlijk gemeten op de proefvelden. De locale verschillen in de zogenaamde open waterverdamping (E_o) zijn echter betrekkelijk gering, vandaar dat de potentiële verdamping meestal wordt berekend aan de hand van verdampingscijfers van omliggende KNMI-stations. De verdamping van open water kan redelijk nauwkeurig worden berekend op basis van gemeten grootheden zoals zonneschijnduur, windsnelheid, luchtvochtigheid en luchttemperatuur. Op het KNMI worden deze berekeningen uitgevoerd met behulp van de formule van Penman. Voor de berekening van de potentiële gewasverdamping (E_p) wordt dan een reductiefactor (α) aangehouden:

$$E_p = \alpha E_o$$

De waarde α is afhankelijk van de bodembedekking en de ontwikkeling van het gewas en varieert van 0,5 voor een onbedekte bodem tot 0,8 voor een volledig bedekte bodem (grasvegetatie). De gemiddelde Penman-verdamping verschilt wel enigszins van plaats tot plaats en neemt in het algemeen af met toenemende afstand tot de kust. In tabel 6, ontleend aan BUISHAND en VELDS (1980) is voor een aantal stations de gemiddelde Penman-verdamping (E_o) weergegeven voor de normaal-periode 1941-1970.

Uit deze tabel blijkt dat de Penman-verdamping in het zomerhalfjaar ongeveer 6 x zo groot is als in het winterhalfjaar. Voorts valt op dat de normaal-waarden voor de verdamping van het station Winterswijk ongeveer gelijk zijn aan de normaal-waarden voor de stations Wijster/Witteveen/Dedemsvaart. Omdat het station Dedemsvaart recent is verplaatst en er onvoldoende gegevens bestaan met betrekking tot deze

Tabel 6. Gemiddelden (normalen) van de Penman-verdamping E_o in mm voor het tijdvak 1941-1970

Station	Jaarsom	Winterhalfjaar (okt.-mrt.)	Zomerhalfjaar (apr.-sept.)
Leeuwarden	672	98	574
Wijster/Witteveen/Dedemsvaart*	655	93	562
Winterswijk	650	95	555

*gegevens gecombineerd van drie stations

nieuwe locatie is voor het onderzoek gebruik gemaakt van de verdampingscijfers van station Winterswijk.

De E_o - en de daaruit berekende E_p -waarden zijn weergegeven in tabel 7. Met behulp van de regencijfers is vervolgens het neerslagoverschot uitgerekend. Zolang de verdamping potentieel is en niet wordt gereduceerd als gevolg van vochttekort, zal het hier berekende neerslagoverschot moeten worden afgevoerd of geborgen in het profiel. Wordt de verdamping echter gereduceerd tijdens de zomerperiode dan neemt het af te voeren neerslagoverschot toe.

Tabel 7. Berekening van het neerslagoverschot ($N-E_p$) en de potentiële verdamping (E_p) met behulp van de open waterverdamping (E_o) voor het KNMI-station te Winterswijk, gerekend vanaf 11 november 1982 tot en met augustus 1984

Periode	E_o (mm)	α	E_p (mm)	N (mm)	$N-E_p$ (mm)	$\sum(N-E_p)$ (mm)
1982:						
november	4	0,5	2,0	70,5	68,5	68,5
december	1	0,5	0,5	85,0	84,5	153,0
1983:						
januari	8	0,5	4,0	99,6	95,6	248,6
februari	15	0,5	7,5	59,0	51,5	300,1
maart	41	0,6	24,6	94,2	69,6	369,7
april	66	0,7	46,2	94,8	48,6	418,3
mei	85	0,8	68,0	150,1	82,1	500,4
juni	142	0,8	113,6	48,0	-65,6	434,8
juli	147	0,8	117,6	23,4	-94,2	340,6
augustus	100	0,8	80,0	9,3	-70,7	269,9
september	62	0,8	49,6	56,3	6,7	276,6
oktober	34	0,8	27,2	59,8	32,6	309,2
november	9	0,8	7,2	69,2	62,0	371,2
december	3	0,8	2,4	73,5	71,1	442,3
1984:						
januari	6	0,8	4,8	144,3	139,5	581,8
februari	13	0,8	10,4	57,1	46,7	628,5
maart	42	0,8	33,6	43,4	9,8	638,3
april	79	0,8	63,2	17,0	-46,2	592,1
mei	79	0,8	63,2	84,9	21,7	613,8
juni	100	0,8	80,0	80,0	0	613,8
juli	103	0,8	82,4	44,3	-38,1	575,7
augustus	92	0,8	73,6	12,6	-61,0	514,7

5. OPPERVLAKE-AFVOER EN DRAINAFVOER

5.1. Storingen in de afvoermetingen

Reeds in Deelrapport 1 (VAN DOMMELEN, e.a., 1983) is vermeld dat tijdens het eerste halfjaar na aanleg aanzienlijke erosie is opgetreden op de velden 1 en 2. Daardoor zijn grote hiaten ontstaan in de oppervlakte-afvoer metingen. De ontbrekende gegevens zijn zo goed mogelijk geschat door vergelijking met veld 3, waar geen erosie is opgetreden (zie 5.2).

Een tweede storing betrof de lekkage van percolatiewater uit het afvalstort. Door de hoge waterstand in het stort drong aan de voet van de helling percolatiewater naar binnen in de proefvelden. Bij zeer hoge waterstanden kwam het zelfs in de afvoergoot voor de oppervlakte-afvoer terecht. Dankzij het hoge chloridegehalte in het percolatiewater bleek het mogelijk om de afvoeren te corrigeren voor deze lekkage (zie 5.3). Overigens wijst deze lekkage op het grote belang van een goede 'teenconstructie' om vuil en schoon water gescheiden te houden (zie ook Deelrapport 2, HOEKS en RYHINER, 1985).

Storingen als gevolg van de soms niet goed werkende apparatuur hebben incidenteel tot hiaten in de afvoergegevens geleid. Dankzij het feit dat met name bij de drainafvoer onderling min of meer vaste verhoudingen bestonden tussen de afvoeren van de drie velden, konden de ontbrekende cijfers redelijk worden geschat. Overigens zijn deze storingen beperkt gebleven dankzij de wekelijkse metingen en controle/onderhoud van de meetapparatuur.

5.2. Oppervlakte-afvoer

Direct na aanleg van de proefvelden zijn de velden in november 1982 ingezaaid met gras. Voor de winter is het gras echter niet meer opgekomen, zodat de grond onbegroeid bleef liggen tot mei 1983. De kans op erosie was daardoor groot (zie ook HOEKS en RYHINER, 1985). Bovendien waren de eerste maanden van 1983 extreem nat met bijna 500 mm neerslag in de periode januari tot en met mei 1983.

Deze omstandigheden hebben ertoe geleid dat tijdens het eerste halfjaar na aanleg van de proefvelden zeer veel oppervlakte-afvoer heeft plaatsgevonden, die met name op de velden 1 en 2 veel erosie heeft veroorzaakt. Door afspoeling van grond slibde de afvoergoot aan de voet

van de helling regelmatig dicht, waardoor water en grond over de goot spoelden. Afvoermetingen waren dan uiteraard niet mogelijk. De gegevens betreffende de oppervlakte-afvoer vertonen dan ook veel hiaten in deze periode.

Bij nader onderzoek is gebleken dat de erosie vooral optrad op gedeelten van de velden 1 en 2 die qua structuur en organische stofgehalte afweken van de niet-erosiegevoelige gedeelten hoger op de helling. Op proefveld 3 is praktisch geen erosie opgetreden. Het bleek dat het organische stofgehalte op de erosiegevoelige gedeelten duidelijk lager (5-10%) was dan op de niet-erosiegevoelige gedeelten (15-25%). Later kon met behulp van interceptiedrains op de helling de erosie redelijk in de hand worden gehouden. De afvoer was echter soms zo groot (meer dan de in hfdst. 2.2 genoemde 1200 l.uur^{-1}) dat deze niet meer nauwkeurig kon worden gemeten.

De gemiste oppervlakte-afvoer op de velden 1 en 2 is geschat uit de waterbalansen door aan te nemen dat in het eerste halfjaar na aanleg nog geen lekkage door de afdichtingslaag is opgetreden en dat de berging van water op de velden 1 en 2 gelijk is aan die op veld 3, waar geen erosie is opgetreden (gezien de fysische eigenschappen van de grond kan de berging op de velden 1 en 2 in ieder geval niet groter geweest zijn dan op veld 3). De gecorrigeerde oppervlakte-afvoer (= restpost uit de waterbalans) is opgenomen in tabel 8.

Tabel 8. Oppervlakte-afvoer op de drie proefvelden in de periode november 1982 tot en met augustus 1983 (proefveld 3: gemeten waarden; proefveld 1 en 2: gecorrigeerde waarden (zie tekst), gemeten waarden tussen haakjes)

Maand	Neerslag (mm)	Oppervlakte-afvoer		
		veld 1	veld 2	veld 3
1982:				
november	70,5	6,8(4,3)	6,4(6,4)	5,3
december	85,0	18,0(5,2)	30,2(7,7)	6,4
1983:				
januari	99,6	24,8(9,1)	32,0(10,4)	8,0
februari	59,0	27,8(10,9)	22,1(20,3)	11,8
maart	94,2	14,2(14,2)	19,4(15,4)	7,2
april	94,8	25,0(7,0)	31,2(7,1)	4,7
mei	150,1	33,5(14,8)	40,1(26,7)	14,2
juni	48,0	0,2(0,2)	0,1(0,1)	0,1
juli	23,4	0,3(0,3)	0 (0)	0,1
augustus	9,3	0 (0)	0 (0)	0
	734	151 (66)	182 (94)	58

Vanaf mei/juni 1983 is de grasvegetatie op de proefvelden goed tot ontwikkeling gekomen en sindsdien is de oppervlakte-afvoer zeer gering gebleven (minder dan 1 mm per maand). Alleen in de maand januari 1984, die met 144,3 mm neerslag zeer nat was, is nog oppervlakte-afvoer van betekenis voorgekomen, namelijk 1,5-2,5 mm. De totale oppervlakte-afvoer in de periode september 1983 tot en met augustus 1984 bedroeg slechts 8, 3 en 5 mm voor respectievelijk de proefvelden 1, 2 en 3. Hieruit blijkt het grote belang van een goede bodembedekking, waardoor enerzijds de weerstand tegen afstroming toeneemt maar anderzijds ook de structuur en de infiltratiecapaciteit van de toplaag sterk verbetert.

Een bijzonder probleem deed zich voor in de periode maart/april 1984. Door hoge waterstanden in het afvalstort, onder meer het gevolg van beregening op het stort, lekte percolatiewater naar binnen aan de onderzijde van de proefvelden (zie fig. 7A). Dit werd voor het eerst geconstateerd bij de afvoergoot onder aan de helling en later ook bij de drainafvoer uit de velden. Door regelmatig het chloridegehalte in de afvoer te meten kon de omvang van de lekkage worden vastgesteld, aangezien het Cl-gehalte van het percolatiewater en het infiltrerende regenwater op de proefvelden eveneens is gemeten (resp. 3100-5400 mg.l⁻¹ en 75 mg.l⁻¹).

5.3. Drainafvoer

Er zijn weinig gegevens beschikbaar met betrekking tot de meetnauwkeurigheid van de geïnstalleerde kantelbakken. In de literatuur is wel bekend dat de meetnauwkeurigheid van kantelbakken toeneemt naarmate het te meten debiet kleiner is. Dit apparaat is dan ook bij uitstek geschikt voor het meten van kleine draindebieten. Voor de mini-uitvoering (capaciteit 15 cm³.s⁻¹) is de systematische fout maximaal 4% bij een debiet van 15 cm³.s⁻¹.

Voor kantelbakken met een netto inhoud van 2500 cm³ per compartiment variëren de kantelintervallen van 125 tot 5 seconden voor het meetbereik van 20-500 cm³.s⁻¹. Kantelintervallen van minder dan 5 seconden moeten worden vermeden omdat dan de fout onaanvaardbaar groot wordt. Bij grote watertoevoer wordt namelijk het gelijkmatig vullen verstoord door de ongunstige aanstroming, wat resulteert in een vertraagd kantelen. De netto vulling kan bij grote toevoer met ca. 10% worden overschreden voordat de bak gaat kantelen. Dit is gebleken uit onderzoek

van BELLIN (1964) met kantelbakken met een netto vulling van 8000 cm^3 (bruto 9500 cm^3).

Voor de hier geïnstalleerde kantelbakken met een netto inhoud van ruim 1000 cm^3 betekent dit dat de meetfout acceptabel blijft zolang het debiet kleiner is dan ca. $200 \text{ cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (kantelinterval 5 seconden). Bij hogere debieten is de meting niet meer nauwkeurig.

Tijdens een flinke regenbui op 28 januari 1983 werd een oppervlakte-afvoer van $333 \text{ cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ gemeten. Het kantelinterval werd toen vastgesteld op ca. 3 seconden. De vulling van de bak verliep daarbij onregelmatig tengevolge van het met geweld toestromende water. Bij dergelijke debieten is de meting waarschijnlijk niet meer binnen 10% nauwkeurig. De toevoerbuis naar de kantelbak bleek overigens geen grotere debieten te kunnen verwerken, want tijdens deze bui liep de afvoergoot onder aan de helling over. Dit betekent dat debieten van meer dan $1200 \text{ l} \cdot \text{uur}^{-1}$ (d.i. $0,67 \text{ mm} \cdot \text{uur}^{-1}$) niet geregistreerd zijn. In de beginfase, toen de grond nog onbegroeid was, zijn dergelijke debieten zeker enkele malen voorgekomen. Overigens werden toen de metingen ook verstoord door erosie en dichtslibbing van de goot onder aan de helling.

Bij de drainafvoer, en later na begroeiing van de helling gold dit ook voor de oppervlakte-afvoer, zijn dergelijke hoge afvoeren nooit voorgekomen. De hoogste drainafvoer bedroeg ca. $125 \text{ cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Dit betekent dat de drainafvoeren nauwkeurig zijn geregistreerd met deze kantelbakken, afgezien van storingen als gevolg van corrosie van de draaisas en het mechanisch telwerk.

De meting van de afvoer uit het drainagesysteem heeft slechts af en toe gehaperd. Dankzij regelmatige controle van de kantelbakken zijn storingen, voor zover die zijn opgetreden, altijd van korte duur geweest. Voor zover deze storingen hiaten in de metingen hebben veroorzaakt, kon de afvoer voor die periode redelijk nauwkeurig worden geschat op grond van de relatie tussen neerslag en drainafvoer en de onderlinge verhouding tussen de drainafvoeren van de drie proefvelden.

Zoals reeds hiervoor werd opgemerkt, is in de periode 29 februari tot 25 april 1984 door hoge waterstanden in het stort percolatiewater terechtgekomen in de afvoergoot voor de oppervlakte-afvoer. Onder aan de helling is langs de scheidingswanden ook percolatiewater naar binnen gekomen en in de drainafvoer terechtgekomen. Schematisch zijn de plaatsen, waar lekkage optrad, aangegeven in fig. 6.

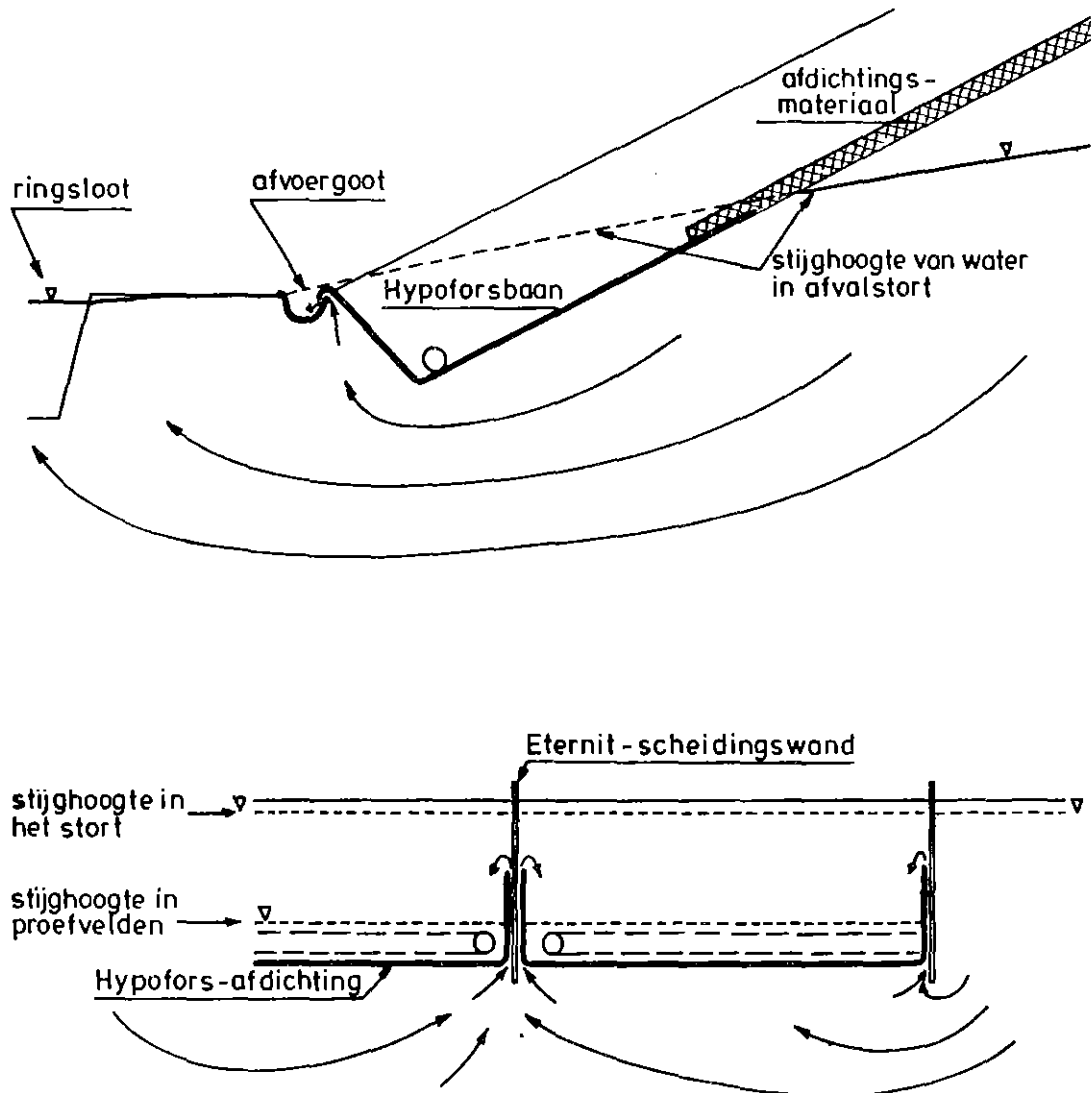


Fig. 6. Schematische weergave van de plaatsen waar lekkage van percolatiewater is geconstateerd aan de voet van de helling.
A. lekkage bij de goot voor oppervlakte-afvoer; B. lekkage langs de scheidingswanden

De lekkage is berekend op de volgende wijze:

$$x = \frac{C_{\text{drain}} - C_o}{C_{\text{perc}} - C_o} A \quad (2)$$

waarin: x = lekkage (mm)
A = gemeten drainafvoer (mm)
C_{drain} = Cl-concentratie in het drainwater
C_{perc} = Cl-concentratie in percolatiewater
C_o = Cl-concentratie in het infiltrerende neerslagoverschot

De Cl-concentraties in het drainwater en de oppervlakte-afvoer zijn in tabel 9 weergegeven voor de periode 29 februari tot 25 april 1984. De drainafvoer is op basis van de gemeten Cl-concentraties gecorrigeerd voor de lekkage (berekend volgens (2)). De Cl-concentratie in het percolatiewater is bepaald aan de hand van percolatiewatermonsters uit de afvoergoot onder aan de helling. Met name op de velden 2 en 3 stroomde percolatiewater over de rand in de goot. De afvoergoten van veld 2 en 3 liggen namelijk lager (mogelijk door verzakking) dan de afvoergoot van veld 1 waar praktisch geen lekkage is opgetreden. De Cl-concentratie varieerde van aanvankelijk 3100 mg.l⁻¹ tot uiteindelijk 5400 mg.l⁻¹. De Cl-concentratie in het infiltrerende regenwater is bepaald op 75 mg.l⁻¹, op basis van grondwatermonsters uit grondwaterstandsbuizen boven op de helling.

Tabel 9. Berekening van de lekkage uit de totale drainafvoer en de Cl-gehalten in het afgevoerde water (periode 29/2-25/4-1984)

	8/3	15/3	22/3	29/3	5/4	12/4	19/4	25/4	Totaal
Proefveld 1:									
drainafvoer (mm) ₋₁	6,95	8,66	1,75	0,95	2,99	2,84	0,84	0,15	25,13
Cl-gehalte (mg.l ⁻¹)	284	-	1087	1221	612	340	204	246	
lekkage (mm)	0,48	0,70	0,58	0,36	0,53	0,17	0,03	0,005	2,86
gecorr. afvoer (mm)	6,47	7,96	1,17	0,59	2,46	2,67	0,81	0,15	22,28
Proefveld 2:									
drainafvoer (mm) ₋₁	7,10	9,06	3,18	1,77	4,52	4,26	1,39	0,30	31,58
Cl-gehalte (mg.l ⁻¹)	350	-	634	590	374	329	357	676	
lekkage (mm)	0,64	1,00	0,58	0,30	0,44	0,25	0,09	0,03	3,33
gecorr. afvoer (mm)	6,46	8,06	2,60	1,47	4,08	4,01	1,30	0,27	28,25
Proefveld 3:									
drainafvoer (mm) ₋₁	7,86	10,80	3,93	1,79	3,73	4,34	1,59	0,34	34,38
Cl-gehalte (mg.l ⁻¹)	474	-	780	932	778	586	792	1239	
lekkage (mm)	1,03	1,60	0,91	0,50	0,86	0,51	0,27	0,07	5,75
gecorr. afvoer (mm)	6,83	9,20	3,02	1,29	2,87	3,83	1,32	0,27	28,63

Uit de gegevens met betrekking tot de lekkage (tabel 9) blijkt dat de lekkage in tijden van lage drainafvoer aanleiding geeft tot hoge Cl-gehalten in het drainwater (vooral op veld 2 en 3). Kwantitatief is de lekkage betrekkelijk gering, namelijk 11-17% van de totale afvoer. Voor de velden 1, 2 en 3 bedroeg de lekkage respectievelijk 2,9; 3,3 en 5,8 mm. De onderlinge verschillen worden verklaard door de hoogteligging (veld 1 ligt het hoogst, veld 3 het laagst).

Uit opgravingen op 12 april 1984 is gebleken, dat deze lekkage optrad langs de scheidingswanden tussen de velden (zie fig. 6B). Onder aan de helling, waar de velden zijn afgewerkt met één baan Hypofors overdwars, kwam percolatiewater over de tegen de wand opstaande Hypofors naar binnen. Later is met behulp van een pomp het peil in de ringsloot sterk verlaagd waardoor ook de waterstand in het stort daalde, waarna de lekkage spoedig afnam.

Het is niet waarschijnlijk dat deze lekkage van percolatiewater vóór de genoemde periode een belangrijke rol heeft gespeeld. Vanwege de opstaande rand Hypofors langs de scheidingswanden moet de waterstand in het stort vrij hoog zijn alvorens lekkage optreedt. In dat geval komt ook vrijwel zeker percolatiewater in de afvoergoot onder aan de helling terecht. Dit zou zeer waarschijnlijk wel zijn opgemerkt. Er is een kans dat het Cl-gehalte in de drainafvoer een tijdlang in de orde van $200-250 \text{ mg.l}^{-1}$ heeft gelegen (hoger is niet waarschijnlijk gezien de latere metingen). Dit betekent dat het aandeel van de lekkage in de totale afvoer (x/A , zie vgl. (2)) maximaal in de orde van 5% kan hebben gelegen. Grotere lekkages zouden beslist zijn waargenomen, met name vanwege de verontreiniging van de oppervlakte-afvoer.

In fig. 7 zijn de Cl-gehalten in het drainwater uitgezet tegen de tijd en vergeleken met de totaal afvoer en de berekende lekkage. Het blijkt dat de hoogste Cl-gehalten optreden in perioden met lage afvoer. De drainafvoer uit de proefvelden loopt in droge perioden sneller terug dan de afvoer van percolatiewater uit het stort, waardoor in droge perioden de lekkage een relatief belangrijker aandeel krijgt in de totale afvoer en in de zomermaanden kon het zelfs voorkomen dat het afgevoerde water vrijwel uitsluitend bestond uit percolatiewater. Niettemin blijkt dat kwantitatief de omvang van de lekkage gering is gebleven. Eén uitzondering moet worden gemaakt voor proefveld 3, met name in de periode juni tot en met augustus 1984.

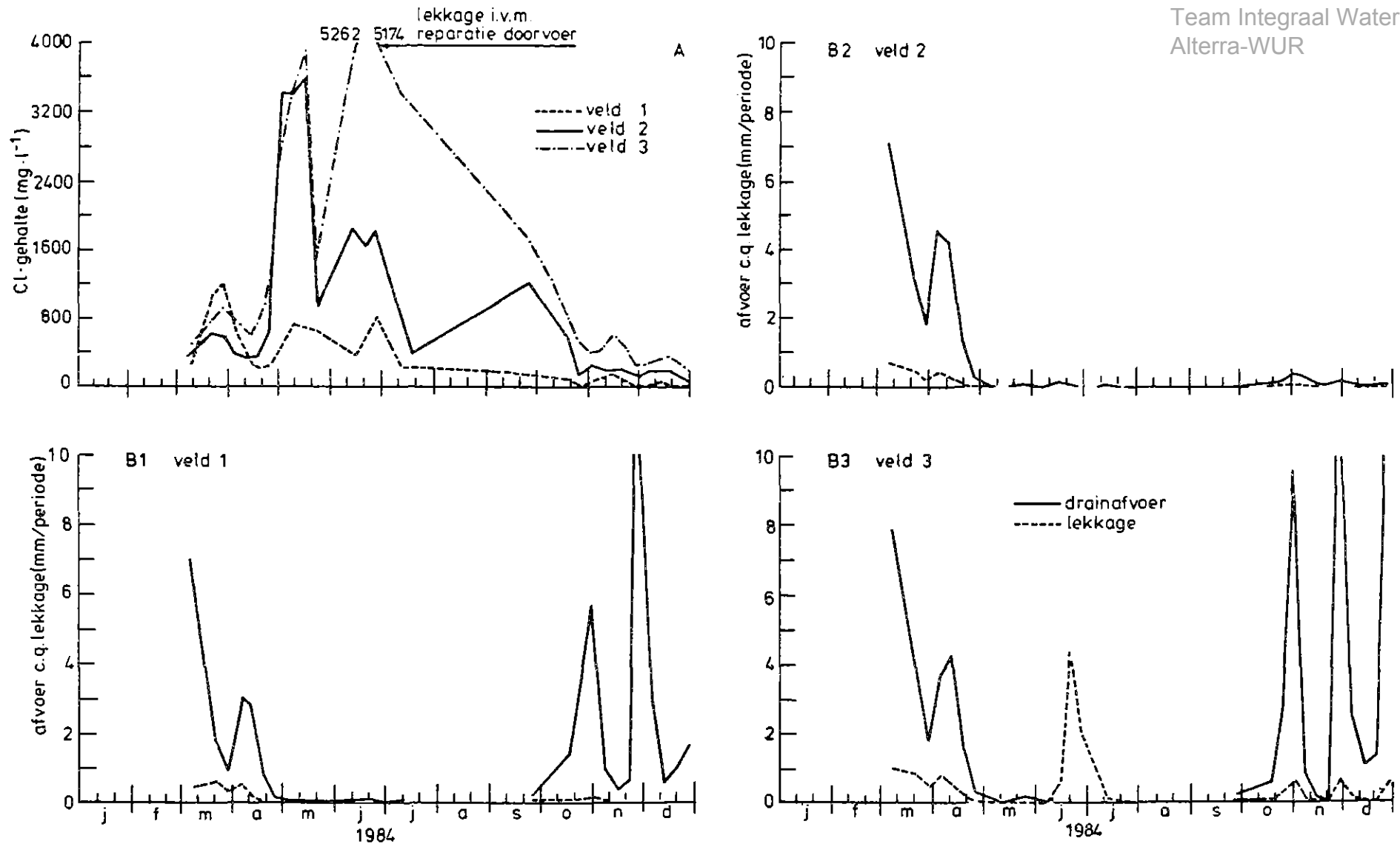


Fig. 7. Chloridegehalten in het drainwater als functie van de tijd (A), in vergelijking met de totale afvoer en de berekende lekkage op de drie proefvelden (B1, B2 en B3)

Op dit veld is bij een opgraving op 4 juni 1984 de doorvoer van het drainagesysteem door de Hypoforsbaan onder aan de helling blootgelegd. Daarbij bleek dat langs de doorvoerbuis percolatiewater naar binnen lekte. Door het weggraven van de grond nam de lekkage tijdelijk sterk toe. In afwachting van reparatie bleef het gegraven gat open liggen tot augustus 1984. In deze periode is uiteraard veel percolatiewater naar binnen gelekt. Na reparatie en dichtgooien van het gat met grond is de lekkage weer snel afgenomen (zie fig. 7B).

De totale afvoer, dat is de drainafvoer plus de oppervlakte-afvoer (niet gecorrigeerd voor gemiste oppervlakte-afvoer) is weergegeven in fig. 8 en vergeleken met de neerslagverdeling en het neerslagoverschot ($N-E_p$). In grote lijnen reageert de drainafvoer van de drie proefvelden vergelijkbaar op de neerslagverdeling. Opvallend is dat de afvoer meteen vanaf de start van de metingen (11 november 1982) op gang is gekomen. Kennelijk is tijdens de aanleg en direct daarna zoveel neerslag gevallen dat de bergingscapaciteit van de grond op 11 november reeds is overschreden. Voorts blijkt in het najaar 1983 de afvoer op alle velden ongeveer gelijktijdig te beginnen, wat er op duidt dat de hoeveelheid water, die is geborgen op de drie proefvelden alvorens de drainafvoer begint, in dezelfde orde van grootte moet liggen.

De afvoeren zijn per periode weergegeven in tabel 10.

Een eerste vergelijking met het neerslagoverschot ($N-E_p$) laat zien dat in de eerste periode het neerslagoverschot vrijwel geheel tot afvoer is gekomen. Overigens is in de zomer van 1983 enige verdampingsreductie opgetreden op veld 2 waardoor hier het werkelijke neerslagoverschot groter was $N-E_{act}$: 270 mm (veld 1), 281 mm (veld 2) en 270 mm (veld 3)). De verschillen per veld ontstaan door verschillen in grondsoort.

In de tweede periode (sept. '83 t/m aug. '84) is geen verdampingsreductie opgetreden dankzij relatief veel neerslag in de maanden mei, juni en juli, waardoor het profiel voldoende vochtig bleef om potentieel te blijven verdampen. Niettemin is er een opmerkelijk verschil in afvoer van 50-55 mm tussen enerzijds veld 1 en anderzijds de velden 2 en 3. Dit verschil kan niet worden toegeschreven aan verschillen in verdamping of berging. Het lijkt dus waarschijnlijk dat op veld 1 ca. 50 mm door de afdichtingslaag is weggelekt.

Opgravingen op veld 1 in juni 1984 hebben aangetoond dat de eerste las vanaf de scheidingswand met veld 2 (deze las was verdacht op grond

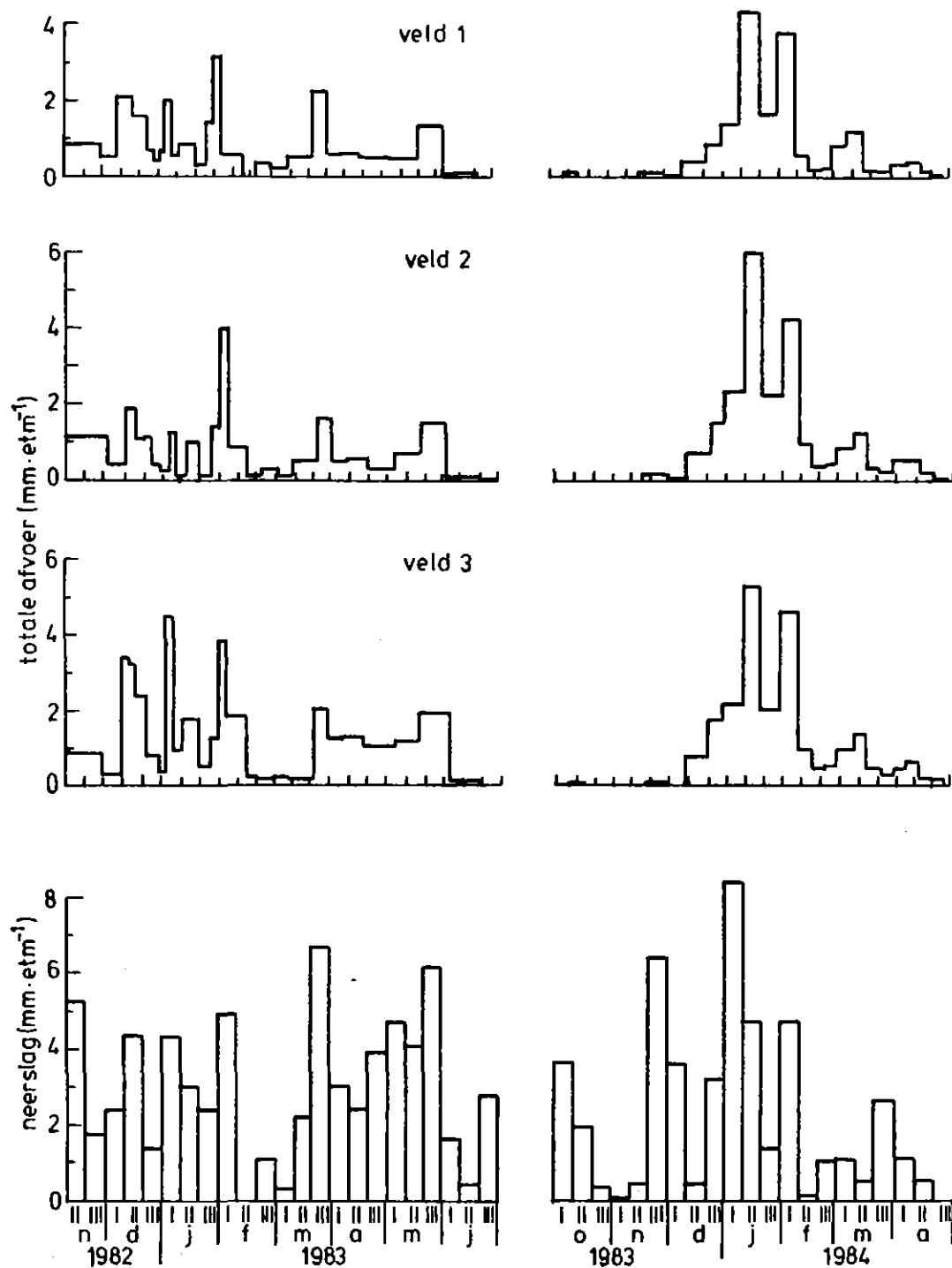


Fig. 8. Totale afvoer (= drainafvoer + oppervlakte-afvoer) als functie van de tijd, in vergelijking met de neerslagverdeling en het neerslagoverschot (niet gecorrigeerd voor gemiste oppervlakte-afvoer in de periode november 1982 tot en met mei 1983, wel gecorrigeerd voor lekkage van percolatiewater)

Tabel 10. Oppervlakte-afvoer en drainafvoer op de drie proefvelden

	Proefveld 1	Proefveld 2	Proefveld 3
November 1982 t/m augustus 1983 ($N-E_p = 270$)			
oppervlakte-afvoer	151*	182*	58
drainafvoer	114	81	205
	265	263	263
september 1983 t/m augustus 1984 ($N-E_p = 245$)			
oppervlakte-afvoer	8	3	5
drainafvoer	150	212	202
	158	215	207

*geschat (aanname: geen lekkage door afdichtingslaag, berging niet groter dan berging op proefveld 3)

van gasmetingen) in uitstekende conditie verkeerde en geen lekken vertoonde. De aanwezigheid van gas boven deze lasverbinding moet daarom worden geweten aan zijdelingse verplaatsing van het gas vanaf de scheidingswand.

Eind augustus 1984 is midden op veld 1 (bij meetpunt 12, ca. 15 m van de bovenrand) lekkage van methaangas geconstateerd, aan de hand van gas- en zuurstofmetingen. Bovendien was de bodemtemperatuur ter plaatse zeer hoog ($40-50^{\circ}\text{C}$). De lekkage openbaarde zich door bruinkleuring van gras ter plaatse. Op 21 mei 1985 is middels opgraving onderzocht wat de oorzaak van deze lekkage was (zie pag. 37).

6. METINGEN IN DE AFDEKLAAG

6.1. Berging van water in de afdeklaag

In hoofdstuk 3 is reeds aangegeven dat het vochtbergend vermogen van de afdekgrond belangrijke verschillen laat zien tussen de drie proefvelden. Indien alle overige termen van de waterbalans bekend en/of gemeten zijn, dan kan de berging als restpost uit deze balans worden afgeleid. In het hier beschreven onderzoek is het echter de bedoeling om de mogelijke lekkage door de afdichtingslaag als restpost uit de

balans af te leiden. Dit betekent dat de berging van water in de afdeklaag zo goed mogelijk moet worden gemeten of geschat. Om mogelijke fouten daarbij zo klein mogelijk te maken, wordt er naar gestreefd om de waterbalansperioden zodanig te kiezen dat de vochtinhoud van de afdeklaag bij het begin en het eind van de periode nagenoeg gelijk is.

In het eerste winterhalfjaar na aanleg van de proefvelden bleek een goede schatting van de vochtberging niet mogelijk, vanwege de eerdergenoemde problemen met de oppervlakte-afvoer en het ontbreken van betrouwbare vochtspanningsmetingen. Door aan te nemen dat in dit eerste halfjaar nog geen lekkage optrad is de berging op veld 3 als restpost uit de waterbalans bepaald (240 mm in de periode 11 nov. '82 t/m mei '83). Voor de velden 1 en 2 is aangenomen dat de berging in deze periode ongeveer gelijk was aan die op veld 3.

De vochtspanningsmetingen zijn gebruikt om een indruk te krijgen van de mate van uitdroging/verzadiging van de afdeklaag. Met behulp van de pF-curven kan dan een schatting worden verkregen van de vochtinhoud van de laag. Gezien de spreiding in de pF-gegevens en de eerder gesignaleerde hysteresis-effecten mag worden verwacht, dat de nauwkeurigheid van deze schatting te wensen overlaat. De vochtspanningsmetingen zijn dan ook vooral gebruikt om na te gaan in hoeverre de vochttoestanden bij het begin en het eind van een balansperiode van elkaar verschillen. Ook de gegevens met betrekking tot de grondwaterstand zijn hierbij beschouwd.

Het verloop in de vochtspanning met de tijd is in grote lijnen vergelijkbaar voor de drie proefvelden (zie fig. 9). Uit deze figuur blijkt dat in de zomer van 1983 de vochtvoorraad in de afdekgrond zo ver is afgenomen dat eind augustus de vochtspanning tot onder in het profiel is opgelopen tot 1000 cm of meer (ca. pF 3).

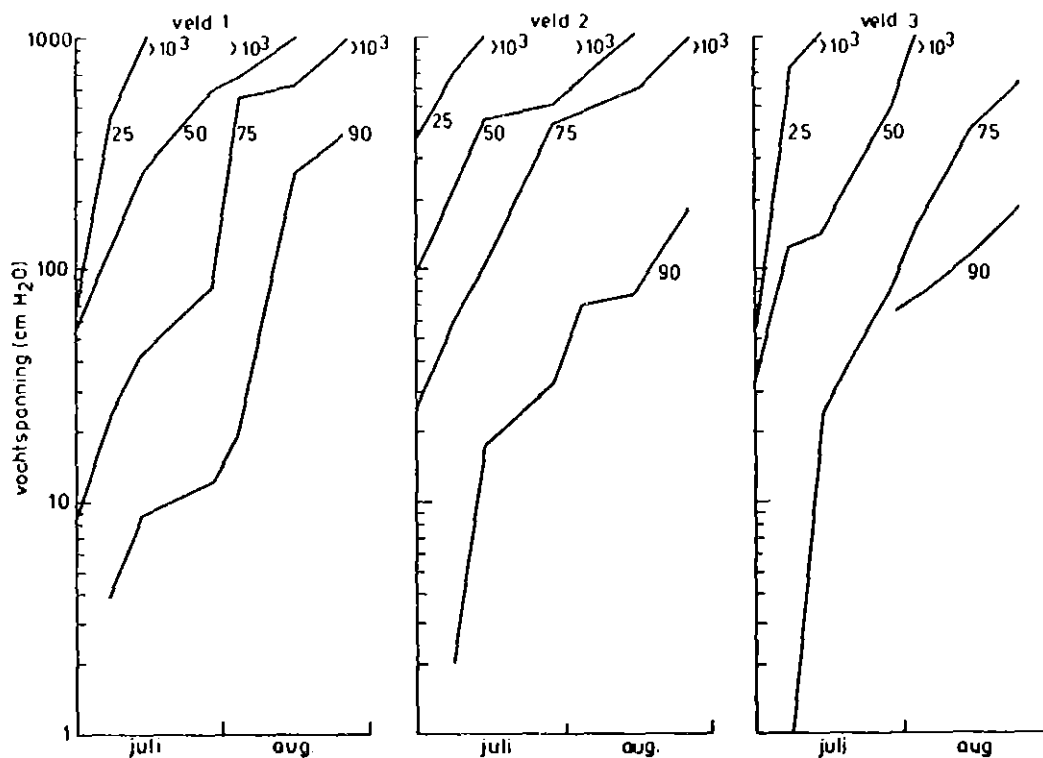


Fig. 9. Verloop van de vochtspanning tijdens de zomer van 1983 als functie van de diepte in de afdeklaag (diepten: 25, 50, 75 en 90 cm minus maaiveld)

6.2. Grondwaterstand

Een hoge grondwaterstand in de afdeklaag betekent enerzijds dat de af dichtingslaag kennelijk goed waterdicht is, anderzijds duidt het echter ook op het slecht functioneren van het drainagesysteem boven de af dichtingslaag. In het eerste halfjaar na aanleg van de proefvelden zijn op alle proefvelden hoge grondwaterstanden gemeten, gemiddeld in de orde van 40 cm minus maaiveld (zie fig. 10). Kennelijk was de drainageweerstand nogal groot en werd niet voldaan aan het criterium van een minimum doorlatendheid van de afdekgrond van 50 cm.dag^{-1} , zoals geadviseerd door HOEKS en AGELINK (1982). Dit criterium is overigens wel gebruikt voor de berekening van de drainafstand (15 m) op de proefvelden (helling $\approx 33\%$). De drains liggen direct in de zwarte afdekgrond. Afgezien van de cocosomhulling is geen speciaal omhullingsmateriaal (turfmolm, filterzand) gebruikt. Dit zal ertoe hebben bijgedragen dat de radiale weerstand rond de drains nogal hoog was.

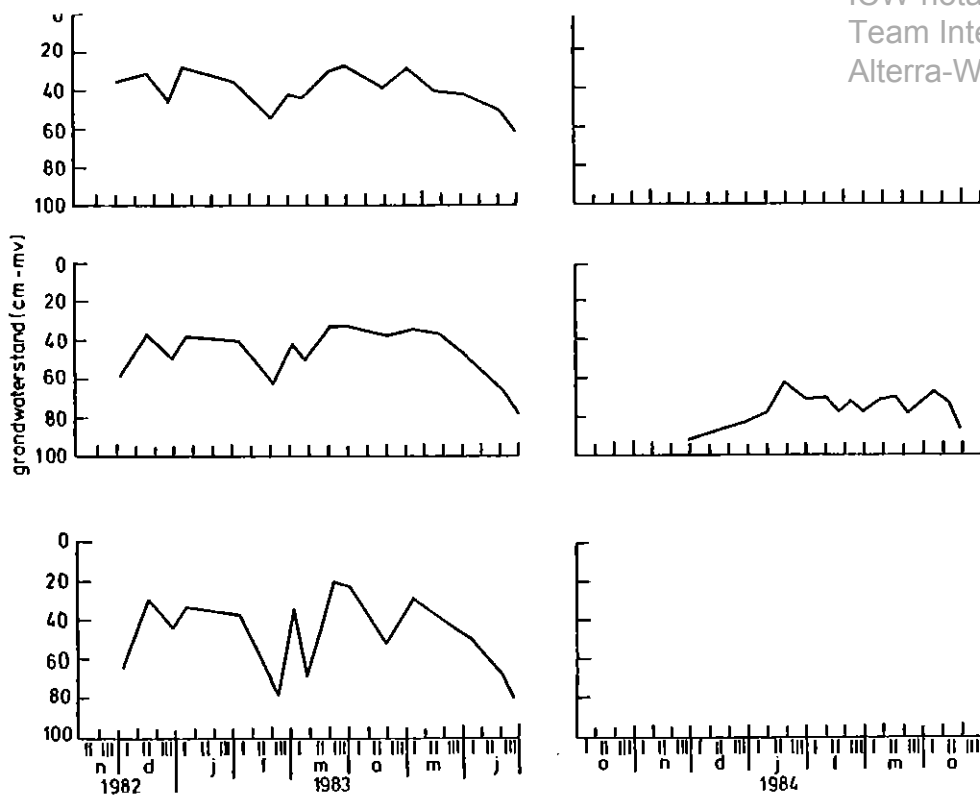


Fig. 10. Verloop van de grondwaterstanden op de drie proefvelden met de tijd (per veld zijn de gegevens van 12 grondwaterstandsbuizen gemiddeld)

Ondanks de hoge grondwaterstanden bleek toch nog voortdurend berging van water op te treden tijdens dit eerste winterhalfjaar. Een mogelijke verklaring kan zijn dat bij bevochtiging van de afdeklaag veel lucht ingesloten raakt, die pas in de loop van de winter geleidelijk ontsnapt.

Bij de aanleg is de afdekgrond nogal vastgereden, alleen de bovenlaag is later tot een diepte van ca. 30 cm losgemaakt met een 'ripper' (zie VAN DOMMELEN e.a., 1983). Dankzij de grasgroei en het op gang komen van het bodemleven is in de loop van 1983 de structuur van de grond zodanig verbeterd, dat tijdens de winter 1983/'84 op veld 1 en 3 praktisch geen grondwaterstanden van enige betekenis zijn gemeten. Proefveld 2 vormt een uitzondering. Het lijkt aannemelijk dat hier een gedeeltelijke verstopping in het afvoersysteem naar de meetput is opgetreden, te meer daar in de winter 1984/'85 op dit veld nog hogere grondwaterstanden zijn opgetreden, die gepaard gingen met een zeer lage drainafvoer. Pogingen om deze verstopping op te heffen met behulp van een hoge drukspuit hebben geen succes gehad. In de winter 1983/'84 kon het neerslagoverschot van veld 2 nog vrijwel geheel via de drains

worden afgevoerd. In de winter 1984/'85 is het drainagesysteem nog meer verstopt geraakt. De grondwaterstand steeg tot vlak bij het maaiveld en een belangrijk deel van het neerslagoverschot moest over het oppervlak worden afgevoerd. Overigens wijst deze hoge grondwaterstand erop dat de afdichtingslaag op veld 2 voldoende waterdicht is.

Op veld 1 en 3 functioneert het drainagesysteem naar tevredenheid. In de winter 1983/'84 en 1984/'85 bleef de grondwaterstand hier zeer laag (max. 10 cm boven de afdichtingslaag). De doorlatendheid van de afdekgrond vormde kennelijk geen beletsel meer voor de ontwatering van de afdeklaag.

Op hellingen is het van groot belang dat de grondwaterstand niet te hoog oploopt. Op verzoek van de VAM heeft de Heidemij een onderzoek verricht naar de kans op afschuiving van de afdekgrond op een helling (HEIDEMIJ, 1985). Hieruit blijkt dat de kans op afschuiving toeneemt naarmate de grondwaterstand hoger is en de grond minder cohesie vertoont. Een drainerende laag van matig grof humeus zand op de afdichtingslaag zou dus minder gunstig zijn op steile hellingen. Anderzijds is een dergelijke laag uit oogpunt van bescherming van de afdichtingslaag en een goede ontwatering zeer wenselijk (zie HOEKS en RYHINER, 1985).

6.3. Bodemtemperatuur

Op enkele plaatsen op de velden 1 en 3 is de bodemtemperatuur als functie van de diepte gemeten met het doel enige informatie te hebben over het temperatuurverloop met de diepte. Dit temperatuurverloop kan aanwijzingen geven over de warmtetoevoer vanuit het stort naar de afdeklaag.

Op veld 3 is op twee plaatsen gemeten, onder en boven aan de helling, omdat uit eerder onderzoek (AGELINK, 1981) was gebleken dat de temperatuur in de bodem toeneemt met de dikte van de laag afval onder de afdeklaag. Hoewel bij enkele metingen de bodemtemperatuur boven aan de helling inderdaad iets hoger was dan onder aan de helling, blijkt gemiddeld dit verschil niet significant te zijn. Wel geven de hoge temperaturen op 75-90 cm diepte aan, dat er voortdurend warmte vanuit het afvalstort wordt afgestaan aan de afdeklaag. Zelfs in de zomerperiode is de temperatuur op 75 cm diepte hoger dan op 25 cm diepte (zie fig. 11).

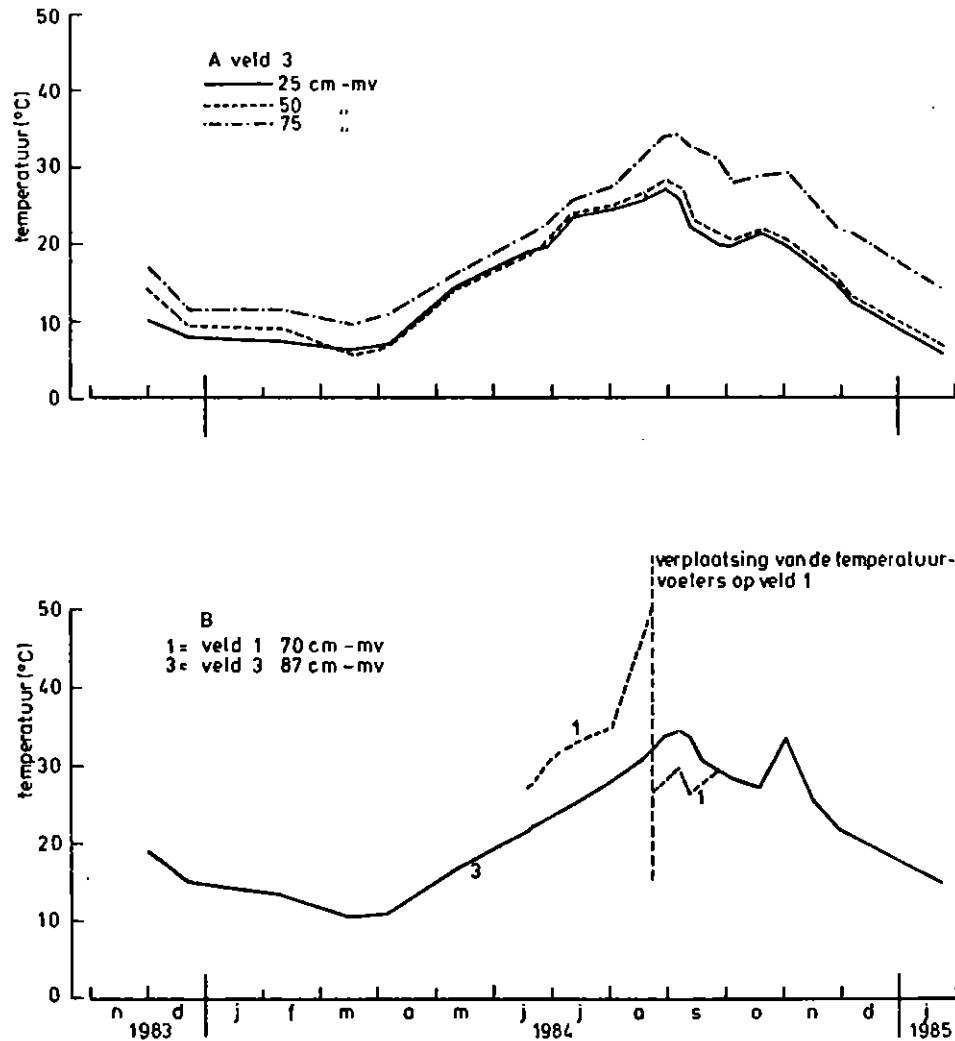


Fig. 11. Verloop van de bodemtemperatuur boven aan de helling op proefveld 3, op diepten van 25, 50 en 75 cm beneden maaiveld (A) en vergelijking van de temperatuur vlak boven de afdichtingslaag op veld 1 en 3

In de periode januari tot en met maart 1984 verandert de buiten-temperatuur langere tijd weinig, resulterend in een tamelijk constante temperatuur op 25 cm diepte van ca. 7°C. In deze periode blijft er een praktisch constant verschil van ca. 4°C te bestaan met de temperatuur op 75 cm diepte. De warmte-afvoer uit het stort zou geschat kunnen worden met:

$$q = - \lambda \frac{\partial T}{\partial x} \approx - \lambda \frac{T_{25} - T_{75}}{0,50}$$

Bij een vochtgehalte van ca. 50 vol. % kan λ worden geschat op ongeveer $1,25 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ dus $q = 10 \text{ W.m}^{-2}$ ($= 2,39 \text{ cal.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$). Per jaar is de vrijkomende hoeveelheid warmte dan ca. $75\,000 \text{ Kcal.m}^{-2}$. Hoewel deze hoeveelheid warmte op zich voldoende is om ca. 140 mm water te verdampen, zal in de zomerperiode deze warmtetoevoer vrijwel niet tot extra verdamping leiden, omdat dan als gevolg van vochttekorten de verdamping meestal niet potentieel is. De warmtetoevoer leidt dan tot extra opwarming van de afdeklaag en uitstraling in de atmosfeer. In de winterperiode, onder relatief natte omstandigheden, kan een deel van de toegevoerde warmte leiden tot hogere verdamping. Aannemend dat de warmtetoevoer uit het stort gelijkelijk is verdeeld over winter- en zomerperiode en dat in de winter 50% van de warmtetoevoer (d.i. 50% van $37\,500 \text{ KCal.m}^{-2} \approx 18\,750 \text{ KCal.m}^{-2}$) beschikbaar is voor verdamping, dan zou ongeveer 35 mm water extra kunnen verdampen in de winterperiode (totale verdamping in de winterperiode (okt.-april) ca. 90-100 mm). De warmtetoevoer uit het stort kan er dus toe leiden dat op jaarbasis ca. 35 mm extra verdamping optreedt op een totale verdamping van 450 à 500 mm, dat is dus ca. 7% extra verdamping.

Er lijken geen redenen aanwezig om aan te nemen dat de warmte-toevoer uit het stort op de drie proefvelden verschillend is. De temperatuurgradiënten liggen voor de velden 1 en 3 in dezelfde orde van grootte (zie tabel 11).

Tabel 11. Temperaturen ($^{\circ}\text{C}$) in de afdeklaag op de proefvelden 1 en 3 op enkele tijdstippen in zomer en najaar

Locatie	Datum	Temperatuur ($^{\circ}\text{C}$) op diepte			
		25 cm	50 cm	75 cm	85-90 cm
Proefveld 1:					
- bij buis 12 (gaslekkage!)	12- 7-'84	32,1	32,4	33,1	-
	25- 8-'84	47,7	49,3	50,9	-
- bij buis 8 (na verplaatsing)	25- 8-'84	25,3	26,6	26,8	-
	26- 9-'84	20,5	27,3	29,7	-
	4-10-'84	19,1	25,5	27,8	-
Proefveld 3:					
- bij buis 3	12- 7-'84	23,2	23,6	25,4	25,6
	25- 8-'84	26,5	27,3	31,8	31,8
	26- 9-'84	19,7	21,2	30,6	30,7
	4-10-'84	19,4	20,3	27,8	28,0

Kennelijk heeft de aard van het verdichtingsmateriaal (bentoniet-zand of Hypofors) weinig effect op de temperaturen in de afdeklaag.

Lekkage van gas door de afdichtingslaag heeft wel grote invloed op de temperatuur in de afdeklaag. Dit bleek op veld 1 waar de temperatuur meting aanvankelijk plaats vond in de nabijheid van meetpunt 12, waar later gaslekkage is geconstateerd. Hier werden in de bodem temperaturen van 30-50°C gemeten op 75 cm diepte.

6.4. Lekkage van stortgas

De lagere afvoer op veld 1 in de winterperiode 1983/'84 was aanleiding tot nader onderzoek met betrekking tot mogelijke lekkage op dit veld. Verlies van water in de winterperiode via lekken in de afdichtingslaag kan tot gevolg hebben dat onder drogere omstandigheden in de zomerperiode mogelijk stortgas in de afdeklaag doordringt via deze lekken. Daarom zijn in het voorjaar en de zomer van 1984 enkele keren gasmetingen uitgevoerd, waarbij zowel het methaan- als het zuurstofgehalte werden gemeten in de afdekgrond boven de afdichtingslaag.

Een eerste meting op 19 april 1984 gaf als resultaat dat boven de eerste las (ca. 5 m vanaf de scheidingswand met veld 2) hoge methaangehalten en lage zuurstofgehalten werden gemeten met name op het lager gelegen deel van het proefveld. Boven de tweede las werd slechts 1 meting uitgevoerd, waarbij overigens ook methaangas werd aangetoond (zie fig. 12). Vlak langs de scheidingswand bleken hoge methaangehalten voor te komen (O_2 -gehalte praktisch nihil). Dit ligt voor de hand, aangezien de aansluiting van de afdichtingslaag tegen de scheidingswand niet gasdicht is uitgevoerd.

Ook al wordt geen methaangas aangetroffen, dan wijzen zuurstofgehalten lager dan 10 à 15% meestal toch op gaslekkage. Bij relatief kleine lekkages verloopt de oxydatie van CH_4 door methaanoxyderende bacteriën zo snel dat methaan niet meer aantoonbaar is. Het hoge zuurstofverbruik bij deze oxydatie leidt echter wel tot lage zuurstofgehalte (zie HOEKS, 1972).

Bij latere metingen in mei 1984 was geen gaslekkage meer aantoonbaar boven de eerste en tweede las. Ook bij metingen dwars over het veld (steeds ongeveer recht boven de lassen) werd geen lekkage waargenomen.

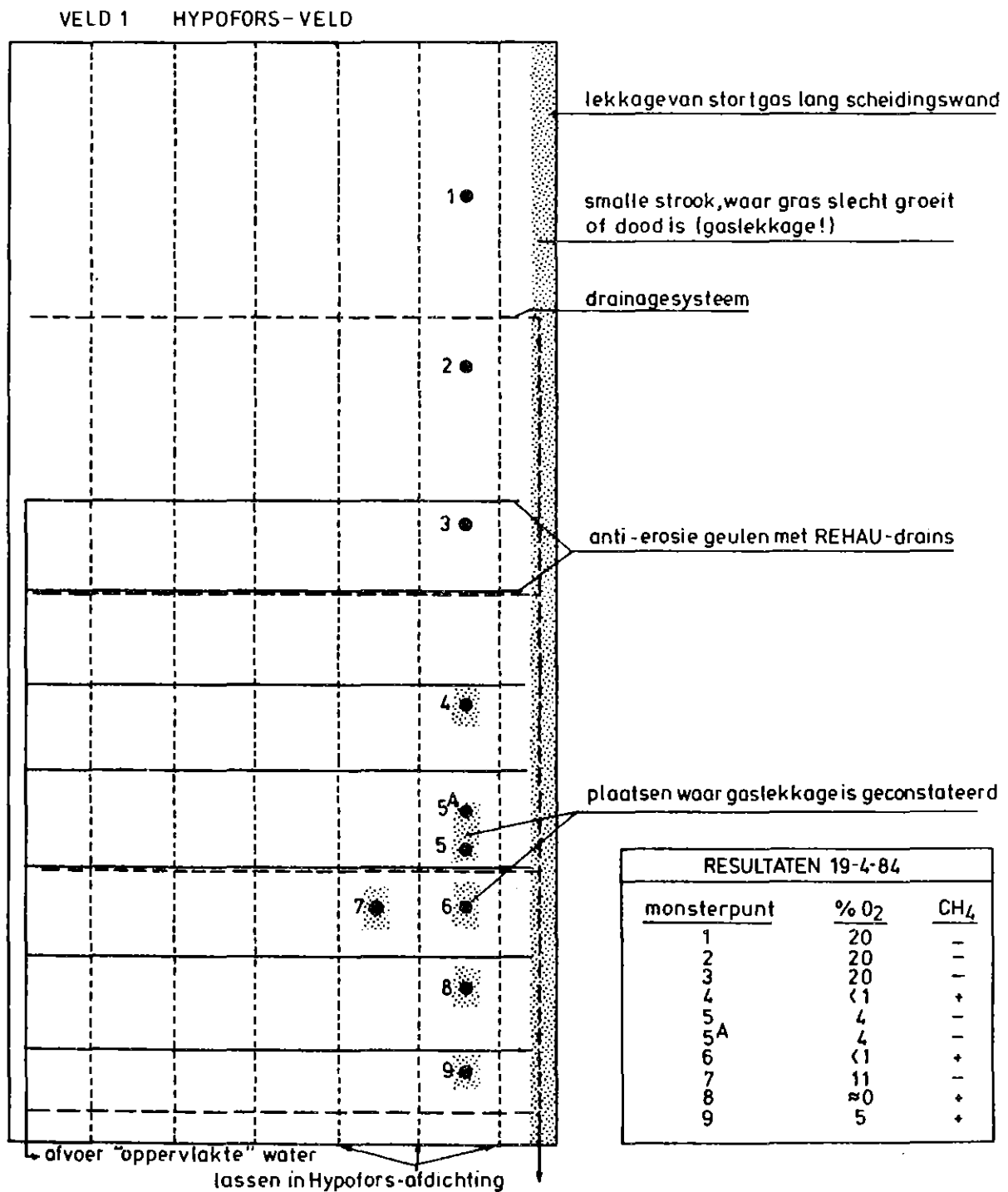


Fig. 12. Resultaten van metingen met betrekking tot het methaan- en zuurstofgehalte in de afdeklaag op proefveld 1, gemeten op 19 april 1984. Lage zuurstofgehalten (bij afwezigheid van CH₄) wijzen ook op gaslekkage, omdat CH₄ wordt afgebroken door methaanoxyderende bacteriën (zie tekst)

Besloten werd om de eerste las, waar op 19 april 1984 lekkage werd aangetroffen, op 4 juni 1984 bloot te leggen en te onderzoeken op lek-dichtheid. Metingen vooraf toonden aan dat toen wel weer gas aanwezig was in de grond boven de eerste las. Bij deze opgraving bleek de las in uitstekende conditie. Met de vacuüm klok werden verscheidene con-troles op lek-dichtheid uitgevoerd. Er werden geen lekken geconstateerd. Dit betekent dat het methaangas ter plaatse van de las daar terecht moet zijn gekomen door zijdelings transport vanaf de scheidingswand, waar inderdaad forse gaslekkage werd geconstateerd (tussen scheidingswand en opstaande Hypofors rand). Zijdelingse verplaatsing van gas over afstanden van meer dan 2 à 3 meter kan alleen plaatsvinden als de bovengrond slechtdoorlatend is voor gas. Dit treedt voornamelijk op als de bovengrond door veel neerslag bijna verzadigd is (tijdens en vlak na perioden met veel neerslag). Deze omstandigheden zijn inderdaad opgetreden vóór en op 19 april en 4 juni 1985.

Later in de zomer van 1984 openbaarden zich de plaatsen met gas-lekkage zeer duidelijk in bruinkleuring en afstervan van de grasvege-tatie. De plaatsen waar dit plaats vond zijn zo goed mogelijk gekar-teerd en weergegeven in fig. 13. Een belangrijk deel van de lekkage is

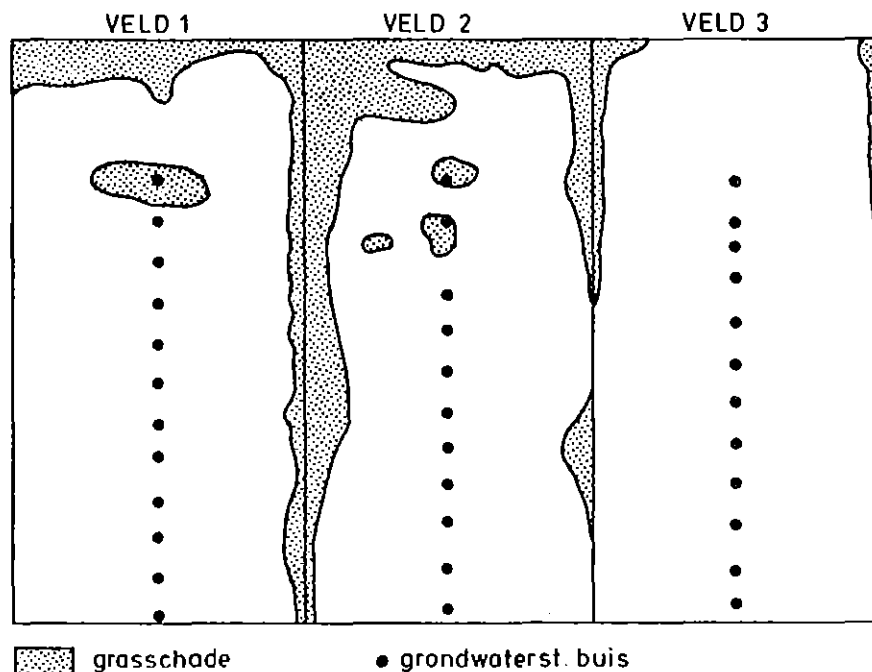


Fig. 13. Schade aan de grasvegetatie door gaslekkage op de drie proefvelden, gekarteerd op 16 augustus 1984

geconcentreerd langs de scheidingswanden tussen de velden en langs de bovenrand. Deze lekkage heeft weinig of geen gevolgen voor de waterbalans van de velden omdat hier in de winterperiode nauwelijks water kan weglekken (opstaande rand Hypofors). Alleen op de bentonietvelden zou langs de randen enige lekkage kunnen plaatsvinden (opstaande rand ontbreekt) maar door opzwellen van de bentoniet onder natte omstandigheden zal deze lekkage gering zijn.

Midden op veld 1 (bij meetpunt 12) is ook lekkage van gas geconstateerd. Dit lek heeft mogelijk wel gevolgen voor de waterbalans van dit veld. Ook op veld 2, waar de bentoniet-zandlaag slechts 10 cm dik is, zijn midden op het veld vooral hoger op de helling, lekken aangetoond. Mogelijk is hier de zand-bentonietlaag plaatselijk uitgedroogd en gasdoorlatend geworden. Er bestaat een redelijke kans dat onder natte omstandigheden in de winterperiode de bentoniet weer opnieuw opzwelt en toch weer waterdicht wordt. De waterbalanscijfers van veld 2 geven namelijk voor de opvolgende winterperiode 1984/'85 geen duidelijke lekkage te zien.

Bij praktische toepassing van bovenafdicthting zullen normaliter geen scheidingswanden (met kans op gaslekkage) aanwezig zijn. Het in fig. 13 geschetste beeld van de vegetatieschade is dus extreem. Wel illustreert deze figuur dat door metingen met een gaslekzoekmeter een opname van de vegetatieschade betrekkelijk eenvoudig lekken in de bovenafdicthting kunnen worden opgespoord.

Het aldus geconstateerde lek in de Hypoforsafdicthting bij meetpunt 12 op veld 1 werd opgegraven op 21 mei 1985. Daarbij zijn op een oppervlak van ca. 5 x 5 meter meerdere lekken geconstateerd, waarvan enkele op de 'fabriekslassen' (in een Hypofors-baan zijn namelijk drie banen anti-doorgroei-folie opgenomen). Tevens zijn een drietal gaten gevonden, waarvan één met zekerheid is ontstaan door de aanwezigheid van een grindsteen in de onderliggende zandlaag.

De gaslekkage op veld 2 is niet nader onderzocht, omdat het opgraven van een zand/bentoniet laag allereerst lastig is, maar naar verwachting ook weinig informatie omtrent lekkage zal opleveren. Op 21 mei 1985 bleek overigens dat de grasvegetatie op de velden 2 en 3 zich zeer goed ontwikkelde (donkergroene kleur). De vegetatie op veld 1 bleef duidelijk achter, vergeleken met de andere twee velden, en was bovendien lichtgroen en plaatselijk gelig van kleur. De vegetatie gaf de indruk dat op meerdere plaatsen verspreid over het veld lekkage van stortgas optrad.

6.5. Zettingen

De zettingen op de helling, waar de proefvelden liggen is vastgesteld aan de hand van waterpassingen. Daarbij zijn de hoekpunten van het proefterrein en de maaiveldhoogte ter plaatse van de grondwaterstands-buizen gewaterpast.

De gegevens in tabel 12, opgenomen op 22 februari 1983 en 15 februari 1984, laten zien dat boven aan de helling duidelijk sprake is van zetting, ca. 1-1,5 m in 1 jaar tijd. Bij buis 12, ongeveer 15 m vanaf de bovenrand bedraagt de zetting 0,30-0,85 m in 1 jaar. Verder de helling afgaand neemt de zetting steeds verder af. Op de onderste 10 à 20 m van de helling is de zetting nihil. Op veld 1 en vooral veld 2 is zelfs sprake van een toename van de hoogte. Mogelijk speelt hier de waterdruk onder de velden, tengevolge van zijdelings uit het stort komend percolatiewater een rol. Ook is het mogelijk dat er toch enige afschuiving van grond heeft plaatsgevonden.

Voor de aanleg van de proefvelden (sept. 1982) was de hoogte van het afval ruim 18 m boven maaiveld, namelijk 32,70 m + NAP (zie VAN DOMMELEN e.a., 1983). Tijdens de aanleg zal door het vele rijden met vrachtwagens, bulldozers en kranen de hoogte al sterk zijn afgenomen.

Tabel 12. Zettingen op de proefvelden, bepaald aan de hand van waterpassingen

Meetpunt (nr buis)	Veld 1		Veld 2		Veld 3	
	22-2-'83	15-2-'84	22-2-'83	15-2-'84	22-2-'83	15-2-'84
1	15,40	15,52	15,38	15,40	15,36	15,40
2	16,58	16,70	16,61	16,69	16,51	16,54
3	17,62	17,67	17,55	18,07	17,82	17,78
4	18,72	18,80	18,60	19,08	19,10	19,06
5	19,99	19,98	19,83	20,30	20,38	20,35
6	20,98	20,97	20,81	21,19	21,49	21,31
7	22,19	22,10	21,99	22,31	22,66	22,43
8	23,33	23,13	23,06	23,30	23,90	23,56
9	24,44	24,15	24,29	24,51	25,27	24,84
10	25,76	25,38	25,47	25,57	26,18	25,68
11	27,02	26,49	26,54	26,49	27,00	26,36
12	28,23	27,51	27,66	27,38	28,18	27,33
bovenrand	32,17	31,24	31,43		32,29	30,84
onderrand	15,01		14,75		14,83	

Direct na aanleg was de hoogte van de hoekpunten (d.i. afval + 1 m afdekgrond) naar schatting ca. 33 meter.

7. WATERBALANSEN VAN DE PROEFVELDEN

De eerder vermelde gegevens met betrekking tot neerslag, verdamping, oppervlakte-afvoer, drainafvoer en berging kunnen nu worden samengevat in waterbalansen. De lekkage door de afdichtingslaag moet als respost uit deze waterbalans naar voren komen. De waterbalans (in mm's) luidt:

$$N = E_{\text{act}} + A_{\text{opp}} + A_{\text{drain}} + \Delta B + A_{\text{lek}} \quad (3)$$

waarin: N = neerslag
 E_{act} = actuele verdamping
 A_{opp} = oppervlakte-afvoer
 A_{drain} = afvoer uit drainagesysteem
 ΔB = wijziging van de vochtberging in het profiel
 A_{lek} = lekkage door de afdichtingslaag

De betrouwbaarheid van deze balans laat met name voor de eerste winterperiode 1982/'83 te wensen over. Als gevolg van erosie op de velden 1 en 2 moest de oppervlakte-afvoer hier geschat worden door aan te nemen dat geen lekkage is opgetreden in deze periode en dat de vochtberging gelijk was aan de vochtberging op veld 3. Op veld 3 kon de berging redelijk nauwkeurig worden vastgesteld omdat hier geen erosie is opgetreden. Overigens werd daarbij ook aangenomen dat de lekkage verwaarloosbaar was.

De actuele verdamping is geschat door de beschikbare hoeveelheid vocht aan het begin van een periode met verdampingsoverschot te vergelijken met het totale neerslagtekort (= verdampingsoverschot) in deze periode. Als de beschikbare hoeveelheid vocht te klein is om het neerslagtekort te dekken, dan is aangenomen dat verdampingsreductie optreedt. De reductie is dan gelijk aan het verschil tussen neerslagtekort en beschikbaar vocht over de beschouwde periode.

De vochtvoorraad in het profiel was eind mei 1983 nog bijzonder hoog. De grondwaterstand stond op ca. 30-70 cm beneden maaiveld. Ruw geschat bedraagt de vochtvoorraad op de drie proefvelden op dat moment:

31 mei 1983:

veld 1: voorraad = 465 mm; beschikbaar voor plant = 300 mm
veld 2: voorraad = 400 mm; beschikbaar voor plant = 220 mm
veld 3: voorraad = 550 mm; beschikbaar voor plant = 320 mm

Bij potentiële verdamping bedraagt het neerslagtekort in de maanden juni tot en met augustus 1983 totaal 231 mm. Dit betekent dus dat op de velden 1 en 3 potentiële verdamping heeft kunnen plaatsvinden. Op veld 2 is volgens deze schatting een geringe verdampingsreductie opgetreden van 11 mm.

In het voorjaar van 1984 is in april reeds sprake van een neerslagtekort, maar dit wordt in mei weer gedeeltelijk aangevuld met een neerslagoverschot. Eind mei 1984 bedraagt de vochtvoorraad:

31 mei 1984:

veld 1: voorraad = 370 mm; beschikbaar voor plant = 205 mm
veld 2: voorraad = 310 mm; beschikbaar voor plant = 130 mm
veld 3: voorraad = 455 mm; beschikbaar voor plant = 225 mm

Bij potentiële verdamping bedraagt het neerslagtekort in de maanden juni tot en met augustus 1984 totaal 99 mm. Dit betekent dat op alle velden potentiële verdamping heeft kunnen plaatsvinden. Uit de cijfers blijkt dat de zomer van 1984 aanzienlijk natter was dan die van 1983. Ook de verdampingscijfers liggen belangrijk lager (minder straling) met name in de maanden juni en juli.

De waterbalanscijfers zijn per maand berekend en gepresenteerd in de tabellen 13 en 14. Opvallend is het achterblijven van de totale afvoer op veld 1 in de periode september 1983-augustus 1984 (tabel 14), terwijl de afvoeren van veld 2 en 3 in dezelfde orde van grootte liggen. Dit verschil in afvoer (ca. 50 mm) treedt met name aan de dag tijdens de winterperiode 1983/'84 (zie ook fig. 14). Vergelijking met het neerslagoverschot in de periode september 1983 tot en met augustus 1984 (245 mm) laat zien dat op veld 1 slechts 65% van dit overschot tot afvoer kwam, terwijl op de velden 2 en 3 respectievelijk 88% en 85% van het overschot werd afgevoerd. De overige 12-15% werd geborgen in de afdeklaag van deze twee velden. De vochtinhoud aan het eind van deze balansperiode is dan ook groter dan bij het begin (1 sept. 1983). Dit is in overeenstemming met de gemeten vochtspanningen (1 sept. 1983: ca. pF 3,0; 1 sept. 1984: ca. pF 2,6).

Tabel 13. Waterbalansen voor de periode 11 november 1982 tot en met augustus 1983

Omschrijving	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Totaal
E	4	1	8	15	41	66	85	142	147	100	609
α^o	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	
E	2,0	0,5	4,0	7,5	24,6	46,2	68,0	113,6	117,6	80,0	464
N ^p	70,5	85,0	99,6	59,0	94,2	94,8	150,1	48,0	23,4	9,3	734
N-E _p	68,5	84,5	95,6	51,5	69,6	48,6	82,1	-65,6	-94,2	-70,7	270
Veld 1:											
N-E	68,5	84,5	95,6	51,5	69,6	48,6	82,1	-65,6	-94,2	-70,7	270
opp. afvoer*	6,8	18,0	24,8	27,8	14,2	25,0	33,5	0,2	0,3	0	151
drainafvoer	11,4	30,6	19,3	9,7	12,7	14,0	14,1	1,7	0	0	114
Δ berging	50,3	35,9	51,5	14,0	42,7	9,6	34,5	-67,5	-94,5	-70,7	+ 5
vochtinhoud	227						465			232	
Veld 2:											
N-E	68,5	84,5	95,6	51,5	69,6	48,6	82,1	-65,6	-94,2	-59,7	281
opp. afvoer*	6,4	30,2	32,0	22,1	19,4	31,2	40,1	0,1	0	0	182
drainafvoer	12,9	18,4	12,1	15,4	6,2	7,8	7,5	0,6	0	0	81
Δ berging	49,2	35,9	51,5	14,0	44,0	9,6	34,5	-66,3	-94,2	-59,7	+18
vochtinhoud	161						400			180	
Veld 3:											
N-E	68,5	84,5	95,6	51,5	69,6	48,6	82,1	-65,6	-94,2	-70,7	270
opp. afvoer*	5,3	6,4	8,0	11,8	7,2	4,7	14,2	0,1	0,1	0	58
drainafvoer	12,9	42,2	36,1	25,7	18,4	34,3	33,4	1,9	0	0	205
Δ berging	50,3	35,9	51,5	14,0	44,0	9,6	34,5	-67,6	-94,3	-70,7	+ 7
vochtinhoud	310						550			317	

*geschat: zie tabel 8 (hfdst. 5.2)

Tabel 15. Waterbalansen voor de periode september 1983 tot en met augustus 1984

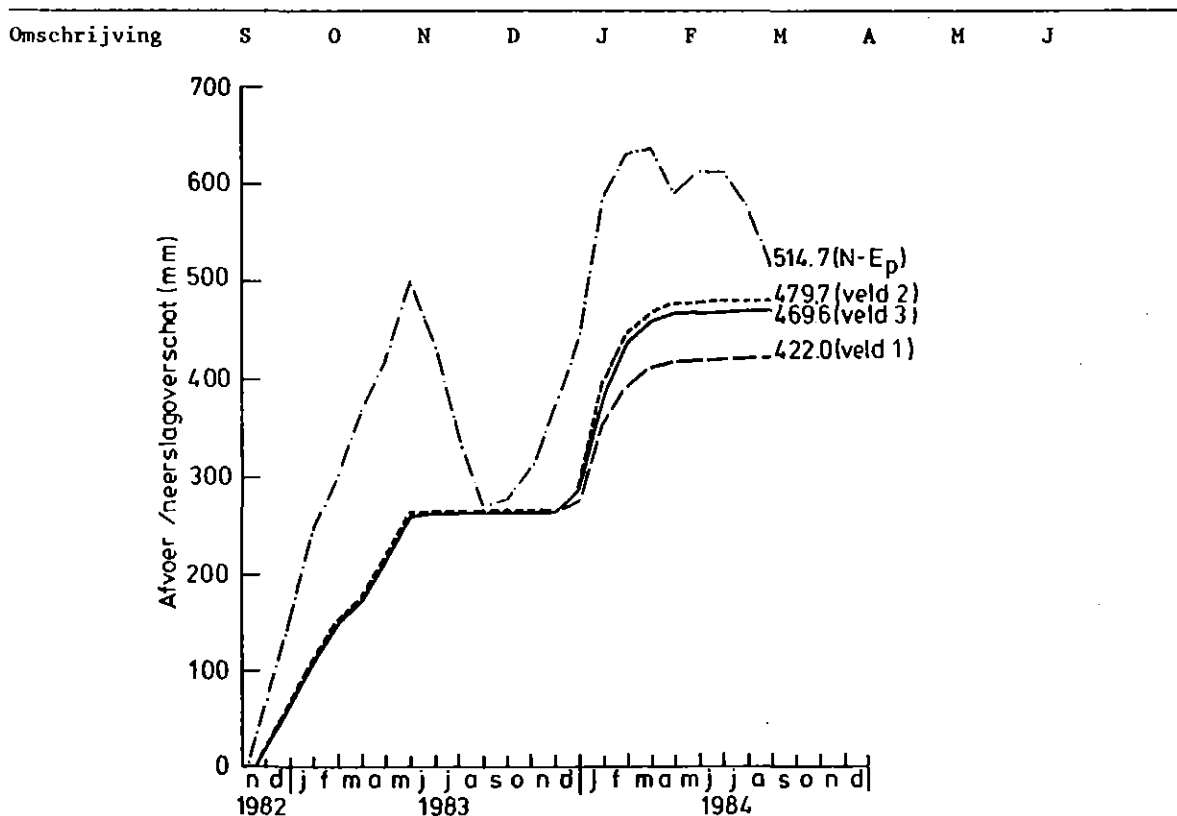


Fig. 14. De totale afvoer (drainafvoer + oppervlakte-afvoer) in vergelijking met het neerslagoverschot bij potentiële verdamping, beide cumulatief uitgezet tegen de tijd

Tabel 14. Waterbalansen voor de periode september 1983 tot en met augustus 1984

Omschrijving	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Totaal
E	62	34	9	3	6	13	42	79	79	100	103	92	622
α^0	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	
E	49,6	27,2	7,2	2,4	4,8	10,4	33,6	63,2	63,2	80,0	82,4	73,6	498
N ^P	56,3	59,8	69,2	73,5	144,3	57,1	43,4	17,0	84,9	80,0	44,3	12,6	742
N-E	6,7	32,6	62,0	71,1	139,5	46,7	9,8	-46,2	21,7	0	-38,1	-61,0	245
N-E ^P _{act}	6,7	32,6	62,0	71,1	139,5	46,7	9,8	-46,2	21,7	0	-38,1	-61,0	245
Veld 1:													
opp. afvoer	0,3	0,2	0,9	0,3	2,5	0,7	0,5	0,2	1,0	0,9	0,5	0,1	8
Drainafvoer	0,2	0,1	0,4	11,9	73,4	40,6	17,0	5,4	0,3	0,4	0,1	0	150
Δ berging	6,2	32,3	60,7	48,9	38,6	-4,6	-10,7	-53,8	20,4	-1,3	-38,7	-76,1	+37
lekkage	-	-	-	10	25	10	3	2	-	-	-	-	50
vochtinhoud	232		332		419		404		370				269
Veld 2:													
opp. afvoer	0,1	0,1	0,3	0,2	1,6	0,2	0,2	0,1	0,3	0,3	0	0	3
drainafvoer	0,1	0	1,9	21,9	107,6	50,7	19,9	8,5	0,5	0,5	0,1	0	212
Δ berging	6,5	32,5	59,8	49,0	30,3	-4,2	-10,3	-54,8	20,9	-0,8	-38,2	-61,0	+30
vochtinhoud	180		279		358		343		310				210
Veld 3:													
opp. afvoer	0,2	0,3	0,4	0,6	1,5	0,4	0,3	0,1	0,6	0,5	0,3	0,1	5
drainafvoer	0,1	0,1	1,0	23,1	94,2	53,5	21,0	7,6	0,4	0,4	0,2	0	202
Δ berging	6,4	32,2	60,6	47,4	43,8	-7,2	-11,5	-53,9	20,7	-0,9	-38,6	-61,1	+38
vochtinhoud	317		417		508		489		456				355

Opmerking: de afvoercijfers zijn gecorrigeerd voor lekkage van percolatiewater met behulp van de Cl-gehalten in het afgevoerde water

Gezien de vocht karakteristiek van de afdekgrond op veld 1 is het niet aannemelijk dat de vochtberging op veld 1 groter zou zijn dan op de velden 2 en 3. Ook een andere verklaring, namelijk dat het drainage-systeem op veld 1 niet goed zou werken waardoor hier water zou stagneren, gaat niet op want in dat geval zou tijdens een natte periode de grondwaterstand op veld 1 hoger moeten zijn en zou de drainafvoer na deze periode lager door moeten gaan dan op de beide andere velden. Dit is niet het geval, ook na de natte periode van december 1983 tot en met februari 1984 blijft de afvoer van veld 1 achter bij de twee andere velden. De conclusie moet dan ook zijn, dat op veld 1 water is verdwenen tengevolge van lekkage door de afdichtingslaag. De lekkage kan niet langs de scheidingswanden plaats hebben gevonden, aangezien de Hypofors-afdichting ca. 50 cm is opgezet tegen de wanden en de grondwaterstand niet boven dit niveau is gestegen in de winter 1983/'84. Nader onderzoek naar de oorzaak van deze lekkage (zie ook hfdst. 6.4) heeft bevestigd dat lekkage mogelijk was, niet alleen ter plaatse van de opgraving maar ook elders op het veld.

Hoewel door allerlei storingen de nauwkeurigheid van de metingen soms te wensen overliet, konden de ontbrekende gegevens toch redelijk worden geschat. Voor de periode 11 november 1982 tot 1 september 1984 zijn de gegevens in tabel 15 samengevat.

De waterdichtheid van de afdichtingslagen is weergegeven als percentage van het neerslagoverschot, dat wil zeggen een percentage van 100% betekent dat het neerslagoverschot volledig is opgevangen en/of geborgen in de afdeklaag, terwijl een percentage lager dan 100% duidt op lekkage door de afdichtingslaag.

De gegevens in tabel 15 laten zien, dat het ondanks de onregelmatige zettingen/verzakkingen op een afvalstortterrein mogelijk is om de infiltratie van neerslag in het stort praktisch geheel te voorkomen. De zand-bentoniet afdichtingen geven een 100% afsluiting te zien, zelfs op veld 2 waar de afdichtingslaag slechts 10 cm dik was.

De lekkage, die is geconstateerd op veld 1, is veroorzaakt doordat op meerdere plaatsen lekken zijn ontstaan in het afdichtingsmateriaal (zie pag. 37). In het tweede jaar is hierdoor ca. 50 mm water weggelekt. Niettemin is hier 90% van het neerslagoverschot tegengehouden tijdens de twee jaar durende meetperiode.

Ten aanzien van het functioneren van dergelijke afdichtingslagen op zeer lange termijn is weinig bekend. Niettemin kan uit het hier uitgevoerde onderzoek worden geconcludeerd dat de afdichtingslagen de eerste zettingen (en deze zijn het grootst in de eerste jaren na het storten) zeer goed hebben doorstaan. Dit geldt met name voor de zand-bentoniet afdichtingen, die ook in het 2e jaar na aanleg nog volledig waterdicht zijn. De verwachting is dat zand-bentonietlagen de zetting

Tabel 15. Samenvatting van de belangrijkste waterbalanstermen voor de periode 11 november 1982-1 september 1984

	Veld 1	Veld 2	Veld 3
neerslagoverschot ($N-E_o$)	515	526	515
totale afvoer (drainafvoer + opp. afvoer)	423	478	470
berging in de afdeklaag	+42	+48	+45
lekkage door afdichtingslaag	50	-	-
waterdichtheid (% van neerslagoverschot)	90%	100%	100%

goed op kunnen vangen als de bentoniet nog zwelvermogen over heeft. Dit betekent dat het bentonietgehalte in de laag zo groot moet zijn, dat er na binding van het water in de poriën nog een behoorlijke zwelcapaciteit over is. Uit laboratoriumonderzoek is gebleken dat bij verdichting tot ca. 1800 kg.m^{-3} ongeveer 2% bentoniet nodig is om alle water in de poriën te binden. Bij een bentonietgehalte van 5% is dan nog een extra zwelcapaciteit van $0,7 \text{ m}^3 \text{ per m}^3$ grond over om de gevolgen van zetting op te vangen. Het bentonietgehalte van de afdichtingslagen op de proefvelden bedroeg 7,5 respectievelijk 10%, zodat hier sprake is van een ruime dosering. Bij het laboratoriumonderzoek is tevens gebleken dat met de goedkopere Europese bentoniet (met natrium geactiveerd) vergelijkbare resultaten worden behaald als met de Wyoming bentoniet uit de USA. In Deelrapport 4 zal hier nader op worden teruggekomen.

8. CONCLUSIES

Het hydrologisch onderzoek op de drie proefvelden op het stortterrein van de VAM in Wijster heeft aangetoond, dat de infiltratie van regenwater in een afvalstort praktisch geheel kan worden voorkomen door het aanbrengen van afdichtingslagen op het stort. De zand-bentoniet afdichtingen voldeden geheel aan de verwachting en bleken ook na twee jaar nog 100% waterdicht te zijn, ondanks zettingen in de orde van 0,50 tot 1,50 m. De Hypofors-afdichting bleek aanvankelijk waterdicht te zijn, maar in het tweede jaar zijn lekken ontstaan in deze afdichting waardoor ca. 50 mm water is weggezakt in het afvalstort. Bij opgravingen werden meerdere lekken geconstateerd, deze waren deels het gevolg van constructiefouten bij de 'fabriekslagen' en deels het gevolg van zettingen en/of grindstenen in de onderliggende zandlaag (= steunlaag).

Het onderzoek heeft voorts aangetoond dat direct na aanleg gevaar bestaat voor erosie en eventueel afschuiving van de grond, althans op steile hellingen en zolang de grond nog braak ligt. De aanleg moet daarom in het voorjaar of de zomer plaatsvinden om een snelle ontwikkeling van de vegetatie te garanderen. Zodra de grond beschermd wordt door een vegetatiedek neemt de kans op erosie aanzienlijk af. Op vlakke gedeelten van het stortterrein is de kans op erosie of afschuiving uiteraard veel kleiner.

De lekkage van sterk verontreinigd percolatiewater aan de voet van de helling heeft aangetoond dat de 'teenconstructie' van groot belang is voor de scheiding van schoon en vuil water. In Deelrapport 2 (HOEKS en RYHINER, 1985) is hier reeds uitvoerig aandacht aan besteed.

Hoewel de grootste zettingen plaatsvinden in de eerste jaren, mag worden verwacht dat de zettingen nog vele jaren, maar dan gelijkmatiger, zullen doorgaan. Hoe de afdichtingslagen hierop gaan reageren is voor een belangrijk deel afhankelijk van de nu nog resterende rek- en trek-mogelijkheden van het Hypofors-membraan en de zwelcapaciteit van de bentoniet. Wat de bentonietafdichting betreft is de verwachting dat de zettingen weinig invloed zullen hebben op de waterdichtheid, gezien de ruime dosering van 7,5-10% bentoniet in het zand-bentonietmengsel.

Bij het opstellen van de waterbalansen moesten correcties worden uitgevoerd voor gemiste oppervlakte-afvoer als gevolg van erosie en voor lekkage van percolatiewater aan de voet van de helling. Bij incidentele storingen in de meetapparatuur moesten de ontbrekende gegevens worden geschat op grond van eerder afgeleide relaties tussen afvoeren en neerslag. Het is daarom wenselijk om aan de hand van modelberekeningen de betrouwbaarheid van de metingen nader te onderzoeken. De vergelijking van meetgegevens en modelberekeningen, met daaraan gekoppeld een bespreking van de mogelijke foutenbronnen, zal worden opgenomen in deelrapport 4.

LITERATUUR

- AGELINK, G.J., 1981. Onderzoek naar mogelijkheden om de infiltratie van regenwater in een afvalstort te verminderen. Deelrapport 3: Experimentele resultaten. Nota 1295, ICW, Wageningen.
- BELLIN, K., 1964. Entwicklung und Probleme des Dränversuches unter besonderer Berücksichtigung des Ertragsversuches. Mitt. Inst. für Wasserwirtschaft und landwirtschaftlichen Wasserbau, T.H. Hannover, Heft 4.
- BOHEEMEN, P.J.M. and H. HUMBERT, 1984. Sprinkling of grassland. II. Fundamentals of soil water flow at the experimental field. Nota 1540, ICW, Wageningen.
- BRAAK, C., 1945. Invloed van de wind op regenwaarnemingen. KNMI-mededelingen en verhandelingen 48, 's-Gravenhage.
- BUISHAND, T.A. en C.A. VELDS, 1980. Neerslag en verdamping, KNMI, De Bilt.
- COLENBRANDER, H.J. en Ph.Th. STOL, 1970. Neerslag en neerslagverdeling naar plaats en tijd. Deelrapport 5. In: Hydrologisch onderzoek in het Leerinkbeekgebied. Tweede Interimrapport Werkgroep I, Comm. Waterbehoefte Gelderse Landbouwgronden, Prov. Gelderland, Arnhem, p. 98-108.
- DEKKER, C.G., 1979. Een onderzoek naar de grootte van de systematische windfout van de standaard regenmeter. KNMI-verslagen, V 318, De Bilt.
- DOMMELEN, J. VAN, W. VENEMA, J. HOEKS en A.H. RYHINER, 1983. Onderzoek naar de praktische uitvoerbaarheid van bovenafdicthting op afvalstortterreinen. Deelrapport 1: Onderzoeksopzet en aanleg van proefvelden. Nota 1458, ICW, Wageningen.
- HEIDEMIJ, 1985. Onderzoek afdekgrond op taluds stortplaats te Wijster. Rapport nr 630-03738, Heidemij Adviesbureau, Arnhem.
- HOEKS, J., 1972. Effect of leaking natural gas on soil and vegetation in urban areas. Agr. Res. Rep. 778, Pudoc, Wageningen.
- en G.J. AGELINK, 1982. Onderzoek naar mogelijkheden om de infiltratie van regenwater in een afvalstort te verminderen. Rapporten n.s. 3, ICW, Wageningen (tevens in: Bodembescherming nr 10, Staatsuitgeverij, Den Haag).

- HOEKS, J. en A.H. RYHINER, 1985. Onderzoek naar de praktische uitvoerbaarheid van bovenafdicthting op afvalstortterreinen.
Deelrapport 2: Ervaringen en meningen omtrent bovenafdicthting op grond van literatuuronderzoek. Nota 1609, ICW, Wageningen.
- ZEEUW, J.W. DE, 1963. Over de werkelijkheidsbenadering van gemeten neerslagen. Landbouwkundig Tijdschrift 75, p. 815-832.

GRANULAIRE SAMENSTELLING VAN DE AFDEKGROND EN DE ZAND-BENTONIET
MENGSELS

De grondmonsters, die zijn onderzocht op het Laboratorium voor Grond- en Gewasonderzoek in Oosterbeek, betreffende volgende locaties:

<u>nr monster</u>	<u>omschrijving</u>
B 220042	Veld 1: afdekgrond, tussen interceptie-drains
B 220043	Veld 1: afdekgrond, boven op de helling
B 220044	Veld 2: afdekgrond, tussen interceptie-drains
B 220045	Veld 2: afdekgrond, boven op de helling
B 216912	Veld 3: zand-bentoniet mengsel (zand (zand: bentoniet = 100:7,5)
B 216913	Veld 3: afdekgrond
B 220317	Veld 2: zand-bentoniet mengsel (zand: bentoniet = 100:10)
B 220318	Zand-bentoniet mengsels (100:10)
B 220319	(gemengd in het laboratorium)



BEDRIJFSLABORATORIUM VOOR GROND- EN GEWASONDERZOEK
MARIENDAAL - OOSTERBEEK

ANALYSEVERSLAG
GRANULAIR ONDERZOEK

Oosterbeek, 12-8-1983.

Aan : Inst. v. Cultuurtechn. en Waterhuish., Marijkeweg 11, Wageningen.
Onderzoeknummers : B220042/045
Datum bemonstering: 30-6-1983 Datum ontvangst: 5-7-1983
Herkomst : VAM Wijster.

Onderzoeknummer	B220042	B220043	B220044	B220045		
Gegevens van het monster	Veld 1a	Veld 1b	Veld 2a	Veld 2b		
Laag in cm						
pH-KCl	5,7	5,6	5,5	5,6		
In % van de stoffdroge grond	Org. stof ¹⁾	4,9	18,2	9,5	13,5	
	CaCO ₃	0,1	0,1	0,1	0,1	
	Afslibbaar 0 - 16	7,0	8,4	3,6	5,8	
	Totaal zand 16-2000	88,0	73,3	86,8	80,6	
In % van de minerale delen	0 - 2	4,6	7,3	2,9	4,8	
	2 - 4	1,4	1,2	0,4	1,2	
	4 - 8	0,7	0,8	0,4	0,5	
	8 - 16	0,6	1,0	0,3	0,2	
	16 - 25	1,4	0,7	0,2	0,8	
	25 - 35	0,5	0,6	0,1	1,1	
	35 - 50	8,1	12,0	5,8	7,2	
	50 - 75	6,7	9,2	6,1	6,8	
	75 - 105	11,0	12,4	10,0	10,4	
	105 - 150	20,4	17,6	26,2	19,9	
	150 - 210	22,0	18,6	25,4	24,3	
	210 - 300	12,9	10,0	12,5	13,7	
	300 - 420	5,4	4,3	5,3	5,2	
	420 - 600	2,2	1,8	1,6	1,9	
	600 - 850	1,2	1,0	0,9	1,0	
	850 - 1200	0,7	1,0	0,9	0,7	
	1200 - 1700	0,2	0,6	0,8	0,3	
M	138	118	146	144		
U						
pH-H ₂ O	6,4	6,4	6,6	6,6		

Fractiegrenzen in µ

¹⁾ Gloeiverlies-methode.

ESM 7-012-100-3-'82

VF6



BEDRIJFSLABORATORIUM VOOR GROND- EN GEWASONDERZOEK
MARIENDAAL - OOSTERBEEK

ANALYSEVERSLAG
GRANULAIR ONDERZOEK

Oosterbeek, 2 februari 1983

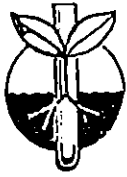
Aan : I.C.W., Staringgebouw, Postbus 35, 6700 AA Wageningen.
Onderzoeknummers : B216912/913
Datum bemonstering: 12-10-1982 Datum ontvangst: 1-11-1982
Herkomst : VAM 42/266, Wijster.

Onderzoeknummer	B216912	B216913				
Gegevens van het monster		Afdek-grond				
Laag in cm						
pH-KCl	7,3	5,5				
In % van de stoffdroge grond	Org. stof 1)	0,2	25,1			
	CaCO ₃	0,3	0,3			
	Afslibbaar 0 - 16	7,8	8,2			
	Totaal zand 16-2000	91,7	66,4			
In % van de minerale delen	0 - 2	6,8	7,1			
	2 - 4	0,2	1,6			
	4 - 8	0,4	1,2			
	8 - 16	0,4	1,4			
	16 - 25	0,2	1,4			
	25 - 35	0,3	2,2			
	35 - 50	2,2	7,1			
	50 - 75	4,2	6,6			
	75 - 105	10,4	7,8			
	105 - 150	24,7	17,5			
	150 - 210	30,4	22,8			
	210 - 300	14,6	12,1			
	300 - 420	4,0	4,8			
	420 - 600	0,8	1,6			
	600 - 850	0,2	1,1			
	850 - 1200	0,1	1,5			
	1200 - 1700	0,1	2,2			
M	151	140				
U						
pH-water	9,3	6,2				
Gloeirest 2)	0,11	0,11				

Fractiegrenzen in µm 1) Gloeiverliesmethode
2) Stoffdroog %

ESM 7-012-100-3-'82

VP6



BEDRIJFSLABORATORIUM VOOR GROND- EN GEWASONDERZOEK
MARIËNDAAL - OOSTERBEEK

ANALYSEVERSLAG
GRANULAIR ONDERZOEK

Oosterbeek, 3 oktober 1983

Aan : Inst. v. Cultuurt., Waterhuishouding, Staringgebouw, Wageningen.
Onderzoeknummers : B220317/319
Datum bemonstering: Datum ontvangst: 29-8-1983
Herkomst : Vam-Wijster

Onderzoeknummer	B220317	B220318	B220319			
Gegevens van het monster	Zand-Bentoniet 1	Zand Bentoniet 2	Zand Bentoniet 3			
Laag in cm						
pH-KCl	7,4	7,6	7,6			
In % van de stoofdroke grond						
Organische stof 1)	0,2	0,1	0,0			
CaCO ₃	0,3	0,3	0,4			
Afslibbaar 0 - 16	8,9	11,3	11,4			
Zand 16 - 2000	90,6	88,3	88,2			
Minerale delen in %						
0 - 2	8,5	9,8	10,5			
2 - 16	0,5	1,5	0,9			
16 - 50	4,8	3,2	4,4			
50 - 105	14,6	17,2	16,0			
105 - 150	25,3	23,5	23,7			
150 - 2000	46,3	44,8	44,5			
pH-H ₂ O	9,2	9,0	9,0			
1) Gloeiverlies-methode						

Fractiegrenzen in µm

ESM 7-013-500-7-'82
VF41

BIJLAGE 2

BIJLAGE 2

VOCHTKARAKTERISTIEKEN VAN DE AFDEKGROND

Bodemvochtgehalten (vol. %) als functie van pF-waarden (vochtgehalte bij pF 3,4 en 4,2 in gew. %) en diepte (cm-mv)

Veld 1:

pF-waarde	1A		1B		1C		Gemiddelde waarden
	20 cm	60 cm	20 cm	75-80 cm	20-30 cm	50-70 cm	
start	12,8	59,5	48,6	43,0	63,4		
0,5	45,1	74,1	60,7	75,8	55,9	71,5	63,9
1,0	44,0	71,4	60,2	75,4	55,4	71,8	63,0
1,5	43,3	69,0	60,3	73,5	55,4	71,0	62,1
2,0	29,0	64,3	55,4	69,6	51,5	65,8	55,9
2,3	21,8	60,6	51,8	66,3	47,3	62,1	51,7
2,7	18,4	55,8	48,4	61,2	42,9	58,1	47,5
3,4	9,7	35,8	8,9	39,0	10,6	55,7	18,5*
4,2	5,1	23,3	4,2	22,3	3,6	34,8	10,4*
vol. gew. (g.cm ⁻³)	1,36	0,59	0,91	0,60	1,9	0,60	

*omgerekend naar vol. %

Veld 2:

pF-waarde	2A		2B		2C		Gemiddelde waarden
	20-30 cm	50-70 cm	20-30 cm	50-70 cm	20-30 cm	50-70 cm	
start	33,0	45,1	42,4	41,5	33,1	35,0	
0,5	59,6	53,8	62,1	51,3	52,2	58,2	56,2
1,0	56,9	53,5	62,9	50,8	52,5	55,8	55,3
1,5	52,3	53,2	59,0	49,8	51,9	48,2	52,4
2,0	45,9	46,5	54,0	45,3	43,8	38,7	45,7
2,3	41,4	42,2	50,8	42,7	38,4	34,8	41,7
2,7	37,4	38,9	46,7	39,4	34,2	31,6	38,0
3,4	21,3	n.b.	36,7	33,7	25,8	26,4	31,3*
4,2	13,4	n.b.	23,4	21,5	22,6	13,0	20,8*
vol. gew. (g.cm ⁻³)	1,08	1,09	1,01	1,24	1,21	0,9	

*omgerekend naar vol. %

Veld 3:

pF-waarde	3A		Gemiddelde waarden (1A t/m C-diep + 3A-beide)**
	20-30 cm	50-70 cm	
start	59,3	67,5	
0,5	73,8	76,5	74,3
1,0	73,3	75,8	73,5
1,5	72,9	75,6	72,4
2,0	66,1	67,6	66,7
2,3	61,6	63,6	62,8
2,7	55,3	57,0	57,5
3,4	n.b.	n.b.	26,0*
4,2	n.b.	n.b.	16,0*
vol. gew. (g.cm ⁻³)	0,62	0,48	

*omgerekend naar vol. %

**ondergrond van veld 1 is vergelijkbaar met grond op veld 3