

VERSNELDE HERBEVOCHTING VERDROOGDE VEENKADEN



RAPPORT

2004

39

ONDERZOEK NAAR MAATREGELEN VOOR VERSNELDE HERBEVOCHTING
VAN VERDROOGDE VEENKADEN EN VERTRAAGDE VERDROGING VAN VEENKADEN

VERSNELDE HERBEVOCHTING VERDROOGDE VEENKADEN

RAPPORT

2004

39

ISBN 90.5773.335.8



COLOFON

Utrecht, juni 2006

UITGAVE STOWA, Utrecht

RAPPORT Versnelde herbevochtiging verdroogde veenkaden

PROJECTUITVOERING

H. van Hemert

J.A. Teeuw

L.R. Wentholt

BEGELEIDINGSCOMMISSIE / KLANKBORDGROEP

P. van den Berg (voorzitter) – Hoogheemraadschap van Rijnland /
voorzitter STOWA programmacommissie Waterweren

C. van Ackooij – Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden

E. Bongaards – waterschap Wilck en Wiericke

H. Drenkelford – Hoogheemraadschap van Delfland

S. Gardien – waterschap Hunze en Aa's

R. Joosten – Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier

P. Neijenhuis – waterschap Vallei en Eem

R. Taffijn – Hoogheemraadschap van Schieland

J. Teeuw – Hoogheemraadschap van Amstel, Gooi en Vecht

L. Zijlstra – wetterskip Fryslân

J. Scholtes – Unie van Waterschappen

H. Eikelenboom – provincie Noord - Holland

A.K. Evers – provincie Utrecht

E. Hazenoot – provincie Utrecht

J. Westerhoven – provincie Zuid – Holland

W. de Vries – TAW – coördinator (WS Fryslân vanaf mei 2004)

J. Weijers – RWS DWW

DRUK Kruyt Grafisch Advies Bureau

STOWA rapportnummer 2004-39
ISBN 90.5773.335.8

FOTO Alterra

Dit onderzoek vormt onderdeel van het onderzoeksprogramma
“Droogte onderzoek Veenkaden”.

TEN GELEIDE

ALGEMEEN

Gedurende de uiterst droge zomer van 2003 verschoof eind augustus in Wilnis een veenkade. Enkele dagen later volgde de afschuiving van een veenkade nabij Terbregge. Uiteindelijk vonden gedurende de nazomer van 2003 op ca. 50 locaties serieuze vervormingen van veenkaden plaats. De langdurige droogte vormde een belangrijke oorzaak voor deze doorbraken en vervormingen. Op basis van deze gebeurtenissen is “langdurige droogte” als belastingsituatie geïdentificeerd. Een nieuwe belastingsituatie die zelfs maatgevend kan zijn, gezien de doorbraken van 2 veenkaden. Vanwege de onbekendheid met deze belastingsituatie, ontstonden bij de waterschappen enkele urgente vragen betreffende de veiligheid van verdroogde (veen-) kaden. Op verzoek van de Unie van Waterschappen heeft de STOWA in overleg met de waterschappen begin september het initiatief genomen tot uitvoering van een onderzoeksprogramma. Doelstelling van het “Droogte onderzoek veenkaden” was de snelle beantwoording van de urgente vragen van de waterschappen. Medio oktober 2003 zijn de vragen beantwoord. Vervolgens is besloten tot verlenging van het onderzoeksprogramma. De 2^{de} fase van het onderzoek is gericht op het ondersteunend adviseren van de waterschappen betreffende denkbare voorbereidingen op de zomer van 2004, in potentie een periode waarin de belastingsituatie “droogte” opnieuw de veiligheid van veenkaden zou kunnen bedreigen. De betreffende adviezen zijn in mei en juni 2004 gerapporteerd.

De totale rapportage van het onderzoeksprogramma (zie tabel 1) omvat:

- een eindrapport: een beschrijving van de belangrijkste conclusies van het onderzoeksprogramma en de samenhang van alle verschillende deelonderzoeken en -activiteiten;
- een hoofdrapport: een samenvattende aanbeveling voor het beheer en de inspectie van veenkaden tijdens droogte, op basis van een synthese van de verschillende bevindingen van alle deelonderzoeken en -activiteiten;
- 7 deelrapporten: rapportage van de ondersteunende adviezen zoals die tijdens het onderzoek zijn uitgebracht; doel van deze adviezen was steeds het tijdig informeren van de waterschappen over ontwikkelde inzichten, omwille van deze tijdigheid hebben de rapporten overwegend een conceptueel karakter;
- 6 achtergrondrapporten met de feitelijke rapportage van de deelonderzoeken; deze resultaten zijn gebruikt bij het samenstellen van de deelrapporten.

DIT RAPPORT

Het voorliggende rapport “Versnelde herbevochtiging verdroogde veenkaden” beschrijft een verkenning van denkbare maatregelen om verdroogde veenkaden versneld te herbevochtigen. Dit rapport besteedt tevens aandacht aan de mogelijkheden om de verdroging van een veenkade te vertragen.

TABEL 1

OVERZICHT RAPPORTAGE DROOGTE ONDERZOEK VEENKADEN

Hoofdrapporten

2005 - 02	Onderzoeksprogramma Droogteonderzoek veenkaden
2005 - 03	Naar een draaiboek voor droogtegevoelige kaden

Deelrapporten

2004 - 06	Beslissingsondersteuning inspectie van verdroogde veenkaden
2004 - 07	De stabiliteit van veenkaden: stand van zaken
2004 - 08	Droogte onderzoek Veenkaden korte termijn in retrospectief
2004 - 12	Bomen op verdroogde boezemkaden
2004 - 15	Hoe droog is het?
2004 - 17	Kwetsbaarheid van veenkaden voor droogte
2004 - 18	Veiligheid van veenkaden: denkbare (nood-) maatregelen

Achtergrondrapporten

2004 - 34	Grondonderzoek veenkaden
2004 - 35	Inspectietechnieken voor droge veenkaden
2004 - 36	Aandachtsgebieden veenkaden
2004 - 37	Stabiliteit van veenkaden tijdens droogte: case studie
2004 - 38	Natuurlijke herbevochtiging van verdroogde veenkaden
2004 - 39	Versnelde herbevochtiging verdroogde veenkaden

WOORD VAN DANK

Het onderzoeksprogramma is uitgevoerd in samenspraak met de STOWA programmacommissie Waterwieren en een sectorale klankbordgroep bestaande uit vertegenwoordigers van waterschappen en provincies.

Aan het gehele onderzoeksprogramma “Veenkaden” is bijgedragen door deskundigen van verschillende instituten, adviesbureaus, waterschappen, overheidsorganisaties en provincies. Gedurende het onderzoek was sprake van een constructieve samenwerking tussen de betrokken deskundigen. De resulterende effectieve combinatie van inzichten uit de verschillende expertises heeft in belangrijke mate bijgedragen aan de snelle en zorgvuldige beantwoording van de urgente vragen van de waterkeringbeheerders. Het is dankzij deze pragmatische aanpak dat de STOWA erin is geslaagd om, reeds binnen enkele weken na de doorbraak van de veenkade bij Wilnis en Terbregge, de urgente vragen van de waterschappen afdoende te beantwoorden.

Een woord van dank gaat dan ook uit naar alle direct betrokken deskundigen van de verschillende instituten en adviesbureaus, speciale waardering gaat uit naar de doelgerichte en pragmatische aanpak tijdens de uitvoering van het onderzoeksprogramma.

De STOWA heeft het onderzoeksprogramma kunnen uitvoeren dankzij een extra financiële bijdrage van de gezamenlijke waterschappen.

ir. J.M.J. Leenen
Directeur STOWA
December 2004

VOORWOORD

De gebeurtenissen met veenkaden in augustus 2003 hebben aangetoond dat langdurige droogte de sterkte van veenkaden of kaden op veenondergrond kan aantasten. Als gevolg van de droogte is aan het eind van de zomer van 2003 sprake van een groot aantal, in meer of mindere mate, verdroogde (veen-)kaden. Verdroogd veen neemt slechts langzaam vocht op, door waterafstotend (hydrofoob) gedrag kon het volledige herstel van de vochtigheid van verdroogde veenkaden tenminste tot het begin van de winter 2003 /2004 duren. Eventuele stijging van het boezempeil in het najaar van 2003 kon zodoende een nieuwe kritieke situatie vormen voor de veiligheid van de (gedeeltelijk) nog verdroogde (en verondersteld verzwakte) veenkaden.

Belangrijke vraag van de waterkeringbeheerders betrof zodoende de snelheid van de natuurlijke herbevochtiging van een verdroogde veenkaden, ofwel hoe lang blijven verdroogde veenkaden mogelijk verzwakt en dient een verhoogde waakzaamheid voor de veenkaden in acht te worden genomen. Hiertoe is het verloop van de herbevochtiging van een 7-tal (veen-)kaden gemeten ("Natuurlijke herbevochtiging van verdroogde veenkaden"; 2004-38). De meetresultaten hebben de waterschappen ondersteund bij de vaststelling van de vereiste waakzaamheid gedurende het najaar van 2003. De voorspelde trage herbevochtiging en daarmee verondersteld langdurige periode met in meer of mindere mate verzwakte veenkaden heeft onder andere geleid tot de vraag of de herbevochtiging kan worden versneld. Na een korte inventarisatie van soortgelijke toepassingen op sportvelden (m.n. golfbanen) en landbouw in semi-aride gebieden is verder geen onderzoek verricht aangezien de resultaten omtrent de effectiviteit van denkbare maatregelen niet tijdig beschikbaar zouden komen.

Tijdens de verdere uitwerking van het onderzoeksprogramma is echter geconstateerd dat een eventuele maatregel om verdroogde veenkaden te herbevochtigen (of de verdroging zelfs te vertragen) ook voor toekomstige situaties nuttig kan zijn. Het gaat hierbij specifiek om droogtegevoelige kaden waarvoor een verbetering voorlopig niet wenselijk of haalbaar, bijvoorbeeld omdat de beheerder eerst de ontwikkeling van nadere inzichten in de belastingsituatie en het faalmechanisme wil afwachten. Het is daarbij niet uitgesloten dat zich gedurende de uitstelperiode een periode met langdurige droogte voordoet. Ten aanzien van een eventuele beslissing omtrent uitstel van kadeverbetering is het voor de waterkeringbeheerder van groot belang of in geval van droogte een maatregel beschikbaar is om de verdroging van een droogtegevoelige kaden te voorkomen, vertragen of herstellen. Aldus ontstond wederom vraag om onderzoek naar denkbare maatregelen omtrent de verdroging van veenkaden. De klankbordgroep heeft zodoende besloten een onderzoek uit te laten voeren. De verwachting daarbij was dat met dit inzicht mogelijk onnodige of overgedimensioneerde verbetering van droogtegevoelige kaden kon worden voorkomen.

Dit rapport presenteert de resultaten van een proef betreffende de effectiviteit van een *surfactant* om de verdroging van een veenkade te voorkomen. De bijlagen presenteren tevens enkele resultaten van onderzoek wat is uitgevoerd door derden. De STOWA is deze erkentelijk voor het beschikbaar stellen van de betreffende rapportages en informatie.

L.R. Wentholt en H. van Hemert

DE STOWA IN HET KORT

De Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, kortweg STOWA, is het onderzoeksplatform van Nederlandse waterbeheerders. Deelnemers zijn alle beheerders van grondwater en oppervlaktewater in landelijk en stedelijk gebied, beheerders van installaties voor de zuivering van huishoudelijk afvalwater en beheerders van waterkeringen. Dat zijn alle waterschappen, hoogheemraadschappen en zuiveringsschappen en de provincies.

De waterbeheerders gebruiken de STOWA voor het realiseren van toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk juridisch en sociaal-wetenschappelijk onderzoek dat voor hen van gemeenschappelijk belang is. Onderzoeksprogramma's komen tot stand op basis van inventarisaties van de behoefte bij de deelnemers. Onderzoekssuggesties van derden, zoals kennisinstituten en adviesbureaus, zijn van harte welkom. Deze suggesties toetst de STOWA aan de behoeften van de deelnemers.

De STOWA verricht zelf geen onderzoek, maar laat dit uitvoeren door gespecialiseerde instanties. De onderzoeken worden begeleid door begeleidingscommissies. Deze zijn samengesteld uit medewerkers van de deelnemers, zonodig aangevuld met andere deskundigen.

Het geld voor onderzoek, ontwikkeling, informatie en diensten brengen de deelnemers samen bijeen. Momenteel bedraagt het jaarlijkse budget zo'n zes miljoen euro.

U kunt de STOWA bereiken op telefoonnummer: 030 -2321199.

Ons adres luidt: STOWA, Postbus 8090, 3503 RB Utrecht.

Email: stowa@stowa.nl.

Website: www.stowa.nl

VERSNELDE HERBEVOCHTING VERDROOGDE VEENKADEN

INHOUD

	TEN GELEIDE	
	VOORWOORD	
	SAMENVATTING	
	DE STOWA IN HET KORT	
1	INLEIDING	1
1.1	Nieuwe belastingsituatie: droogte	1
1.2	Ontwikkelde inzichten betreffende droogte en stabiliteit veenkaden	1
1.3	Inzicht in faalmechanisme nog onvolledig	2
1.4	Implicatie kennisleemte: uitstel verbetering sommige kaden gewenst	2
1.5	Onderzoek naar maatregel om verdroging veen te voorkomen	3
1.6	Leeswijzer	3
2	VOORKOMEN VAN VERDROGING	4
2.1	Inleiding	4
2.2	Maatregelen die uitdroging van een droogtegevoelige kade voorkomen	4
2.3	Effectiviteit van de voorbereidende maatregelen	6
	BIJLAGEN	
	Onderzoek invloed surfactant op bevochtiging veendijk	
	Grafische presentatie onderzoeksresultaten surfactant	
	Voorbeeld van een middel op biologische basis (VIMI-X)	
	Voorbeeld van een middel op biologische basis (Hydrolog)	
	Voorbeeld van toepassing van een mineraal (Agrar Vital SPS)	

1

INLEIDING

1.1 NIEUWE BELASTINGSITUATIE: DROOGTE

Gedurende de uiterst droge zomer van het jaar 2003 vonden op ca. 50 locaties in Nederland ernstige vervorming en / of serieuze scheurvorming van (veen-) kaden plaats. De langdurige droogte vormde een belangrijke oorzaak van deze gebeurtenissen, waardoor droogte als nieuwe belastingssituatie is erkend. Een belastingssituatie die maatgevend kan zijn, gezien de doorbraken van de kaden in Wilnis en nabij Terbregge.

1.2 ONTWIKKELDE INZICHTEN BETREFFENDE DROOGTE EN STABILITEIT VEENKADEN

Vanuit de verschillende bijeenkomsten van deskundigen in het kader van het STOWA onderzoeksprogramma Veenkaden en de onderzoeken naar de oorzaak van het bezwijken van beide kaden (door GeoDelft in opdracht van de verantwoordelijke Hoogheemraadschappen) en de ernstige vervormingen ter plaatse van verschillende andere kaden, zijn enkele belangrijke inzichten ontwikkeld betreffende de belastingssituatie droogte. Dit betreft onder andere:

- 1 kern faalmechanisme is sterke afname schuifweerstand tussen veenpakket en zandondergrond door hydraulische kortsluiting;
- 2 algemeen is de stabiliteit van veenkaden afhankelijk van de vochtigheid van veen;
- 3 uitdroging van veen wordt versterkt door waterafstotendheid van droog veen.

Ad.1: de horizontale schuifweerstand op de overgang tussen een veenpakket en de zandondergrond levert een belangrijke bijdrage aan de stabiliteit van een waterkering. Tijdens een droogte periode daalt de grondwaterstand in het veenpakket en droogt het veen boven het grondwater uit. Dit geeft een sterke afname van het gewicht van het veenpakket, terwijl de stijghoogte in de zandondergrond min of meer contact blijft. Hierdoor neemt ook de horizontale schuifweerstand tussen het veenpakket en de zandondergrond sterk af.

De afname van de schuifweerstand wordt sterk vergroot door het optreden van hydraulische kortsluiting tussen de boezem en de zandondergrond. Een uiterste situatie wordt bereikt wanneer het veenpakket gaat drijven op de grondwaterdruk in de zandondergrond. Op dat moment is geen schuifweerstand meer aanwezig op het vlak tussen het veenpakket en de zandondergrond. Opdrijven en de afwezigheid van schuifweerstand vormen een belangrijke schakel bij het bezwijken van een kade.

Ad.2: op basis van bovenstaande veronderstelling betreffende het opgetreden faalmechanisme is algemeen gesteld dat de stabiliteit van veenkaden afhankelijk is van de vochtigheid van het veen in of onder de kade of het nabije achterland. Deze afhankelijkheid is het gevolg van de sterke gewichtsafname en de volumevermindering van verdrogend veen:

- gewichtsafname: door verdroging neemt het gewicht van veen in de kade en het achterland af, waardoor de kade en/of het achterland kan gaan opdrijven (op de betrekkelijk constante grondwaterdruk in zandondergrond);
- volumevermindering: door verdroging krimpt het veen, door deze krimp treedt vervorming van de kade op wat bijdraagt aan de kans op hydraulische kortsluiting.

Ad.3: belangrijk aspect bij de verdroging van veen is de vorming van waterafstotend gedrag van veengrond. Waterafstotendheid ontstaat wanneer het vochtgehalte van veen daalt beneden een bepaalde waarde, het zogenaamde kritieke vochtgehalte. Bij vochtgehalten boven dit kritieke vochtgehalte neemt veen makkelijk water op, bij lagere waarden gedraagt het zich waterafstotend. Door waterafstotend gedrag wordt regen- en eventueel kwelwater niet of slechts zeer langzaam door het veen opgenomen. Het water van korte regenbuien wordt dan niet meer in de grond opgenomen, maar voornamelijk afgevoerd via scheuren naar het oppervlaktewater. De veengrond droogt hierdoor steeds verder uit. De vorming van waterafstotendheid is vooral afhankelijk van het vochtgehalte. Echter ook de temperatuur heeft enige invloed, bij een hoge temperatuur wordt de vorming van waterafstotend gedrag van veen versneld. Waterafstotendheid kan zich dus tijdens droogte-perioden gedurende het gehele jaar vormen, maar vormt zich het snelst tijdens de (warme) zomer.

1.3 INZICHT IN FAALMECHANISME NOG ONVOLLEDIG

Thans is (nog) niet in detail bekend welke processen zich tijdens een droge en warme zomer in het veen kunnen afspelen, en volgens welke mechanismen deze processen de stabiliteit van een veenkade (negatief) beïnvloeden. Mogelijk spelen naast fysische processen tevens (micro-)biologische en chemische processen een rol bij de (grotendeels tijdelijke) aantasting van de sterkte van veenkaden bij droogte. Om meer inzicht te verkrijgen in deze processen en de invloed op de sterkte van veenkaden zal (waarschijnlijk) meerjarig fundamenteel onderzoek worden uitgevoerd.

Gezien de complexiteit van de problematiek zal het nog enige jaren duren voordat een formeel bekrachtigde methode wordt vastgesteld om de veiligheid van (veen-)kaden tijdens droogte te toetsen. Gedurende die periode kan niet worden beschikt over gevalideerde richtlijnen of rekenregels voor de toetsing van de veiligheid van (veen-)kaden ten aanzien van droogte of het ontwerp van eventuele verbeteringsmaatregelen.

1.4 IMPLICATIE KENNISLEEMTE: UITSTEL VERBETERING SOMMIGE KADEN GEWENST

Het ontbreken van gevalideerde richtlijnen of rekenregels vormt een belangrijke beperking ten aanzien van de verbetering van verondersteld droogtegevoelige (veen-) kaden. Allereerst bestaat de kans dat de veiligheid van een kade verkeerd wordt beoordeeld, waarbij het zowel denkbaar is dat onterecht wordt beoordeeld dat de veiligheid van de kade niet aan de norm voldoet, als wel dat onterecht wordt beoordeeld dat de veiligheid van een kade niet aan de norm voldoet. Vervolgens houdt dit ten aanzien van eventuele kadeverbeteringen in dat mogelijk:

- een kadeverbetering onnodig wordt uitgevoerd (indien onterecht wordt beoordeeld dat de veiligheid niet voldoet aan de norm);
- een kadeverbetering onjuist wordt ontworpen (indien de inzichten in het faalmechanisme en de rekenregels wijzigen).

Deze onzekerheid vormt een belangrijk risico ten aanzien van het uitvoeren van kadeverbeteringen. Dit geldt speciaal voor droogtegevoelige kaden waarvan de veiligheid wel voldoet aan de situatie "hoogwater", maar op basis van de voorlopige inzichten wordt verondersteld dat de veiligheid niet voldoet ten aanzien van de situatie droogte. Juist voor deze categorie kaden is het denkbaar dat een kadeverbetering onnodig wordt uitgevoerd. Deze onzekerheid is met name ongunstige vanwege de soms aanzienlijke zettingen die juist in veengebieden kunnen

optreden; het onnodig aanbrengen van een (overgedimensioneerde) stabiliteitsberm heeft dan nadelige gevolgen voor de onderhoudsinspanning voor een lange periode.

Voor deze kaden lijkt het wenselijk terughoudend te zijn met het uitvoeren van verbeteringen, vanwege het ontbreken van gevalideerde rekenregels voor de beoordeling van de veiligheid bij droogte en het ontwerpen van de verbeteringsmaatregelen. Deze terughoudendheid geldt voor de periode waarin nader onderzoek wordt verricht naar de processen en mogelijke faalmechanismen tijdens langdurige droogte. Na het opstellen van definitieve richtlijnen voor de toetsing van de veiligheid van kaden ten aanzien van droogte (en ontwerp van kadeverbetering) kan dan alsnog een (definitieve) veiligheidstoetsing worden uitgevoerd, en zo nodig de benodigde kadeverbetering juist worden ontwerpen.

1.5 ONDERZOEK NAAR MAATREGEL OM VERDROGING VEEN TE VOORKOMEN

Ten aanzien van de genoemde terughoudendheid betreffende kadeverbetering geldt dat in de periode van uitstel uiteraard een nieuwe periode met langdurige droogte kan optreden. Wat betreft een eventuele beslissing omtrent uitstel is het dus van belang of (nood-)maatregelen kunnen worden getroffen om de veiligheid van droogtegevoelige kaden tijdens dergelijke perioden voldoende te waarborgen. Het kunnen treffen van effectieve (nood-)maatregelen vereenvoudigd een eventuele beslissing omtrent uitstel.

Tijdens het onderzoeksprogramma zijn verschillende maatregelen onderscheiden om de kans op een kadedoorbraak door droogte te verkleinen. Hierbij is onder andere aandacht besteed aan het voorkomen van de verdroging van het veen in de kade en het achterland, gezien de aangetoonde relatie tussen de vochtigheid van het veen en de stabiliteit van een droogtegevoelige kade.

Om de mogelijkheid van een vertraagde verdroging van een droogtegevoelige kade te verkennen, is een proef uitgevoerd met een oppervlaktespanningverlagende stof (*surfactant*). In navolging op deze proef hebben verschillende organisaties eveneens proeven laten uitvoeren naar het effect van enkele uiteenlopende middelen op de verdroging van een veenkade.

1.6 LEESWIJZER

Dit rapport presenteert enkele mogelijkheden betreffende speciale maatregelen om de verdroging van een kade te voorkomen of tenminste te vertragen. Bijlage 1 presenteert de resultaten van een proef met een oppervlaktespanningverlagende stof ("*surfactant*"), zoals Alterra in opdracht van de STOWA heeft uitgevoerd. De bijlagen 2 t/m 4 presenteren onderzoek omtrent andere methoden om de verdroging van een veenkade te voorkomen of tenminste te vertragen, zoals Alterra in opdracht van enkele leveranciers en producenten heeft uitgevoerd.

2

VOORKOMEN VAN VERDROGING

2.1 INLEIDING

Algemeen geldt dat de kans op een doorbraak van een droogtegevoelige kade kan worden voorkomen door het versterken van de kade ofwel het voorkomen van verdroging van de kade. Zoals aangegeven in hoofdstuk 1 is het denkbaar dat het voor sommige kaden wenselijk is een definitieve veiligheidstoetsing en eventueel ontwerp van verbeteringsmaatregelen pas uit te voeren na vaststelling van gevalideerde rekenregels betreffende de situatie droogte. In dit hoofdstuk wordt nader ingegaan op denkbare maatregelen om verdroging van een kade te voorkomen of tenminste vertragen, of zonodig de vochtigheid van een verdroogde kade te herstellen (door het toedienen van water) indien tijdens een periode van droogte een kritieke waarde wordt benaderd.

Met nadruk wordt opgemerkt dat een belangrijke voorwaarde bij het hanteren van dergelijke maatregelen (in plaats van kadeverbetering) is dat de waterkeringbeheerder beschikt over een goed inspectieplan, specifiek voor de situatie droogte. Belangrijke onderdelen van zo'n plan zijn:

- inventarisatie van droogtegevoelige kaden en rangschikking van de kaden op basis van veronderstelde kwetsbaarheid;
- intensieve monitoring van de (meteorologische) droogte en de actuele verdroging van de kaden;
- vaststelling van meetbare indicatoren inclusief een kritieke waarde (kade-specifiek).

Nadere aanbevelingen betreffende een inspectieplan zijn beschreven in STOWA rapport 2005-03.

2.2 MAATREGELEN DIE UITDROGING VAN EEN DROOGTEGEVOELIGE KADE VOORKOMEN

Maatregelen die zich specifiek richten op de belastingsituatie droogte betreffen het voorkomen of herstellen van extreme uitdroging van het veen in de kade en het veenpakket in het nabije achterland. Hierbij kan onderscheid worden gemaakt in permanente maatregelen of voorzieningen en (nood-) maatregelen met een min of meer tijdelijk karakter:

- 1 permanente maatregelen en voorzieningen;
- 2 min of meer tijdelijke maatregelen als voorbereiding op een extreem droge zomer;
- 3 (nood-) maatregelen om tijdens droogte de vochtigheid van het veen in een kade te herstellen.

Deze maatregelen worden onderstaand nader toegelicht. Algemeen wordt gewaarschuwd voor het *ongecontroleerd* uitvoeren van maatregelen voor herbevochtiging van een verdroogde kade. In geval van vergaande verdroging van het veen en daarmee gepaard gaande sterke scheurvorming is het denkbaar dat snelle en overvloedige toediening van water een negatieve invloed op de stabiliteit van een veenkade heeft. In dit kader geldt dat nat houden beter is dan snel nat maken. Nadere aanbevelingen betreffende maatregelen, en de benodigde omvang daarvan, staan beschreven in rapport 2004-18 en 2005-03.

Ad.1: permanente maatregelen en voorzieningen

Dit betreffen bijvoorbeeld ingrepen in de kade en directe omgeving die de waterbalans van de kade beïnvloeden, bijvoorbeeld om een sterke ontwatering van de kade en het directe achterland te voorkomen.

Ad.2: voorbereidende maatregelen

Deze categorie maatregelen is gericht op het voorkomen of tenminste vertragen van de uitdroging van een veenkade of het veenpakket tijdens de zomer door het (vooraf) aanbrengen van vochtvasthoudende middelen. Dit kan onder andere door het aanbrengen van een oppervlaktespanningverlagende stof (*surfactant*). In het kader van het onderzoeksprogramma is een proef uitgevoerd met een dergelijk middel. De resultaten van deze proef zijn beschreven in bijlage 1.

Naast maatregelen op chemische basis bestaan tevens middelen op (micro-)biologische en fysische basis. De werking van maatregelen op biologische basis is gebaseerd op een algemene verbetering van de bovengrond (qua bodemleven, structuur, etc.), waardoor de vocht-huishouding verbetert. Onderzoek naar dergelijke maatregelen is uitgevoerd door Alterra, in opdracht van derden. De onderzoeksresultaten zijn gepresenteerd in bijlage 2 en 3.

Maatregelen op fysische basis betreffen de toepassing van mineralen met een grote vocht-opname en vochtvasthoudende capaciteit. Neerslagoverschotten wordt hierdoor in grotere mate opgeslagen en vastgehouden in de grond, waardoor de uitdroging tijdens droge perioden langzamer verloopt. Deze mineralen dienen in de grond te worden ingegraven. Derhalve is deze toepassing met name kansrijk in combinatie met kadeverbetering. Informatie over het vochtvasthoudend vermogen van de betreffende mineralen is gepresenteerd in bijlage 4. Dit betreft eveneens Alterra onderzoek in opdracht van derden.

Ad.3: (nood-) maatregelen tijdens droogte

In geval van extreme droogte kan verdroging van kaden worden tegengegaan door bijvoorbeeld het opzetten van het waterpeil in teensloten en het kunstmatig bevochtigen van veenkaden. Het uitvoeren van beide maatregelen stelt specifieke eisen aan de omgeving, en is niet eenvoudig op grote schaal uitvoerbaar. Bij vergaande verdroging is kunstmatige bevochtiging van het veen niet eenvoudig vanwege waterafstotend gedrag van veen. Zodoende dient bevochtiging reeds in een voldoende vroeg stadium te worden uitgevoerd, voor de actuele vochtigheid zich beneden het kritieke vochtgehalte bevindt. Hiertoe dient bij de inspectie tijdens droogte tevens aandacht te worden besteed aan de eventuele vorming van waterafstotend gedrag, bijvoorbeeld aan de hand van een waterdruppeltest.

Bij kunstmatige bevochtiging van reeds verdroogde kaden kan de inzet van een *surfactant* worden overwogen. Met deze toevoeging zal het water ondanks waterafstotend gedrag van het veen goed in de kade wordt opgenomen. De STOWA was voornemens zomer 2004 een proef met de grootschalige toediening van een *surfactant* uit te voeren. Deze proef is echter niet uitgevoerd, omdat vanwege het natte verloop van de zomer niet kon worden beschikt over een verdroogde en (bijna) waterafstotende veenkade.

Een alternatieve maatregel betreft wellicht het magnetisch behandelen van toegediend water. Door deze behandeling neemt de oppervlaktespanning van het water af, waardoor het naar verwachting eveneens beter het waterafstotende veen kan binnendringen.

FOTO 2.1

UITVOERING ONDERZOEK NAAR EFFECTIVITEIT VAN EEN *SURFACTANT* OP VOCHTIGHEID VAN EEN VEENKADE

2.3 EFFECTIVITEIT VAN DE VOORBEREIDENDE MAATREGELEN

Het is niet eenvoudig de effectiviteit aan te geven van preventieve toediening van een *surfactant* of een vergelijkbare maatregel ter beperking van de verdroging van een kade. De effectiviteit hangt sterk samen met het neerslagverloop tijdens het voorjaar en de zomer (na toediening). Op basis van de veronderstelde werking geldt dat het effect:

- het grootst zal zijn bij een warm en droog voorjaar en een zomer met uitsluitend neerslag in de vorm van hevige stortbuien: de onbehandelde kade zal waterafstotend gedrag vertonen, geen neerslag kunnen opnemen en snel uitdrogen, in tegenstelling tot een behandelde kade;
- verwaarloosbaar zal zijn bij een natte zomer;
- gering zal zijn bij een extreem droge zomer zonder enige neerslag: de verdroging verloopt dan weliswaar trager, maar de betere opnamecapaciteit wordt niet benut door afwezigheid van neerslag.

Vanwege de afhankelijkheid van met name het neerslagverloop kan geen kwantitatieve prognose over de effectiviteit van een *surfactant* worden gegeven, uitgedrukt in verminderde afname van het volume bodemvocht. Uitsluitend kwalitatief kan in het algemeen worden opgemerkt dat een *surfactant* de verdroging van een veenkade gedurende de zomer vertraagt. Ten aanzien van de effectiviteit van de maatregelen gaat het uiteindelijk om het effect van de verminderde verdroging van de kade op de stabiliteit. Oorspronkelijk kende het onderzoek naar de *surfactant* dan ook een stabiliteitsanalyse, waarin het resultaat van het waargenomen verschil in vochtigheid op de stabiliteitsfactor zou worden berekend. Vanwege de natte zomer van 2004 is het verschil in vochtigheid tussen de behandelde en onbehandelde kade echter gering, in feite waren na de natte zomer nagenoeg alle droogtegevoelige kaden in het land goed herbevochtigd. Naar verwachting zou een dergelijke stabiliteitsanalyse geen noemenswaardig en significant verschil aantonen tussen de stabiliteit van beide kaden (behandelde en onbehandelde). Zodoende is deze analyse niet uitgevoerd.

Beschouwend geldt algemeen dat de vochtigheid van het veen in een behandelde kade tenminste hoger zal zijn dan in een niet behandelde kade, zodat ook de stabiliteit (-sfactor) van een behandelde kade hoger zal zijn. Omdat het resulterende verschil afhankelijk is van het weer gedurende het voorjaar en de zomer, kan de effectiviteit van een maatregel in termen van een verschil in de stabiliteitsfactor niet op voorhand worden aangegeven. Het is daarbij dus onzeker of:

- de stabiliteit zonder behandeling van de kade zou zijn gedaald tot beneden een kritieke waarde;
- de stabiliteit dankzij behandeling van de kade niet zal dalen tot beneden een kritieke waarde.

Het is dus denkbaar dat achteraf geconstateerd wordt dat vroegtijdige toepassing van een maatregel ter voorkoming van verdroging van de kade:

- niet noodzakelijk is geweest: indien tijdens de zomer geen droge periode optreedt);
- ontoereikend is geweest (indien een extreem droge periode optreedt).

Deze onzekerheid over de effectiviteit vormt een belangrijke beperking voor toepassing, en vormt daarmee wellicht een voorkeur voor de mogelijkheid om pas tijdens het daadwerkelijk optreden van een periode van droogte maatregelen te treffen.

Tot slot wordt opgemerkt dat deze beschouwing van de effectiviteit uitsluitend ingaat op het nut ten aanzien van de veiligheid van een kade. Hierbij is strikt geredeneerd vanuit het resulterende hogere vochtgehalte van het veen tijdens droogte. Overige verondersteld gunstige effecten van de middelen zijn daarbij niet beschouwd. Dit betreft bijvoorbeeld:

- algemene verbetering vochthuishouding;
- vertragen oxidatieproces door hoger vochtgehalte;
- voorkomen of vertragen van verdroging grasbekleding door hoger vochtgehalte wortelzone;
- verlagen kritieke vochtgehalte.

BIJLAGE 1

ONDERZOEK INVLOED SURFACTANT OP BEVOCHTING VEENDIJK

Onderzoek naar de invloed van een surfactant op de bevochtiging van een veendijk

**Klaas Oostindie
Coen J. Ritsema
Erik van den Elsen
Jan G. Wesseling
Louis W. Dekker**

Alterra-rapport

Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte, Wageningen, 2005

REFERAAT

Oostindie, K., C.J. Ritsema, H.G.M. van den Elsen, J.G. Wesseling, L.W. Dekker, 2005.. Onderzoek naar de invloed van een surfactant op de bevochtiging van een veendijk. Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra-rapport 43 blz.; 18 figuren; 2 tabellen; 42 referenties.

In februari 2004 is op een veendijk te De Kwakel een proef gestart om de bevochtiging van de dijk te verbeteren door toepassing van een surface active agent. Hiertoe is een gedeelte van de dijk behandeld en een vergelijkbaar gedeelte niet behandeld. Met behulp van Time Domain Reflectometry (TDR) is de vochttoestand van de dijk gevolgd. Ook zijn aanvullende handmetingen verricht om de waterafstotendheid te meten. Alhoewel de gehele dijk vrij goed te bevochtigen is, is na het droge voorjaar van 2004 waterafstotendheid vastgesteld. Het behandelde gedeelte was het minst waterafstotend. Ook bevatte dit gedeelte van de dijk meer vocht. In januari 2005 was het gras groener op het behandelde gedeelte.

Trefwoorden: actuele waterafstotendheid, potentiële waterafstotendheid, volumetrisch vochtgehalte, TDR, bevochtigingssnelheid, veenkade

ISSN 1566-7197

© 2005 Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte,
Postbus 47, NL-6700 AA Wageningen.
Tel: (0317) 474700; fax (0317) 419000; e-mail: info@alterra.nl

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Alterra.

Alterra aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Inhoud

1. Inleiding	7
2. Methoden van onderzoek	9
2.1 <i>Locatie en beschrijving van het proefveld</i>	9
2.2 <i>Bepaling van het organische stofgehalte</i>	9
2.3 <i>Toediening van surfactant</i>	9
2.4 <i>Metten van de neerslag</i>	11
2.5 <i>Handmatig meten van volumetrische vochtgehalten</i>	11
2.6 <i>Bemonsteringen</i>	11
2.7 <i>Automatisch meten van volumetrische vochtgehalten</i>	13
3. Resultaten	15
3.1 <i>Gehalte aan organische stof</i>	15
3.2 <i>Neerslag</i>	15
3.3 <i>Handmatig meten van volumetrische vochtgehalten</i>	15
3.4 <i>Bemonsteringen</i>	17
3.5 <i>Automatisch meten van volumetrische vochtgehalten</i>	19
4. Conclusies	23
5. Referenties	28

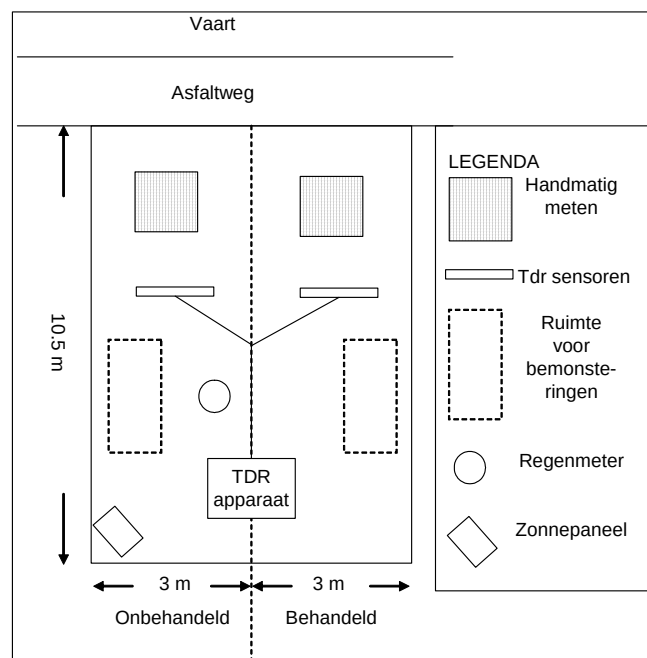
1. Inleiding

Uit verschillend onderzoek is gebleken dat homogene infiltratie van water in droge klei- veen- en zandgronden geen regel maar uitzondering is. In uitdrogende klei- en veengronden treedt scheurvorming op waardoor water en daarin opgeloste stoffen via deze scheuren en gangen snel naar de ondergrond stromen (Bouma en Dekker, 1978; Dekker 1983, 1985; Dekker en Bouma, 1984; Steenhuis e.a. 1995, 1996). Onregelmatige bevochtiging en preferente stroming in bevochtigbare zandgronden kunnen onder meer het gevolg zijn van de aanwezigheid van een fijnere op een grovere zandlaag (o.a. Dekker en Ritsema, 1994a; Ritsema en Dekker, 1994). Wereldwijd komen onregelmatige bevochtiging en preferente stroming voor in waterafstotende zandgronden (Ritsema en Dekker, 1995, 1996, 2000, 2003). Waterafstotendheid wordt veroorzaakt door de aanwezigheid van organische stoffen met hydrofobe eigenschappen, die als coating kunnen voorkomen op zandkorrels en op bodemaggregaten.

In Nederland is het fenomeen waterafstotendheid vooral vastgesteld in zandgronden met een natuurlijke vegetatie en in veel zand-, klei- en veengronden met een grasbegroeiing (Dekker, 1992; Dekker en Bisdorf, 1992; Dekker en Ritsema, 1995, 1996a, 1996b, 1996c, 1996d, 1996e, 2000; Ritsema en Dekker, 1998; Dekker e.a. 2001, 2003a; Oostindie e.a. 2005a). Opgemerkt wordt dat het voorkomen van moeilijk bevochtigbare veenbovengronden en ondiep voorkomende moeilijk bevochtigbare veenlagen in Nederland al meer dan een halve eeuw bekend is (Hudig en Redlich, 1940; Bennema en Van der Woerd, 1952; Hooghoudt e.a. 1960). Op verscheidene bodemkaarten met verschillende kaartschaal zijn deze gronden ook aangegeven door het voormalige Stiboka en het huidige Alterra (Dekker, 1998).

Voor na uitdroging heeft waterafstotendheid belangrijke gevolgen voor de bevochtiging en verdeling van het regenwater in deze gronden. Water infiltreert aanzienlijk slechter in de matrix van gronden die waterafstotend zijn na droging, dan in gronden waarbij deze eigenschap ontbreekt. In droge waterafstotende klei- en veengronden treedt preferente stroming van water naar de ondergrond op via gangen en scheuren, maar bovendien vindt onregelmatige bevochtiging van de matrix plaats (Dekker en Ritsema, 1996c, 1996d, 1996e). Als gevolg van de aanwezigheid van vochtpatronen is de variabiliteit op zeer korte afstand in deze gronden dan ook vaak groot (Dekker en Ritsema, 1996e; Dekker, 1998, Oostindie e.a. 2005a).

Naar aanleiding van de dijkafschuiving bij Wilnis in augustus 2003 heeft de STOWA een aantal projecten geïnitieerd om meer inzicht te krijgen in de processen die zich afspelen in de veenkades. Dit onderzoek heeft als doel het bevorderen van de bevochtiging van de veenkades met behulp van “surface active agents”. Ook is er op een kleinere schaal onderzoek gedaan naar andere bevochtigingsmiddelen. (Dekker e.a. 2004; Oostindie e.a. 2005b)



Figuur 1 Foto's en schema van het proefveld.

2. Methoden van onderzoek

2.1. Locatie en beschrijving van het proefveld

De proeflocatie is gelegen aan “De Banken” te De Kwakel. Deze veendijk is op de kruin geasfalteerd en wordt als ontsluitingsweg gebruikt door aanwonenden. Vanaf de kruin van de dijk is een proefveld uitgezet van 6 meter breed en 10.5 m lang (landinwaarts). De eerste 4.5 meter vanaf de kruin loopt vrij steil naar beneden, waarna de rest van de dijk langzaam glooiend afloopt. Het gehalte aan organische stof varieert tussen de 19 en 32%.

Het proefveld is verdeeld in twee gelijke delen (3m bij 10.5). De ene helft van het proefveld kreeg maandelijks een surfactant (Primer®604), terwijl het andere gedeelte een gelijke hoeveelheid water kreeg toegediend. Figuur 1 laat foto's en een schema van het proefveld zien.

2.2. Bepaling van het organische stofgehalte

Met behulp van de gloeiverliesmethode is het organische stofgehalte bepaald van monsters welke op 7 juni 2005 zijn genomen. Op 10 verschillende dieptes zijn steeds 3 monsters verzameld. De dieptes waarop de monsters zijn genomen waren 0-5, 10-15, 20-25, 30-35, 40-45, 50-55, 60-65, 70-75, 80-85 en 90-95 cm.

Voor de bepaling van de organische stof zijn de monsters gedroogd bij 105⁰C, gewogen en gedurende tenminste 4 uur geplaatst in een gloeioven bij een temperatuur van 550⁰C. Het organische stofgehalte is berekend uit het verlies van het gewicht door het gloeien en uitgedrukt als een percentage van het gewicht van de grond gedroogd bij 105⁰C.

2.3. Toediening van surfactant

Om het effect te kunnen bestuderen van de toediening van surfactant op de bevochtiging van de grond is het proefveld in twee delen gesplitst, waarbij één helft op regelmatige tijdstippen surfactant kreeg toegediend. De hoeveelheid surfactant (Primer®604) die werd toegediend was 1.85 ml/m² en werd opgelost in 70 ml water. De totale oppervlakte van het te behandelen gedeelte bedroeg 31.5 m². De oplossing werd met behulp van een rugspuit over het oppervlak verneveld. Het niet te behandelen gedeelte kreeg eenzelfde hoeveelheid water toegediend, teneinde de toegediende hoeveelheid vocht per plot gelijk te houden. De data waarop Primer®604 is toegediend staan in tabel 1



Figuur 2 Bepaling van de waterafstotendheid (WDPT test) door het plaatsen van drie druppels water op het oppervlak van een veenmonster en het meten van de tijd tot volledige absorptie.

Tabel 1 Data waarop het proefveld in 2004 is behandeld met Primer®604

Toediening	Datum	Toediening	Datum
1	24 februari	8	16 juli
2	17 maart	9	10 augustus
3	7 april	10	31 augustus
4	28 april	11	27 september
5	18 mei	12	20 oktober
6	8 juni	13	18 november
7	29 juni		

Tabel 2 Classificatie van de mate van waterafstotendheid.

Klasse	Omschrijving
0	goed bevochtigbaar, waarbij de waterdruppels binnen 5 seconden infiltreren
1	zwak waterafstotend met een WDPT van 5-60 s
2	matig waterafstotend met een WDPT van 60-600 s
3	sterk waterafstotend met een WDPT van 600-3600 s
4	extreem waterafstotend met een WDPT van 1-3 u
5	extreem waterafstotend met een WDPT van 3-6 u
6	extreem waterafstotend met een WDPT van > 6 u

2.4. Meten van de neerslag

De neerslag is gemeten met een regenmeter welke een resolutie heeft van 0.2 mm. Hiertoe is de regenmeter uitgerust met twee kantelbakjes, die na elke 0.2 mm neerslag kantelen. Het volle bakje wordt dan geleegd en het lege bakje kan vervolgens weer worden gevuld. Tijdens het kantelen van de bakjes wordt er een elektrische puls gegenereerd. Deze puls zorgt ervoor dat de datum en tijd van de puls in een logger worden opgeslagen. Tijdens de veldbezoeken werd de datalogger uitgelezen en de data meegenomen naar kantoor voor analyse.

2.5. Handmatig meten van volumetrische vochtgehalten

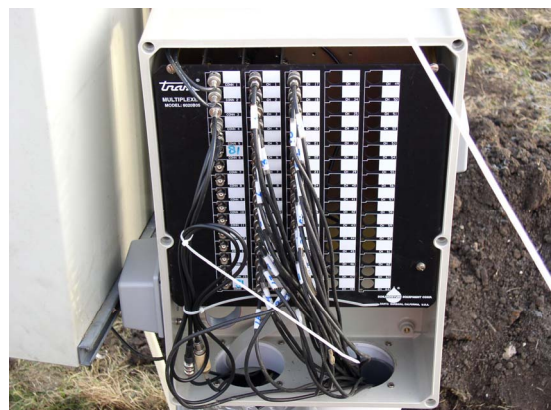
Op het steile gedeelte van de veendijk zijn handmatige vochtmetingen gedaan met behulp van een draagbaar TDR apparaat (zie schema figuur 1). De volumetrische vochtgehalten werden gemeten over een diepte van 0-5 cm. Over een oppervlak van 0.9 m bij 0.9 m zijn voor elke 10 cm in zowel lengte- als breedterichting metingen verricht. Hiermee kon de vochtverdeling in het horizontale vlak inzichtelijk worden gemaakt. Zowel het onbehandelde als het behandelde gedeelte werd op deze manier gemeten. De metingen zijn uitgevoerd op 7 april en 8 juni 2004. Op deze wijze zijn in totaal 400 metingen verricht.

2.6. Bemonsteringen

Op 5 verschillende data zijn bemonsteringen uitgevoerd in het onbehandelde en in het behandelde gedeelte van de veendijk. Deze monsters zijn gebruikt om het vochtgehalte, de dichtheid en de mate van waterafstotendheid te bepalen. De data waarop is bemonsterd waren: 17 maart, 28 april, 18 mei, 29 juni en 10 augustus 2004. De monsters zijn gestoken op dieptes van 0-5, 7-12, 14-19 en 21-26 cm. Per diepte werden steeds 15 monsters genomen in stalen ringen van 100 cm³. De grond uit de ringen is in afsluitbare plastic zakjes gedaan en de monsters zijn meegenomen naar het laboratorium. Hier zijn van alle monsters het vochtgehalte, de dichtheid, en de waterafstotendheid bepaald.

Of een grond waterafstotend is kan gemakkelijk worden vastgesteld met de waterdruppeltest (Dekker en Jungerius, 1990). Drie druppels gedemineraliseerd water worden met een pipet op een monster aangebracht en vervolgens wordt de tijd gemeten waarin de druppels de grond indringen (Figuur. 2). Bij goed te bevochtigen gronden verdwijnen de druppels direct; bij waterafstotende gronden blijven de druppels langer dan vijf seconden staan. Er is sprake van extreme waterafstotendheid als de druppels langer dan een uur blijven staan. Figuur 2 toont de toepassing van de waterdruppeltest op waterafstotend veen. Een veel gebruikte indeling voor de mate van waterafstotendheid (Dekker, 1988; Dekker en Jungerius, 1990; Dekker, 1998) staat beschreven in tabel 2.

Waterafstotendheid is een tijdsafhankelijke fysisch-chemische eigenschap van de grond, omdat de weerstand tegen bevochtiging in de loop van de tijd kan toe- en afnemen in samenhang met de vochtvoorziening. De mate van waterafstotendheid van een grond hangt namelijk nauw samen met het vochtgehalte van de grond. Regen en beregeningswater infiltreren vrij gemakkelijk als de grond vochtig is. Bij uitdrogen neemt de infiltratiesnelheid aanzienlijk af en begint de grond hydrofobe ofwel waterafstotende eigenschappen te vertonen. Het vochtgehalte waarbij de grond van goed bevochtigbaar



Figuur 3 Installatie van apparatuur voor het automatisch meten van vochtgehalten in de bodem, met linksboven de sensoren, rechtsboven de profielwand waarin de sensoren werden geïnstalleerd. De kabels van de sensoren lopen door sleuf naar de centrale meetkast (foto's midden) en werden aangesloten op een multiplexerkaart (rechtsonder). Stroom werd verzorgd door een zonnepaneel (linksonder).

overgaat naar waterafstotend wordt door ons aangeduid als het kritieke bodemvochtgehalte (Dekker e.a., 2001). Waterafstotendheid wordt vaak niet alleen bepaald aan veldvochtige monsters, door Dekker en Ritsema (1994b) met “actuele” waterafstotendheid aangeduid, maar ook aan luchtdroge en aan oven-droge monsters, door Dekker en Ritsema (1994b) potentiële waterafstotendheid genoemd. Opgemerkt wordt dat de temperatuur bij het drogen en de relatieve vochtigheid en temperatuur bij het meten invloed hebben op de mate van waterafstotendheid (Dekker e.a., 1998; Doerr e.a., 2002).

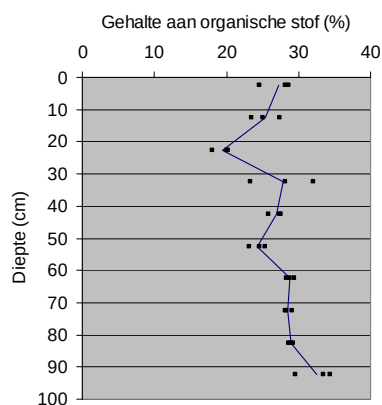
Het bodemvochtgehalte van de grondmonsters is bepaald door het vochtverlies te meten van de monsters na droging in een oven bij een temperatuur van 105°C. Van de monsters genomen in de ringen is de dichtheid van de grond berekend uit het gewicht van de grond na droging bij 105°C.

2.7. Automatisch meten van volumetrische vochtgehalten

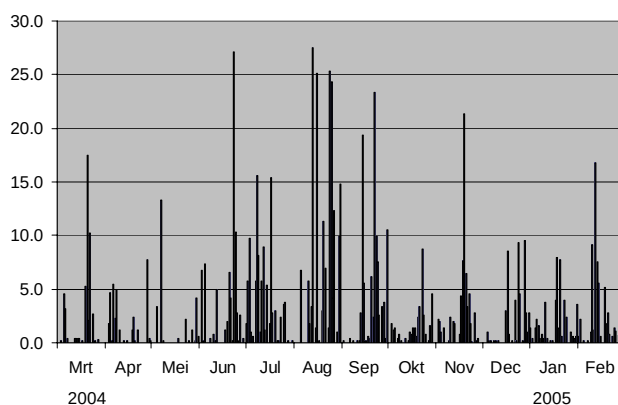
Op zowel het behandelde als het onbehandelde gedeelte zijn de volumetrische vochtgehalten gemeten in tijd en ruimte. Hierbij is gebruik gemaakt van een geautomatiseerd meetsysteem dat is gebaseerd op Time Domain Reflectometry (TDR). In de bodemwetenschappen is deze techniek in 1980 door Topp e.a. geïntroduceerd en is sindsdien veelvuldig toegepast (o.a. Baker and Allmaras, 1990; Heimovaara and Bouten, 1990; Van den Elsen e.a., 1995; Ritsema e.a., 1997; Oostindie e.a., 2002). De vochtgehalten zijn automatisch gemeten met een TRASE 6050 X1 TDR apparaat.

In maart 2004 is de meetapparatuur geïnstalleerd om het effect te kunnen onderzoeken van het gebruik van surfactants op de vochtopname van de veendijk (figuur 3). Als veendijken te sterk uitdrogen kunnen ze waterafstotend gedrag gaan vertonen waardoor de capaciteit tot vochtopname wordt verminderd. Toediening van zogenaamde surface active agents (surfactants) verlaagt de oppervlaktespanning van het water waardoor de bodem het water gemakkelijker op kan nemen. Zowel in het behandelde als het onbehandelde gedeelte zijn meerdere bodemvochtsensoren geplaatst op verschillende dieptes. De sensoren zijn horizontaal in de ongestoorde wand van een gegraven kuil gedrukt. Met uitzondering van de diepste laag zijn er steeds 12 sensoren geplaatst per diepte, met een onderlinge afstand van 10 cm. De dieptes van de lagen waarin is gemeten waren: 5, 12, 25 en 40 cm. In de behandelde plot zijn in de diepste laag 10 sensoren en in de onbehandelde plot 9 sensoren geïnstalleerd. In totaal zijn dus 91 sensoren geplaatst, waarvan 46 in de behandelde plot en 45 in de onbehandelde. Elke drie uur werden alle sensoren aangestuurd om een meting te verrichten, zodat 8 keer per dag een meetcyclus werd verricht, hetgeen neerkomt op 728 metingen per dag, en dus op bijna 299.000 metingen per jaar.

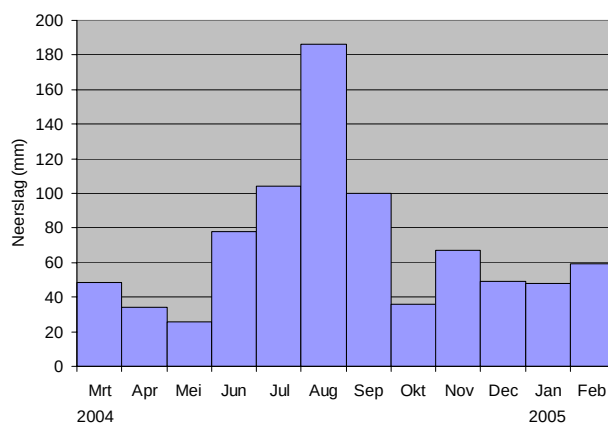
De bodemvochtsensoren zijn aangesloten op een multiplexer, waardoor tijdens een meetcyclus alle sensoren één voor één werden aangestuurd en de meetwaarden ervan werden opgeslagen. De stroomvoorziening werd geregeld door middel van een accu die werd gevoed door een zonnepaneel. De metingen werden opgeslagen in het interne geheugen van de datalogger. Elke drie à vier weken werden de metingen overgezet naar een laptop computer, waarna het geheugen van de datalogger weer werd vrijgemaakt.



Figuur 4 Gehalte aan organische stof van monsters in diepvoud genomen tot 95 cm diepte in de veendijk te 'De Kwakel' en het berekende gemiddelde ervan.



Figuur 5 Hoeveelheid neerslag per dag gedurende de periode maart 2004 tot en met februari 2005 op de veendijk te "De Kwakel".



Figuur 6 Totale hoeveelheid neerslag per maand gedurende van maart 2004 tot en met februari 2005 op de veendijk te "De Kwakel".

3. Resultaten

3.1 Gehalte aan organische stof

Het gehalte aan organische stof is bepaald aan steeds drie monsters per diepte. Voor tien opeenvolgende dieptes (0-5, 10-15, 20-25, ... , 90-95 cm) zijn organische stof bepalingen gedaan. Het bodemmateriaal bestaat hoofdzakelijk uit venige klei. Dieper in het profiel bestaat het materiaal uit kleiig veen.

In figuur 4 zijn de gehalten aan organische stof van de afzonderlijke monsters met punten weergegeven en ook is het gemiddelde van de drie monsters per diepte met een lijn weergegeven. In het algemeen varieert het gehalte aan organische stof tussen de 20 en 30%. Op 30-35 cm diepte had één monsters een groter gehalte aan organische stof (32.5%) en op 90-95 cm diepte hadden twee monsters een hoger gehalte (resp. 33.5 en 34.4%). Slecht één monster had een gehalte dat lager was dan 20%. Dit monster bevond zich op een diepte van 20-25 cm en had bevatte 18.1% organische stof. Tussen 40 en 85 cm diepte was de spreiding per diepte zeer gering. De dichtheid van deze monsters varieerde van 0.55 g.cm^{-3} tot 0.94 g.cm^{-3} .

3.2 Neerslag

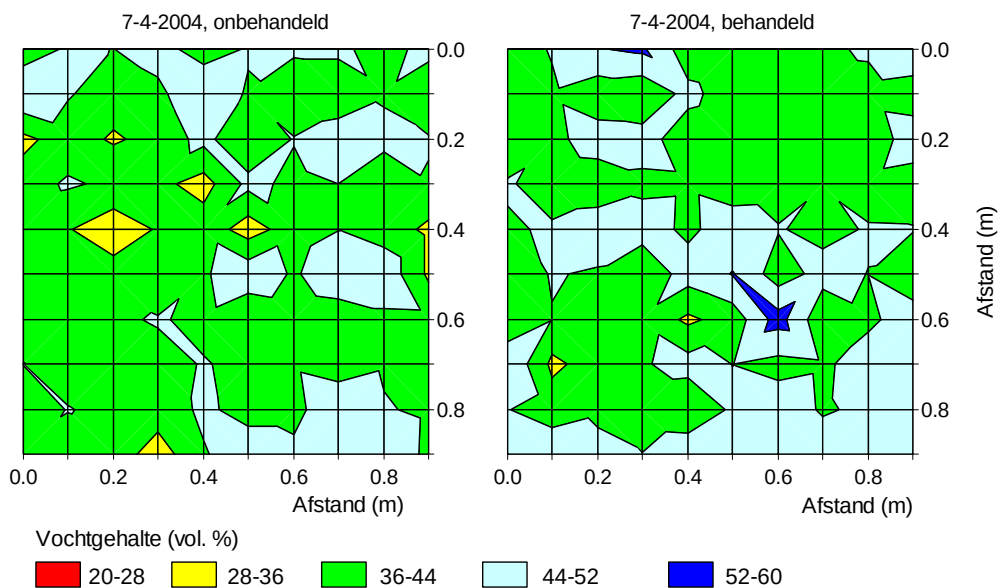
De dagtotalen van de gemeten neerslag staan in figuur 6. Opvallend zijn een aantal vrij droge perioden. Vanaf 11 april tot en met 27 april werd slechts 5.3 mm neerslag gemeten. In de periode van 8 mei tot en met 29 mei viel 4.4 mm. En vanaf 27 november tot en met 11 december werd 2.8 mm gemeten. In augustus 2004 zorgden een viertal buien van rond de 25 mm voor meer dan de helft van de neerslag in die maand. Alhoewel de zomermaanden (juli, augustus en september) vrij nat waren, werden er in deze maanden ook droge periodes waargenomen zoals eind juli en begin augustus. De 100 mm neerslag in september viel voornamelijk in de tweede helft van de maand.

De maandtotalen van de gemeten neerslag staan in figuur 5. In deze figuur valt het op dat het voorjaar (maart, april en mei) relatief droog was. In de maand juni werd bijna 80 mm neerslag geregistreerd. Juli, augustus en september waren behoorlijk nat, waarbij voor elke maand meer dan 100 mm neerslag werd gemeten. Augustus was de natste maand met meer dan 180 mm neerslag. Vanaf oktober 2004 tot en met februari 2005 lagen de maandelijkse hoeveelheden neerslag tussen 35 en 65 mm.

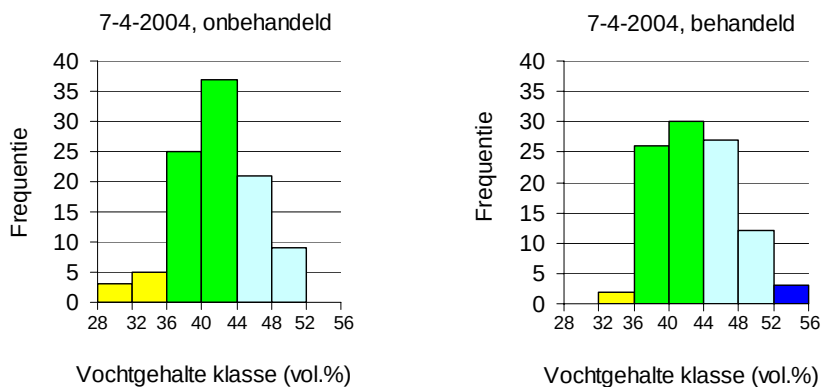
De totaal waargenomen hoeveelheid neerslag vanaf maart 2004 tot en met februari 2005 was 835.6 mm. Het langjarig gemiddelde ligt op 799 mm. Vergeleken met het langjarig gemiddelde kan de gemeten periode als vrij nat worden aangemerkt.

3.3 Handmatig meten van volumetrische vochtgehalten

Op 7 april en op 8 juni zijn handmatige TDR metingen verricht op het steile gedeelte van de dijk. Figuur 7 geeft een overzicht van de vochtverdeling in een horizontaal vlak voor een diepte van 0-5 cm voor zowel het onbehandelde als het behandelde gedeelte van de veendijk. Het behandelde gedeelte van de veendijk is natter dan het onbehandelde gedeelte, hetgeen geïllustreerd wordt doordat in het behandelde gedeelte de hogere vochtclassen (blauwe kleur) vaker voorkomen (groter oppervlak) dan in het onbehandelde gedeelte. Figuur 8 laat zien hoe vaak een vochtmeting in een bepaalde klasse valt. Ook deze figuur laat zien dat in het behandelde gedeelte hogere vochtgehalten voorkomen. In de klasse van 52-58 vol.% komen 3 monsters in het



Figuur 7 Bovenaanzicht middels contouren van het volumetrisch vochtgehalte op een diepte van 0-5 cm van het onbehandelde en behandelde gedeelte van de veendijk op 7 april 2004.



Figuur 8 Frequentieverdeling van het volumetrisch vochtgehalte van metingen (n=100) op een diepte van 0-5 cm van het onbehandelde en behandelde gedeelte van de veendijk op 7 april 2004.

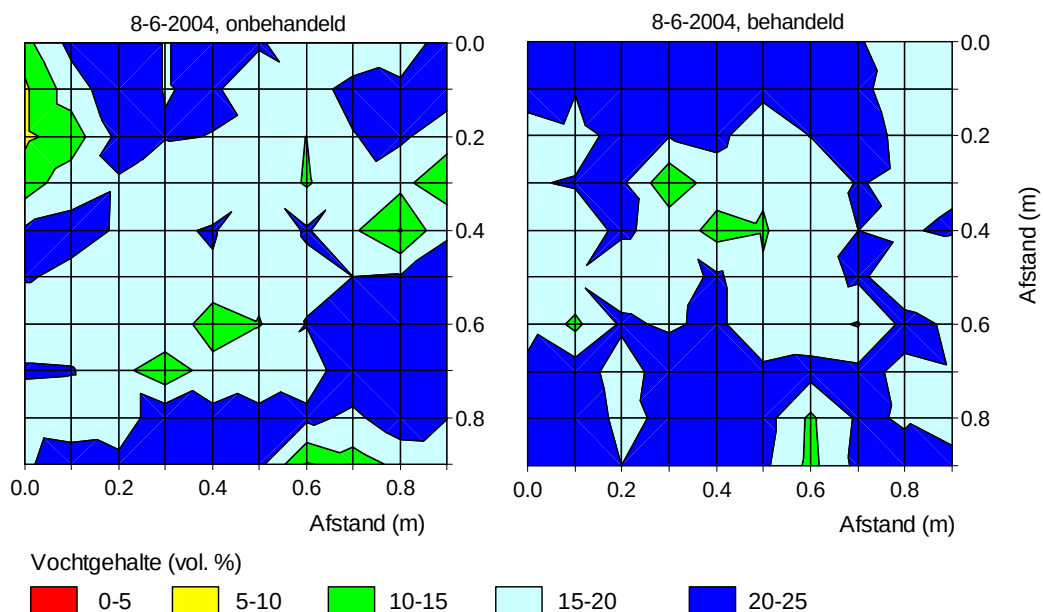
behandelde gedeelte voor en geen monsters in het onbehandelde gedeelte. In de klassen 44-48 en 48-52 vallen respectievelijk 27 en 12 metingen voor het behandelde deel. Voor het onbehandelde deel en voor de overeenkomstige klassen zijn deze aantallen respectievelijk 21 en 8 metingen. In de droogste klassen met 28-32 en 32-36 vol. % vallen respectievelijk 3 en 5 metingen voor het onbehandelde gedeelte, terwijl in de laagste klasse van het behandelde gedeelte geen waarneming wordt gevonden en slechts 2 waarnemingen in de klasse 32-36 vol. %

De figuren 9 en 10 hebben betrekking op de metingen van 8 juni. Dit was na de twee droge perioden in april en mei, hetgeen duidelijk effect had op de waargenomen vochtgehalten. In tegenstelling tot de hoge vochtgehalten in april (28-56 vol.%) werden op 8 juni veel lagere vochtgehalten gemeten (5-25 vol.%). Derhalve is de klasseindeling verschillend voor beide data. Wel corresponderen de blauwe kleuren met de natste klassen en de rode kleuren met de droogste klassen. De figuren laten hetzelfde beeld zien als werd aangetroffen op 7 april, namelijk dat het behandelde gedeelte van de veendijk natter is dan het onbehandelde gedeelte. Bij de behandelde plot valt ruim 50% van de waarnemingen in de hoogste klasse (20-25 vol.%) tegenover 40% bij de niet behandelde plot. Bovendien zijn bij de onbehandelde plot 4 waarnemingen gevonden die in de laagste klasse vallen (5-10 vol.%) en 10 waarnemingen in de klasse van 10-15 vol.%. In de behandelde plot zijn het aantal waarnemingen dat in deze klassen valt respectievelijk 0 en 7.

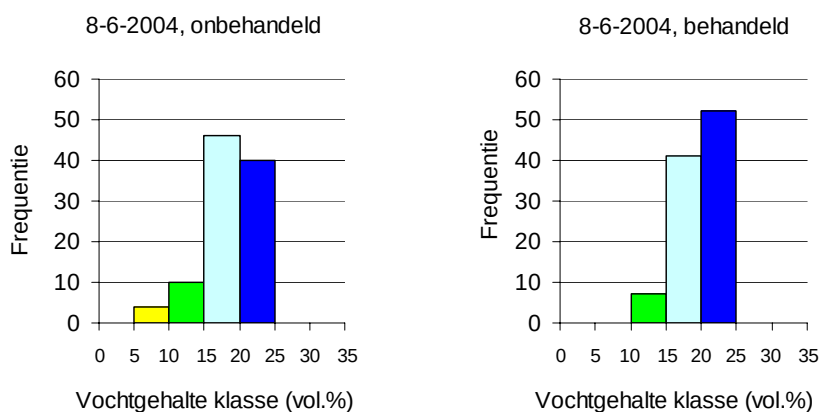
Concluderend kunnen we stellen dat voor de bodemlaag van 0-5 cm het behandelde gedeelte zowel onder natte (7 april), als onder droge omstandigheden (8juni) een iets hoger vochtgehalte opleverde.

3.4 Bemonsteringen

In figuur 11 is de actuele waterafstotendheid van de monsters in procenten weergegeven per datum en per diepte. Op 17 maart was het gehele profiel, van zowel het onbehandelde als behandelde gedeelte, goed bevochtigbaar. Op 28 april is zwak waterafstotend gedrag in de toplaag waargenomen bij bijna 50% van de monsters uit het onbehandelde gedeelte en bij 40% van de monsters uit het behandelde gedeelte. Op 18 mei is de mate van waterafstotendheid in het behandelde gedeelte niet verder toegenomen, dit in tegenstelling tot het onbehandelde gedeelte. Hier zijn dan in de toplaag 94% van de monsters waterafstotend. Hierbij zijn 47% zwak, 33% matig en 14% sterk waterafstotend. Op 7-12 cm diepte werd in het onbehandelde gedeelte 1 monster (7%) aangetroffen, dat zwak waterafstotend was. Op 29 juni was de toplaag minder waterafstotend. Dit heeft waarschijnlijk te maken met de 40 mm neerslag die op 23, 24 en 25 juni is gevallen. In het onbehandelde gedeelte was meer dan 60% van de monsters uit de laag van 7-12 cm waterafstotend, tegenover 40% in het behandelde gedeelte. De mate van waterafstotendheid varieert van zwak tot matig waterafstotend. Op 10 augustus waren de meeste monsters uit de toplaag waterafstotend, waarbij in het onbehandelde gedeelte een hogere waterafstotendheid werd gevonden ten opzichte van het behandelde gedeelte. De laag van 7-12 cm was in het onbehandelde gedeelte goed bevochtigbaar, terwijl in het behandelde gedeelte 50% van de monsters zwak tot matig waterafstotend was. In het algemeen kan worden gesteld dat de waterafstotendheid zich beperkt tot de eerste twee lagen en dat de monsters uit het onbehandelde gedeelte een hogere mate van waterafstotendheid vertonen.



Figuur 9 Bovenaanzicht middels contouren van het volumetrisch vochtgehalte op een diepte van 0-5 cm van het onbehandelde en behandelde gedeelte van de veendijk op 8 juni 2004.



Figuur10 Frequentieverdeling van het volumetrisch vochtgehalte van metingen (n=100) op een diepte van 0-5 cm van het onbehandelde en behandelde gedeelte van de veendijk op 8 juni 2004.

De monsters zijn gedroogd bij 105°C, waarna de waterdruppeltest opnieuw is toegepast om de potentiële waterafstotendheid te meten. In figuur 12 staat deze potentiële waterafstotendheid weergegeven. Opvallend is dat de lagen 14-19 cm en 21-26 cm op 28 april en op 29 juni goed zijn te bevochtigen. De metingen laten zien dat de mate van potentiële waterafstotendheid in het onbehandelde gedeelte hoger is dan in het behandelde gedeelte. Uit eerdere studies is gebleken dat de potentiële waterafstotendheid afhangt van de temperatuur waarbij de monsters zijn gedroogd en ook van de temperatuur en relatieve luchtvochtigheid waarbij de monsters worden gemeten (Dekker e.a., 1998; Doerr e.a., 2002). Uit deze studie blijkt dat de potentiële waterafstotendheid ook afhankelijk is van de actuele situatie, en dus dynamisch blijkt te zijn.

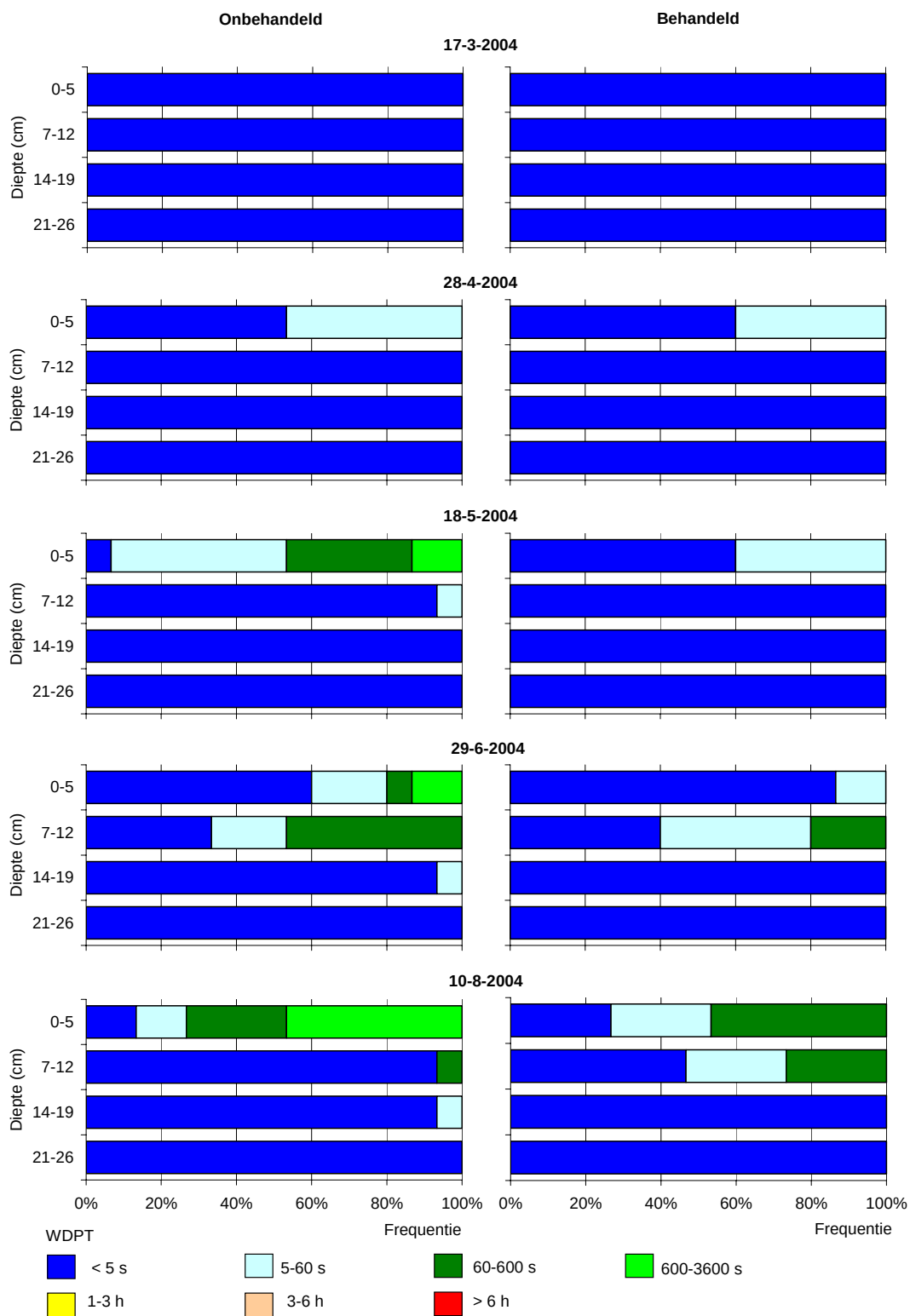
In annex 1 zijn per datum en per diepte de afzonderlijke metingen aan de monsters opgenomen voor zowel het onbehandelde als het behandelde gedeelte van de veendijk. De gemiddelde dichtheid varieert van 0.29 g.cm⁻³ op 17 maart in de laag van 7-12 cm tot 1.01 g.cm⁻³ op 29 juni in de laag van 21-26 cm diepte.

Het gemiddelde volumetrisch vochtgehalte van het behandelde gedeelte is voor alle lagen op 10 augustus hoger dan van de monsters uit het onbehandelde gedeelte. Op 18 mei en 29 juni was alleen de toplaag van het behandelde gedeelte natter, de verschillen in de diepere lagen waren marginaal. Tijdens de eerste twee bemonsteringen op 17 maart en 28 april was het onbehandelde gedeelte nog natter. De bemonsteringen laten dus zien dat het behandelde gedeelte duidelijk natter is geworden (figuur 13).

Om het volumiek gewicht van de dijk te kunnen berekenen is verondersteld dat de gemiddelde vochtgehalten van de lagen 1 tot en 4 representatief zijn voor de diepten 0-6, 6-13, 13-20, en 20-27 cm. Het volumiek gewicht staat weergegeven in figuur 14. Het verschil in gewicht tussen het behandelde en het onbehandelde gedeelte op 29 juni is opvallend, waarbij het onbehandelde dijksegment duidelijk gewicht verliest tov het behandelde gedeelte. Op de overige data is er weinig verschil tussen beide gedeeltes.

3.5 Automatisch meten van volumetrische vochtgehalten

In de figuren 15 en 16 staan zowel de neerslag als de gemiddelde vochtgehalten per diepte weergegeven. Het valt hierbij op dat de vochtgehalten vrij snel reageren op neerslag. Het droge voorjaar van 2004 laat ook een uitdrogend profiel zien. In juli wordt, ten gevolge van de vele neerslag, het profiel weer natter. Deze cyclus van uitdroging en bevochtiging herhaalt zich in augustus en september. Vanaf eind oktober is en blijft het profiel nat. In bijlage 2 staan de vochtgehalten van de afzonderlijke tdr-sensoren weergegeven. De grote variaties in het vochtgehalte per diepte van de behandelde plot zijn opvallend. Dit kan duiden op heterogeniteit van het bodemmateriaal. De bodemonsters die werden gebruikt om de tdr-metingen te calibreren bevestigden dit. Zo had het monster uit de onbehandelde plot een dichtheid van 0.87 g/cm³ en het monster uit de behandelde plot een dichtheid van 1.1 g/cm³. Hierdoor kan het onbehandelde gedeelte meer water bergen dan het behandelde gedeelte, hetgeen ook blijkt uit de figuren 15 en 16. Het vochtgehalte op 5 cm diepte van het behandelde gedeelte neemt geleidelijk aan toe ten opzichte van het onbehandelde gedeelte. De uitdroging van het profiel in het voorjaar van 2004 op 25 en 40 cm diepte gaat trager op het behandelde gedeelte. Doordat het dijkvak het gehele jaar goed is te bevochtigen zijn de onderlinge verschillen tussen het behandelde en het onbehandelde gedeelte gering. Doordat er is gemeten met meerdere

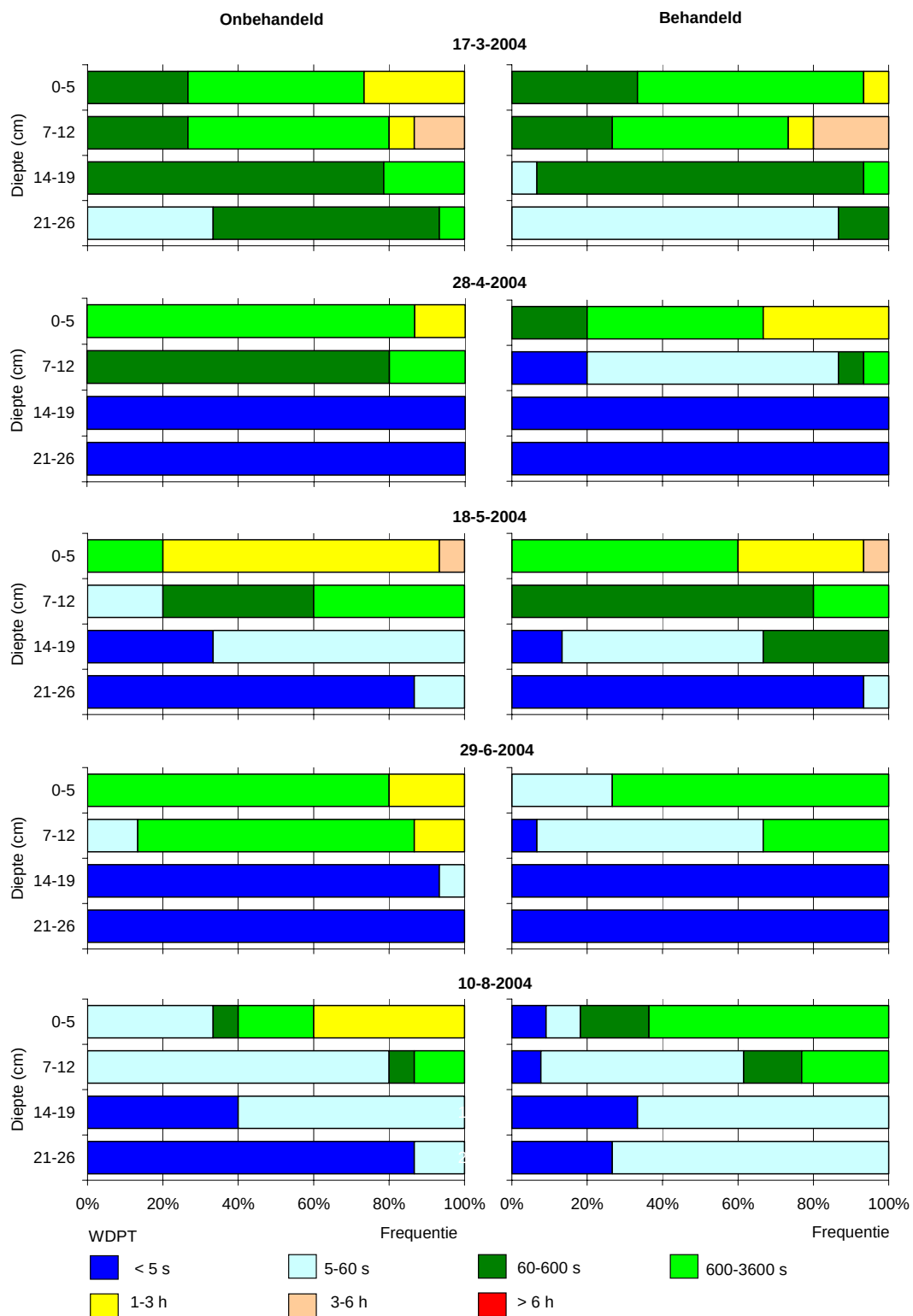


Figuur 11 Actuele waterafstotendheid van monsters uit een onbehandeld en een behandeld gedeelte van de veendijk, genomen op 5 verschillende data en op 4 dieptes.

sensoren per diepte en op verschillende dieptes, kan er per tijdseenheid een contourplot worden gemaakt van de vochtverdeling in het profiel. Door de metingen van de verschillende tijdstippen achter elkaar te plaatsen ontstaat een soort van filmbeeld van het verloop van de vochtverdeling door de tijd. Deze filmbeelden worden separaat aan dit rapport meegeleverd.

Om het volumiek gewicht te kunnen berekenen is aangenomen dat de gemiddelde vochtgehaltes van de 4 dieptes waarop is gemeten (-5, -12, -25 en -40 cm) representatief zijn voor de lagen 0-8.5, 8.5-18.5, 18.5-32.5 en 32.5-50 cm. De dichtheden voor deze lagen zijn geschat uit de bemonstering van 7 juni 2005. In figuur 17 is het volumiek gewicht weergegeven tot een diepte van 50 cm voor, zowel het onbehandelde als het behandelde gedeelte van de dijk. De verschillen tussen het onbehandelde en het behandelde gedeelte zijn gering. De afname van het volumieke gewicht tot een halve meter beneden maaiveld van de dijk is in de natte zomer van 2004 maximaal 20%.

Opmerkelijk was dat, tijdens een veldbezoek in januari 2005, het gras op het behandelde gedeelte al redelijk groen was, terwijl dit op het onbehandelde gedeelte nog geel was (figuur 18).

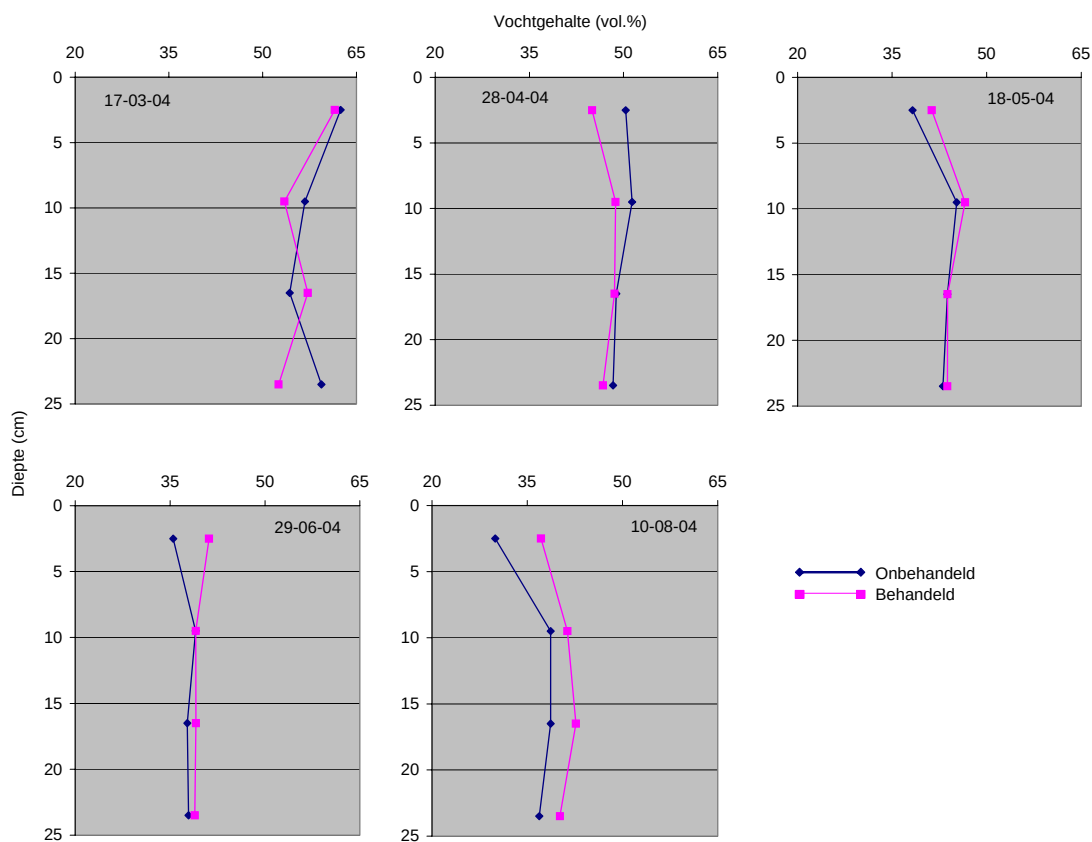


Figuur 12 Potentiële waterafstotendheid van monsters uit een onbehandeld en een behandeld gedeelte van de veendijk, genomen op 5 verschillende data en op 4 dieptes.

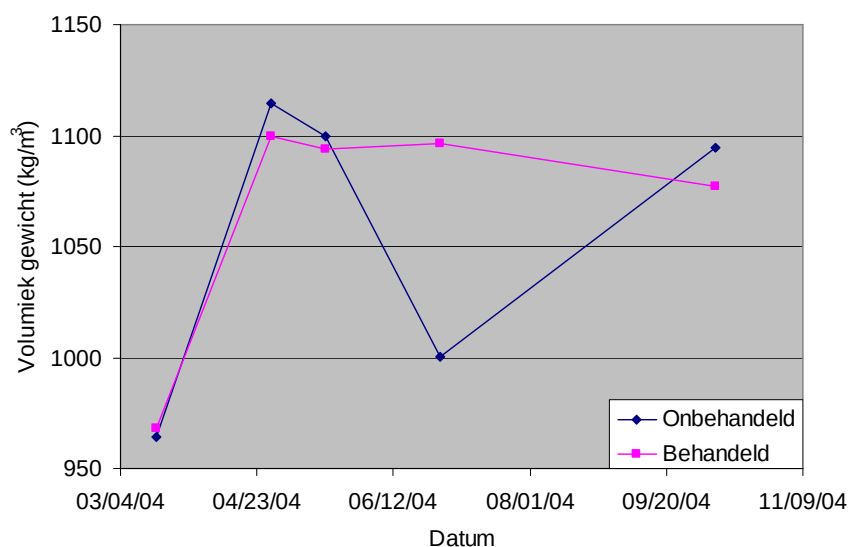
4. Conclusies

De toplaag van de dijk bestaat uit venige klei en gaat vanaf 40 cm diepte over in kleiig veen. Het profiel is goed bevochtigbaar. Gedurende de zomer kan de dijk waterafstotend worden, doch dit beperkt zich hoofdzakelijk tot een diepte van 12 cm. Het onbehandelde gedeelte vertoont een grotere waterafstotendheid dan het behandelde gedeelte. Dit komt zowel tot uiting bij de actuele als de potentiële waterafstotendheid. De handmetingen wezen tevens uit dat het behandelde gedeelte van de dijk in de loop van de tijd natter is geworden ten opzichte van het onbehandelde gedeelte. De automatische vochtmetingen lieten een minder duidelijk beeld zien, hetgeen mogelijk te verklaren is uit de heterogeniteit van het bodemmateriaal op het steile gedeelte van de dijk. Het onverzadigd volumiek gewicht voor de bovenste 50 cm van de dijk varieerde van 1250 kg/m³ in het voorjaar van 2004 tot 1000 kg/m³ in de zomer van 2004, hetgeen een afname betekende van 20%. Opvallend was het verschil in volumiek gewicht van de dijk op 29 juni 2004. Op het behandelde gedeelte was het volumiek gewicht bijna 10% hoger in vergelijking met het onbehandelde gedeelte.

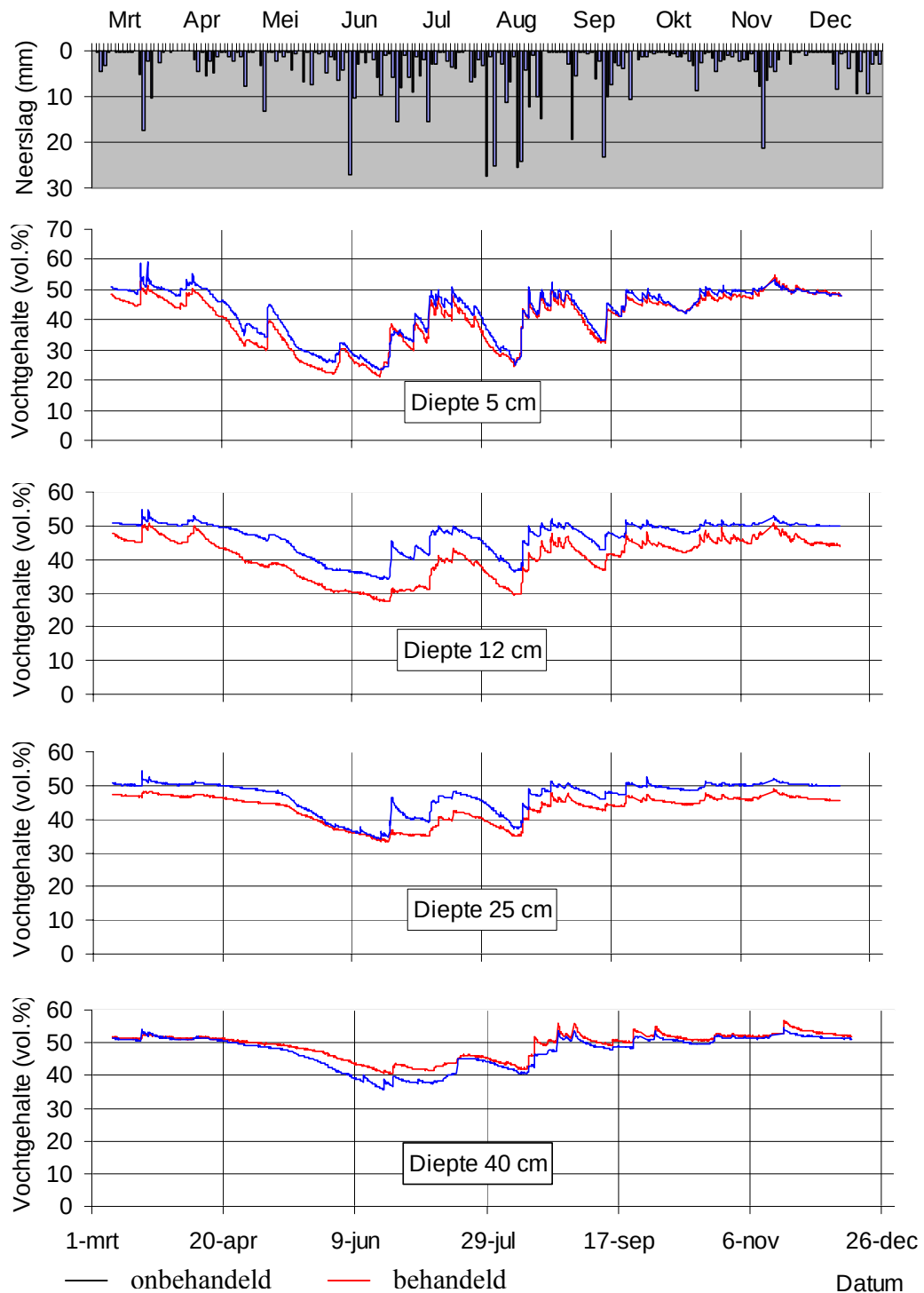
De invloed van de surfactant toediening op de bevochtiging was gering mede door het relatief natte jaar 2004, waardoor gedurende de proefperiode de dijk goed bevochtigbaar bleef.



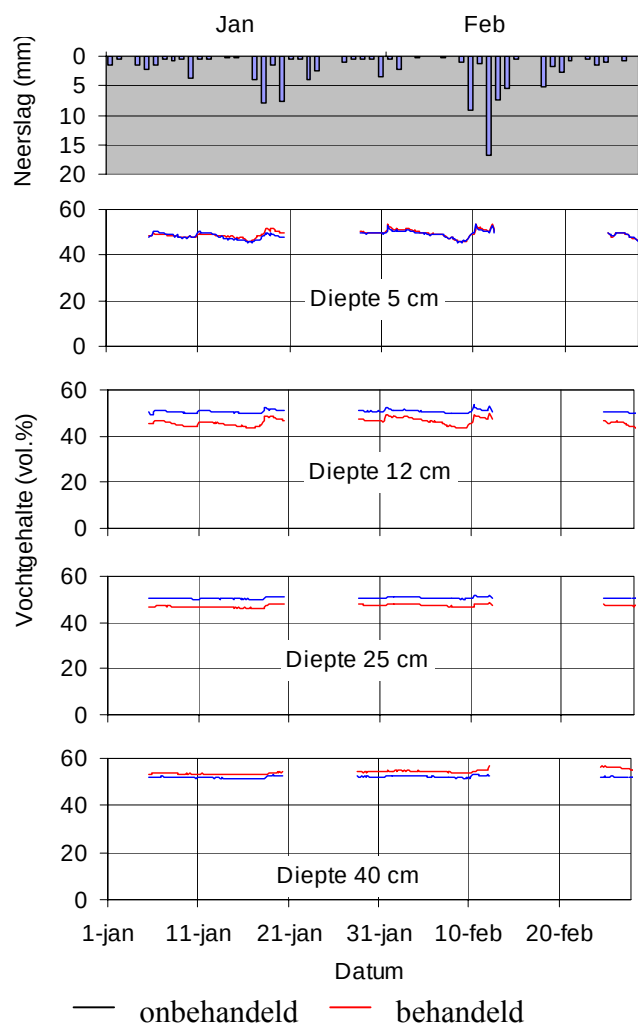
Figuur 13 Vochtgehalten (vol.%) per diepte (cm) in het onbehandelde en het behandelde gedeelte van de veendijk op vijf data.



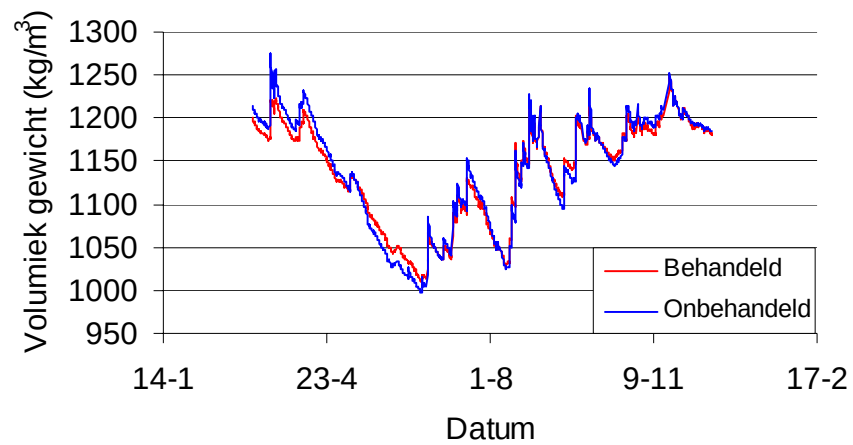
Figuur 14 Volumiek gewicht van de dijk voor de diepte van 0 tot 27 cm berekend uit een 5-tal handmatige bemonsteringen.



Figuur 15 Neerslag (mm) en gemiddelde vochtgehalten (vol.%) van de behandelde en onbehandelde plot op 4 dieptes voor de periode 1 maart 2004 – 31 december 2004.



Figuur 16 Neerslag (mm) en gemiddelde vochtgehalten (vol.%) van de behandelde en onbehandelde plot op 4 dieptes voor de periode 1 januari 2005 – 28 februari 2005.



Figuur 17 Volumiek gewicht van de dijk voor de diepte van 0 tot 50 cm berekend uit automatische TDR metingen.



Figuur 18 Gezicht op het onbehandelde (links) en het behandelde (rechts) gedeelte van de dijk op 5 januari 2005.

5. Referenties

- Baker JM, Allmaras RR (1990) System for automating and multiplexing soil moisture measurements by time-domain reflectometry. *Soil Science Society of America Journal*. **54**, 1-6.
- Bennema J, Van der Woerd D (1952) Ingedroogde veengronden. Oorzaak, verbreiding en verbetering. *Landbouwgids* **1952**, 207-209.
- Bouma J, Dekker LW (1978) A case study on infiltration into dry clay soil. I. Morphological observations. *Geoderma* **46**, 27-40.
- Dekker LW (1983) Effectiviteit van het beregenen van moeilijk bevochtigbare veengronden. *Cultuurtechnisch Tijdschrift* **22**, 369-375.
- Dekker LW (1985) Opname van water in moeilijk bevochtigbare zand- en veengronden. *Cultuurtechnisch Tijdschrift* **25**, 121-131.
- Dekker LW (1988) Verspreiding, oorzaken, gevolgen en verbeteringsmogelijkheden van waterafstotende gronden in Nederland. *Report Netherlands Soil Survey Institute, Wageningen, the Netherlands* **2046**, 54 pp.
- Dekker LW (1992) Duinen hebben last van watervrees. *Waddenbulletin* **27**, 182-185.
- Dekker LW (1998) Moisture variability resulting from water repellency in Dutch soils. Doctoral Thesis, Wageningen Agricultural University, the Netherlands, 240 pp.
- Dekker LW, Bisdom EBA (1992) Zand in Zeeland droog na regenval. *Zeeuws Landschap* **8(2)**, 6-9.
- Dekker LW, Bouma J (1984) Nitrogen leaching during sprinkler irrigation of a Dutch clay soil. *Agricultural Management* **9**, 37-45.
- Dekker LW, Jungerius PD (1990) Water repellency in the dunes with special reference to the Netherlands. *Catena Supplement* **18**, 173-183.
- Dekker LW, Ritsema CJ (1994a) Fingered flow: The creator of sand columns in dune and beach sands. *Earth Surface Processes and Landforms* **19**, 153-164.
- Dekker LW, Ritsema CJ (1994b) How water moves in a water repellent sandy soil. 1. Potential and actual water repellency. *Water Resources Research* **30**, 2507-2517.
- Dekker LW, Ritsema CJ (1995) Fingerlike wetting patterns in two water repellent loam soils. *Journal of Environmental Quality* **24**, 324-333.
- Dekker LW, Ritsema CJ (1996a) Zwammen in de weide. Een nuchtere kijk in de bodem van een magische cirkel. *Stromingen* **2(2)**, 5-16.
- Dekker LW, Ritsema CJ (1996b) Uneven moisture patterns in water repellent soils. *Geoderma* **70**, 87-99.
- Dekker LW, Ritsema CJ (1996c) Variation in water content and wetting patterns in Dutch water repellent peaty clay and clayey peat soils. *Catena* **28**, 89-105.
- Dekker LW, Ritsema CJ (1996d) Preferential flow paths in a water repellent clay soil with grass cover. *Water Resources Research* **32**, 1239-1249.
- Dekker LW, Ritsema CJ (1996e) Preferente stroming en vochtpatronen in waterafstotende zavel- klei- en veengronden. *Stromingen* **2(4)**, 23-35.
- Dekker LW, Ritsema CJ (2000) Wetting patterns and moisture variability in water repellent Dutch soils. *Journal of Hydrology* **231-232**, 148-164.
- Dekker LW, Ritsema CJ, Oostindie K, Boersma OH (1998) Effect of drying temperature on the severity of soil water repellency. *Soil Science* **163**, 780-796.

- Dekker LW, Doerr SH, Oostindie K, Ziogas AK, Ritsema CJ (2001) Water repellency and critical soil water content in a dune sand. *Soil Science Society of America Journal* **65**, 1667-1674.
- Dekker LW, Oostindie K, Ritsema CJ (2003) Verschillen in grasgroei door waterafstotendheid. *Groen en Golf* **4**, 7-9.
- Dekker LW, Oostindie K, Ritsema CJ (2004) Effecten van VBX op de bevochtiging van veenmosveen. *Alterra rapport* **949**. , Alterra, Green World Research, Wageningen-UR, The Netherlands, 26 blz.
- Doerr SH, Dekker LW, Ritsema CJ, Shakesby RA, Bryant R (2002) Water repellency of soils. The influence of ambient relative humidity. *Soil Science Society of America Journal* **66**, 401-405.
- Heimovaara TJ, Bouten W (1990) A computer controlled 36-channel Time Domain Reflectometry system for monitoring soil water contents. *Water Resources Research* **26**, 2311-2316.
- Hooghoudt SB, Van der Woerd D, Bennema J, Van Dijk H (1960).Irreversibly drying peat soils in the West of The Netherlands. *Verslagen van Landbouwkundige Onderzoekingen No 66.23*, Wageningen.
- Hudig J, Redlich GC (1940) Onderzoek van indrogende, irreversibele veengronden. *Tijdschrift Nederlandsche Heide Mij.* **52**, 382-399.
- Oostindie K, Dekker LW, Ritsema CJ (2002) The effects of surfactant and water applications on the wetting of a dune sand with grass cover. *Alterra Report* **540**, Alterra, Green World Research, Wageningen-UR, The Netherlands, 88 pp.
- Oostindie K, Dekker LW, Ritsema CJ, Wesseling JG (2005a) Effects of surfactant applications on the wetting of sands in fairways of the Dutch golf course De Pan. *Alterra Report* **1144**., Alterra, Green World Research, Wageningen-UR, The Netherlands, 84 pp.
- Oostindie K, Dekker LW, Ritsema CJ, Steenbergen T, Lansink L (2005b) The effect of VIMI-X on the wettability of a peat dyke. *Alterra-special issue* **2005/01**, Alterra, Green World Research, Wageningen-UR, The Netherlands, 21 pp.
- Ritsema CJ, Dekker LW (1994) Soil moisture and dry bulk density patterns in bare dune sands. *Journal of Hydrology* **154**, 107-131.
- Ritsema CJ, Dekker LW (1995) Distribution flow: A general process in the top layer of water repellent soils. *Water Resources Research* **31**, 1187-1200.
- Ritsema CJ, Dekker LW (1996) Water repellency and its role in forming preferred flow paths in soils. *Australian Journal of Soil Research* **34**, 475-487.
- Ritsema CJ, Dekker LW (1998) Three dimensional patterns of moisture, water repellency, bromide and pH in a sandy soil. *Journal of Contaminant Hydrology* **31**, 295-313.
- Ritsema CJ, Dekker LW, editors (2000) Water repellency in soils. *Special issue Journal of Hydrology* **231-232**. 434pp.
- Ritsema CJ, Dekker LW, editors (2003) Soil water repellency: occurrence, consequences and amelioration. Elsevier. 352 pp.
- Ritsema CJ, Dekker LW, Van den Elsen EGM, Oostindie K, Nieber JL, Steenhuis TS (1997) Recurring fingered flow pathways in a water repellent sandy field soil. *Hydrology and Earth System Sciences* **4**, 777-786.

- Steenhuis TS, Dekker LW, Parlange J-Y, Ritsema CJ (1995) Hoe snelle stroming door preferente banen het grondwater kan verontreinigen. *H₂O* **28**, 118-121.
- Steenhuis TS, Ritsema CJ, Dekker LW (editors) (1996) Fingered flow in unsaturated soil: from nature to model. *Geoderma* **70**, 244 pp.
- Topp GC, Davis JL, Annan AP (1980) Electromagnetical determination of soil water content: Measurement in coaxial transmission lines. *Water Resources Research* **16**, 574-582.
- Van den Elsen HGM, Kokot J, Skierrucha W, Halbertsma JM (1995) An automatic Time Domain Reflectometry device to measure and store soil moisture contents for stand-alone field use. *Agrophysics* **9**, 235-241.

Annex 1. Bepalingen aan monsters per datum en per diepte

17-03-04

Laag 0-5 cm

Nr.	Onbehandeld					Behandeld				
	WDPT act.	WDPT pot.	Nat gewicht (g)	Nat dichtheid (g.cm ⁻³)	Vocht- gehalte (vol.%)	WDPT act.	WDPT pot.	Nat gewicht (g)	Nat dichtheid (g.cm ⁻³)	Vocht- gehalte (vol.%)
1	0	2	98.87	0.39	60.0	0	4	90.47	0.25	65.4
2	0	4	100.98	0.35	66.2	0	3	91.74	0.26	66.1
3	0	3	99.06	0.36	63.0	0	3	92.76	0.26	66.5
4	0	3	102.91	0.38	64.8	0	3	86.43	0.25	61.0
5	0	4	98.49	0.34	64.7	0	3	90.77	0.28	62.6
6	0	3	98.48	0.33	65.9	0	2	89.79	0.31	59.0
7	0	2	107.61	0.40	68.0	0	3	89.98	0.32	57.8
8	0	2	102.39	0.38	64.6	0	2	94.29	0.34	60.0
9	0	3	90.33	0.34	56.4	0	2	104.82	0.38	67.3
10	0	3	87.19	0.30	57.2	0	2	110.39	0.42	68.1
11	0	4	96.77	0.33	64.0	0	2	101.58	0.41	60.8
12	0	3	95.03	0.34	61.4	0	3	96.06	0.39	56.8
13	0	2	106.74	0.45	62.2	0	3	75.57	0.29	46.2
14	0	4	94.4	0.34	60.2	0	3	99.75	0.38	61.7
15	0	3	93.38	0.35	58.8	0	3	105.7	0.42	64.1
		Gem:	98.18	0.36	62.5		Gem:	94.67	0.33	61.5
		C.V.	5.7	10.1	5.5		C.V.	9.2	19.26	9.0
1	0	5	85.83	0.29	57.3	0	5	73.63	0.18	55.5
2	0	5	87.52	0.29	58.8	0	3	65.85	0.18	47.8
3	0	4	90.26	0.34	56.3	0	5	76.21	0.19	57.1
4	0	3	94.42	0.36	58.0	0	4	70.09	0.18	51.7
5	0	2	88.15	0.33	55.1	0	5	77.52	0.23	54.8
6	0	2	91.43	0.34	57.4	0	3	84.34	0.28	56.3
7	0	3	94.02	0.34	59.6	0	3	74.33	0.24	50.2
8	0	3	82.58	0.29	53.5	0	2	101.4	0.36	65.0
9	0	3	87.83	0.29	59.2	0	2	86.86	0.32	55.0
10	0	3	82.72	0.30	52.4	0	2	94.34	0.36	58.4
11	0	3	85.26	0.31	54.4	0	3	92.99	0.36	56.6
12	0	3	90.13	0.35	55.2	0	2	77.2	0.30	47.3
13	0	2	93.93	0.33	60.5	0	3	80.82	0.32	48.5
14	0	3	92.87	0.36	57.0	0	3	81.67	0.32	49.9
15	0	2	93.07	0.36	56.8	0	3	81.41	0.33	48.2
		Gem:	89.33	0.33	56.8		Gem:	81.24	0.28	53.5
		C.V.	4.5	9.1	4.1		C.V.	11.8	25.33	9.3

Laag 7-12 cm

1	0	5	85.83	0.29	57.3	0	5	73.63	0.18	55.5
2	0	5	87.52	0.29	58.8	0	3	65.85	0.18	47.8
3	0	4	90.26	0.34	56.3	0	5	76.21	0.19	57.1
4	0	3	94.42	0.36	58.0	0	4	70.09	0.18	51.7
5	0	2	88.15	0.33	55.1	0	5	77.52	0.23	54.8
6	0	2	91.43	0.34	57.4	0	3	84.34	0.28	56.3
7	0	3	94.02	0.34	59.6	0	3	74.33	0.24	50.2
8	0	3	82.58	0.29	53.5	0	2	101.4	0.36	65.0
9	0	3	87.83	0.29	59.2	0	2	86.86	0.32	55.0
10	0	3	82.72	0.30	52.4	0	2	94.34	0.36	58.4
11	0	3	85.26	0.31	54.4	0	3	92.99	0.36	56.6
12	0	3	90.13	0.35	55.2	0	2	77.2	0.30	47.3
13	0	2	93.93	0.33	60.5	0	3	80.82	0.32	48.5
14	0	3	92.87	0.36	57.0	0	3	81.67	0.32	49.9
15	0	2	93.07	0.36	56.8	0	3	81.41	0.33	48.2
		Gem:	89.33	0.33	56.8		Gem:	81.24	0.28	53.5
		C.V.	4.5	9.1	4.1		C.V.	11.8	25.33	9.3

Onbehandeld

Behandeld

17-03-04

Laag 14-19 cm

Nr.	WDPT act.	WDPT pot.	Nat gewicht (g)	dichtheid (g.cm ⁻³)	Vocht- gehalte (vol.%)	WDPT act.	WDPT pot.	Nat gewicht (g)	dichtheid (g.cm ⁻³)	Vocht- gehalte (vol.%)
1	0	2	97.5	0.43	54.6	0	2	104.73	0.38	66.7
2	0	2	91.65	0.38	53.2	0	2	104.11	0.36	68.1
3	0	2	82.2	0.32	50.7	0	2	92.98	0.30	62.7
4	0	2	88.38	0.34	54.8	0	2	82.75	0.28	55.2
5	0	3	76.23	0.31	45.7	0	2	84.8	0.28	56.7
6	0	3	84.97	0.33	51.7	0	3	81.44	0.28	53.5
7	0	2	85.78	0.33	52.8	0	2	85.69	0.31	54.3
8	0	2	88.51	0.32	56.5	0	2	89.96	0.31	59.0
9	0	3	76.83	0.28	49.2	0	2	93.33	0.35	58.5
10	0	3	81.08	0.29	52.6	0	2	97.8	0.38	59.9
11	0	2	86.79	0.31	55.4	0	2	93.04	0.42	50.9
12	0	2	93.05	0.35	57.8	0	2	100.21	0.45	55.3
13	0	2	96.92	0.37	60.0	0	2	86.84	0.38	49.0
14	0	2	93.18	0.34	58.8	0	1	126.48	0.69	57.3
15	0	2	96.45	0.35	61.3	0	2	104.49	0.53	51.1
Gem:				87.97	54.3	Gem:				57.2
C.V.				7.9	7.7	C.V.				9.6
1	0	1	123.36	0.64	59.3	0	1	124.47	0.65	59.3
2	0	1	120.48	0.61	59.1	0	1	127.33	0.68	59.6
3	0	2	113.31	0.56	57.3	0	1	121.28	0.64	57.6
4	0	2	114.99	0.56	58.8	0	1	103.31	0.53	50.7
5	0	2	109.1	0.53	56.6	0	1	110.12	0.59	51.0
6	0	1	112.16	0.50	62.3	0	1	99.64	0.52	47.5
7	0	1	120.06	0.57	62.7	0	1	108.43	0.57	51.6
8	0	2	99.61	0.38	61.6	0	1	112.53	0.61	51.4
9	0	2	107.73	0.46	62.1	0	1	103.46	0.54	49.5
10	0	2	116.54	0.54	62.1	0	1	111.19	0.61	50.2
11	0	2	87.05	0.32	54.7	0	2	122.56	0.69	53.2
12	0	3	99.84	0.39	61.2	0	1	118.38	0.65	53.0
13	0	2	114.03	0.55	59.0	0	1	122.1	0.71	51.5
14	0	1	111.13	0.53	58.5	0	2	119.05	0.70	49.4
15	0	2	106.29	0.51	55.6	0	1	131.44	0.79	52.8
Gem:				110.38	59.4	Gem:				52.5
C.V.				8.5	4.3	C.V.				6.8

Laag 21-26 cm

28-4-04

28-4-04	Onbehandeld						Behandeld					
	Nr.	WDPT act.	WDPT pot.	Nat gewicht (g)	dichtheid (g.cm ⁻³)	Vocht- gehalte (vol.%)	WDPT act.	WDPT pot.	Nat gewicht (g)	dichtheid (g.cm ⁻³)	Vocht- gehalte (vol.%)	
<u>Laag 0-5 cm</u>	1	0	4	92.3	0.45	47.5	1	2	99.51	0.49	50.1	
	2	0	3	92.58	0.43	49.1	0	2	96.71	0.48	48.7	
	3	1	3	96.06	0.46	50.2	0	3	92.83	0.45	47.5	
	4	0	3	104.5	0.50	54.0	0	3	92.87	0.40	52.9	
	5	0	3	89.78	0.41	48.8	0	3	93.06	0.41	52.0	
	6	1	3	99.32	0.46	53.1	0	4	82.38	0.36	46.8	
	7	1	3	99.98	0.47	53.1	0	3	99.05	0.47	51.8	
	8	0	3	94.19	0.46	48.5	0	3	105.99	0.52	54.3	
	9	1	4	84.3	0.41	43.7	0	2	89.54	0.41	48.2	
	10	0	3	104.33	0.49	55.5	0	3	83.51	0.38	45.0	
	11	0	3	98.41	0.46	52.1	1	3	73.87	0.33	40.9	
	12	0	3	97.04	0.45	51.7	1	4	81.52	0.39	42.6	
	13	1	3	103.19	0.51	52.1	1	4	65.47	0.32	33.0	
	14	1	3	105.46	0.54	51.8	1	4	57.25	0.29	28.6	
	15	1	3	84.22	0.40	44.0	1	4	67.63	0.35	32.6	
<u>Laag 7-12 cm</u>			Gem:	96.38	0.46	50.3		Gem:	85.41	0.40	45.0	
			C.V.	7.1	8.4	6.8		C.V.	16.5	16.9	17.7	
	1	0	3	94.44	0.45	49.4	0	2	103.37	0.60	43.1	
	2	0	3	95.77	0.44	52.0	0	3	86.65	0.45	42.1	
	3	0	3	94.7	0.43	51.6	0	1	88.11	0.39	49.2	
	4	0	2	98.25	0.50	48.2	0	1	97.83	0.47	51.3	
	5	0	2	89.36	0.45	44.7	0	1	94.47	0.43	51.4	
	6	0	2	87.16	0.39	47.8	0	1	98.63	0.50	48.8	
	7	0	2	94.83	0.49	45.5	0	1	90.51	0.39	51.6	
	8	0	2	88.83	0.37	51.9	0	1	92.08	0.41	51.5	
	9	0	2	94.8	0.42	52.4	0	1	87.18	0.37	50.0	
	10	0	2	105.48	0.52	53.1	0	1	78.05	0.33	45.3	
	11	0	2	112.72	0.58	54.8	0	1	81.02	0.32	48.7	
	12	0	2	105.53	0.48	58.0	0	1	92.64	0.41	51.4	
	13	0	2	97.62	0.46	51.4	0	0	98.29	0.48	50.6	
14	0	2	97.37	0.42	54.9	0	0	93.27	0.46	47.2		
15	0	2	94.89	0.40	54.8	0	0	96.34	0.48	48.8		
		Gem:	96.78	0.45	51.4		Gem:	91.90	0.43	48.7		
		C.V.	7.0	11.9	7.2		C.V.	7.5	16.4	6.3		

28-4-04

Laag 14-19 cm

Nr.	Onbehandeld				Behandeld			
		Nat		Vocht- gehalte (vol.%)		Nat		Vocht- gehalte (vol.%)
	WDPT	gewicht	dichtheid		WDPT	gewicht	dichtheid	
	act.		(g.cm ⁻³)		pot.	(g)	(g.cm ⁻³)	
1	0	128.01	0.75	52.6	0	109.8	0.67	43.2
2	0	106.46	0.56	50.4	0	104.75	0.61	43.9
3	0	115.3	0.65	50.6	0	125.54	0.77	49.0
4	0	102.21	0.53	48.9	0	130.16	0.80	50.5
5	0	106.61	0.59	47.6	0	132.89	0.83	50.4
6	0	98.86	0.46	53.3	0	124.29	0.76	48.1
7	0	106.35	0.58	48.3	0	127.25	0.77	49.9
8	0	117.71	0.72	45.5	0	127.2	0.80	47.0
9	0	119.81	0.71	48.6	0	137.84	0.82	56.1
10	0	125.57	0.79	46.2	0	126.42	0.77	49.5
11	0	142.97	0.92	51.3	0	126.56	0.77	49.9
12	0	122.27	0.74	48.2	0	136.83	0.87	50.1
13	0	115	0.67	48.0	0	139.07	0.90	49.4
14	0	111.73	0.64	47.4	0	117.07	0.71	46.2
15	0	117.58	0.72	45.7	0	123.24	0.78	45.3
		Gem: 115.76	0.67	48.8		Gem: 125.93	0.77	48.6
		C.V. 9.8	17.3	4.9		C.V. 7.7	9.4	6.5

Laag 21-26 cm

Nr.	WDPT	gewicht	dichtheid	Vocht- gehalte (vol.%)	WDPT	gewicht	dichtheid	Vocht- gehalte (vol.%)
	act.		(g.cm ⁻³)		pot.	(g)	(g.cm ⁻³)	
1	0	114.86	0.73	41.7	0	129.46	0.83	46.3
2	0	139.31	0.89	50.0	0	104.83	0.63	42.1
3	0	126.6	0.81	45.8	0	120.77	0.73	47.3
4	0	135.26	0.86	48.9	0	127.9	0.82	46.2
5	0	125.93	0.79	47.2	0	130.96	0.85	46.4
6	0	133.64	0.85	48.5	0	140.28	0.93	47.7
7	0	144.12	0.95	49.3	0	127.42	0.82	45.9
8	0	140.62	0.91	49.5	0	138.18	0.90	48.5
9	0	124.18	0.74	50.2	0	143.66	0.94	49.2
10	0	132.13	0.83	49.6	0	140.24	0.91	49.0
11	0	139.59	0.89	50.7	0	134.94	0.87	47.7
12	0	140.74	0.91	49.5	0	142.11	0.94	47.9
13	0	139.16	0.91	48.0	0	144.49	0.97	47.1
14	0	135.6	0.90	45.3	0	137.76	0.92	45.3
15	0	149.95	0.99	50.7	0	132.95	0.89	44.2
		Gem: 134.78	0.86	48.3		Gem: 133.06	0.86	46.7
		C.V. 6.6	8.6	5.1		C.V. 7.8	10.5	4.0

18-5-04

18-5-04	Onbehandeld					Behandeld				
	Nr.	WDPT act.	WDPT pot.	Nat gewicht (g)	Vocht- gehalte (vol.%)	WDPT act.	WDPT pot.	Nat gewicht (g)	dichtheid (g.cm ⁻³)	Vocht- gehalte (vol.%)
<u>Laag 0-5 cm</u>	1	3	5	70.94	0.38	0	3	99.35	0.51	48.4
	2	2	5	69.59	0.48	0	4	97.68	0.51	46.2
	3	2	5	87.02	0.50	1	4	94.11	0.50	44.0
	4	3	5	78.47	0.43	0	3	97.11	0.52	45.2
	5	2	6	71.8	0.37	1	3	77.77	0.40	37.4
	6	1	5	92.1	0.43	0	4	64.59	0.28	36.2
	7	1	5	105.12	0.62	1	4	65.33	0.30	35.4
	8	1	5	86.52	0.51	1	3	77.6	0.40	37.3
	9	1	5	87.94	0.47	1	4	78.8	0.41	37.8
	10	1	5	90.54	0.46	0	3	91.39	0.48	43.2
	11	1	3	80.79	0.43	0	3	102.06	0.55	47.4
	12	2	3	85.81	0.47	0	5	82.77	0.45	38.2
	13	2	5	65.44	0.35	0	3	97.64	0.51	46.6
	14	0	3	91.57	0.48	0	3	81.62	0.44	37.6
	15	1	5	102.2	0.53	1	3	82	0.43	38.5
<u>Laag 7-12 cm</u>			Gem:	84.39	0.46		Gem:	85.99	0.45	41.3
			C.V.	13.8	14.7		C.V.	14.1	17.5	11.2
	1	1	2	106.02	0.62	0	3	90.49	0.39	51.2
	2	0	2	100.52	0.60	0	3	92.33	0.44	48.6
	3	0	1	100.57	0.61	0	3	89.97	0.44	46.2
	4	0	2	97.35	0.54	0	2	88.27	0.42	46.2
	5	0	2	92.16	0.46	0	2	93.86	0.50	43.7
	6	0	2	96.46	0.49	0	2	94.03	0.51	42.9
	7	0	2	109.89	0.63	0	2	95.29	0.54	41.1
	8	0	1	111.8	0.66	0	2	89.84	0.48	42.2
	9	0	1	118.38	0.75	0	2	92.11	0.46	46.6
	10	0	3	91.84	0.46	0	2	103.15	0.58	45.1
	11	0	3	84.77	0.39	0	2	108.7	0.57	51.5
	12	0	3	91.6	0.43	0	2	96.39	0.49	47.7
	13	0	3	76.83	0.36	0	2	117.58	0.68	50.0
14	0	3	88.22	0.37	0	2	113.64	0.65	49.1	
15	0	3	89.46	0.39	0	2	97.95	0.51	46.8	
		Gem:	97.06	0.52		Gem:	97.57	0.51	46.6	
		C.V.	11.4	23.4		C.V.	9.3	15.9	6.9	

Laag 0-5 cm

Laag 7-12 cm

18-5-04

Laag 14-19 cm

Nr.	Onbehandeld					Behandeld					Vocht- gehalte (vol.%)
	WDPT act.	WDPT pot.	Nat gewicht (g)	dichtheid (g.cm ⁻³)	Vocht- gehalte (vol.%)	WDPT act.	WDPT pot.	Nat gewicht (g)	dichtheid (g.cm ⁻³)	Vocht- gehalte (vol.%)	
1	0	1	131.99	0.90	42.2	0	2	125.61	0.78	47.8	
2	0	1	131.63	0.87	44.7	0	1	113.84	0.72	41.7	
3	0	1	110.8	0.68	43.0	0	0	111.13	0.71	39.9	
4	0	1	130.05	0.89	40.8	0	1	112.17	0.69	43.7	
5	0	1	136.94	0.93	43.9	0	1	111.59	0.70	41.3	
6	0	1	118.28	0.73	45.3	0	1	124.17	0.79	45.4	
7	0	1	100.63	0.60	40.9	0	2	110.19	0.69	40.9	
8	0	1	110.26	0.69	41.7	0	2	102.92	0.64	39.1	
9	0	0	128.01	0.86	41.8	0	2	124.52	0.79	45.7	
10	0	1	130.76	0.83	48.1	0	2	118.64	0.74	44.8	
11	0	0	133.28	0.88	44.9	0	1	126.52	0.82	45.0	
12	0	1	121.23	0.75	46.4	0	1	117.36	0.73	44.4	
13	0	0	105.85	0.60	45.4	0	1	127.07	0.81	46.3	
14	0	0	109.97	0.67	42.8	0	1	119.34	0.74	44.9	
15	0	0	130.15	0.86	44.7	0	0	138.78	0.93	46.1	
		Gem:	121.99	0.78	43.8		Gem:	118.92	0.75	43.8	
		C.V.	9.6	14.5	4.8		C.V.	7.6	9.3	5.9	
1	0	0	146.92	1.01	45.5	0	0	127.64	0.85	42.8	
2	0	0	136.08	0.91	45.5	0	0	143.05	0.98	45.2	
3	0	0	129.06	0.86	43.2	0	0	136.21	0.91	44.9	
4	0	1	115.56	0.80	35.2	0	0	136.57	0.91	45.2	
5	0	0	124.86	0.87	37.9	0	1	133.51	0.89	44.2	
6	0	0	142.53	0.98	44.1	0	0	128.87	0.85	43.7	
7	0	1	112.98	0.75	37.9	0	0	126.01	0.83	43.1	
8	0	0	130.64	0.92	38.9	0	0	103.87	0.68	35.9	
9	0	0	131.29	0.90	41.5	0	0	123.68	0.81	42.3	
10	0	0	153.82	1.05	49.3	0	0	138.13	0.90	47.9	
11	0	0	142.92	0.97	45.8	0	0	135.49	0.91	44.7	
12	0	0	138.4	0.90	48.1	0	0	142.92	0.96	47.0	
13	0	0	131.78	0.87	45.0	0	0	136.11	0.91	44.8	
14	0	0	120.29	0.77	43.0	0	0	127.71	0.85	42.2	
15	0	0	135.6	0.90	45.1	0	0	136.66	0.94	42.3	
		Gem:	132.85	0.90	43.1		Gem:	131.76	0.88	43.8	
		C.V.	8.6	9.3	9.4		C.V.	7.4	8.3	6.2	

Laag 21-26 cm

29-6-04

	Onbehandeld						Behandeld					
	Nr.	WDPT act.	WDPT pot.	Nat gewicht (g)	dichtheid (g.cm ⁻³)	Vocht- gehalte (vol.%)	WDPT act.	WDPT pot.	Nat gewicht (g)	dichtheid (g.cm ⁻³)	Vocht- gehalte (vol.%)	
<u>Laag 0-5 cm</u>	1	3	3	73.23	0.45	27.8	0	3	89.84	0.50	39.8	
	2	3	4	69.29	0.42	27.1	0	3	75.04	0.40	35.3	
	3	1	3	75.11	0.39	36.1	0	3	74.63	0.40	34.7	
	4	1	3	79.87	0.45	35.0	0	1	76.44	0.39	37.1	
	5	0	4	84.17	0.45	39.1	0	3	81.98	0.41	40.8	
	6	0	3	84.2	0.42	41.9	0	1	88.41	0.44	44.2	
	7	0	3	71.22	0.37	34.5	0	3	86.13	0.43	43.6	
	8	0	3	83.55	0.43	41.0	0	1	97.59	0.48	49.9	
	9	0	3	78.08	0.37	41.0	0	3	95.2	0.46	49.0	
	10	0	3	82.3	0.40	42.6	0	3	89.16	0.47	42.6	
	11	0	3	81.78	0.42	39.7	0	3	91.86	0.51	41.0	
	12	0	3	82.75	0.45	37.3	0	1	102.41	0.56	46.7	
	13	2	4	61.23	0.33	28.3	0	3	96.16	0.52	44.6	
	14	1	3	65.19	0.36	29.4	1	3	83.55	0.48	35.6	
	15	0	3	68.7	0.37	32.0	1	3	79.67	0.47	32.6	
<u>Laag 7-12 cm</u>			Gem:	76.04	0.41	35.5		Gem:	87.20	0.46	41.2	
			C.V.	9.9	9.9	15.4		C.V.	9.9	10.6	12.9	
	1	2	1	82.81	0.52	30.9	0	1	99.53	0.50	49.6	
	2	2	3	85.69	0.48	38.0	1	3	80.73	0.42	38.4	
	3	2	3	87.56	0.49	38.9	1	3	81.17	0.42	39.0	
	4	0	3	78.62	0.39	40.0	1	3	86.13	0.48	38.0	
	5	0	3	81.02	0.42	39.2	2	1	88.04	0.50	37.8	
	6	2	4	67.15	0.31	36.1	0	1	83.9	0.43	40.9	
	7	1	4	75.09	0.36	38.7	0	1	86.46	0.45	41.4	
	8	2	3	79.57	0.40	39.7	0	0	124.13	0.83	41.4	
	9	0	1	109.38	0.62	47.9	1	3	89.2	0.44	45.4	
	10	0	3	94.76	0.52	42.9	1	1	73.27	0.33	40.4	
	11	0	3	95.47	0.55	40.6	0	1	90.78	0.56	34.4	
	12	1	3	80.59	0.42	38.3	0	1	81.82	0.43	38.5	
	13	2	3	82.99	0.46	36.9	1	1	74.35	0.41	33.2	
14	2	3	79.41	0.42	37.6	2	1	72.58	0.38	34.9		
15	1	3	86.68	0.47	39.9	2	3	79.63	0.47	32.8		
		Gem:	84.45	0.45	39.0		Gem:	86.11	0.47	39.1		
		C.V.	11.7	17.2	9.2		C.V.	14.8	24.1	11.5		

10-8-04	Onbehandeld						Behandeld					
	Nr.	WDPT act.	WDPT pot.	Nat gewicht (g)	dichtheid (g.cm ⁻³)	Vocht- gehalte (vol.%)	WDPT act.	WDPT pot.	Nat gewicht (g)	dichtheid (g.cm ⁻³)	Vocht- gehalte (vol.%)	
<u>Laag 0-5 cm</u>	1	3	4	67.72	0.41	27.0	2	3	87.17	0.52	35.0	
	2	3	4	55.91	0.32	23.5	2	4	97.74	0.58	39.5	
	3	3	4	54.8	0.32	22.9	2	3	84.81	0.52	33.3	
	4	2	1	79.07	0.53	25.7	2	3	86.74	0.53	33.8	
	5	2	1	90.41	0.66	24.4	2	3	56.02	0.31	25.2	
	6	0	1	105.42	0.77	28.6	2	4	64.13	0.36	28.1	
	7	1	1	68.34	0.46	22.3	0	4	69.37	0.38	31.6	
	8	1	2	95.48	0.57	38.3	0	3	90.54	0.49	41.2	
	9	2	3	73.79	0.41	32.6	0	3	92.45	0.48	44.5	
	10	3	4	83.21	0.49	34.7	0	2	112.85	0.61	52.0	
	11	3	4	70.09	0.39	30.6	1	4	84.69	0.45	40.1	
	12	3	4	77.08	0.44	32.9	2	2	84.79	0.46	38.9	
	13	3	3	69.07	0.41	28.0	1	3	92.46	0.52	40.4	
	14	2	3	101.39	0.60	41.1	1	0	109.21	0.72	37.4	
	15	0	1	96.33	0.60	36.8	1	1	91.78	0.55	36.7	
<u>Laag 7-12 cm</u>			Gem:	79.21	0.49	30.0		Gem:	86.98	0.50	37.2	
			C.V.	19.9	25.8	19.8		C.V.	17.3	20.6	17.7	
	1	0	1	83.94	0.47	37.2	2	1	82.27	0.46	36.5	
	2	0	1	97.2	0.57	39.9	2	3	78.85	0.42	37.1	
	3	0	1	85.3	0.49	36.3	0	2	101.44	0.59	42.5	
	4	0	1	105.05	0.64	41.1	1	0	97.75	0.62	36.0	
	5	0	1	97.28	0.52	45.1	1	1	80.6	0.42	38.7	
	6	0	1	104.58	0.59	45.3	2	1	90.84	0.47	44.3	
	7	0	2	99.2	0.54	45.4	2	4	69.49	0.25	44.7	
	8	0	1	96.25	0.55	40.8	0	4	75.54	0.41	34.2	
	9	0	1	104.55	0.61	43.2	0	3	68.5	0.31	37.8	
	10	0	1	100.09	0.64	36.5	0	3	84.06	0.38	45.7	
	11	0	3	92.86	0.57	35.8	1	1	101.17	0.55	46.1	
	12	2	3	84.07	0.54	30.3	1	2	103.49	0.56	47.5	
	13	0	1	109.78	0.74	35.7	0	1	95.94	0.53	43.3	
14	0	1	102.61	0.69	33.8	0	1	94.75	0.53	41.9		
15	0	1	100.99	0.67	33.9	0	1	94.48	0.51	43.6		
		Gem:	97.58	0.59	38.7		Gem:	87.94	0.47	41.3		
		C.V.	8.2	12.9	12.1		C.V.	13.3	22.2	10.2		

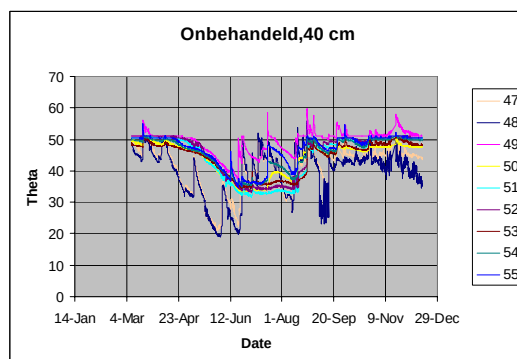
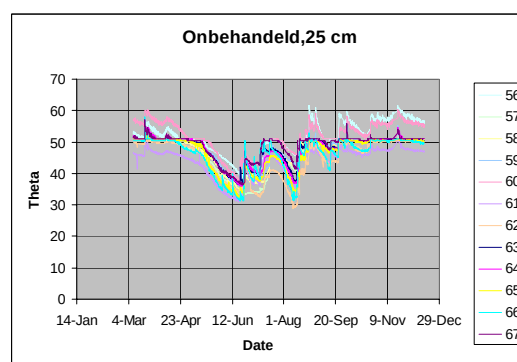
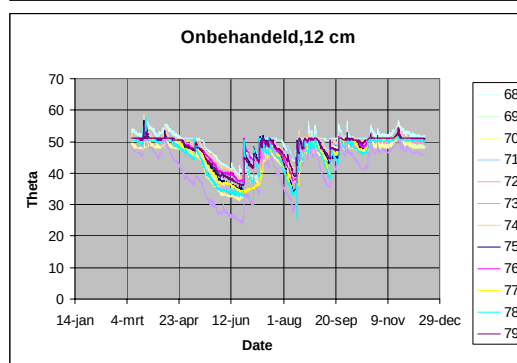
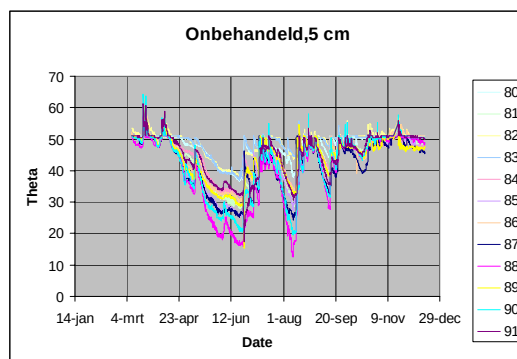
10-8-04

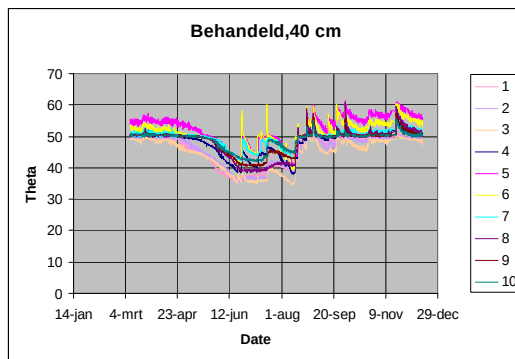
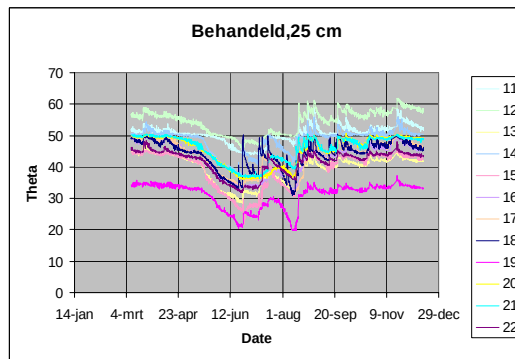
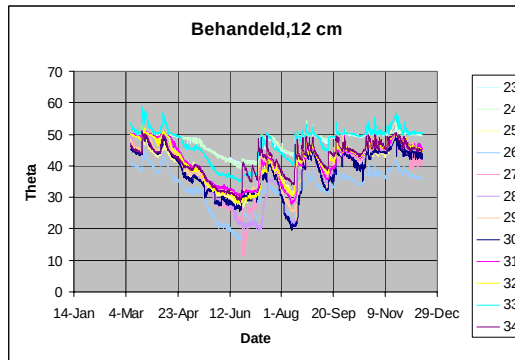
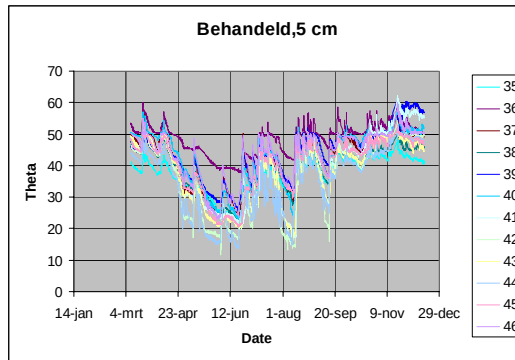
Laag 14-19 cm

Nr.	Onbehandeld				Behandeld				Vocht- gehalte (vol.%)
	Nat	WDPT	gewicht (g)	dichtheid (g.cm ⁻³)	Nat	WDPT	gewicht (g)	dichtheid (g.cm ⁻³)	
		act.				act.			
		pot.				pot.			
1		0	122.6	0.83		0	131.56	0.92	39.5
2		0	118.99	0.81		0	117.92	0.79	39.3
3		0	125.5	0.87		0	145.71	0.98	47.3
4		0	129.24	0.88		0	131.12	0.89	42.3
5		1	117.82	0.75		0	114.5	0.70	44.6
6		1	134.13	0.92		0	135.69	0.85	50.4
7		1	133.28	0.92		0	122.81	0.73	50.1
8		1	111.36	0.73		0	128.84	0.80	49.2
9		0	114.84	0.77		0	101.95	0.65	36.7
10		0	108.51	0.74		0	118.46	0.80	38.5
11		0	120.3	0.82		0	111.55	0.75	36.3
12		0	120.26	0.83		0	135.46	0.94	41.4
13		0	132.34	0.94		0	119.52	0.78	41.4
14		0	134.8	0.99		0	111.89	0.71	40.9
15		0	125.07	0.89		0	115.39	0.73	42.0
			Gem:	0.85			122.82	0.80	42.7
			C.V.	9.4			9.5	12.1	10.9
1		0	142.5	1.03		0	133.06	0.97	36.4
2		0	126.13	0.90		0	140.59	0.99	41.8
3		0	131.95	0.98		0	138.48	0.98	40.4
4		0	128.69	0.92		0	123.18	0.83	40.4
5		0	140.59	1.01		0	124.83	0.84	41.3
6		0	135.32	0.97		0	137.79	0.89	48.7
7		0	133.6	0.96		0	130.38	0.89	41.9
8		0	132.51	0.93		0	123.45	0.81	42.9
9		0	119.12	0.81		0	124.62	0.84	40.8
10		0	136.14	0.99		0	133.52	0.95	38.8
11		0	134.96	0.96		0	122.91	0.87	36.4
12		0	131.1	0.94		0	132.58	0.95	37.2
13		0	135.66	1.01		0	134.29	0.97	37.1
14		0	136.47	1.02		0	140.96	1.01	40.2
15		0	135.59	1.04		0	111.06	0.73	38.2
			Gem:	0.96			130.11	0.90	40.2
			C.V.	4.3			6.4	9.1	7.9

Laag 21-26 cm

Appendix 2. Vochtmetingen van de afzonderlijke sensoren





BIJLAGE 1B

GRAFISCHE PRESENTATIE ONDERZOEKS- RESULTATEN SURFACTANT

Het gemeten verloop van het vochtgehalte in de tijd wordt als een filmpje gepresenteerd ("diavoorstelling")

Zie CD-rom.

BIJLAGE 2

VOORBEELD VAN EEN MIDDEL OP BIOLOGISCHE BASIS (VIMI-X)

The effect of VIMI-X on the wettability of a peat dyke

Commissioned by:

Vieffect International bv
Voorland 5
1601 EZ Enkhuizen

The effect of VIMI-X on the wettability of a peat dyke

Klaas Oostindie
Louis W. Dekker
Coen J. Ritsema
Tonnie van Steenbergen
Louis Lansink

Alterra-special issue 2005/01

Alterra, Green World Research, Wageningen, 2005

ISSN 1574-8227

This report can be ordered by paying 25 Euro into bank account number 36 70 54 612 of Alterra, Wageningen, The Netherlands, with reference to Alterra special issue 2005/01. This amount includes VAT and postage.

© 2005 ALTERRA, Green World Research,
P.O. Box 47, NL-6700 AA Wageningen (The Netherlands)
Tel +31 317 47 47 00; fax: +31 317 41 90 00; e-mail: postkamer@alterra.wag-ur.nl

No part of this publication may be reproduced or published in any form or by any means, or stored in a database or retrieval system, without prior written permission of ALTERRA.

ALTERRA assumes no liability for any losses resulting from the use of this document.

ALTERRA is the amalgamation of the Institute for Forestry and Nature Research (IBN) and the Winand Staring Centre for Integrated Land, Soil and Water Research (SC). The merger took place on 1 January 2000.

[Special issue 2005/01]

Contents

1. Introduction	7
2. Methods	8
<i>2.1 The Experimenta Field</i>	8
<i>2.2 Treatments and Soil Sampling</i>	8
<i>2.3 Water Drop Penetration Time (WDPT) Test</i>	9
3. Results	11
<i>3.1 Dry Bulk Density and Organic Matter Content</i>	11
<i>3.2 Weather data</i>	11
<i>3.3 Actual Water Repellency</i>	11
<i>3.4 Potential Water Repellency</i>	11
<i>3.5 Water Content and Degree of Saturation</i>	15
4 Conclusions	17
5 References	17
Annex 1. Sampling results from 14 June, 2004	18
Annex 2. Sampling results from 19 July, 2004	19
Annex 3. Sampling results from 30 August, 2004	20
Annex 4. Sampling results from 29 September, 2004	21

1. Introduction

In the summer of 2003 a peat dyke at Wilnis collapsed. This summer was very dry and the main assumption about the collapse was a big loss of mass due to dehydration. As a result of the dehydration the dyke could not resist the pressure of the water and collapsed. A well known phenomenon of peat soils is that once they are dry they are hardly to wet again as a result of water repellency of the soil. A water repellent soil will be defined as one which does not wet up spontaneously when a drop of water is placed upon the surface. Water repellency is influenced by season and soil water content. In most cases, repellency decreases during winter months and is most severe during summer. This seasonal variation may be due to soil moisture conditions. Long, hot, dry periods (e.g. summer 2003) stimulate the formation of water repellent soils.

Water repellency may dramatically affect water and solute movement at the field-scale. Water repellency and its spatial variability have been shown to cause decreased infiltration of precipitation and irrigation water, non uniform wetting of soil profiles, increased runoff, and leaching due to preferential flow.

Vieffect Int. BV has commissioned Alterra to start a field trial to study the effects of VIMI-X on the wettability of a peat dyke. According to Vieffect Int. BV VIMI-X is a product on the basis of natural organic microbes and organic acids and can be used as a natural surfactant to enhance water penetration. To study the effects of VIMI-X an experimental field along the slope of a peat dyke was divided into two plots. On the first plot VIMI-X was regularly applied and the other untreated plot was used for comparison.



Figure 1. Application of VIMI-X at the experimental field.

2. Methods

2.1 The Experimental Field



The experimental field is located at “de Middelburgse kade” in Waddinxveen, situated north of Rotterdam. This dyke is an inland dam which mainly consists of peat. A part of the dyke was used for the field trial. A plot of 6,4 m by 20 m was allocated to be treated with VIMI-X and a same adjacent plot was used for comparison.

During the experimental period from 14 June till 29 September, 2004 the precipitation was partly recorded on location. For the missing periods the rain data recorded by weather station Boskoop were used. The transpiration data were used from the KNMI weather station in Rotterdam.

Figure 2. Taking samples from the experimental field.

2.2 Treatments and Soil Sampling

On 14 June, 19 July and 30 August, 2004 VIMI-X was applied to a part of the experimental field (6.4 m by 20 m) at a rate of ml/m² and with a volume solution of ml/m² with a Mesto Pico backpack-sprayer (Fig. 1). An adjacent same area was not treated and was used for comparison.



Figure 3. Soil samples at depths of more than 30 cm were taken using a special soil sampler.

On 14 June soil samples were taken at five depths and at the subsequent three sampling dates four depths were sampled, in the untreated as well as in the plot treated with VIMI-X. The samples were taken in vertical transects on 14 June, 19 July, 30 August and 29 September, 2004 to study the water content and the persistence of the actual and potential water repellency. The soil was sampled at depths of 2-7, 25-30, 50-55, 75-80 and

100-105 cm (only first time), using steel cylinders with a diameter of 5 cm. At each depth 5 samples were taken over a distance of 80 cm with intervals of 20 cm (Fig. 2). The cylinders were pressed vertically into the soil, emptied into plastic bags and used again. For depths beneath 30 cm the samples were taken with a special auger (Fig. 3). The plastic bags were tightly sealed to minimize evaporation from the soil. The field-moist soil in the plastic bags was weighed and the persistence of actual water repellency was measured. All samples had been oven-dried at 105°C and weighed to calculate the soil water content and after a couple of days of acclimatisation on the lab the persistence of potential water repellency was measured.

2.3 Water Drop Penetration Time (WDPT) Test

The persistence or stability of water repellency of the soil samples was examined using the water drop penetration time (WDPT) test. Three drops of distilled water from a standard medicine dropper were placed on the smoothed surface of a soil sample, and the time that elapses before the drops were absorbed was determined. We measured the water repellency of the soil samples under controlled conditions at a constant temperature of 20°C and a relative air humidity of 50%. In general, a soil is considered to be water repellent if the WDPT exceeds 5 s (Dekker, 1998, Oostindie et al., 2002). We applied an index allowing a quantitative definition of the persistence of soil water repellency as described by Dekker and Jungerius (1990). In the present study five classes of repellency were distinguished, based upon the time needed for the water drops to penetrate into the soil:

- class 0, wettable, non-water repellent (infiltration within 5 s);
- class 1, slightly water repellent (5 to 60 s);
- class 2, strongly water repellent (60 to 600 s);
- class 3, severely water repellent (600 s to 1 h);
- class 4, extremely water repellent (more than 1 h)

We measured the water repellency of the field-moist samples and of the samples after drying in an oven, the so-called “potential soil water repellency” (Dekker and Ritsema, 1994). Measurements of the actual water repellency were performed immediately after assessment of the wet weights of the samples. The persistence of potential water repellency of the samples was measured after drying at 105°C. The WDPT tests were deferred for at least 2 days to obtain samples in equilibrium with the ambient air humidity (Doerr et al., 2002).

Table 1. Amount of precipitation, transpiration and precipitation surplus between the subsequent sampling dates at the peat dyke in Waddinxveen.

Period	Precipitation (mm)	Transpiration (mm)	Precipitation surplus (mm)
14 June - 19 July	149.7	103.6	46.1
19 July - 30 August	236.1	124.7	111.4
30 August - 29 September	89.6	60.4	29.2
Total	475.4	288.7	186.7

Table 2. Frequencies of the persistence of actual water repellency of soil samples taken at different depths on four dates.

Untreated						VIMI-X						
Date	Depth (cm)	WDPT class					Depth (cm)	WDPT class				
		0	1	2	3	4		0	1	2	3	4
14 June	2-7	1		4			2-7		2	3		
	25-30	2		3			25-30			1	4	
	50-55	5					50-55	1	3	1		
	75-80	5					75-80	5				
	100-105	5					100-105	5				
19 July	2-7	5					2-7	5				
	25-30	5					25-30	4				
	50-55	5					50-55	4				
	75-80	5					75-80	5				
30 August	2-7	5					2-7	5				
	25-30	5					25-30	4				
	50-55	5					50-55	5				
	75-80	5					75-80	5				
29 September	2-7	5					2-7	5				
	25-30	5					25-30	5				
	50-55	5					50-55	5				
	75-80	5					75-80	5				

3. Results

3.1 Dry Bulk Density and Organic Matter Content

The dyke is covered with either a thin clay, clayey sand or loam layer of around 7-25 cm thickness. Beneath this depth the profile mainly consists of peat and clayey peat. The dry bulk density in the top layer varies between 0.87 to 1.36 g.cm⁻³. The calculated organic matter content is strongly related to the bulk density and varied in this layer between 5.0 and 15.1%. The peat samples in the deeper layers of the profile have a much lower bulk density. For these samples with dry bulk densities ranging from 0.93 to 0.21 g.cm⁻³, a decreasing bulk density with increasing depth was found (see Annex 1-4 and Figures 4-6). However the organic matter content increases with depth, and ranges from around 18% at depths of 25-30 cm to 25-40% at depths of 75-80 cm.

3.2 Weather data

During the experimental period from 14 June till 29 September a total rainfall of 475.5 mm was recorded. During this period the transpiration amounted to 288.7 mm and the precipitation surplus was aggregated to 186.7 mm (Table 1). Very eye-catching is the second period with a precipitation surplus of 111.4 mm. A relatively dry spring period was followed up by a relatively wet summer.

3.3 Actual Water Repellency

Table 2 shows frequencies of the persistence of water repellency of the samples during the four sampling dates. After a relatively dry spring time water repellency started to develop up to a depth of 30 cm in the untreated plot. Four samples in the top layer (2-7 cm) and three samples in the subsequent layer (25-30 cm) were found to be strongly water repellent with a penetration time of 60 to 600 seconds (class 2). The plot, which was to be treated with VIMI-X, showed an even stronger water repellent behaviour. At the start of the experiment water repellency was measured to a depth of 55 cm. Up to this depth only one sample was wettable (WDPT class 0), 5 samples were slightly water repellent (class 1), also 5 samples were strongly water repellent (class 2) and even four samples from the second layer were severely water repellent (class 3). It can be concluded that the plot to be treated, on the one hand showed a more persistent water repellency and on the other hand water repellency was found at greater depths in comparison with the untreated plot. After the first application the profile of both plots became wettable due to a surplus of precipitation and both plots remained wettable till the end of the experiment.

3.4 Potential Water Repellency

Frequencies of the persistence of potential soil water repellency are shown in table 3. Most of the samples from the top layer were wettable after drying at 105°C, except some clayey sand samples on 14 June from the untreated plot and one loam sample on 19 July from the treated plot. However, all peat samples were water repellent after drying at 105°C. The degree of this water repellency increased with depth. In general the samples

Table 3. Frequencies of the persistence of potential water repellency of soil samples taken at different depths on four dates.

		Untreated							VIMI-X				
Date	Depth (cm)	WDPT class					Date	Depth (cm)	WDPT class				
		0	1	2	3	4			0	1	2	3	4
14 June	2-7	2	2	1				2-7	5				
	25-30	3	2					25-30			5		
	50-55	2	3					50-55			3	2	
	75-80			5				75-80			4	1	
	100-105				3	2		100-105			2	1	2
19 July	2-7	5						2-7	4	1			
	25-30	1		3	1			25-30			4		
	50-55			1	4			50-55				1	3
	75-80			1	4			75-80			1	3	1
30 August	2-7	5						2-7	5				
	25-30		5					25-30	2	2			
	50-55		2	1		2		50-55			5		
	75-80		3	2				75-80			4	1	
29 September	2-7	5						2-7	5				
	25-30			5				25-30			3		2
	50-55			5				50-55				3	2
	75-80			2	3			75-80				3	2

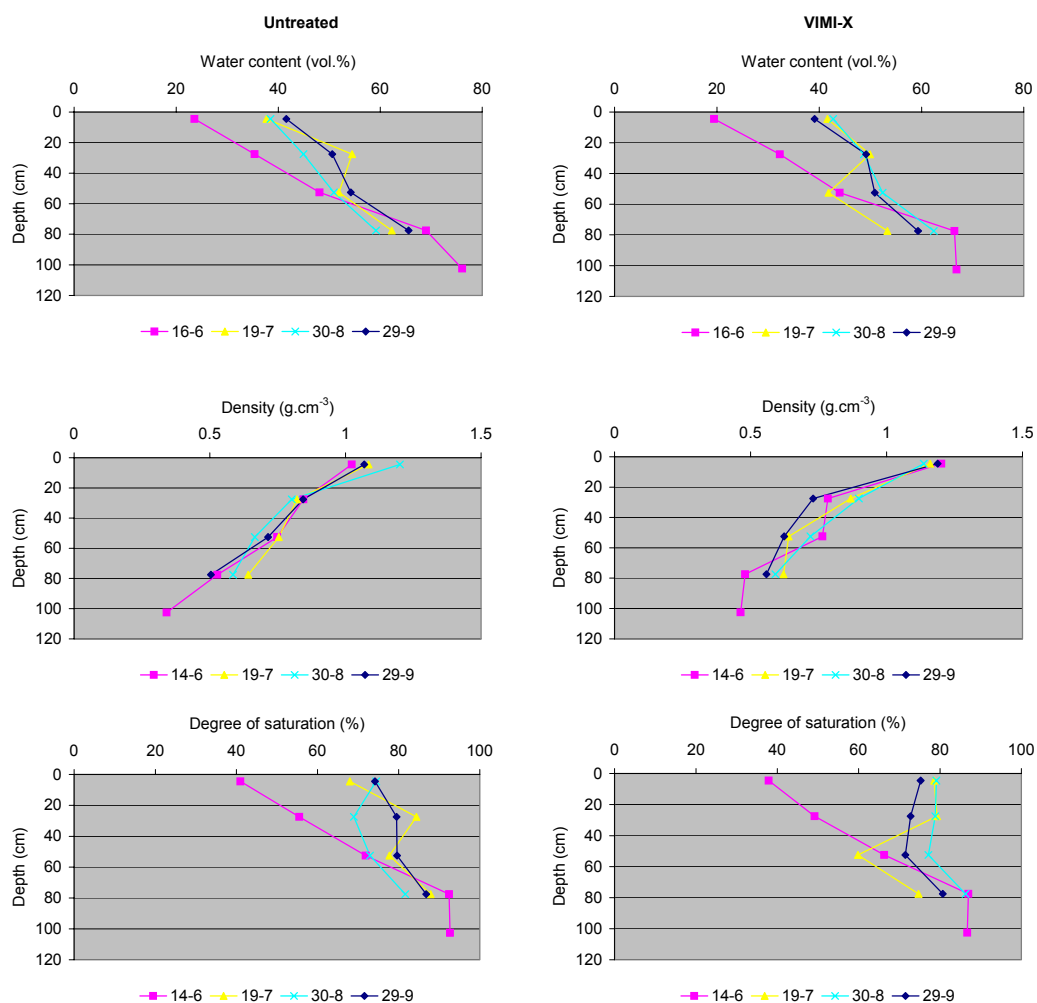


Figure 4. Water content, dry bulk density and degree of saturation on four dates in the untreated plot (left-hand side) and in the VIMI-X treated plot (right-hand side).

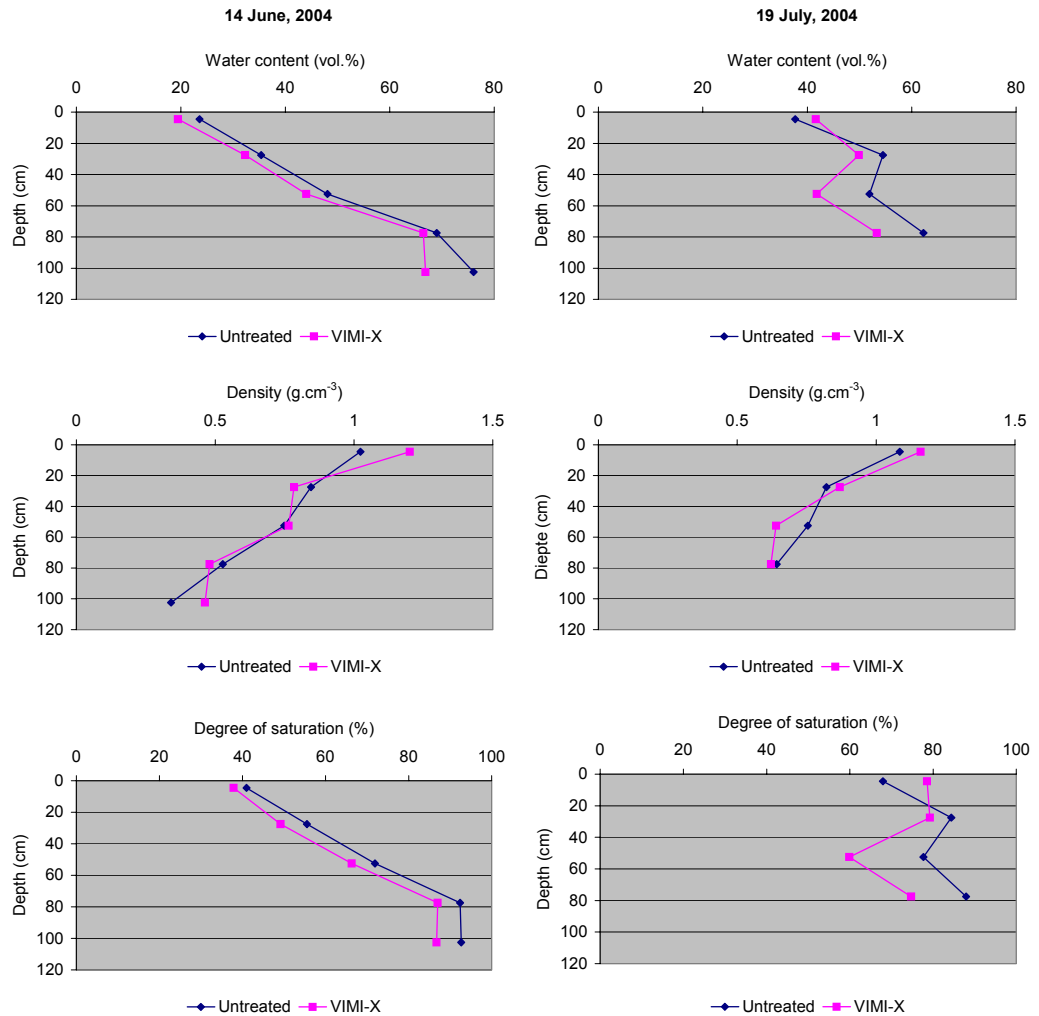


Figure 5. Water content, dry bulk density and degree of saturation for the untreated and treated plot on 14 June, 2004 (left-hand side) and on 19 July, 2004 (right-hand side).

below 30 cm depth from the treated plot showed a higher degree of potential water repellency.

3.5 Water Content and Degree of Saturation

Moisture content, dry bulk density and degree of saturation have been depicted in Figure 4. At the start of the experiment the water content in the untreated plot as well as in the treated plot was relatively low. As a result of almost 150 mm rainfall, which was more than 46 mm above the transpiration, especially the upper part of the soil profile became wetter. In the period from 19 July to 30 August the top layer became wetter, but below this layer the profile of the untreated plot became drier. This is surprising in the light of the 111 mm of precipitation surplus. In contrast with the untreated plot, the profile beneath 30 cm depth of the plot which was treated with VIMI-X became wetter during this period. During the last period the water content of the untreated plot increased while the treated plot remained at the same level. However, the degree of saturation of this treated plot was slightly lower due to lower bulk densities. Interesting was the analysis of the change of the amount of water in the profile for the two plots at the different sampling dates. It was assumed that: 1) the measured water content at 2-7 cm depth was a good estimation for the layer from 0-16 cm depth, 2) the measured water content at 25-30 cm depth was an estimation for the layer from 16 to 40 cm depth etc. According to this assumptions the amount of water stored in the first 90 cm of the profile during the first sampling date was 415 mm in the untreated and 385 mm in the treated plot. After the second sampling date on 19 July these water amounts increased to 476 mm in the untreated and 424 mm in the treated plot. This means an increase of 61 mm in the untreated and 39 mm in the treated plot. The precipitation surplus was 46 mm, thus the increase at the untreated plot was higher than the precipitation surplus, which means that there might be lateral waterflow towards this plot. On 30 August there was a decrease of 32 mm in the untreated plot, despite an precipitation surplus of almost 125 mm. In the treated plot there was an increase of 48 mm of water. On the last sampling date 29 September, there was a slight decrease of water amount for the treated plot of 16 mm, while the untreated plot increased with 42 mm of water.

In Figures 5 and 6 comparisons have been made for each sampling date between the untreated plot and the plot treated with VIMI-X with respect to the water content, bulk density and degree of saturation. At the initial state on 14 June the untreated plot started with a bit wetter profile. On 19 July the top layer of the treated plot became wetter than the untreated plot. Worthy of note is that each individual sample of the treated plot is wetter than the wettest one from the untreated plot. The differences in the rest of the profile are more clear than at the start of the experiment. On 31 August the whole profile of the treated plot was slightly wetter, but the difference in the degree of saturation between the two plots was eye-catching. On 29 September, the last sampling date, the water content of the treated plot remained on the same level but the degree of saturation dropped a few percentages. However, the untreated plot became wetter during this period and finished with an average degree of saturation of around 80%.

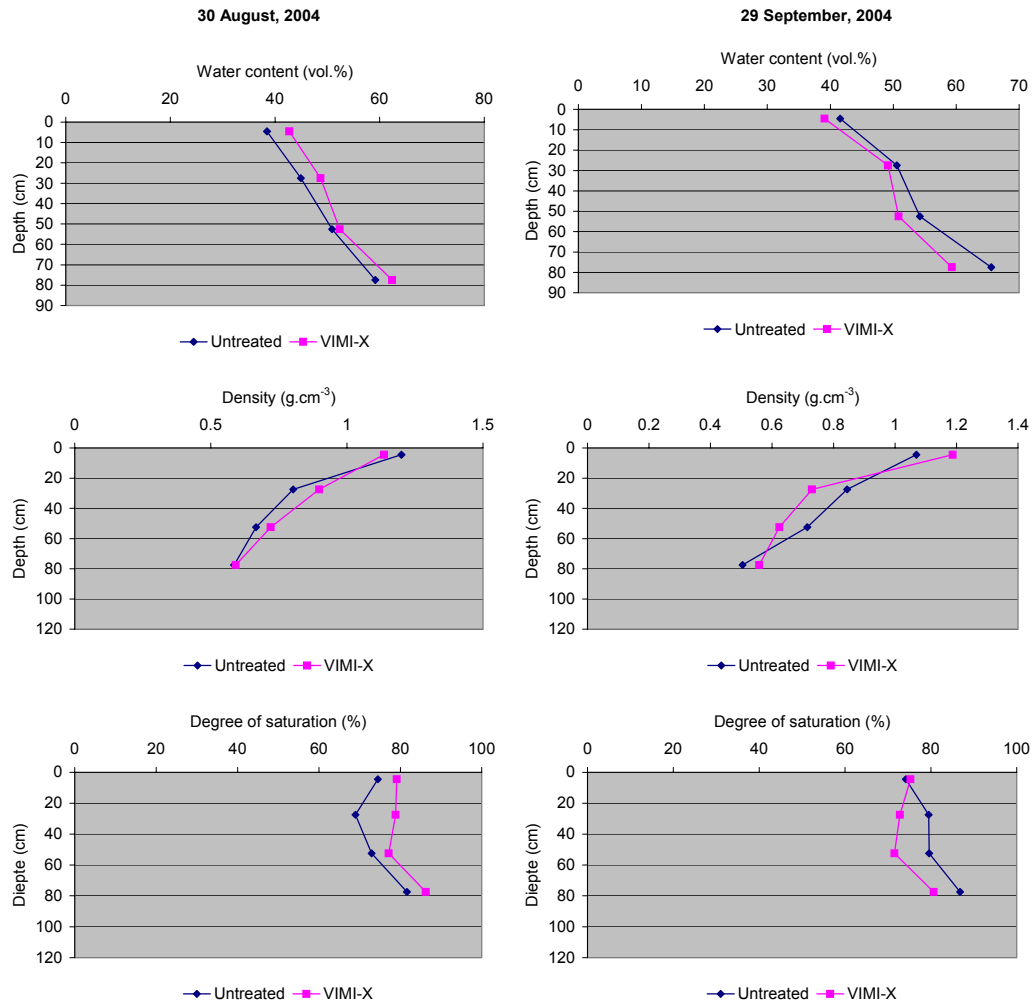


Figure 6. Water content, dry bulk density and degree of saturation for the untreated and the treated plot on 30 August, 2004 (left-hand side) and 29 September, 2004 (right-hand side).

4 Conclusions

Conclusions from this experiment concerning the effects of VIMI-X on the wettability of a peat dyke are:

- Although the experiment started after a promising dry spring, the summer was unfortunately relative wet,
- Actual water repellency was detected in both plots at the start of the experiment due to the dry spring,
- Natural conditions (too wet) during the experimental period were not ideal for testing the effects of VIMI-X, and due to the excessive precipitation the whole profile of both plots recovered from being water repellent, which already occurred after the first sampling date.
- All peat samples were potentially water repellent and the degree of repellency increased with depth.
- The increase in degree of saturation was tremendous in the top layer from the treated plot on the second sampling date.
- After the third sampling the whole profile of the treated plot was wetter than the profile of the untreated plot, however, on the last sampling date the opposite was found, but with exception of the top layer.

5 References

- Dekker L.W., 1998. Moisture variability resulting from water repellency in Dutch soils. *Doctoral Thesis, Wageningen Agricultural University, the Netherlands*, 240 pp.
- Dekker L.W. and Jungerius P.D., 1990. Water repellency in the dunes with special reference to the Netherlands. *Catena Supplement* **18**: 173-183.
- Dekker L.W. and Ritsema C.J., 1994. How water moves in a water repellent sandy soil. 1. Potential and actual water repellency. *Water Resources Research* **30**: 2507-2517.
- Doerr S.H., Dekker L.W., Ritsema C.J., Shakesby R.A. and Bryant R., 2002. Water repellency of soils. The influence of ambient relative humidity. *Soil Science Society of America Journal* **66**: 401-405.
- Oostindie K., Dekker L.W. and Ritsema C.J., 2002. The effects of surfactant applications and irrigations on the wetting of a dune sand with grass cover. *Alterra Report* **540**, Alterra, Green World Research, Wageningen-UR, The Netherlands, 88 pp.

Annex 1. Sampling results from June 14, 2004.

Date: 14-Jun-04

Untreated

VMI-X										
Depth (cm)	Density (g.cm ⁻³)	Water content (vol.%)	Organic matter content (%)	Volume of pores (%)	Volume of air (%)	Degree of saturation (%)	Soil material	Depth (cm)	Density (g.cm ⁻³)	Water content (vol.%)
2-7	1.28	22.0	8.3	49.8	27.8	44.1	cl. sand	2-7	1.14	18.1
2-7	0.87	22.0	15.1	62.9	40.8	35.0	cl. sand	2-7	1.30	22.0
2-7	0.82	28.0	13.6	61.3	33.3	45.7	cl. sand	2-7	1.30	20.2
2-7	1.05	23.3	10.0	56.8	33.4	41.1	cl. sand	2-7	1.13	17.3
2-7	1.01	22.7	11.1	58.3	35.8	38.9	cl. sand	2-7	1.14	19.8
25-30	0.84	33.7	16.3	63.9	30.2	52.7	p. sand	25-30	0.79	29.3
25-30	0.88	36.7	14.8	62.6	25.9	58.7	p. sand	25-30	0.80	33.4
25-30	0.78	36.4	18.8	66.1	28.7	55.0	s. peat	25-30	0.79	36.1
25-30	0.87	35.1	15.4	63.1	28.0	55.7	s. peat	25-30	0.71	28.3
25-30	0.88	35.1	15.8	63.2	28.1	55.5	s. peat	25-30	0.83	33.5
50-55	0.69	46.9	22.9	69.0	22.1	67.9	s. peat	50-55	0.75	43.4
50-55	0.70	43.9	22.3	68.5	24.6	64.0	s. peat	50-55	0.77	46.3
50-55	0.82	53.1	17.3	64.8	11.7	82.0	s. peat	50-55	0.79	46.2
50-55	0.77	47.6	18.1	66.2	18.7	71.8	s. peat	50-55	0.78	48.1
50-55	0.78	49.1	19.7	66.7	17.6	73.6	s. peat	50-55	0.72	35.1
75-80	0.53	69.4	33.0	74.5	5.1	93.2	peat	75-80	0.46	60.2
75-80	0.49	71.4	36.2	75.9	4.6	94.0	peat	75-80	0.51	66.1
75-80	0.54	68.7	32.1	74.1	5.3	92.8	peat	75-80	0.47	67.1
75-80	0.54	68.5	32.3	74.1	4.6	93.7	peat	75-80	0.42	68.4
75-80	0.53	65.9	33.8	74.7	8.8	88.2	peat	75-80	0.54	69.4
100-105	0.48	71.6	37.8	76.5	5.0	93.5	peat	100-105	0.58	84.3
100-105	0.39	75.5	45.6	80.1	4.6	94.2	peat	100-105	0.54	82.2
100-105	0.41	69.7	44.2	78.2	9.5	88.0	peat	100-105	0.41	68.5
100-105	0.21	83.7	88.7	87.8	4.2	85.3	peat	100-105	0.44	88.1
100-105	0.23	79.9	65.5	86.5	6.7	92.3	peat	100-105	0.35	68.2
								cl = clayey s = sandy p = peaty		
								cl = clayey s = sandy p = peaty		

Annex 2. Sampling results from July 19, 2004.

Date: 19-Jul-04

Untreated

VMI-X

Depth (cm)	Density (g.cm ⁻³)	Water content (vol. %)	Organic matter content (%)	Volume of pores (%)	Volume of air (%)	Degree of saturation (%)	Soil material
2-7	1.26	37.1	6.20	49.6	12.6	74.7	cl. sand
2-7	1.15	37.2	7.95	53.4	16.2	69.7	cl. sand
2-7	0.94	37.5	13.13	60.8	23.3	61.6	cl. sand
2-7	1.01	38.0	11.02	58.2	20.2	65.3	cl. sand
2-7	1.06	38.8	9.86	56.6	17.8	68.6	cl. sand
25-30	0.90	53.5	14.24	62.0	8.5	86.3	cl. sand
25-30	0.79	55.5	18.50	65.8	9.3	85.9	cl. peat
25-30	0.84	55.4	16.30	63.9	8.6	86.6	cl. peat
25-30	0.79	54.6	18.15	65.5	10.9	83.4	cl. peat
25-30	0.79	52.4	18.49	65.8	13.4	79.6	cl. peat
50-55	0.74	51.7	20.49	67.3	15.6	75.8	cl. peat
50-55	0.75	54.0	20.01	66.9	12.9	80.7	s. peat
50-55	0.72	49.5	21.55	68.0	18.6	72.7	peat
50-55	0.80	55.6	18.02	65.4	9.8	86.0	peat
50-55	0.76	48.8	19.56	66.6	17.8	73.3	peat
75-80	0.62	63.5	27.12	71.5	6.0	88.8	peat
75-80	0.57	65.3	30.01	73.0	7.7	89.5	peat
75-80	0.61	65.9	27.49	71.7	5.8	91.9	peat
75-80	0.79	51.0	18.17	65.5	14.6	77.8	peat
75-80	0.61	65.7	27.63	71.7	6.0	91.6	peat

cl = clayey
s = sandy

Depth (cm)	Density (g.cm ⁻³)	Water content (vol. %)	Organic matter content (%)	Volume of pores (%)	Volume of air (%)	Degree of saturation (%)	Soil material
2-7	1.29	41.8	5.77	46.6	6.7	86.1	clay
2-7	0.96	45.3	12.28	58.8	14.5	75.7	clay
2-7	1.14	39.8	8.29	54.0	14.2	73.8	loam
2-7	1.26	40.4	6.27	49.8	9.4	81.1	loam
2-7	1.15	40.7	8.09	53.6	12.9	76.0	loam
25-30	0.78	50.3	18.62	66.9	15.6	76.3	cl. peat
25-30	0.93	47.9	13.19	60.8	13.0	78.7	cl. peat
25-30	0.89	48.2	14.46	62.2	14.0	77.5	cl. peat
25-30	0.87	53.3	15.39	63.1	9.8	84.5	peat
50-55	0.62	37.2	27.07	71.4	34.2	52.1	peat
50-55	0.68	48.1	23.67	68.4	21.3	68.3	peat
50-55	0.77	53.0	19.24	66.4	13.3	79.9	peat
50-55	0.49	28.9	36.12	75.9	47.0	38.1	peat
75-80	0.66	46.2	24.67	70.0	23.9	66.9	peat
75-80	0.68	54.1	23.63	68.4	15.3	78.0	peat
75-80	0.54	53.1	32.31	74.1	21.0	71.6	peat
75-80	0.58	56.2	29.38	72.7	18.4	77.4	peat
75-80	0.64	57.0	25.66	70.6	13.6	80.7	peat

cl = clayey
s = sandy

Annex 3. Sampling results from August 30, 2004.

Date	30-Aug-04	Unreated	VMI-X										Soil material	Degree of saturation (%)	Soil material
			Depth (cm)	Density (g/cm ³)	Water content (Vol.%)	Organic matter content (%)	Volume of pores (%)	Volume of air (%)	Density (g/cm ³)	Water content (Vol.%)	Organic matter content (%)	Volume of pores (%)			
			2-7	1.15	42.9	7.95	53.4	11.1	79.2	loam	72.6	loam			
			2-7	1.20	35.9	7.20	51.9	16.0	68.1	loam	78	loam			
			2-7	1.33	37.4	5.37	47.5	10.1	78.7	loam	12.3	loam			
			2-7	1.07	38.2	9.74	56.4	17.2	68.4	loam	8.6	loam			
			2-7	1.26	37.8	6.24	49.8	12.0	75.9	loam	13.1	loam			
			25-30	0.77	45.4	19.07	66.2	20.8	68.6	loam	16.8	loam			
			25-30	0.79	46.0	18.14	65.5	19.5	70.2	loam	12.9	loam			
			25-30	0.73	43.8	20.88	67.6	23.7	64.9	loam	14.4	loam			
			25-30	0.82	45.0	17.00	64.5	19.6	69.6	loam	11.34	loam			
			25-30	0.89	44.5	14.60	62.3	17.8	71.4	loam	19.65	loam			
			50-55	0.61	47.7	27.67	71.9	24.1	66.4	cl.peat	23.01	cl.peat			
			50-55	0.65	53.1	25.42	70.5	17.4	75.3	cl.peat	21.89	cl.peat			
			50-55	0.67	68.3	24.37	69.9	16.6	76.3	cl.peat	28.37	cl.peat			
			50-55	0.69	49.2	22.82	68.9	19.6	71.5	cl.peat	19.17	cl.peat			
			50-55	0.71	51.3	21.80	68.2	16.9	75.1	cl.peat	20.40	cl.peat			
			75-80	0.58	53.5	23.46	72.7	13.2	81.9	peat	24.53	cl.peat			
			75-80	0.63	65.4	26.61	71.2	5.8	91.8	peat	29.30	cl.peat			
			75-80	0.60	63.7	28.93	72.2	8.5	88.2	peat	31.15	cl.peat			
			75-80	0.57	56.1	30.52	73.3	17.1	76.6	peat	28.12	cl.peat			
			75-80	0.55	51.2	31.44	73.7	22.5	69.4	peat	31.25	cl.peat			
d = clayey															

Annex 4. Sampling results from September 29, 2004.

Date	29-Sep-04	Untreated	Depth (cm)	Density (g/cm ³)	VIM-X				Degree of saturation (%)
					Water content (vol. %)	Organic matter content (%)	Volume of pores (%)	Volume of air (%)	
			2-7	1.07	40.1	9.66	58.3	19.2	71.2
			2-7	0.98	34.8	11.55	58.8	24.1	58.1
			2-7	1.12	46.4	8.66	54.6	8.2	84.9
			2-7	1.05	41.7	10.18	57.0	15.3	73.1
			2-7	1.12	44.9	8.56	54.5	9.6	82.4
			25-30	0.73	53.5	20.78	67.5	14.0	78.2
			25-30	0.80	50.6	17.71	65.1	14.6	77.6
			25-30	0.88	51.3	14.68	62.4	11.1	82.3
			25-30	0.88	53.5	11.76	58.1	5.7	90.4
			25-30	0.81	44.0	17.46	64.8	20.9	87.8
			50-55	0.67	54.7	23.94	68.6	14.9	78.5
			50-55	0.68	53.4	23.41	68.3	15.8	77.2
			50-55	0.75	55.6	19.93	68.9	11.3	83.2
			50-55	0.74	55.4	20.48	67.3	11.9	82.4
			50-55	0.72	52.1	21.40	67.9	15.8	78.7
			75-80	0.58	57.1	28.97	73.0	15.8	78.3
			75-80	0.47	72.3	37.95	76.7	4.4	94.3
			75-80	0.43	59.8	41.74	78.3	18.3	78.8
			75-80	0.53	65.2	33.08	74.5	9.3	87.6
			75-80	0.51	73.2	34.68	75.3	2.1	97.2

	Depth (cm)	Density (g/cm ³)	VIM-X				Degree of saturation (%)
			Water content (vol. %)	Organic matter content (%)	Volume of pores (%)	Volume of air (%)	
	2-7	1.08	37.4	9.91	56.0	19.3	65.9
	2-7	1.36	38.0	5.01	46.4	8.4	81.8
	2-7	1.14	36.2	8.27	54.0	15.7	70.9
	2-7	1.23	44.0	6.76	51.0	7.0	86.3
	2-7	1.18	37.9	7.84	53.2	15.3	71.2
	25-30	0.75	53.0	18.88	66.8	13.8	78.3
	25-30	0.68	44.3	23.48	68.3	25.0	63.9
	25-30	0.69	44.5	23.15	68.1	24.6	64.3
	25-30	0.74	49.4	20.64	67.4	18.0	73.3
	25-30	0.78	54.7	18.46	65.8	11.1	83.1
	50-55	0.64	54.0	25.76	70.7	16.7	76.4
	50-55	0.68	55.0	24.54	70.0	14.9	78.8
	50-55	0.55	44.3	31.41	73.7	29.4	60.1
	50-55	0.58	47.0	29.40	72.7	25.6	64.7
	50-55	0.68	54.0	23.71	69.4	15.5	77.7
	75-80	0.51	60.4	34.52	75.2	14.8	80.3
	75-80	0.48	59.2	37.02	76.3	17.1	77.5
	75-80	0.61	59.4	27.42	71.8	13.3	81.5
	75-80	0.58	59.2	28.84	72.9	13.7	81.2
	75-80	0.61	59.6	27.98	71.9	12.4	82.8

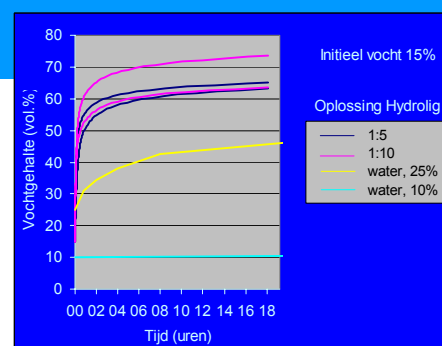
BIJLAGE 3

VOORBEELD VAN EEN MIDDEL OP BIOLOGISCHE BASIS (HYDROLIG)

Effecten van Hydrolig op de bevochtiging van veenmosveen



Klaas Oostindie
Coen J. Ritsema



Alterra rapport

Effecten van HYDROLIG op de bevochtiging van veenmosveen

In opdracht van:

W. Rattink,

Effecten van HYDROLIG op de bevochtiging van veenmosveen

Klaas Oostindie
Coen J. Ritsema

Alterra-rapport

Alterra, Wageningen, 2004

Referaat

Klaas Oostindie en Coen J. Ritsema, 2004. Effecten van HYDROLIG op de bevochtiging van veenmosveen. Alterra Rapport, 16 blz., 7 fig..

Deze studie rapporteert over het effect dat HYDROLIG heeft op de bevochtiging van veenmosveen. HYDROLIG is volgens opgave van de opdrachtgevers een biologisch product op basis van lignine. Met behulp van een laboratorium opstelling is de bevochtigingssnelheid en opnamecapaciteit gemeten van veenmonsters met een verschillend initieel vochtgehalte. Het initiele vochtgehalte is aangemaakt met verschillende concentraties Hydrolig. Het kritieke vochtgehalte van onbehandeld veen ligt tussen de 17.5 en 20 vol%. Dit kritieke vochtgehalte daalt aanzienlijk indien de initiele vochtgehalten met een bepaalde concentratie Hydrolig worden aangelegd. Ook hebben deze behandelde monsters een hogere bevochtigingssnelheid en opnamecapaciteit..

Trefwoorden: waterafstotendheid, kritieke bodemvochtgehalte, surfactant, bevochtigingsmiddel

ISSN 1566-7197

© 2000 ALTERRA,
Postbus 47, 6700 AA Wageningen; Nederland
Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: info@alterra.nl

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande toestemming van Alterra.

Alterra aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Inhoud

1. Inleiding	7
2. Methode van onderzoek	9
3. Resultaten	11
3.1. <i>Waterafstotendheid van het veenmosveen</i>	11
3.2. <i>Bevochtigingssnelheid veen bij verschillende initiele vochtgehalten en bij verschillende concentraties Hydrolig</i>	11
4. Conclusions	13

1. Inleiding

Veel venige gronden en veengronden nemen nadat ze sterk zijn uitgedroogd, moeilijk water op doordat ze waterafstotend zijn geworden. Dit betekent dat als ze eenmaal droog zijn, het regenwater slecht door de bovengrond wordt opgenomen en afstroomt naar de ondergrond of over het waterafstotende oppervlak naar relatief lagere plaatsen vloeit. Deze moeilijke bevochtiging wordt veroorzaakt door bepaalde hydrofobe organische stoffen. Waterafstotendheid is een tijdsafhankelijke fysisch-chemische eigenschap van de grond; de weerstand tegen bevochtiging kan in de loop van de tijd toe- en afnemen in samenhang met de vochtvoorziening. Sommige uitgedroogde veenbovengronden kunnen echter zo waterafstotend zijn, dat ze zelfs na overvloedige neerslag nog droog blijven.

Het is bekend dat het toedienen van surfactants aan het bodemoppervlak de vochtopname verbetert. Regen infiltreert hierdoor makkelijker in de grond. Dit komt omdat de oppervlaktespanning van het water door de surfactant wordt verlaagd. Surfactants zouden wellicht ook gebruikt kunnen worden om het proces van herbevochtiging van uitgedroogde veendijken te bespoedigen.

Door het team Landgebruik en Bodemprocessen van Alterra is onderzoek verricht naar de effecten van de Hydrolig op de bevochtiging van veenmosveen. Hydrolig is volgens opgave van de opdrachtgevers een biologisch product op basis van lignine. De invloed van tijd en andere natuurlijke aspecten vallen buiten dit onderzoek en zijn bijvoorbeeld d.m.v. langere praktijkproeven te valideren.

Bij dit onderzoek is in het laboratorium met behulp van een zogenoemde “wetting rate opstelling” de bevochtigingssnelheid nagegaan van monsters veenmosveen, welke met verschillende concentraties Hydrolig met uiteenlopende initiele vochtgehalten zijn toegediend.

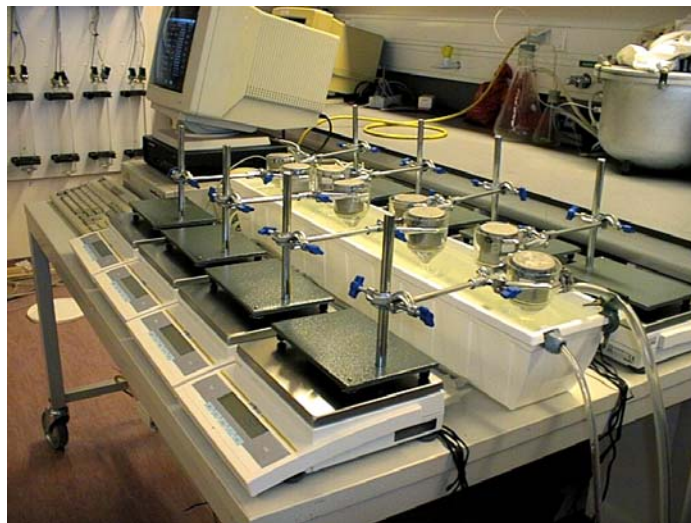
Bovendien is nagegaan of dit bevochtigingsmiddel invloed heeft op de actuele en potentiële waterafstotendheid van het onderzochte veenmosveen.

2. Methode van onderzoek

Het gebruikte veen voor de proeven is zeer fijn en drooggemaakt veenmosveen, dat exteem hydrofobe eigenschappen vertoont, zoals vast gesteld met de WDPT test.

Bij de WDPT test werden druppels gedemineraliseerd water op de monsters aangebracht en de tijd gemeten waarin de druppels werden geabsorbeerd.

Het initiële vochtgehalte van monsters voor de wetting rate (Figuur 1) is kunstmatig tot stand gekomen door het droge veen te mengen met een afgemeten hoeveelheid vocht. Dit vocht werd over het veen verneveld en zorgvuldig gemengd. Vervolgens zijn stalen 100 cc ringen gevuld waarbij een dichtheid werd gerealiseerd van 0.14 tot 0.16 g.cm⁻³. De bepaling van de bevochtigingssnelheid van de monsters vond plaats op een automatische meetopstelling waarbij 8 monsters gelijktijdig werden gemeten (Figuur 1). In deze meetopstelling werd aan de onderkant van de monsters een vochtspanning aangelegd van -2.5 cm. Elke 0.5 vol% vochttoename werd, samen met de tijd, automatisch geregistreerd.



Figuur 1. Automatische meetopstelling ter bepaling van de bevochtigingssnelheid.

3. Resultaten

3.1 Waterafstotendheid van het veenmosveen

Het veen dat voor de proef is gebruikt bezit een vochtgehalte van slechts 1 à 2 volumepercent en is extreem waterafstotend. Waterdruppels aangebracht op een droog veenmonster waren na meer dan 6 uur nog aanwezig. Ook na het met water bevochtigen tot een vochtgehalte van 10 vol% was het veen nog extreem waterafstotend (WDPT van > 6 uur).

Het kritieke bodemvochtgehalte van het onbehandelde veen ligt tussen 17.5 en 20 vol%. Dat wil zeggen dat het veen als het droger is zeer moeilijk water opneemt, maar daarentegen gemakkelijk water opneemt als het natter is.

De veenmonsters met een initieel vochtgehalte van 10% en met een concentratie Hydrolig van 1:20 waren niet waterafstotend. Bij een verdunning van 1:40 waren de monsters licht waterafstotend (WDPT 5-60 s).

De veenmonsters welke waren aangelegd met een initieel volumetrisch vochtgehalte van 15% en een concentratie Hydrolig van 1:5, 1:10, 1:20, 1:40 en 1:100 waren niet waterafstotend, bij een concentratie van 1:1000 waren de monsters licht waterafstotend (WDPT 5-60 s).

De veenmonsters met initiele vochtgehalte van 20 en 25 vol.% waren altijd goed bevochtigbaar.

Conclusies

- *Het gebruikte veen is extreem waterafstotend en heeft een kritiek bodemvochtgehalte dat ligt tussen de 17.5 en 20 vol%.*
- *Veenmonsters met een Hydrolig toediening van 1:20 en een vochtgehalte van 10 vol% zijn niet waterafstotend.*
- *Veenmonsters met een initieel vochtgehalte van 15 vol% en met een Hydrolig concentratie tot 1:100 zijn niet waterafstotend.*
- *Gebruik van Hydrolig verlaagt het kritieke bodemvochtgehalte drastisch.*

3.2 Bevochtigingssnelheid veen bij verschillende initiele vochtgehalten en bij verschillende concentraties Hydrolig

Zoals zeer duidelijk te zien is in figuur 2 namen de vier met Hydrolig behandelde monsters sneller vocht op dan het veenmonster zonder dit bevochtigingsmiddel. De monsters hebben gedurende 18 uur op de wetting rate gestaan. Het initieel aangelegde vochtgehalte voor elk monster was 10 vol%.

Uit figuur 3 blijkt dat een initieel vochtgehalte van 15 vol% en een oplossing van zowel 1:5 als 1:10 een goede en snelle bevochtiging van het veenmonster teweeg brengt. Deze figuur laat ook de monsters zien welke met puur water zijn aangemaakt met initiele vochtgehalten van 10, en 25 vol%. Beide monsters hebben een minder snelle wateropname dan de behandelde monsters.

De figuren 4 en 5 laten zien hoe snel de monsters water opnemen bij hetzelfde initiele vochtgehalte van 15 vol% maar met een grotere verdunning met Hydrolig. Hierbij valt op dat

de opnamesnelheid van de monsters afneemt naarmate de verdunning groter wordt. Uitzondering hierop vormen de monsters met een verdunning van 1:20 en 1:40, doch deze monsters nemen zonder uitzondering zeer snel water op.

De met Hydrolig behandelde monsters uit figuur 6 hebben allen een initieel vochtgehalte 20 vol%. Twee monsters hebben een verdunning van 1:100 en twee andere monsters hebben een verdunning van 1:1000. Opmerkelijk is dat één monster met een verdunning van 1:100 een iets lagere opnamesnelheid laat zien dan de overige 3 monsters. Er is echter nog steeds een grotere opnamesnelheid van de behandelde monsters waarneembaar in vergelijking tot de onbehandelde monsters.

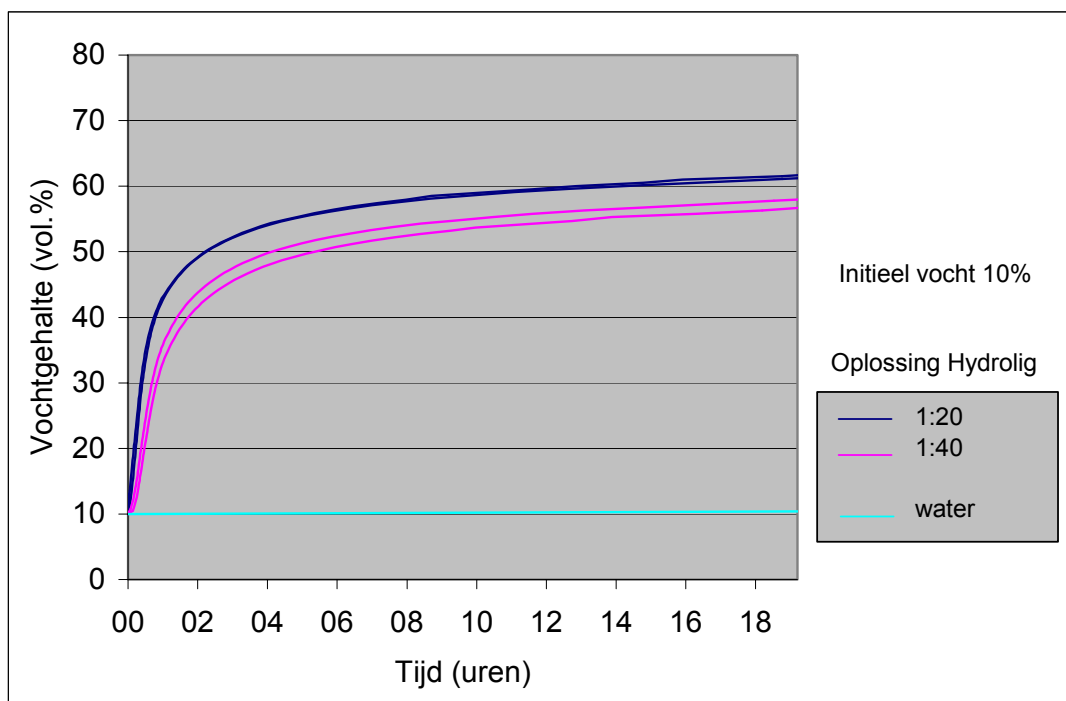
Figuur 7 laat een viertal monsters zien die een initiele vochtgehalte van 25 vol% hebben. Er bestaat nauwelijks verschil in opnamesnelheid tussen de onderlinge monsters, alhoewel er met twee verschillende verdunningen is gewerkt. De opnamesnelheid is voor de behandelde monsters zeer hoog.

Conclusie

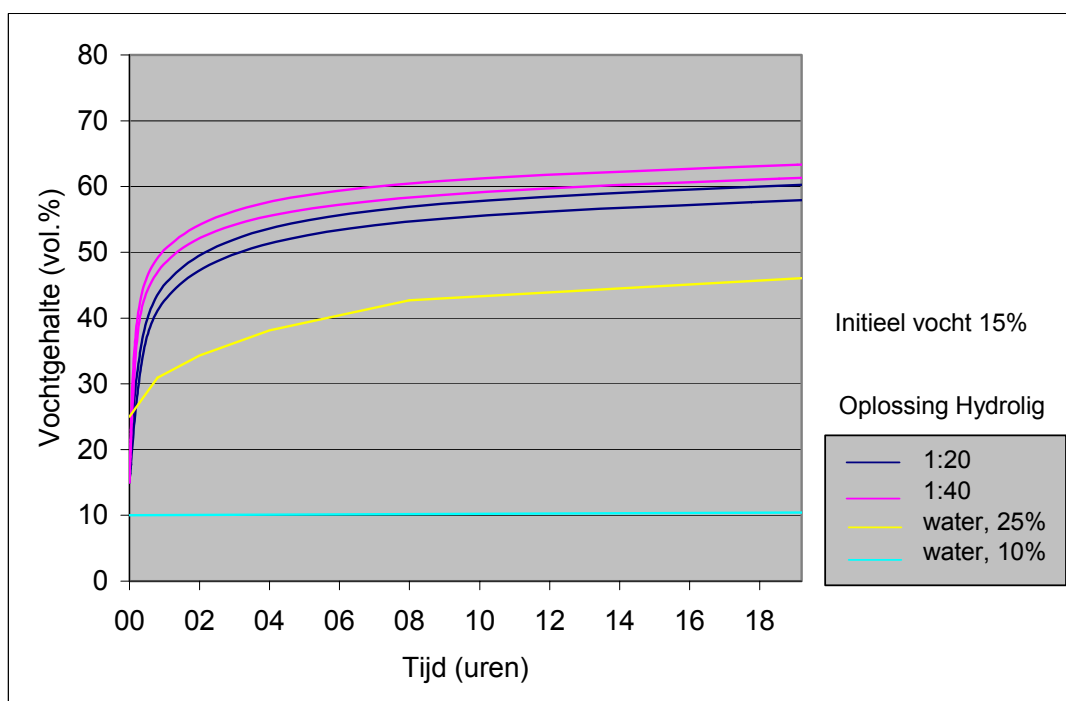
- *Veenmonsters waarbij het initiele vochtgehalte is aangelegd met een verdunning van Hydrolig nemen sneller en meer water op dan monsters zonder deze verdunning.*

4. Conclusies

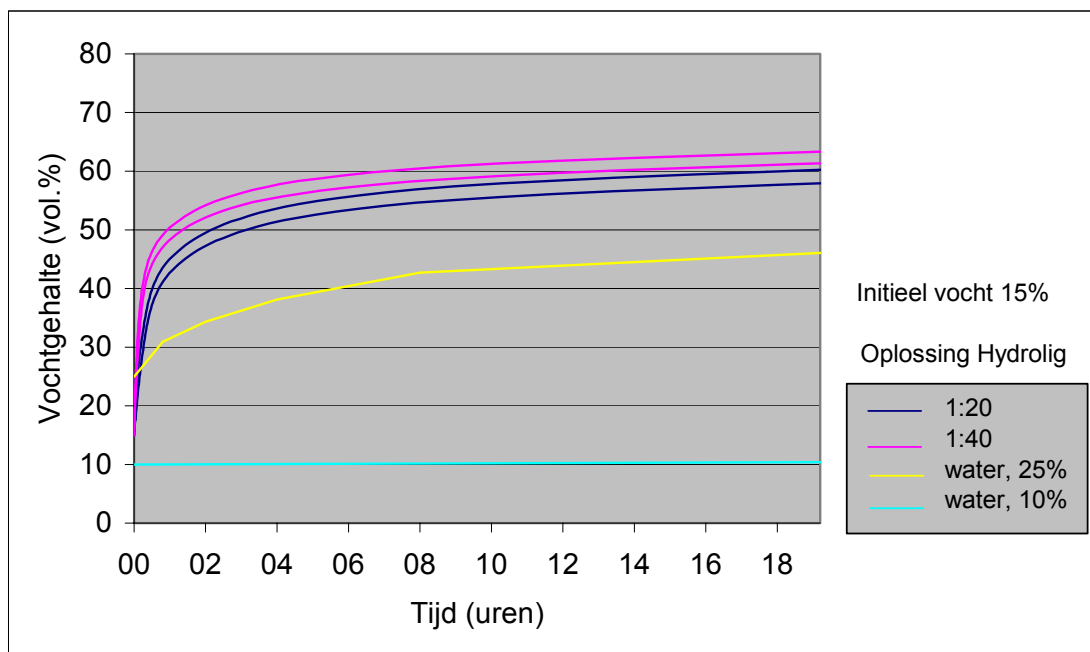
- Het gebruikte veen is extreem waterafstotend en heeft een kritiek bodemvochtgehalte dat ligt tussen de 17.5 en 20 vol%.
- Het toepassen van Hydrolog verlaagt het kritieke vochtgehalte. Dit is afhankelijk van de verdunning welke wordt gebruikt. Bij een verdunning van 1:100 komt het kritieke vochtgehalte te liggen beneden de 15 vol%, en bij een verdunning van 1:10 ligt het kritieke vochtgehalte zelfs beneden de 10 vol%.
- Veenmonsters waarbij het initiele vochtgehalte is aangelegd met een verdunning van Hydrolog nemen sneller en meer water op dan monsters zonder deze verdunning. De vochtopnamesnelheid heeft een duidelijke relatie met de gebruikte verdunning.
- Zelfs verdunningen tot 1:1000 laten nog steeds een snellere opnamecapaciteit zien.



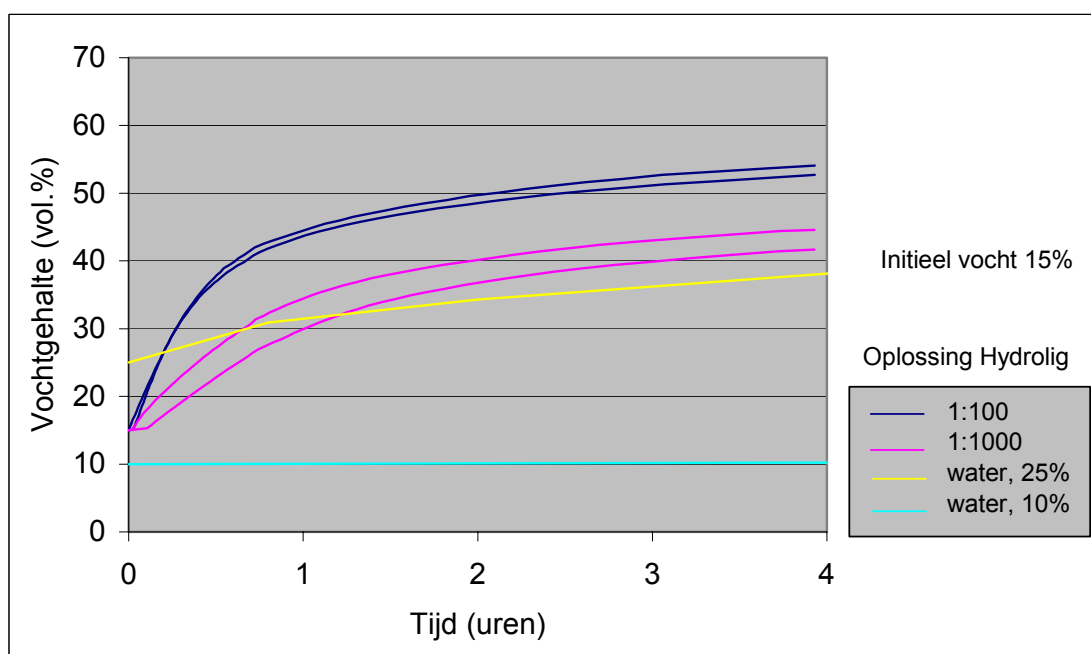
Figuur 2. Bevochtigingssnelheid van veenmonsters met een initieel vochtgehalte van 10 vol% en bij verschillende oplossingen van het bevochtigingsmiddel Hydrolig.



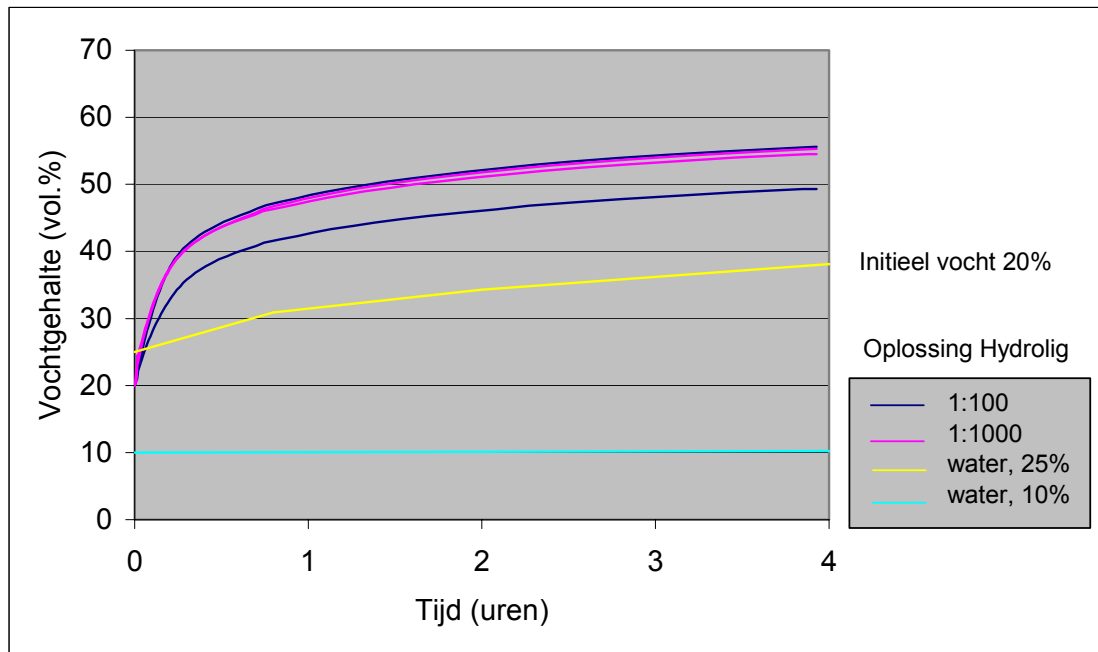
Figuur 3. Bevochtigingssnelheid van monsters met initiele vochtgehaltes van 15 vol% met verschillende oplossingen van het bevochtigingsmiddel Hydrolig en twee met water gemengde monsters met initiele vochtgehaltes van 10, en 25 vol%.



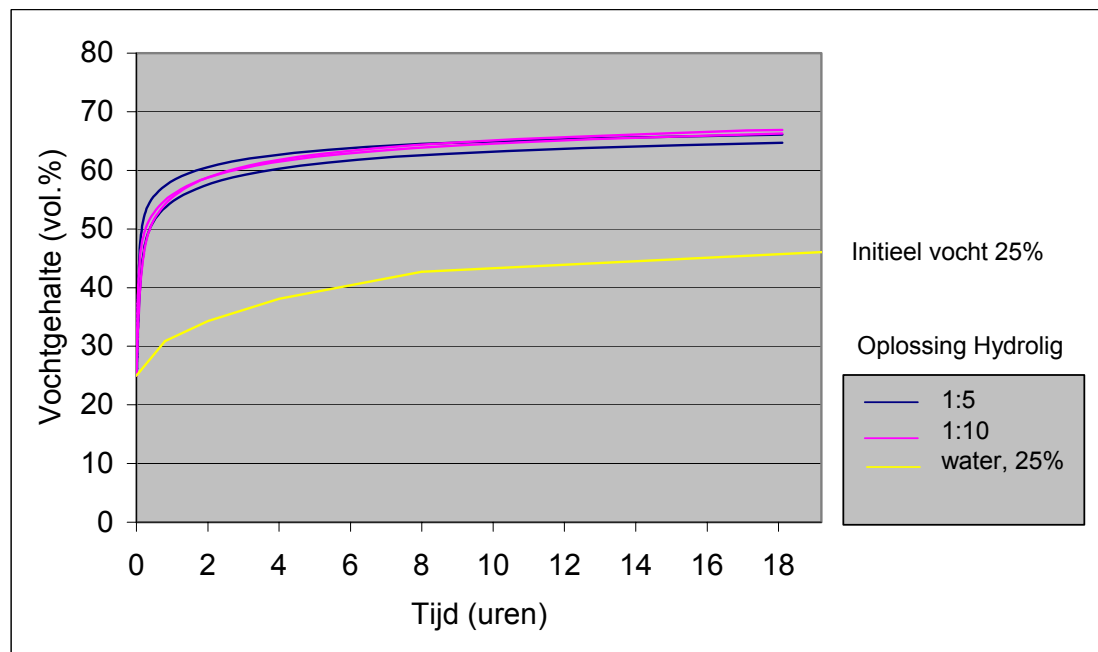
Figuur 4. Bevochtigingssnelheid van monsters met initiele vochtgehaltes van 15 vol% met verschillende oplossingen van het bevochtigingsmiddel Hydrolog en twee met water gemengde monsters met initiele vochtgehaltes van 10, en 25 vol%.



Figuur 5. Bevochtigingssnelheid van monsters met initiele vochtgehaltes van 15 vol% met verschillende oplossingen van het bevochtigingsmiddel Hydrolog en twee met water gemengde monsters met initiele vochtgehaltes van 10, en 25 vol%.



Figuur 6. Bevochtigingssnelheid van monsters met initiele vochtgehaltes van 20 vol% met verschillende oplossingen van het bevochtigingsmiddel Hydrolig en twee met water gemengde monsters met initiele vochtgehaltes van 10, en 25 vol%.



Figuur 7. Bevochtigingssnelheid van monsters met initiele vochtgehaltes van 25 vol% met verschillende oplossingen van het bevochtigingsmiddel Hydrolig en een met water gemengd monsters met initieel vochtgehalte 25 vol%.

BIJLAGE 4

VOORBEELD VAN TOEPASSING VAN EEN MINERAAL (AGRAR VITAL SPS)

pF Curve: Agrar Vital SPS

Onderzoek Alterra Wageningen september 2004

