

# DE INVLOED VAN BODEMSTRUCTUUR OP HET WATERSYSTEEM



RAPPORT

2013  
13A

DE INVLOED VAN BODEMSTRUCTUUR OP HET WATERSYSTEEM  
EEN VERKENNING

RAPPORT

2013  
**13A**



ISBN 978.90.5773.691.3



# COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer  
Postbus 2180  
3800 CD Amersfoort

AUTEURS  
Marinus van Dijk (Waterschap Vallei en Veluwe)  
Saskia van Miltenburg (MWH-Global)

IN OPDRACHT VAN  
Waterschap Vallei en Veluwe

FOTO VOORKANT  
Kralingse plas, fotograaf: Hanneke Keizer-Vlek

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau  
STOWA STOWA 2013-13A  
ISBN 978.90.5773.691.3

**COPYRIGHT** De informatie uit dit rapport mag worden overgenomen, mits met bronvermelding. De in het rapport ontwikkelde, dan wel verzamelde kennis is om niet verkrijgbaar. De eventuele kosten die STOWA voor publicaties in rekening brengt, zijn uitsluitend kosten voor het vormgeven, vermenigvuldigen en verzenden.

**DISCLAIMER** Dit rapport is gebaseerd op de meest recente inzichten in het vakgebied. Desalniettemin moeten bij toepassing ervan de resultaten te allen tijde kritisch worden beschouwd. De auteurs en STOWA kunnen niet aansprakelijk worden gesteld voor eventuele schade die ontstaat door toepassing van het gedachtegoed uit dit rapport.

# TEN GELEIDE

De laatste jaren is er veel nieuwe kennis beschikbaar gekomen omtrent de relatie tussen de landbouw en het watersysteem en de belangrijke rol die de bodem daarbij inneemt. Ook voor de STOWA is dit een belangrijk aandachtspunt. In 2011 heeft de STOWA daarom het initiatief genomen om de waterwereld meer bij de bodem te betrekken en andersom.

Nu, anno 2013, zijn er meerdere ontwikkelingen die er toe leiden dat landbouw en waterbeheerder in de toekomst nauwgezet met elkaar zullen samenwerken. STOWA wil daar met het ontwikkelen en uitdragen van kennis nadrukkelijk aan bijdragen.

De klimaatverandering en de KRW-doelstellingen stellen steeds verdergaande eisen aan ons toekomstig waterbeheer. De grenzen van het watersysteem lijken echter in veel gebieden te zijn bereikt. Het is daarom van belang vast te stellen dat de bodem, mits goed beheerd, een belangrijke functie kan vervullen voor zowel het waterkwantiteitsbeheer als het water kwaliteitsbeheer. De bodem is buffer en filter tegelijk.

Ook binnen de landbouw is een ontwikkeling naar een duurzame bedrijfsvoering en dus ook naar een duurzame waterhuishouding nadrukkelijk is ingezet. Niet voor niets heeft LTO het Deltaprogramma Agrarisch Waterbeheer geïnitieerd. Ook binnen de landbouw is er een toenemend bewust-zijn dat bodem en water als de twee belangrijkste productiefactoren onlosmakelijk met elkaar zijn verbonden.

De afgelopen jaren zijn veel onderzoeken en pilotprojecten uitgevoerd. Deze hebben een schat aan informatie opgeleverd. Maar belangrijke vragen kunnen ook nog niet worden beantwoord. Tijdens de studiedag “Klimaat adaptief Waterbeheer: Wat biedt de bodem?” bleek dat er nog relatief weinig bekend is over de mogelijke kwantitatieve bijdrage van de bodem aan de watersysteem opgaven. Deze studie op het vlak van bodem en water van Waterschap Veluwe (nu Waterschap Vallei en Veluwe) geeft inzicht in het belang van de bodem voor de Nederlandse waterhuishouding.

Vanuit de resultaten van deze studie aangevuld met andere kennisbronnen is een beschouwing gemaakt op de potentie van bodemkundige maatregelen. Dit is vastgelegd in rapport deel B. Wij hopen dat deze rapportage bijdraagt aan de verdere ontwikkeling van de kennis en praktijkervaring op het gebied van de rol die de bodem kan spelen in het toekomstig waterbeheer in Nederland.

Amersfoort, April 2013

De directeur van de STOWA

Ir. J.M.J. Leenen

# 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 6,5 miljoen euro.

U kunt de STOWA bereiken op telefoonnummer: 033 - 460 32 00.

Ons adres luidt: STOWA, Postbus 2180, 3800 CD Amersfoort.

Email: [stowa@stowa.nl](mailto:stowa@stowa.nl).

Website: [www.stowa.nl](http://www.stowa.nl)

# DE INVLOED VAN BODEMSTRUCTUUR OP HET WATERSYSTEEM

## INHOUD

TEN GELEIDE

DE STOWA IN HET KORT

1	INLEIDING	1
1.1	Achtergrond	1
1.2	Doelstelling	2
1.3	Opbouw rapport	2
2	HET ONDERZOEK	3
2.1	Onderzoeksvragen	3
2.2	Afbakening	3
2.3	Technieken	4
2.4	SWAP	4
2.5	Input voor de berekeningen met SWAP	6
2.5.1	Meteorologie	6
2.5.2	Gewas	6
2.5.3	Bodem	6
2.5.4	Drainage en grondwater	6
2.6	Klankbordgroep en expertgroep	7

3	DE INVLOED VAN DE BESCHIKBARE EN RELEVANTE TECHNIEKEN VOOR BODEMVERBETERING	8
	3.1 Vruchtwisseling, groenbemesters en gewasresten	9
	3.2 Grondbewerking	10
	3.3 Bemesting en structuurverbeteraars	11
	3.4 Waterhuishouding	12
	3.5 Invloed van bodemverbetering op hydrologische bodemparameters	13
4	RESULTATEN BEREKENINGEN	16
	4.1 Oppervlakkige afvoer	16
	4.2 Waterbergend vermogen	18
	4.3 Vochtvasthoudend vermogen	19
	4.4 Verdamping van het gewas	21
5	CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN	23
	LITERATUUR	26
	Bijlage 1. Expert overleg	30
	Bijlage 2. Agrariër interview	32
	Bijlage 3. Grondwaterstanden per bodemtype	35
	Bijlage 4. Modeluitkomsten in waterbalans	37
	Bijlage 5. Modeluitkomsten vochttekort	49
	Bijlage 6. Modeluitkomsten actuele verdamping	52

# 1

## INLEIDING

Het waterschap Vallei en Veluwe heeft in samenwerking met adviesbureau MWH en begeleiding vanuit STOWA in dit onderzoek een eerste inzicht verkregen in de invloed van de bodemstructuur op het watersysteem. Deze studie is mede ondersteund door Alterra, Louis Bolk Instituut, Deltares, diverse waterschappen en SKB.

### 1.1 ACHTERGROND

Het watersysteem van waterschap Vallei en Veluwe wordt sterk beïnvloed door de Veluwe en de Utrechtse Heuvelrug. Op de flanken van deze stuwwallen zijn veel beken aanwezig die vrij afwateren. Langs de Randmeren en de IJssel bemalen gebieden aanwezig. In het kader van Kennis voor Klimaat (Geertsema et al., 2011) is voor het gebied de Blauwe Bron (gelegen op de hoge zandgronden op de oostflank van de Veluwe) onderzocht welke watervraagstukken te verwachten zijn ten aanzien van klimaatverandering. Daaruit kwam nadrukkelijk naar voren dat de effecten van klimaatverandering op de hoge delen van de Veluwe en langs de flanken zich anders uiten dan in de meer vlakke, intensief ontwaterde gebieden in de Noordelijke en Zuidelijke IJsselvallei. De frequenties en de mate van wateroverlast zullen toenemen en er zal watertekort optreden. In de praktijk blijkt dat de ontwatering in de zomer vaak tot enige droogteschade leidt, zoals tijdens de recente nazomer van 2010 (Geertsema et al., 2011).

Waterschap Vallei en Veluwe is op zoek naar innovaties die, in het licht van de klimaatverandering en de daarmee samenhangende waterproblematiek, leiden tot een klimaatbestendig watersysteem. Bestendigheid is dan bijvoorbeeld uit te drukken in het verminderen van de piekafvoeren, het voorkomen van wateroverlast en het verhogen van het waterleverend vermogen van de bodem in droge tijden. Daarbij ligt de nadruk op het gebruik van natuurlijke hydrologische processen. De verwachting is dat bodemstructuurverbetering hieraan kan bijdragen. Op 2 maart 2012 tijdens de kennismaking met lopende bodemprojecten op het gebied van klimaatadaptief waterbeheer (Talsma en Kooiman, 2012) is duidelijk geworden dat het belang van bodemstructuurverbetering bekend is, vooral op gewasopbrengst, maar dat er nauwelijks onderzoek is gedaan naar het effect in waterbergend en -leverend vermogen. Ook internationaal wordt bevestigd dat er weinig onderzoek is gedaan naar de invloed van bodemstructuur op infiltratie en afvoer (Mendonca et al., 2009) en de potentie dat een verbeterde bodemstructuur heeft op het anticiperen van de effecten van klimaatverandering (Holman, 2006).

In plaats van veldproeven waarvan de effecten pas op langere termijn duidelijk zullen zijn te meten, is in dit onderzoek uitgegaan van een andere methode. De positieve effecten van bodemstructuurverbetering worden gesimuleerd in een model. Hierdoor wordt het verwachte effect op de waterbalans duidelijk. Aan de hand van de literatuurstudie, resultaten en toetsing bij agrariërs in het gebied, kan een bijpassende techniek van bodemstructuurverbetering worden gekozen.



## 1.2 DOELSTELLING

Het doel van dit onderzoek is het vertalen van de effecten van bodemstructuurverbetering op de hydrologische processen in de bodem. In dit project wordt de wetenschap en praktijk bij elkaar gebracht.

Binnen dit project is een aantal nevendoele te onderscheiden:

- inzicht krijgen in de invloed van bodemverbetering op de waterbalans;
- bijpassende bodemverbeteringsmaatregelen en de effecten formuleren;
- inzicht krijgen in draagvlak en interesse van deze maatregelen bij landbouwers in het gebied van Vallei en Veluwe.

Uiteindelijk worden de resultaten van dit onderzoek gedeeld met andere waterschappers en beleidmakers zodat er bij alle actoren meer inzicht ontstaat in het perspectief dat de bodem een bijdrage kan leveren voor de waterbeheerder.

## 1.3 OPBOUW RAPPORT

Dit rapport bestaat uit drie delen. Hoofdstuk 1, 'Inleiding', bestaat uit dit hoofdstuk en geeft de aanleiding en doel weer over het project. In hoofdstuk 2 wordt de onderzoeksaanpak weergegeven waarbij de afbakening van het project en de onderzoeksvragen zijn geformuleerd. Tevens wordt aangegeven welke bijdrage de expertgroep en klankbordgroep voor dit onderzoek hebben geleverd. Vervolgens wordt een overzicht van de beschikbare kennis over bodemverbeteringsmaatregelen en hun bijdrage op de hydrologische parameters weergegeven. In hoofdstuk 4 worden de verbeteringsscenarios doorberekend. Daarbij is gekeken naar de invloed op de oppervlakkige afvoer, bergend vermogen, vochthoudend vermogen van de bodem en gewasverdamping. Tot slot worden de conclusies en aanbevelingen over het gehele project geformuleerd.

# 2

## HET ONDERZOEK

In dit hoofdstuk gaan we in op de onderzoeksopzet. Daarbij wordt ingegaan op de doelstelling en betreffende keuzes. Er is gebruik gemaakt van aanwezige informatie over bodemverbetering. Het effect van bodemverbetering op de waterbalans wordt gesimuleerd met het gekozen model SWAP. De invoer van het model en welke vragen we met de modelsimulatie hopen te beantwoorden komen tevens naar voren. Het onderzoek is opgezet in de volgende stappen:

- formuleren van de onderzoeksvragen;
- afbakening van het onderzoek;
- literatuur onderzoek naar de verschillende beschikbare technieken;
- vertaling van bodemverandering in hydrologische parameters, door het gebruik van SWAP;
- onderzoeksvragen en aanpak voorleggen aan experts en klankbordgroep.

### 2.1 ONDERZOEKSVRAGEN

De belangrijkste onderzoeksvraag die we tijdens dit onderzoek willen beantwoorden is "welke invloed heeft de bodemstructuur op de kwantiteit van de waterhuishouding"? Om deze vraag te kunnen beantwoorden zijn een aantal deelvragen gesteld:

- 1 Wat zijn de relevante bodemparameters die invloed hebben op de waterhuishouding en door welke maatregelen worden ze beïnvloed?
- 2 Welke bodemverbeteringsmaatregelen zijn er, welk effect hebben deze maatregelen en in welke mate kunnen ze ingezet worden?
- 3 In hoeverre kunnen bodemparameters worden beïnvloed?
- 4 Wat is bij het maximaal benutten van de bodem de invloed op:
  - a de oppervlakkige afvoer en daarmee de piekafvoer in mm?
  - b het waterbergend vermogen van de bodem zowel in natte als droge perioden?
  - c het vochtvasthoudend vermogen?
- 5 Wat is de invloed van de maatregelen voor de gewasopbrengst?
- 6 Wat vinden de agrariërs van de bodemverbeteringsmaatregelen?

Een aantal van deze vragen zijn voorgelegd aan de klankbordgroep, expertgroep en agrariërs.

### 2.2 AFBAKENING

Dit onderzoek richt zich op de rol van de bodem in het waterbeheer en op welke manier de bodem te beïnvloeden is. We beperken ons tot de effecten van de bodem op de waterkwantiteit en maken gebruik van bestaande modellen en inzichten. Daarbij hebben we gekozen om enkele waterkwantiteitseffecten als gevolg van de verandering van de volgende parameters: organische stof, dichtheid, poriënvolume en doorlatendheid te bepalen. Deze parameters hebben invloed op de waterbalans, aan- en afvoercharacteristieken en waterkwaliteitsparameters. Verandering van deze parameters door bodemverbetering is mogelijk in de landbouw.

Bodemverbetering in het overige buitengebied (bijvoorbeeld natuur) of stedelijk gebied is minder kosteneffectief en derhalve niet nader belicht in dit onderzoek.

De invloed op het watersysteem is afhankelijk van de aanwezige grondsoorten en grondwaterstand binnen een gebied. Daarom is in dit onderzoek onderscheid gemaakt tussen verschillende bodemtypen en grondwaterstanden. Om inzicht te krijgen in het effect van de bodem zijn enkele veel voorkomende en uiteenlopende bodemtypen binnen het gebied van het waterschap Vallei en Veluwe gekozen. Op deze manier is het gemakkelijker een vergelijking te maken naar andere gebieden binnen het waterschap en daarbuiten. Er is aanvankelijk gekeken naar 4 bodemtypen, namelijk podzol, beekeerd, gooreerd en een ooivaaggrond. In een overleg met verschillende experts zijn de karakteristieken van de bodemtypen vastgelegd. Daarbij is een verschil gemaakt tussen de bodemparameters voor en de parameters na bodemverbetering. Uit het overleg bleek al snel dat op een gooreerdgrond weinig (bodem)verbeteringen mogelijk zijn vanwege zijn goede uitgangssituatie. Dit type bodem is daarom niet verder meegenomen in het onderzoek.

Het onderzoek pretendeert niet hét antwoord te geven op de vraag welke invloed heeft de bodemstructuur op de kwantiteit van de waterhuishouding. Met de beschikbare gegevens, interpretaties en uitgevoerde berekeningen is een indicatie gegeven over de mogelijke invloed van de bodemkundige veranderingen op de waterhuishouding. Zoals ook uit de conclusies en aanbevelingen zal blijken, zijn er tal van aanknopingspunten voor verbetering, verdieping en uitbreiding.

### 2.3 TECHNIEKEN

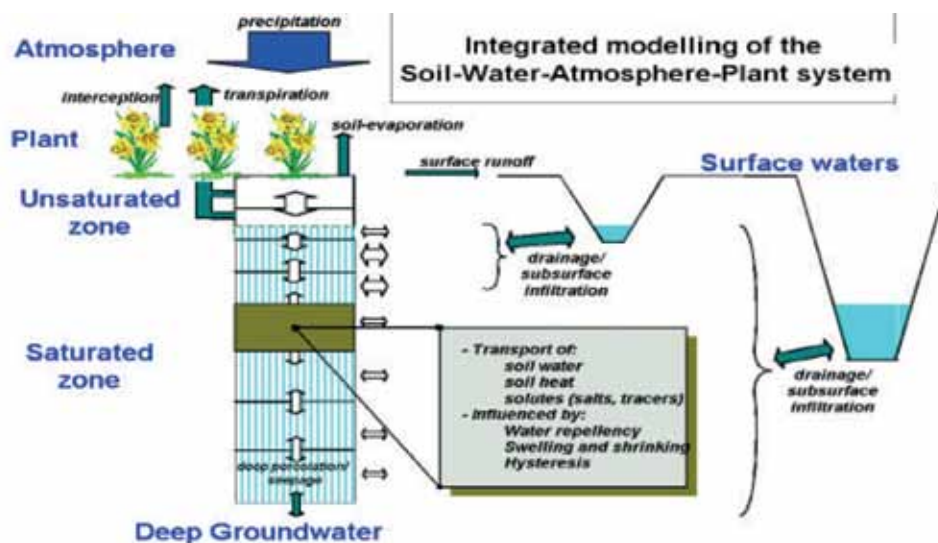
De verandering in bodemparameters wordt beïnvloed door het landgebruik. Daarbij speelt zowel gewaskeuze als grondbewerking, bemesting en waterbeheer een rol. De technieken die de bodemparameters beïnvloeden worden in dit onderzoek bodemverbeteringstechnieken genoemd. In de landbouwsector is vooral veel onderzoek gedaan naar de invloed van bodemverbeteringstechnieken op de gewasopbrengst. In mindere mate is het effect van het landgebruik op de waterhuishouding bekend. Daarom wordt het effect van het landgebruik eerst omschreven als de invloed op organische stof, bodemleven en structuur (bijvoorbeeld poriën). Daarnaast is een literatuuronderzoek uitgevoerd naar het effect van het landgebruik op de waterhuishouding en is gebruik gemaakt van de aanwezige kennis bij de expertgroep (bijlage 1). In hoofdstuk 3 wordt ingegaan op de bestaande inzichten van de verschillende bodemverbeteringstechnieken.

### 2.4 SWAP

Het model dat in dit onderzoek is gebruikt om de effecten van verandering in bodemparameters op de waterbalans te simuleren is SWAP (Soil-Water-Atmosphere-Plant). Dit model is ontwikkeld door Alterra. Voor dit model is gekozen aangezien het zowel watertransport, bodemkarakteristieken als de invloed van het gewas meeneemt in het bepalen van de waterbalans. Andere modellen missen vaak de gedetailleerde samenhang tussen de verschillende (bodem)waterbalanscomponenten die in SWAP aanwezig is. Er is gebruik gemaakt van de versie SWAP 2.07 (Van Dam et al., 1997; Kroes et al., 1999) vanwege de beschikbaarheid van een interface.

Het model simuleert het transport van water, stoffen en warmte in de verzadigde en onverzadigde zone. Het model is ontwikkeld voor het simuleren van water- en stoftransporten op veldschaal niveau gedurende het groeiseizoen en voor langere tijdreeksen. De voor het onderzoek belangrijkste input parameters in SWAP zijn meteorologische data, gewasgroei, hydrologische bodemparameters en drainage. De veranderde parameters zijn de meteorologische data en gewasgroei. De bodemparameters veranderen niet tijdens de simulatie. Een geleidelijke verandering van de bodemparameters en het effect op de waterbalans zijn daardoor niet te simuleren. In dit geval hebben we gekozen voor de simulatie zonder bodemverbetering en met bodemverbetering zonder een tijdsindicatie. De resultaten van een situatie met bodemverbetering geeft dus een toestand weer die soms pas na vele jaren bereikt kan worden.

FIGUUR 1: SCHEMATISCH OVERZICHT VAN SWAP (KROES ET AL., 1999).



Verschillende formules zijn geïmplementeerd in SWAP, waaronder: Richards equation, het Mualem-Van-Genuchten model (Mualem, 1976; Van Genuchten, 1980 en Feddes et al., 1978) en de Penman-Monteith equation (Monteith, 1965; Monteith, 1981). Het SWAP model berekent uiteindelijk de waterbalans in  $\text{cm}^3 / \text{cm}^2 / \text{dag}$ . De waterbalans bestaat uit:

Vocht opslag in de bodem = regenval – oppervlakkig afstroming – verdamping van het gewas en de bodem – interceptie – drainage naar sloten – drainage naar het dieper grondwater.

## 2.5 INPUT VOOR DE BEREKENINGEN MET SWAP

### 2.5.1 METEOROLOGIE

Voor de meteorologische input in het model is gekozen voor de aanwezige meteodata van het meteo station Wageningen, van 1 januari 1975 – 31 december 1984. Deze tijdreeks heeft zowel natte als droge jaren (1976). Er vindt bijna geen berekening plaats in het gebied van Vallei en Veluwe, daarnaast is het ook in de toekomst niet wenselijk om berekening toe te passen, derhalve is berekening niet toegepast in de modelsimulatie.

Om het effect van bodemverbetering op oppervlakkige afstroming te bepalen is gebruik gemaakt van regenval per minuut (detailed rainfall) in een reeks van maximaal 140 waarden. Dit is gelijk een beperking, want hierdoor kan maar een beperkt aantal dagen gedetailleerd regenval worden gesimuleerd. In paragraaf 4.1 wordt dit verder beschreven.

### 2.5.2 GEWAS

De meest voorkomende bodemtypen en gewaskeuzes zijn meegenomen in het onderzoek. Het agrarisch grondgebruik van Oost-Nederland bestaat voor ongeveer 2/3 uit gras land en voor 1/3 uit bouwland (23% mais, 8% akkerbouw) (Geertsema et al., 2011). Daarom is in dit onderzoek gekozen voor de gewaskeuze gras en maïs. Voor grasland en maïs zijn de aanwezige modelparameters overgenomen. In overleg met Alterra bleek dat de gewasopbrengst van gras niet altijd realistisch is in het model. Daarom kijken we alleen naar de verdamping van het gewas (paragraaf 4.4). Hoe meer actuele transpiratie des te beter is de gewasontwikkeling ondanks eventuele droge en natte periodes. Verdamping zegt in dit geval iets over droogte of natschade. Aangenomen is dat de worteldiepte van grasland door verbetering van de bodem zal toenemen (zie tabel 1). Als worteldiepte van maïs is 100 cm aangehouden zowel voor als na bodemverbetering. Het groeiseizoen van maïs en gras loopt in SWAP van 1 mei t/m 15 oktober.

### 2.5.3 BODEM

De verschillende bodemtypen en uitgangssituaties van de bodemparameters zijn vastgesteld na overleg met een expertgroep (zie bijlage 1). De verschillende bodemparameters zijn sterk aan elkaar gerelateerd. Bijvoorbeeld het organische stofgehalte is direct gerelateerd aan het poriënvolume, de dichtheid en de doorlatendheid. Daardoor is het niet mogelijk om de effecten van de parameters op de hydrologie afzonderlijk van elkaar te bekijken. Vanwege de relatie tussen organische stof en

poriënvolume in het model SWAP is voor de bepaling van het poriënvolume uitgegaan van de Staringreeks continue vertaalfunctie (Wösten et al., 2001) formules. De invloed van de capillaire werking wordt volgens Alterra in het model te positief berekend. Om de werkelijkheid beter te benaderen is in het model een grindlaagje (type O5) aangebracht in de bodemopbouw (tabel 1) om de te hoge capillaire werking te compenseren. Daarnaast wordt de invloed van verslemping gemodelleerd door een leemlaag op te nemen in de bovenste 2 cm van het bodemprofiel.

### 2.5.4 DRAINAGE EN GRONDWATER

Om een realistische drainage en grondwaterstand te simuleren zijn onderrandvoorwaarden opgenomen in het model. In overleg met Alterra is gekozen voor de optie om de onderrand te simuleren met een drukhoogte in de aquifer en een drainage/infiltratie weerstand. Daarbij is een voor de bodemtypen realistische drainagebasis weerstand en bijbehorende grondwaterstanden gekozen. In bijlage 3 is per bodemtype de grondwaterstand weergegeven.

## 2.6 KLANKBORDGROEP EN EXPERTGROEP

### EXPERTGROEP

Om de mogelijke maatregelen en de effecten op de bodemparameters vast te stellen is gebruik gemaakt van een expertgroep bestaande uit vertegenwoordigers van het Louis Bolk Instituut, Deltares en Alterra. Zij hebben belangeloos mee nagedacht bij het vaststellen van de bandbreedte in de parameters en de bijbehorende maatregelen. In het overleg met de expertgroep op 12 oktober 2012 zijn de relevante bodemtypes in het gebied van het waterschap Vallei en Veluwe vastgelegd.

De bodemparameters die hierbij horen en welke verbeteringen maximaal mogelijk zijn, is weergegeven in tabel 1. Daarnaast is besproken welke bodemverbeteringstechnieken het meest geschikt zijn bij ieder bodemtype. Dit komt overeen met de technieken die beschreven zijn in hoofdstuk 3. In bijlage 1 zijn de uitkomsten van dit overleg beschreven. De aanwezigen zijn benieuwd naar de resultaten en kunnen dit mogelijk gebruiken voor een verder onderzoek naar de invloed van de bodem op de waterhuishouding.

Naast meer inzicht te verkrijgen in de mogelijkheden van de bodem is in overleg met de modelmakers van SWAP op 8 november 2012 ook meer inzicht verkregen in de mogelijkheden van het model. Uit het overleg blijkt dat het model geschikt is voor dit onderzoek maar dat rekening moet worden gehouden met de interpretatie van de resultaten. In hoofdstuk 4 en 5 wordt hierop teruggekomen. Door deze aanpak is gebruik gemaakt van de meest up-to-date informatie die in Nederland beschikbaar is. Voorkomen is dat onrealistische waarden aan de gekozen (geo-hydrologische en) bodem parameters zijn toegekend.

### KLANKBORDGROEP

Op 16 oktober 2012 zijn met verschillende waterschappers bij STOWA het onderzoek en de eerste resultaten toegelicht. De relevantie van het onderzoek en de voordelen van bodemverbeteringsmaatregelen kwamen duidelijk naar voren. De voordelen hebben betrekking op het anticiperen op klimaatverandering en de positieve invloed op de kwaliteit van het oppervlakte- en grondwater. Voor de resultaten is het belangrijk dat dit door verschillende waterschapsmedewerkers maar ook door beleidsmakers kan worden geïnterpreteerd. Daarom is gekozen om de resultaten zoveel mogelijk in tabelvorm en door middel van een duidelijke korte interpretatie weer te geven. De modelresultaten en de grafieken zijn voor geïnteresseerden verplaatst naar de bijlagen.

# 3

## DE INVLOED VAN DE BESCHIKBARE EN RELEVANTE TECHNIEKEN VOOR BODEMVERBETERING

De beschikbare en relevante bodemverbeteringstechnieken die in dit hoofdstuk worden beschreven geven een overzicht van de meest gangbare en voor de hand liggende mogelijkheden. In dit hoofdstuk gaan we in op de effecten van de bodemverbeteringsmaatregelen die invloed hebben op de organische stof, structuur en bodemleven. Deze bodemkenmerken hebben effect op de waterkwantiteit. Daarnaast wordt indien aanwezig, ingegaan op de mogelijke neveneffecten van de bodemverbeteringstechnieken op de oppervlakte- en grondwaterkwaliteit. Uiteindelijk vindt een beoordeling plaats welke bodemverbeteringsmaatregelen het meest geschikt zijn op basis van de ervaring, invloed op de waterhuishouding en draagvlak voor een dergelijke maatregel.

De technieken zijn gecategoriseerd als:

- 1 vruchtwisseling (o.a. ras- en gewaskeuze), groenbemesters en gewasresten;
- 2 grondbewerking;
- 3 bemesting en structuurverbeteraars;
- 4 peilbeheer.

Het algemene effect van de bodemverbeteringstechnieken op de bodem is de verhoging van het organische stofgehalte, een toename van de bewortelingsdiepte, een betere ontwikkeling van het bodemleven, een vergroting van het poriënvolume en een verbetering van de doorlaatbaarheid. Al deze parameters hebben indirect een effect op de waterhuishouding. Alleen peilbeheer is een uitzondering. Door het peilbeheer aan te passen, wordt direct de waterhuishouding veranderd.

Organische stof heeft onder andere het vermogen nutriënten en vocht vast te houden. In percelen met hoge organische stofgehalten wordt meer water vastgehouden waardoor in droge periodes minder water tekort ontstaat. Daarnaast is de aanwezigheid van organische stof belangrijk voor het bodemleven.

Het bodemleven is belangrijk voor het afbreken van organisch materiaal en de vorming tot organische stof. Daarnaast is het essentieel voor de vorming van poriën. Het poriënvolume is daarnaast belangrijk voor de mate van doorlatendheid. De doorlatendheid wordt mede ook beïnvloed door de hoeveelheid plantenwortels en worteldiepte. Het type gewas en bijbehorende worteldiepte heeft daarnaast invloed op het tegengaan van verslemping. Door het voorkomen van verslemping en toename aan poriën, verbetert de doorlatendheid en wordt de oppervlakkige afspoeling naar oppervlakte water verminderd. Daarnaast heeft verbeterde

doorlatendheid en het bufferend vermogen van het organische stof een positief effect op de kwaliteit van het oppervlakte water. Er komen minder nutriënten, bestrijdingsmiddelen en mineralen in het water (Ten Berge en Postma, 2010). Vermindering van oppervlakkige afstroming geeft ook een reductie op fosfaat en zware metalen concentraties in het oppervlakte water en sediment (Rozemeijer en Van der Velde, 2008).

### 3.1 VRUCHTWISSELING, GROENBEMESTERS EN GEWASRESTEN

Vruchtwisseling is de opeenvolging van gewassen op een perceel. In het gebied van het waterschap Vallei en Veluwe vindt voornamelijk veeteelt plaats. Hierdoor bestaat het gewas vaak uit gras en of maïs. Uit onderzoeksresultaten blijkt dat, met betrekking tot organische stof en bodemstructuur, blijvend grasland de voorkeur heeft boven maïsland. Zodra er meer jaren maïs geteeld wordt dan gras (bijvoorbeeld bij een verhouding van 1 jaar gras en 2 jaar maïs), neemt het organische stofgehalte af (Van Eekeren et al., 2011).

Doormiddel van de manier en diepte van de beworteling van verschillende rassen en of gewassen kan de bodemstructuur worden beïnvloed. Sommige rassen en of gewassen bewortelen dieper terwijl andere rassen of gewassen intensiever bewortelen vanwege de grote hoeveelheid zijwortels. Engels raaigras heeft bijvoorbeeld een intensieve beworteling. Het heeft een goede doorworteling van de bovengrond maar is niet diepwortelend (Zeeland et al., 2009).

Groenbemesters zijn vaak tussengewassen zoals bladramanas, bladkool, gele mosterd, soedangras, afrikaantjes, klaver, raaigrassen. Deze gewassen groeien na de oogst van het hoofdgewas en dienen vooral om resterende nutriënten uit de bodem op te nemen, de bodem bedekt te houden en om organische stof te leveren dat later kan worden ondergeploegd. Het telen van een groenbemester is onder andere verplicht na het oogsten van de maïs. Door de groenbemester wordt uitspoeling van nutriënten zoveel mogelijk voorkomen (mits op tijd gezaaid). Groenbemesters dragen bij aan het behoud van organische stof en poriënvolume. Echter een toename van het organische stofgehalte is moeilijk realiseerbaar met het toepassen van groenbemesters alleen (Timmer et al, 2004). Groenbemesters voorkomen verslapping indien de wortelstelsels niet dieper dan ongeveer 15 cm wordt ondergeploegd. In het onderzoek naar structuurherstellend vermogen van groenbemesters (Van Geel et al, 2007) worden de positieve effecten van groenbemesters vooral toegeschreven aan betere beworteling na een groenbemester. Wanneer een groenbemester is ondergeploegd houden de wortels de bodemdeeltjes langer bij elkaar, waardoor ze minder gemakkelijk verspoelen (Timmer et al., 2004). Onder gunstige omstandigheden kunnen wortels drie centimeter per dag groeien (Eldering et al., onb). Bladramanas kan een worteldiepte vormen tot 100 cm-mv (De Ruijter en Smit, 2007).

Gewasresten zijn bijvoorbeeld stoppels en stro van maïs. Het onderploegen van deze gewasresten brengt vers organisch materiaal in de bodem. Voldoende aanvoer van organisch materiaal is essentieel voor een goede fysische bodemkwaliteit en bijbehorende vochtthuishouding. Dit geldt voor zowel lichte gronden (waar bijvoorbeeld vochtretentie sterk door organische stof wordt bepaald) als zwaardere gronden (waar bijvoorbeeld de bewerkbaarheid met organische stof samenhangt) (Ten Berge en Postma, 2010). Daarnaast verbeteren gewasresten de structuur, vermindert de gevoeligheid voor droogte en vermindert de uitspoeling van mineralen. De gewasresten zorgen voor een verminderde nitraatuitspoeling (Ten Berge en Postma, 2010).



### 3.2 GRONDBEWERKING

Mechanische belasting vindt plaats door grondbewerking. Onder grondbewerking verstaan we alle werkzaamheden op het land ten behoeve van het zaaien, bemesten, wieden en oogsten. De bodemstructuur wordt nadelig beïnvloed door een te zware belasting bij grondbewerking door berijding, bijvoorbeeld tijdens het ploegen of bij de oogst. Om een goede bodemstructuur te bereiken, zal de bouwvoor minder belast moeten worden door mechanische belasting. Dit is positief voor het bodemleven en aanwezige poriën (Ten Berge en Postma, 2010). Goede maatregelen zijn bijvoorbeeld het gebruik van vaste rijpaden, lichtere mechanisatie, en niet kerende grondbewerking. Voor het éénmalig losmaken van de bodem kan men diepspitten en diepploegen.

Bij vaste rijpaden worden brede teeltbedden gecombineerd met precisiebesturing. Het systeem heeft voordelen op het gebied van de bodemvruchtbaarheid en de productie. Door de verminderde bodemdruk is een poriëntoename mogelijk van 16,6% tot 21,6% tot 7,5 cm-mv bij veldcapaciteit (Vermeulen, onb). Daarnaast blijkt uit diverse studies een gemiddelde hogere gewasopbrengst met 10% (Folkerts et. al., 1981; Lamers et. al., 1986; Bernaerts, 2009).

Lichtere mechanisatie en niet kerende grondbewerking hebben een vergelijkbaar effect als vaste rijpaden. Door de verlichte bodemdruk ontstaat minder verdichting waardoor de poriën intact blijven, er minder slempschade optreedt en het bodemleven toeneemt. Daarnaast hebben vaste rijpaden en lichtere mechanisatie een positief effect op de waterkwaliteit door verminderde afspoeling.

Niet kerende grondbewerking (NKG) is in het gebied van waterschap Vallei en Veluwe alleen van toepassing bij een grasland rotatie met maïsteelt. De maïs wordt dan direct gezaaid in de graszode. Bij elke bewerking mineraliseert een deel van de organische stof. Door NKG neemt in vergelijking met ploegen de hoeveelheid organische stof toe. Dit is het duidelijkst te zien in de laag van 0 tot 15 cm-mv. In het onderzoek van PPO is de organische stof door NKG in drie jaar toegenomen van 3,54% naar 3,6% (Van Balen, 2012). Uit een vergelijking tussen NKG en ploegen is af te leiden dat NKG zorgt voor toename van het bodemvocht van 25 % naar 35% op 4,5 cm diepte (pF2) (Van Balen, 2012). Daarnaast wordt door NKG de capillaire nalevering niet verstoord. Door ploegen wordt de capillaire nalevering wel onderbroken.

Diepploegen wordt met name toegepast als er beneden de bouwvoor sprake is van een storende laag. Door diepploegen wordt deze laag doorbroken, maar de laag blijft relatief gezien wel redelijk intact. Diepspitten daarentegen heft storende lagen op en zorgt voor een goede menging bij een grote diepte. Uit een onderzoek blijkt dat vóór de diepe grondbewerking het percentage lutum 39% is. Na diepspitten tot 105 centimeter is het percentage lutum 31% (Van Balen et al., 2008). Het diepspitten en -ploegen verbetert infiltratie in de bouwvoor en voorkomt daarmee oppervlakkige afspoeling naar het oppervlakte water van fosfaat, nitraat en gewasbeschermingsmiddelen. De vruchtbare bouwvoor wordt grotendeels weggeploegd waardoor er mineralisatie optreedt van de organische stof hierdoor is vaak extra bemesting na het diepploegen of -spitten nodig. Het bemesten heeft mogelijk een tijdelijk negatief effect op de grondwaterkwaliteit.

### 3.3 BEMESTING EN STRUCTUURVERBETERAARS

Onder bemesten wordt het toepassen van organische (o.a. compost) en minerale meststoffen (kunstmest) verstaan. Minerale meststoffen dragen vrijwel niet bij aan het in stand houden van de bodemstructuur. Met de opkomst van de minerale meststoffen leek de bodemstructuur lange tijd ondergeschikt te zijn. Geleidelijk aan komen we er achter dat bij een minder goede bodem steeds meer kunstmest nodig is om hetzelfde productie niveau te behouden. Organische mest geeft een hogere bacteriebiomassa, bacterieactiviteit en meer nematoden in vergelijking tot minerale mest (Koopmans et al., 2006). In dit onderzoek focussen wij ons op de invloed van de organische meststoffen omdat deze bijdragen aan de structuurvorming (organische stof en bodemleven) van de bodem. Daarnaast kijken we ook naar andere structuurverbeterende mogelijkheden zoals toedienen van wormen, uitstellen van bemesting, het toepassen van kalk en biochar.

Compost wordt toegepast als meststof maar is ook een goede structuurverbeteraar. Compost zorgt voor een snellere opwarming van de bodem, het stabiliseert de bodemstructuur, vergroot de doorlaatbaarheid en stimuleert het bodemleven. Compost draagt bij aan het vergroten van het waterbergend vermogen, de beschikbaarheid van sporenelementen en het vormt een buffer tegen pH schommelingen. Uit een lange termijn onderzoek (21 jaar) op akkers in Zwitserland bleek dat door alleen toepassing van kunstmest het organische stof gehalte afnam met 15% maar gecomposteerde stalmest (zonder kunstmest) zorgde ervoor dat het organische stof gehalte op peil bleef (Fliessbach et al., 2007).

Een goed alternatief voor compost is vaste stalmest. Vooral agrariërs die een potstal bezitten hebben veel vaste mest. Deze mest bestaat voor een groot gedeelte uit stro en bevat daarom meer organische stof dan runderdrijfmest. Door toediening van vaste mest in plaats van alleen kunstmest is er na 4 jaar een verhoging van organische stof te meten. De geïnterviewde agrariër (bijlage 2) geeft tevens aan dat door het gebruik van potstalmest een verhoging van het organische stofgehalte is gemeten. Het organische stof gehalte in de laag 0-20 cm-mv is na 4 jaar 3,3% in vergelijking met 2,5% organische stof door toediening met kunstmest (Boer et al., 2004). Daarnaast is er een verhoging in opbrengst gemeten. Om het gehalte organische stof op peil te houden is 1,5-5,3 ton organische stof ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup> nodig (Boer et al., 2004). Daarbij wordt 178-242 kg N-totaal ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup> toegevoegd. Echter geldt op grond van de Nitraatrichtlijn een maximaal toegestane stikstofgift uit dierlijke mest van 170 kg N per hectare per jaar. Op basis van het derogatie besluit van de EU is aan Nederlandse boeren onder enkele voorwaarden toestemming verleend om maximaal tot 250 kg N-totaal ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup> toe te voegen.

Het toedienen van wormen draagt bij aan het verbeteren van de bodemstructuur, ze verteren organisch materiaal en zorgen voor macroporiën. Er zijn diverse onderzoeken waaruit blijkt dat het mogelijk is om regenwormen te introduceren. De wormen zorgen voor een groter poriënvolume, een hoger watergehalte en meer luchtinhoud van de bodem. Wormen worden vaak toegevoegd in combinatie met toevoeging van organische mest (het voedsel voor de wormen). Het effect op de bodem wordt echter pas na enkele jaren zichtbaar. Het kan circa 6 jaar duren voordat de stabiliteit van de aggregaten beter wordt (Faber et al., 2009). Door de introductie van regenwormen krijgt het gewas een beter wortelstelsel en worden ziektes verminderd (Faber en Van der Hout, 2009). Echter introductie van wormen gaat niet samen met intensieve grondbewerking.

Om de wortelgroei extra te stimuleren en daarmee de structuur van de bodem wordt voorgesteld om de bemesting na het maaien met 7-10 dagen uit te stellen. Uit potproeven is gebleken dat een korte periode met beperkte stikstofvoorziening al voldoende kan zijn voor een belangrijke toename van de wortelmasse (Ennik et al., 1980). Ook het uitstellen van beregening zorgt er voor dat wortelgroei wordt gestimuleerd (zie ook interview bijlage 2). Een goede beworteling is een combinatie van worteldichtheid en worteldiepte (Van Eekeren et al., 2003). Een intensieve en diepe beworteling kan de bodemstructuur verbeteren door vorming van nieuwe (macro) poriën (Boer et al., 2003). Uit onderzoek blijkt dat met een wortelmasse van 4.000 kg per hectare in 10 jaar tijd 0,5% extra organische stof aanwezig is (Van Eekeren et al., 2012). Gemiddeld is een wortelmasse van 2500 kg per hectare aanwezig. Galega, triticale en luzerne zijn gewassen met een intensieve beworteling (Boer et al., 2003). Wortelgroei is naast de structuurvorming, belangrijk voor de vochtvoorziening. Door dieper te wortelen, kan de plant meer vocht opnemen waardoor er minder vochttekort ontstaat en beregening of gebiedsvreemd water niet hoeft te worden toegepast (Luske et al., 2012).

Bekalking vindt voornamelijk plaats op zand-, zavel-, klei- en lössgrond met een lage kalkreserve. Regelmatig toevoeging van kalk is belangrijk om het pH gehalte op peil te houden. Voor het bodemleven, goede beworteling en opname van nutriënten is een juiste pH gehalte belangrijk. Door toename in bodemleven en beworteling heeft bekalking een indirect effect op het poriënvolume en organische stofgehalte (Bokhorst et al., 2006). Daarnaast zorgt een hogere pH voor een betere bodemstructuur waardoor minder mineralen uitspoelen

Een andere manier om de bodemstructuur te verbeteren is de toevoeging van biochar. Het organisch materiaal biochar is te vergelijken met houtskool. Het is verkregen door pyrolyse waarbij onder hoge temperatuur biomassa wordt omgezet in biochar (Verheijen et al., 2010). De voordelen zijn het absorberen van vocht en nutriënten, pH behoud, afname dichtheid en vermindering van uitspoeling. Uit onderzoek blijkt dat door het toedienen van biochar de dichtheid van de bodem afneemt van 1,3 g/cm<sup>3</sup> naar 1,2 g/cm<sup>3</sup>. Daarnaast neemt de beschikbaarheid van vocht toe met 18% (Verheijen et al., 2010). Er zijn nog onzekerheden, bijvoorbeeld op het gebied van de aanvoer van contaminanten die grootschalige toepassing van biochar in de praktijk in de weg kunnen staan (Faber et al., 2009). De mogelijk negatieve effecten van contaminanten (toevoeging van PAK's) zijn nog niet voldoende onderzocht. Daarnaast zijn er nog geen normen vastgesteld met betrekking tot de kwaliteit van biochar (Verheijen et al., 2010). Op dit moment vinden er op verschillende locaties in Nederland onderzoek plaats. In 2015 worden de resultaten verwacht (Van Balen en Bussink, 2012).

### 3.4 WATERHUISHOUDING

Met betrekking tot de waterhuishouding gaat het om maatregelen als het beheer van het grondwaterpeil (peilgestuurde drainage), het slootwaterpeil en maatregelen zoals veldegalisatie en begreppeling (Talsma en Kooiman, 2012). Door de waterhuishouding te beïnvloeden, verandert de draagkracht, temperatuur en bewerkbaarheid van de grond. Daarnaast heeft de waterhuishouding invloed op de levering van vocht aan het gewas in droge perioden en waterafvoer in natte perioden.

Peilgestuurde drainage kan droogteproblemen op landbouwpercelen verminderen ten opzichte van conventionele drainage (Rozemeijer et al., 2012). Peilgestuurde drainage vergroot de opslagcapaciteit door het peil afhankelijk van de weersverwachting te verlagen of verhogen. Afhankelijk van het grondgebruik is dat bijvoorbeeld op 50 cm onder maaiveld voor

bouwland, of op 30 cm onder maaiveld voor grasland (Waterschap Peel en Maasvallei, 2012). Op basis van modelonderzoek en praktijkervaring is geschat dat op deze manier jaarlijks 15 mm water extra kan worden vastgehouden (De Buck, 2012). De hoeveelheid water die geconserveerd wordt is vergelijkbaar met één beregeningsgift of de potentiële gewasverdamping van gras gedurende een week in mei (Rozemeijer et al., 2012). Voorwaarde is wel dat dat het overloopepeil vroeg in het voorjaar (medio maart) wordt opgezet. Piekberging met peilgestuurde drainage werkt alleen als het overloopepeil enkele dagen voor de extreme bui wordt verlaagd om bergingsruimte te creëren en vlak voor de bui weer wordt verhoogd (Rozemeijer et al., 2012). Binnen de pilot Landbouw op Peil wordt hier nader onderzoek naar gedaan in 2012 en 2013.

Daarnaast blijkt dat er een reductie lijkt te worden behaald ten opzichte van gangbare drainage voor de uitspoeling van nitraat (De Buck en Van der Schoot, 2010). Uit het veldonderzoek in het beheergebied van Waterschap Rijn en IJssel (oost-Nederlands Plateau) blijkt duidelijk dat er effect is op droogtevermindering maar nauwelijks op de waterkwaliteit (Rozemeijer et al., 2012). Peilgestuurde drainage zorgt daar niet voor een verminderde uit- en afspoeling van nitraat en fosfor naar het oppervlaktewater. Door het opzetten van het waterpeil is de drainafvoer en de fosforvrachten via de drains afgenomen. Hier staat echter tegenover dat de verminderde afvoer via de drains gecompenseerd worden door extra afvoer van ondiep grondwater en extra oppervlakkige afstroming (Rozemeijer et al., 2012).

Een conventionele manier van waterhuishouding op het veld is begreppeling. Dit voorkomt dat er water op het veld blijft staan. Greppels van gemiddeld 20 cm-mv zorgen er voor dat neerslag wordt opgevangen, bij overschrijding van de infiltratiecapaciteit en de bergingsmogelijkheden van de bodem (Van Bakel et al., 2008). Indien de neerslag later alsnog infiltreert in de bodem heeft dit geen negatieve gevolgen voor het oppervlakte water. Als de begreppeling draineert op de sloten dan kunnen eventuele meststoffen en bestrijdingsmiddelen makkelijk uitspoelen.

### 3.5 INVLOED VAN BODEMVERBETERING OP HYDROLOGISCHE BODEMPARAMETERS

Om de bodemstructuur te verbeteren en daarmee de waterhuishouding is in dit onderzoek gekozen om te kijken naar de bodemparameters die in SWAP kunnen worden gemodelleerd: organische stof, poriënvolume, doorlatendheid en worteldiepte. Het verhogen of verbeteren van deze parameters heeft invloed op de waterbalans (het voorkomen of verminderen van oppervlakkige afstroming, de berging in de bodem, de infiltratie naar de diepere ondergrond) en daarmee op de beschikbaarheid aan water in droge perioden. De parameters hebben onderling invloed op elkaar en kunnen daardoor niet los van elkaar worden gezien. Dit geldt ook voor de invloed van de bodemverbeteringstechnieken. Door bodemverbeteringstechnieken toe te passen worden meerdere hydrologische bodemparameters beïnvloed. Daarbij wordt erkend dat de bodemverbeteringen het beste met een set aan maatregelen kunnen worden gerealiseerd en dat die maatregelen waarschijnlijk van locatie tot locatie en van bedrijf tot bedrijf kunnen verschillen. Er is daarbij uitgegaan van maatregelen die binnen de gangbare landbouwpraktijk kunnen worden gerealiseerd.

De invloed van de mogelijk uit te voeren bodemstructuurverbeterende maatregelen op de bodem is geanalyseerd in een expertgroep. In overleg met deze expertgroep is aangegeven wat de meest optimaal te bereiken waarden zouden kunnen zijn. Tabel 1 geeft de relevante bodemparameters voor de drie bodemtypen in zowel de huidige situatie en de situatie die

kan worden bereikt met bodemstructuurverbeterende maatregelen. Voor het vaststellen van de huidige situatie is ook gebruik gemaakt van de textuurgegevens uit de Staringreeks (Wösten et al., 2001). De Staringreeks is afgeleid van de Bodemkaart van Nederland (schaal 1:50.000) zoals door Stiboka vastgesteld van 1965-1987.

Bij de bodemparameters zoals in tabel 1 passen nog enkele opmerkingen. Door de jaren heen zijn veel bodemeigenschappen ten opzichte van de situatie tijdens de bodemkarteringen (jaren 60-80) verslechterd door toenemende mechanisatie en schaalvergroting. Uit vooronderzoek blijkt dat door o.a. intensieve akkerbouw grote veranderingen hebben plaatsgevonden in de bovengrond (Pleijter, 2003). Daarnaast kan in de gekozen parameters niet de volledige invloed van de bodemverbeteringsmaatregelen worden verwerkt. Een voorbeeld is de toename aan macroporiën: grote aantallen wormen leiden tot een groot aantal macroporiën (door de wormengangen) maar dit wordt niet meegenomen in het bepalen van het poriënvolume.

Uit overleg met de expertgroep (bijlage 1) en uit bovenstaand literatuur onderzoek blijkt dat een verhoging van de organische stof kan worden gerealiseerd door het toepassen van groenbemesters, niet kerende grondbewerking en organische stof toevoegen in de vorm van vaste mest of compost. In tabel 1 hebben we de aanname gedaan dat afhankelijk van het bodemtype een maximaal organische stof gehalte van 6 tot 8% mogelijk is. Dit resulteert in de bijpassende bodemdichtheid, doorlatendheid en poriënvolume zoals aangegeven in tabel 1. In deze tabel zijn per bodemtype ook de bijpassende grondwaterstanden weergegeven.

Deze grondwaterstanden zijn weergegeven in grafieken in bijlage 3. Het valt op dat de grondwaterstand tussen de verschillende jaren niet veel afwijkt. Het zou bijvoorbeeld te verwachten zijn dat in 1976 (een droog jaar) de grondwaterstand lager is dan in andere jaren. In de praktijk blijkt de invloed van het meteorologisch jaar op de grondwaterstand sterk afhankelijk van de locatie in het watersysteem. De afstand van drainage heeft bijvoorbeeld een sterke invloed op de grondwaterstand. In enkele peilbuizen op een podzol- en beekerdgrond in het beheergebied van het waterschap blijkt tussen de zomers van 2009, 2010, 2011 en 2012 nauwelijks (<15 cm) verschil op te treden in de laagst gemeten grondwaterstand per jaar.

Anderzijds is het lastig om precies een verwacht of gewenst grondwaterstandsverloop te simuleren. De grondwaterstand is afhankelijk van neerslag, verdamping, drainage en onderrandvoorwaarden van het model. Iedere combinatie van deze parameters geeft weer een ander grondwaterstandsverloop. De gekozen grondwaterstanden in SWAP komen in dit geval overeen met de GHG en GLG per bodemtype met in de praktijk veel voorkomende combinaties daarvan.

TABEL 1: BODEMTYPE EN PARAMETERS

Bodemtype	Bodemlaag in cm										Parameters voor					Parameters na bodemverbetering				
	van	tot	Type	Leem	Lutum	M50	Humus %	Dichtheid g/cm <sup>3</sup>	Porïen-volumen cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>	Doorlatendheid cm/d <sup>1</sup>	Wortel-diepte grasland cm*	van	tot	Humus %	Dichtheid g/cm <sup>3</sup>	Porïen-volumen cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>	Doorlatendheid cm/d	Wortel-diepte grasland cm*		
Grondwatertrap	Hn21 (podzol) <sup>1</sup>																			
	0	2	B3	18	0,1	155	2,0 <sup>1</sup>	1,45 <sup>1</sup>	0,46 <sup>1</sup>	5,43 <sup>1</sup>	25 <sup>2</sup>	0	25	6 <sup>2</sup>	1,4 <sup>1</sup>	0,49 <sup>1,2</sup>	49,63 <sup>1</sup>	50 <sup>2</sup>		
	2	25	B2	7	0,1	155	2,0 <sup>2</sup>	1,55 <sup>1</sup>	0,42 <sup>2</sup>	12,52 <sup>1</sup>										
	25	60	02	13	0,1	140	0,1	1,55 <sup>1</sup>	0,38 <sup>1</sup>	12,68 <sup>1</sup>										
	60	70	05	0,1	0,1	250	0,1	1,60 <sup>1</sup>	0,32 <sup>1</sup>	25,00 <sup>1</sup>										
Gt VI																				
70	300	02	13	0,1	140	0,1	1,55 <sup>1</sup>	0,38 <sup>1</sup>	12,68 <sup>1</sup>											
pZg23 (beekerd) <sup>1</sup>																				
0	2	B3	18	0,1	155	2,0 <sup>1</sup>	1,45 <sup>1</sup>	0,46 <sup>1</sup>	5,43 <sup>1</sup>	30 <sup>2</sup>	0	25	8 <sup>2</sup>	1,2 <sup>1</sup>	0,53 <sup>1,2</sup>	31,42 <sup>1</sup>	50 <sup>2</sup>			
2	25	B7	23,5	0,1	135	3,0 <sup>2</sup>	1,40 <sup>1</sup>	0,40 <sup>2</sup>	10,0 <sup>2</sup>											
25	40	02	13	0,1	140	0,1	1,55 <sup>1</sup>	0,38 <sup>1</sup>	12,68 <sup>1</sup>											
40	50	05	26	0,1	250	0,1	1,60 <sup>1</sup>	0,32 <sup>1</sup>	25,00 <sup>1</sup>											
Gt III																				
50	300	02	13	0,1	140	0,1	1,55 <sup>1</sup>	0,38 <sup>1</sup>	12,68 <sup>1</sup>											
Rd10A (oivaaggrond) <sup>1</sup>																				
0	20	B8	0,1	14	-	2,5 <sup>2</sup>	1,40 <sup>1</sup>	0,43 <sup>1</sup>	2,36 <sup>1</sup>	30 <sup>2</sup>	0	20	6 <sup>2</sup>	1,3 <sup>1</sup>	0,48 <sup>1,2</sup>	14,07 <sup>1</sup>	80 <sup>2</sup>			
20	60	09	0,1	14,5	-	1,0	1,50 <sup>1</sup>	0,46 <sup>1</sup>	2,23 <sup>1</sup>											
60	70	05	26	0,1	250	0,1	1,60 <sup>1</sup>	0,32 <sup>1</sup>	25,00 <sup>1</sup>											
Gt VI																				
70	300	09	0,1	14,5	-	1,0	1,50 <sup>1</sup>	0,46 <sup>1</sup>	2,23 <sup>1</sup>											

\* worteldiepte voor maïs betreft in alle gevallen 100 cm

1 1Afgeleid van de Staringreeks (Wösten et. al., 2001)

2 2Uit expert overleg 12 oktober 2012

# 4

## RESULTATEN BEREKENINGEN

Door bodemverbetering toe te passen veranderen de bodemeigenschappen. Het effect van bodemverbetering op de waterbalans is afhankelijk van het type bodem, grondwaterregime, gewas en de meteorologische omstandigheden. Er is voor de meteorologische omstandigheden gebruik gemaakt van werkelijk gemeten waarden in Wageningen in een representatieve periode van 1975 t/m 1984.

Het effect van bodemverbetering op de oppervlakkige afvoer, waterbergend vermogen, vochthoudend vermogen en de mogelijkheid om droge perioden te overbruggen is bepaald per bodemtype en gewas (gras of maïs). De gekozen bodemtypes en de bijbehorende parameters zijn weergegeven in tabel 1. Het effect van bodemverbetering op de waterbalans wordt uitgedrukt in mm. Verwacht wordt dat met het verhogen van de organische stof, poriënvolume en doorlatendheid een verminderde oppervlakkige afvoer plaatsvindt. Daarnaast wordt verwacht dat door de toename van organische stof en poriënvolume het waterbergend- en vochthoudend vermogen toeneemt. De mate van oppervlakkige afvoer en waterberging is voor waterschappen van belang omdat deze invloed hebben op de piekafvoer en risico's op wateroverlast. Voor inzicht in watertekort is de mate van waterberging en vochthoudend vermogen interessant.

De resultaten zijn per bodemtype en gewas gepresenteerd. De conclusies hebben uiteraard alleen betrekking op de gemodelleerde scenario's. Andere randvoorwaarden kunnen andere resultaten opleveren. Uiteraard zijn de randvoorwaarden in overleg met experts wel zo realistisch mogelijk gekozen.

### 4.1 OPPERVLAKKIGE AFVOER

Door de bodemverbeteringsmaatregelen neemt de doorlatendheid evenals het vochtbergend vermogen van de bodems toe; dit leidt in theorie tot een grotere en snellere infiltratie en daardoor tot een mogelijke afname van de oppervlakkige afvoer. Hierop deze manier wordt hij vroeger manier wordt hij vrijwel altijd nul. Ijdseenheid de verschillende balansposten optelt. Eén bodem met een verminderde structuur kan door een lagere doorlatendheid minder goed intense regenbuien opvangen dan een bodem met een goede structuur. Deze lagere doorlatendheid kan het gevolg zijn van verslemping van de top laag (0-2cm, zie tabel 1).

Om de veranderingen in de oppervlakkige afvoer te simuleren is gekozen is voor een maatgevende bui die eens in de 10 jaar voorkomt (30 mm met een intensiteit van 15 mm / uur); deze is bijvoorbeeld gevallen op 10 juli 1980. Het effect van deze bui op de oppervlakkige afvoer is voor alle bodemtypes gepresenteerd in een waterbalans (bijlage 4). Om het effect te berekenen van een meer extreme bui is ook de situatie van 1 juni 1979 doorgerekend (er viel toen 60 mm met een intensiteit van 40 mm per uur). Deze hoeveelheid neerslag per uur is zeer zeldzaam (komt gemiddeld eens in de 70 jaar voor). Beide situaties zijn voor alle bodemtypes en gewassen doorberekend. In tabel 2 is het effect van de regenbui op de oppervlakkige afvoer te zien. De modelresultaten in tabel 2 zijn afgeleid uit de waterbalans (bijlage 4). In de waterba-

lans is ook de interceptie, verdamping en de drainage naar sloten en dieper grondwater (bottom flux) weergegeven. Op verzoek van de klankbordgroep is in tabel 3 ook gekeken naar het effect van bodemverbetering op de afvoer van bodemvocht naar de diepere grondwaterlagen.

TABEL 2 OPPERVLAKKIGE AFVOER PER BODEMTYPE EN GEWAS, VOOR EN NA BODEMVERBETERING IN MM PER DAG

Gewas	Een matige bui van 30,9 mm (15mm/h)				Een extreme bui van 60,4 mm (40mm/h)			
	Gras 10 juli 1980		Maïs 10 juli 1980		Gras 1 juni 1979		Maïs 1 juni 1979	
	Voor	Na	Voor	Na	Voor	Na	Voor	Na
	<b>Bodemtype</b>							
Podzolgrond	10,1	0,0	10,1	0,0	13,7	3,8	13,7	3,8
Beekeerdgrond	16,0	3,8	16,0	3,8	30,8	28,2	30,8	28,2
Ooivaaggrond	17,1	11,3	17,1	11,3	28,8	24,2	28,2	24,2

TABEL 3 DRAINAGE NAAR DIEPER GRONDWATER PER BODEMTYPE EN GEWAS, VOOR EN NA BODEMVERBETERING IN MM PER DAG

Gewas	Een matige bui van 30,9 mm (15mm/h)				Een extreme bui van 60,4 mm (40mm/h)			
	Gras 10 juli 1980		Maïs 10 juli 1980		Gras 1 juni 1979		Maïs 1 juni 1979	
	Voor	Na	Voor	Na	Voor	Na	Voor	Na
	<b>Bodemtype</b>							
Podzolgrond	4,3	4,3	4,3	4,3	2,4	2,4	2,4	2,4
Beekeerdgrond	2,7	2,9	2,7	2,9	1,2	1,1	1,2	1,1
Ooivaaggrond	2,3	2,3	2,3	2,3	0,7	1,2	0,7	1,2

## CONCLUSIES

- Door bodemverbetering is er minder oppervlakkige afvoer en daarmee vermindert de piekafvoer.
- Door bodemverbetering ontstaat er bij een matige bui gemiddeld 6 tot 12 mm minder piekafvoer.
- Door bodemverbetering kan een matige bui geheel in de bodem worden opgevangen en is de oppervlakkige afvoer tot nul teruggebracht.
- Bodemverbetering heeft grotere invloed op het verminderen van de oppervlakkige afvoer bij een matige bui.
- Bodemverbetering levert het meest effect op het voorkomen of afnemen van oppervlakkige afvoer bij de podzol- en beekeerdgrond en in mindere mate bij de ooivaaggrond.
- De resultaten bevestigen de resultaten van het onderzoek naar het effect van verbeterde veldcondities in Engeland en Wales (Holman et al., 2011), waar een verminderde piekafvoer van 10% is aangetoond.
- Tussen gras of maïsland is geen significant verschil in oppervlakkige afvoer dan wel drainage aangetoond, oorzaak zit mogelijk in de rekenmethode van SWAP 2.0.
- Door bodemverbetering is er over het algemeen geen significant verschil te zien in drainage naar dieper grondwater.
- Alleen op de ooivaaggrond is er na een extreme bui een toename in wegzijging van 30% naar dieper grondwater door bodemverbetering. In de overige gevallen leidt bodemverbetering tot een toename van het opgeslagen vocht in het bodemprofiel (zie 4.2).

Naar verwachting leidt minder oppervlakkige afvoer tot een betere waterkwaliteit van het ontvangende oppervlaktewater, maar daar is in dit onderzoek verder geen aandacht aan besteed.



## 4.2 WATERBERGEND VERMOGEN

De hoeveelheid poriën en organische stof bepaalt het waterbergend vermogen. Waterbergend vermogen neemt toe met een toenemend poriënvolume. De benutting van het poriënvolume voor waterberging is afhankelijk van de hoeveelheid lucht in de poriën. Dit wordt beïnvloed door o.a. bodembewerking en gewas, maar is ook afhankelijk van de waterhuishoudkundige situatie op het moment. Daarom is gekeken naar zowel een zomer en wintersituatie. In de winter is over het algemeen meer water aanwezig in het bodemprofiel (hogere grondwaterstanden) dan in de zomer. Hierdoor is het waterbergend vermogen (hier beschouwd als de capaciteit om extra water in de bodem op te nemen) in de zomer groter.

Een bodem na bodemverbetering heeft het vermogen om meer vocht vast te houden door de toename in poriën en organische stof. De hoeveelheid water die in een periode is opgeslagen kan bepaald worden aan de hand van het verschil tussen aanvoer en afvoer in die periode. Om het waterbergend vermogen te bepalen is gekeken naar het verschil tussen de waterberging na de buien zoals weergegeven in tabel 4 (18 augustus 1982, 10 juni 1980 en 1 juni 1976). Daarnaast is gekozen om het effect van regenbuien in de winter (6 januari 1975, 2 november 1977 en 27 november 1983) op het waterbergend vermogen te bepalen (tabel 5). De regenval op deze data is representatief voor een normale, matige en extreme neerslaggebeurtenis in de zomer en winter. In tabel 4 en 5 is het waterbergend vermogen per dag, per bodemtype en gewas weergegeven. De hoeveelheden zijn afgeleid van de waterbalans in bijlage 4.

In dit geval hebben we gekeken naar het waterbergend vermogen in het gesimuleerde profiel van 3 meter zoals opgenomen in het model (zie tabel 1). We hebben daarbij niet het effect van bodemverbetering op de diepere infiltratie meegenomen omdat er geen significant verschil is aangetoond (tabel 3).

TABEL 4 WATERBERGEND VERMOGEN IN DE ZOMER PER BODEMTYPE EN GEWAS, VOOR EN NA BODEMVERBETERING IN MM

Gewas	Een normale bui van 10,3 mm				Een matige bui van 30,9 mm				Een extreme bui van 60,4 mm			
	Gras		Maïs		Gras		Maïs		Gras		Maïs	
	18-8-1982		18-8-1982		10-7-1980		10-7-1980		1-6-1979		1-6-1979	
Bodemtype	Voor	Na	Voor	Na	Voor	Na	Voor	Na	Voor	Na	Voor	Na
Podzolgrond	1,0	1,0	1,0	1,0	11,7	24,2	11,7	24,2	41,5	51,5	41,5	51,5
Beekeerdgrond	1,0	0,9	1,0	0,9	6,7	16,9	6,7	16,9	22,8	25,7	22,8	25,7
Ooivaaggrond	3,4	3,4	3,4	3,4	6,5	12,7	6,5	12,7	27,9	30,8	27,9	30,8

TABEL 5 WATERBERGEND VERMOGEN IN DE WINTER PER BODEMTYPE EN GEWAS, VOOR EN NA BODEMVERBETERING IN MM

Gewas	Een normale bui van 16,7 mm				Een matige bui van 23,1 mm				Een extreme bui van 38,7 mm			
	Gras		Maïs		Gras		Maïs		Gras		Maïs	
	6-1-1975		6-1-1975		2-11-1977		2-11-1977		27-11-1983		27-11-1983	
Bodemtype	Voor	Na	Voor	Na	Voor	Na	Voor	Na	Voor	Na	Voor	Na
Podzolgrond	10,7	10,6	10,7	10,6	15,0	15,0	15,0	15,0	30,3	30,3	30,3	30,3
Beekeerdgrond	10,4	10,3	10,4	10,3	14,3	14,3	14,3	14,3	24,1	26,9	24,1	26,9
Ooivaaggrond	12,5	12,4	12,5	12,4	17,5	17,4	17,5	17,4	30,2	30,2	30,2	30,2

## CONCLUSIES

- Het waterbergend vermogen is erg afhankelijk van de hydrologische situatie en is daarvoor tijdsafhankelijk.
- Door bodemverbetering ontstaat er in de zomer afhankelijk van het type bui en bodemtype 3 tot 12,5 mm meer waterbergend vermogen.
- Het effect van bodemverbetering op het waterbergend vermogen is niet zichtbaar bij een relatief kleine bui (in dit geval 10,3 mm).
- Het waterbergend vermogen tijdens een regenbui kan door bodemverbetering verdubbelen ten opzichte van het waterbergend vermogen zonder bodemverbetering.
- In de winter is er geen significant voordeel te halen door het toepassen van bodemverbetering kijkend naar een normale en matige bui. Dat is ook te verwachten. Als het grotere poriënvolume voor een regenbui al vol zit, kan het zijn dat er niet meer bergingscapaciteit aanwezig is dan bij een situatie zonder bodemverbetering.
- Echter bij een extreme bui in de winter is op de beekerdgrond wel voordeel te behalen, namelijk 2,8 mm meer waterbergend vermogen met bodemverbetering. Dit is te relateren aan de afname van de oppervlakkige afvoer.
- Bodemverbetering levert het meeste effect op het waterbergendvermogen bij de podzol en beekerdgrond.
- De toename van de waterberging is iets groter dan de afname van de oppervlakkige afvoer door, toename van de bodemstructuur (organische stof en poriënvolume) over de gehele bouwvoor.

### 4.3 VOCHTVASTHOUDEND VERMOGEN

De grotere buffercapaciteit van een bodem komt niet alleen tot uiting in lagere piekafvoeren, maar ook in een grotere vochtbeschikbaarheid tijdens droogte. Dat kan gerealiseerd worden door een grotere vochtvoorraad in de toplaag. Het vochthoudend vermogen wordt medebepaald door de hoeveelheid organische stof. Organische stof heeft het vermogen om vocht te binden. Per 1% organische stof in de bouwvoor kan worden gerekend op 6 mm beschikbaar bodemvocht (Van Eekeren et al., 2008). In het geval van een toegenomen worteldiepte is ook langer en meer water beschikbaar door capillaire nalevering. Meer water in de wortelzone leidt tot een lagere vochtspanning, en dus tot een grotere waterbeschikbaarheid voor het gewas. Het gewas is daardoor minder afhankelijk van neerslag en beregening. Het effect van bodemverbetering op de hoeveelheid vocht is weergegeven in het overbruggen van droogtestress als gevolg van vocht te kort in dagen. Uitgaande van een gewasverdamping van gemiddeld 3 mm per dag (De Kok en Alblas, 1996) betekent dit dat er in geval van droogte maximaal 3 mm wateraanvoer per dag moet plaatsvinden (inlaat of beregening).

In tabel 6 is het aantal dagen droogtestress over de gehele onderzoeksperiode weergegeven. Tevens is berekend hoeveel water er zou moeten worden aangevoerd voor een eventuele beregening (watertekort). Het aantal dagen is afgeleid van de tijdsperiode dat de drukhoogte beperkend wordt voor het gewas voor vochtonttrekking uit de bodem. De vochtigheid van de grond waarbij planten verwelken, verschilt van grond tot grond. De zuigkracht die planten kunnen uitoefenen verschilt per gewas. Voor gras treedt vanaf -300 cm waterdruk groei beperking op en voor maïs treedt groeibeperking op vanaf een druk van -700 cm (Kroes et al., 2008). De drukhoogten in de bouwvoor zijn per bodemtype en door de jaren 1975 – 1984 weergegeven in de grafieken in bijlage 5. In tabel 6 is per bodemtype en gewas het aantal dagen droogtestress weergegeven als een gemiddelde over de jaren 1975 – 1984. Daarnaast is gekeken naar de invloed van bodemverbetering op droogtestress in een droog jaar (1976) en een relatief normaal jaar (1984).

TABEL 6 AANTAL DAGEN DROOGTESTRESS GEMIDDELD PER JAAR EN INLAAT PER JAAR IN MM, VOOR EN NA BODEMVERBETERING

Gewas	Droogtestress in dagen				Watertekort in mm			
	Grasland		Maïsland		Grasland		Maïsland	
	Voor	Na	Voor	Na	Voor	Na	Voor	Na
Podzolgrond	32,8 dagen	25,2 dagen	11,3 dagen	7,9 dagen	98,4 mm	75,6 mm	33,9 mm	23,7 mm
Beekeerdgrond	19,1dagen	9,9 dagen	6,5 dagen	0,2 dagen	57,3 mm	29,7 mm	19,5 mm	0,6 mm
Ooivaaggrond	20,3 dagen	3,2 dagen	3,9 dagen	0,0 dagen	60,9 mm	9,6 mm	11,7 mm	0,0 mm

TABEL 7 AANTAL DAGEN DROOGTESTRESS VOOR EN NA BODEMVERBETERING IN EEN DROOG JAAR

Gewas	Droogtestress in dagen 1976			
	Grasland		Maïsland	
	Voor	Na	Voor	Na
Podzolgrond	102 dagen	114 dagen	46 dagen	47 dagen
Beekeerdgrond	96 dagen	62 dagen	38 dagen	2 dagen
Ooivaaggrond	89 dagen	25 dagen	31 dagen	0 dagen

TABEL 8 AANTAL DAGEN DROOGTESTRESS VOOR EN NA BODEMVERBETERING IN EEN RELATIEF NORMAAL JAAR

Gewas	Droogtestress in dagen 1984			
	Grasland		Maïsland	
	Voor	Na	Voor	Na
Podzolgrond	30 dagen	22 dagen	20 dagen	1 dag
Beekeerdgrond	24 dagen	9 dagen	1 dag	0 dagen
Ooivaaggrond	23 dagen	1 dag	0 dagen	0 dagen

## CONCLUSIES

- Door bodemverbetering kan de droogtestress worden verminderd op grasland met gemiddeld meer dan een week (7,6 op podzol tot 17,1 dagen op ooivaaggrond).
- Op maïsland heerst minder droogtestress en kan de droogte worden verminderd van 6 dagen tot geen droogtestress op de ooivaaggrond.
- De hoeveelheid wateraanvoer na bodemverbetering bevindt zich voor grasland gemiddeld tussen 9,6 en 75 mm, een verminderde aanvoer van 33 tot 84% vergeleken met geen bodemverbetering.
- De benodigde hoeveelheid wateraanvoer kan voor een maïsland op de ooivaaggrond helemaal worden gereduceerd door het toepassen van bodemverbetering.
- Bodemverbetering heeft op de podzolgrond vooral invloed op het overbruggen van droogtestress in een normaal jaar (1984). In een erg droog jaar (1976) heeft bodemverbetering geen reducerend effect op droogtestress op de podzolgrond.
- Bodemverbetering op de bekeerdgrond en ooivaaggrond is zowel in erg droge als normale jaren relevant voor het verminderen van droogtestress.
- In de grafieken (bijlage 5) is goed te zien dat na iedere bui het water door een verbeterd bodemprofiel langer wordt vastgehouden. Iedere piek omhoog wordt veroorzaakt door een regenbui. De lichtblauwe lijn zakt na een regenbui minder snel dan de donkerblauwe lijn (na bodemverbetering). Het verbeterde profiel droogt dus minder snel uit.
- Door bodemverbetering is er meer vocht aanwezig in de bodem in droge perioden. Daardoor is over het algemeen minder wateraanvoer noodzakelijk (uitzondering podzolgrond in 1976). Als de podzolgrond eenmaal uitgedroogd is, kost het wel meer water om weer voldoende vocht beschikbaar te maken voor het gewas.

- In een erg droog jaar (1976) heeft bodemverbetering geen reducerend effect op droogtestress op de podzolgrond.

#### 4.4 VERDAMPING VAN HET GEWAS

Het verbeteren van de bodemstructuur heeft invloed op de waterbalans, maar natuurlijk ook op het gewas. Door het verbeteren van de bodemstructuur is meer vocht beschikbaar voor het gewas. Hierdoor vindt meer verdamping plaats. Verdamping is sterk gecorreleerd aan de gewasproductie, zodat deze ook zal toenemen. Uit overleg met Alterra bleek dat de gewasopbrengst voor met name gras met SWAP slechts indicatief is te bepalen. Door Alterra wordt gewerkt aan een nieuwe methode om nat- en droogteschade te kwantificeren. Om toch een indicatie te kunnen geven van het effect van bodemverbetering op het gewas is daarom alleen gekeken naar de actuele gewasverdamping, en is deze niet vertaald in kg droge stof of voederwaarde. Nadeel van deze methode is dat verandering in natschade niet inzichtelijk wordt gemaakt.

##### **DROOGTESCHADE (SCHIPPER EN KROES, 2013)**

*Bij droogteschade staat de waterbehoefte van planten, transpiratie, CO<sub>2</sub>-opname, fotosynthese en productie van biomassa centraal. Droogte zal in de nabije toekomst steeds meer een probleem worden, omdat de temperatuur in de atmosfeer zal stijgen en neerslagpatronen veranderen, evenals de lengte van het groeiseizoen. Resultaten uit de Droogtestudie Nederland geven aan dat het bodemvochtttekort door klimaatverandering zal stijgen, doordat de potentiële evapotranspiratie zal toenemen, terwijl het gebrek aan neerslag in het groeiseizoen ervoor zorgt dat de actuele evapotranspiratie zal afnemen. Modellen voor de onverzadigde zone, zoals (meta)SWAP, zijn geschikt voor het bepalen van transpiratiereductie door vochttekort (Kroes et al., 2009).*

##### **NATSCHADE (SCHIPPER EN KROES, 2013)**

*Natschade beïnvloedt de gewasopbrengst indirect, via bijvoorbeeld de bewerkbaarheid van de bodem en direct via de aeratie van de bodem, ofwel de zuurstofvoorziening, welke cruciaal is voor planten om te kunnen overleven. Als de bodem te nat wordt, wordt lucht in de bodemporiën vervangen door water en wordt de beschikbaarheid van zuurstof limiterend voor de wortelrespiratie. Planten lijden dan aan zuurstofstress: ze stikken. Natschade in de landbouw wordt mogelijk een steeds groter probleem door de toename van intensieve neerslag gedurende een steeds warmer groeiseizoen en door nattere winters die ook leiden tot een natter voorjaar. Het effect van een slechte aeratie wordt in hydrologische modellen berekend met de reductiefunctie van Feddes (Feddes et al., 1978), die de transpiratiereductie beschrijft in afhankelijkheid van de drukhoogte. Er is echter aangetoond dat deze functie de transpiratiereductie door anaerobe condities onderschat en geen rekening houdt met bijvoorbeeld de temperatuur. Juist de combinatie van hoge temperatuur, die de zuurstofvraag van planten verhoogt, en intensieve neerslag, die de beschikbaarheid van zuurstof verlaagt, is schadelijk voor planten en zal in de toekomst vaker voorkomen. Daarvoor is nu een model beschikbaar (Bartholomeus et al., 2008) dat kansen biedt voor een klimaatrobuuste berekening van de directe gevolgen van wateroverlast.*

Om een uitspraak te kunnen doen over het effect van bodemverbetering op het gewas hebben we gekeken naar de actuele verdamping over het groeiseizoen 1 mei tot 15 oktober. De gewasverdamping is een maat voor de gewasproductie. Het gemiddelde (over 1975-1984) en het effect in een droogjaar (1976) en een relatief normaal jaar (1984) zijn weergegeven in tabel 9 en 10. In bijlage 6 zijn ter illustratie het effect voor en na bodemverbetering op de verdamping van grasland in grafieken opgenomen van het jaar 1984.

TABEL 9 GEMIDDELTE VERDAMPING IN MM PER JAAR VOOR EN NA BODEMVERBETERING

Gewas	Gewasverdamping (mm) van 1975-1984					
	Grasland			Maïsland		
	Voor	Na	Vershil	Voor	Na	Vershil
Bodemtype						
Podzolgrond	232	239	3,2 %	189	205	8,6 %
Beekeerdgrond	239	242	1,2 %	194	211	8,8 %
Ooivaaggrond	235	240	1,9 %	204	210	2,8%

TABEL 10 VERDAMPING IN MM PER DROOG EN NORMAAL JAAR VOOR EN NA BODEMVERBETERING

Gewas	Gewasverdamping (mm) in 1976						Gewasverdamping (mm) in 1984					
	Grasland			Maïsland			Grasland			Maïsland		
	Voor	Na	Vershil	Voor	Na	Vershil	Voor	Na	Vershil	Voor	Na	Vershil
Bodemtype												
Podzolgrond	254	277	8,9 %	188	224	18,9 %	193	205	6,0 %	119	130	8,5 %
Beekeerdgrond	292	315	8,0 %	217	261	20,5 %	203	208	2,8 %	126	130	3,3 %
Ooivaaggrond	317	301	-5,1%	255	264	3,3 %	203	199	-2,0 %	125	129	3,1 %

## CONCLUSIES

- Door bodemverbetering neemt de gewasverdamping in de meeste gevallen duidelijk toe.
- Onder extremere droge perioden zoals in 1976 is de verdamping circa 10% (gras) tot 20% (maïs) hoger.
- De verdamping neemt gemiddeld toe met 1 à 3% na bodemverbetering op grasland en op maïsland met 3 à 9% in een gemiddeld jaar.
- Bij ooivaaggrond is de gewasverdamping na bodemverbetering gemiddeld iets hoger dan zonder bodemverbetering, maar kan het in afzonderlijke jaren ook afnemen. Vooral bij grasland op de ooivaaggrond blijkt de bodemverbetering niet altijd tot een hogere gewasverdamping te leiden (zie 1976 en 1984). Dit kan worden gerelateerd doordat de hoeveelheid vocht in de bodem mogelijk de opwarming van de bodem negatief beïnvloed.
- Doordat het effect van bodemverbetering vooral op droogteschade (natschade is niet meegenomen) is gericht, kunnen de gepresenteerde getallen niet als het complete effect van gewasverdamping worden beschouwd.

# 5

## CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN

In dit onderzoek is inzicht verkregen in de invloed van de bodemstructuur (en met name het bodembeheer) op de kwantiteit van de waterhuishouding. Daarbij is in eerste instantie gekeken naar de meest relevante bodemparameters en hun invloed op de waterhuishouding. Het betreft organische stof, poriënvolume, dichtheid, doorlatendheid en worteldiepte. Deze parameters zijn te beïnvloeden door verandering in het gebruik/beheer van de bodem. Daarbij spelen vruchtwisseling, groenbemesters, gewasresten, grondbewerking, bemesting, structuurverbeteraars en peilbeheer een rol. Het onderzoek moet worden gezien als een eerste indicatie en schetst vooral een beeld van de potentie die bodemverbetering heeft op het watersysteem.

Door het toepassen van een combinatie van bodemverbeteringsmaatregelen kunnen het organische stofgehalte, het poriënvolume, de dichtheid, de doorlatendheid en de worteldiepte toenemen. Door het gebruik van de groenbemester bladrammenas neemt bijvoorbeeld de worteldiepte toe. Het poriënvolume in de bodem neemt toe zodra er minder (zware) bewerking op het land plaatsvindt. Door inzet van bemesting en structuurverbeteraars neemt het organische stofgehalte toe en dichtheid van de bodem af. De exacte toename verschilt per locatie en weersomstandigheden. Op basis van best professional judgement is een inschatting gemaakt van de te verwachten veranderingen in de bodemstructuur.

Vastgesteld kan worden, zoals verwacht, dat het verbeteren van bodemparameters een positieve invloed heeft op de waterbalans. Het onderzoek heeft zich gericht op drie verschillende in het beheergebied van waterschap Veluwe veel voorkomende bodemtypen (podzol, beekerd en ooivaaggrond) en twee veelvoorkomende gewassen (gras en maïs). De berekeningen laten duidelijke verschillen zien tussen de effecten van bodemverbetering op de verschillende bodemtypen. De modeluitkomsten laten geen verschil zien tussen de beide gewassen als het gaat om oppervlakkige afvoer. Dit laatste is mogelijk te verklaren door beperkingen van de modelversie SWAP 2.0 (mond. mededeling Alterra). Wel is het effect van het gewas merkbaar als we kijken naar het vochtvasthoudendvermogen en de verdamping van het gewas.

### **OPPERVLAKKIGE AFVOER**

De oppervlakkige afvoer wordt voor een belangrijk deel bepaald door de doorlatendheid in de bovenste paar cm. Bodemstructuurverbetering heeft hier grote invloed op alle drie de bodemtypen. De oppervlakkige afstroming (de belangrijkste veroorzaker van de piekafvoer in een watersysteem en een belangrijke bron van de uitspoeling van nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen) kan bij een matige bui (30 mm/dag) op een podzolgrond van 10 mm naar 0 mm worden gereduceerd. De oppervlakkige afstroming wordt vooral beïnvloed door maatregelen die de doorlatendheid van de bovenste paar cm van het bodemprofiel verhogen. Een continue bedekking van de bodem, vaste rijpaden, aanbrenge van organische stof en stimulering van het bodemleven zijn maatregelen die verslemping van de bodem tegengaan en de infiltratiecapaciteit verbeteren.

### **WATERBERGEND VERMOGEN**

Het waterbergend vermogen is voor een belangrijk deel afhankelijk van het poriënvolume en de doorlatendheid van de bodem. Het feitelijke extra waterbergend vermogen is echter erg afhankelijk van de hydrologische situatie en is daardoor tijdsafhankelijk. Uit de berekeningen blijkt dat met name in de zomer extra waterberging mag worden verwacht. Voor een bui van 30 mm / dag is een extra berging berekend van 6 mm (ooivaaggrond) tot 12 mm (podzolgrond). Voor de wintersituatie lijkt er geen (groot) bergingsvoordeel te behalen met bodemverbetering. Het waterbergend vermogen wordt vooral beïnvloed door maatregelen die met name het poriënvolume van het bodemprofiel verhogen. Hieronder vallen de maatregelen: het telen van gewassen met een goede wortelgroei, het bevorderen van bodemleven, het verminderen van de druk door berijding en het toevoegen van compost.

### **VOCHTVASTHOUDEND VERMOGEN**

Het vochtvasthoudend vermogen wordt het meest beïnvloed door het organische stofgehalte. Door bodemverbetering kan de bodem meer vocht vasthouden. Hierdoor ontstaat er minder droogtestress tijdens droge perioden. Voor het onderzoek is een reële tijdreeks doorgerekend van 10 jaar. Uit de analyses blijkt dat door bodemverbetering de droogtestress op grasland kan worden verminderd met gemiddeld één à twee weken per jaar. Op maïsland zou in die periode in het geheel geen droogtestress zijn op getreden. Door bodemverbetering is er in droge perioden minder wateraanvoer noodzakelijk. Het vochtvasthoudend vermogen wordt vooral beïnvloed door maatregelen die zowel het poriënvolume, de doorwortelde diepte als het vochtvasthoudend vermogen van het bodemprofiel verhogen. Het telen van gewassen met een goede en diepe wortelgroei, het bevorderen van bodemleven en het verhogen van het organische stofgehalte vergroten de waterbeschikbaarheid in droge perioden.

### **VERDAMPING VAN HET GEWAS**

Door bodemverbetering is er meer vocht aanwezig en kan het gewas meer vocht verdampen. Dit is positief voor de gewasopbrengst. Door bodemverbetering neemt de gewasverdamping in de meeste gevallen duidelijk toe. Onder gemiddelde omstandigheden neemt de verdamping gemiddeld toe met 3% op grasland en op maïsland met 10%. Echter bij ooivaaggrond neemt door bodemverbetering de verdamping in afzonderlijke jaren af. Dit kan worden gerelateerd aan de hoeveelheid vocht in de bodem wat mogelijk de opwarming van de bodem negatief beïnvloedt.

### **DRAAGVLAK AGRARIËRS**

Het zijn de agrariërs die bodemverbetering kunnen toepassen. Op alle bodemtypen is er door bodemverbetering een duidelijk positief effect te zien op de waterbalans. Met name bodemverbetering op een podzol- en beekerdgrond is positief voor het verminderen van de piekafvoer en het toenemen van het waterbufferend vermogen. Het effect van bodemverbetering op het vochtvasthoudend vermogen is voor alle bodemtypen positief. Door het toepassen van bodemverbetering kan door de agrariërs worden geanticipeerd op de gevolgen van de klimaatverandering. De kennis en de mogelijke implementatie van bodemverbeteringstechnieken is getoetst. Aanvankelijk was het de gedachte om meerdere agrariërs te interviewen, binnen het budget hebben we gekozen om een agrariër te interviewen met kennis van het gebied. Uit het interview (bijlage 2) blijkt dat er al best wat kennis over bodemstructuur, organische stof, bodemvruchtbaarheid etc., aanwezig is. De kosten en regelgeving zijn vaak een reden (belemmering) om geen bodemverbeteringsmaatregelen te nemen. Daarnaast is het lastig om de invloed van bodemverbeteringstechnieken op de gewasopbrengst dan wel bodem te bepalen.

## AANBEVELINGEN EN DISCUSSIEPUNTEN

Het gebruikte model (SWAP 2.0) kan alleen lokaal de invloed van de bodem op de waterbalans simuleren. Aanpassingen zijn nodig om ook de invloed van de bodem te simuleren op een stroomgebied.

Het model is het meest betrouwbaar bij lange simulaties (meerdere jaren). Met een korte simulatie kan het zijn dat er een initialisatie probleem ontstaat (mond. mededeling Alterra). Echter is het met SWAP 2.0 niet mogelijk om in een langere simulatie ook dagelijkse data over de waterbalans te verkrijgen. Binnen de scope van dit onderzoek blijkt dat door de korte 1 dagsimulatie een kleine afwijking is ontstaan in de benadering van de waterbalans. De waterbalans wordt alleen weergegeven in de totale lengte van de simulatie. In vergelijking met de overige data blijkt deze afwijking niet significant. In een vervolg studie wordt aangeraden de SWAP versies vanaf 3.2.36 te gebruiken, met nieuwere versies van SWAP is het wel mogelijk om dagsimulaties te bekijken tijdens lange simulaties.

Voor de berekeningen is gekozen van een bodemprofiel van 3,0 meter. Wegzijing naar de diepere ondergrond is sterk afhankelijk van de modelinstelling van de onderrand. Deze is nu zo gekozen dat er realistische waarden voor weerstand en drukhoogte optreden. In de praktijk kunnen die waarden lokaal sterk variëren, met als gevolg een heel andere karakteristiek en gedrag van het grondwatersysteem. Dat heeft ook gevolgen voor het onverzadigde bodemprofiel, en dus ook op het waterbergend vermogen en de oppervlakkige afvoer e.d.

Oppervlakkige afstroming is in de praktijk sterk afhankelijk van de maaiveldligging van een perceel. Een bolle, holle, regelmatige of onregelmatige maaiveldligging geeft heel verschillende resultaten. In het gebruikte model is uitgegaan van een vlak maaiveld, waar water oppervlakkig van gaat afspoelen als er meer dan 1 cm water op het maaiveld staat.

In deze modelsimulaties is niet de invloed van de macroporiën meegenomen. De macroporiën zijn erg bepalend voor het waterbergend vermogen. Daarnaast is eventuele inzijing van kwel en greppelwater niet meegenomen in het model. Deze informatie en overige kunnen uit verschillende onderzoeks- en pilotprojecten worden verkregen met betrekking tot de verandering in bodemparameters.

Om in de toekomst nauwkeurige voorspellingen te kunnen doen van de invloed van bodemverbetering op de regionale waterbalans is een verdere ontwikkeling van het modelinstrumentarium gewenst.



# LITERATUUR

Bartholomeus, R. P., J.M. Witte, P. M., Bodegom, J.C. Van Dam en R. Aerts, 2008. Critical soil conditions for oxygen stress to plant roots: Substituting the Feddes-function by a process-based model. *Journal of Hydrology*.

Bernaerts, S., 2009. Vaste rijpaden bieden veel voordeel. *BioKennis, Akkerbouw en vollegrondsgroente*, nr. 26.

Boer, H.C. de, G. van Duinkerken, A.P. Philipsen en H.A. van Schooten, 2003. Alternatieve Voedergrassen. *Praktijkrapport Rundvee 27*.

Boer, H.C., André G., en Schils R.L.M. 2004. Aanvoer van organische mest op grasland: stikstofterugwinning en effect op chemische bodemkwaliteit. *Praktijkrapport Rundvee 60*.

Bokhorst, J.G., E. Heeres, C. ter Berg, N.J.M. van Eekeren. 2006. *Bodem in Zicht: Beoordelen en verbeteren van de bodemkwaliteit*. Louis Bolk Instituut, Driebergen.

De Buck, A., 2012. Samengestelde peilgestuurde drainage. Gepubliceerd op [www.kennisakker.nl](http://www.kennisakker.nl), 03-02-2012.

De Buck, A., en J.R. Van der Schoot, 2010. Samengestelde peilgestuurde drainage, nieuwsbrief juni 2010, interactief waterbeheer.

De Kok, V.P.H.M., J. Alblas, 1996. Effecten van grondbewerking en organische stof op de structuur van de bouwvoor. Verslag nr. 226, PAGV Lelystad, 68 pp.

Eldering C., C. den Herder, P. Hooijman, L. Persoon, J. Salomons, E. Visser, J. Wander, onb. Deskstudie verbetering mogelijkheden groenbemesters + nieuwe groenbemesters. DLV Plant en Radboud Universiteit Nijmegen, projectnummer 438341.

Ennik G.C., M. Gillet en L. Sibma, 1980. Effect of high nitrogen supply on sward deterioration and root mass. The role of nitrogen in intensive grassland production. Prins W.H. & G.H. Arnol (ed.). Pudoc, Wageningen. pp 67-76.

Faber, J.H., G.A.J.M. Jagers op Akkerhuis, J. Bloem, J. Lahr, W.H. Diemont en L.C. Braat, 2009. Ecosysteemdiensten en bodemgebruik; Maatregelen ter verbetering van biologische bodemkwaliteit. Wageningen, Alterra, rapport 1813.

Faber, J.H. en A. van der Hout, 2009. Introductie van regenwormen ter verbetering van bodemkwaliteit. Wageningen, Alterra, rapport 1905.

Feddes, R.A., P.J. Kowalik and H. Zaradny, 1978. Simulation of field water use and crop yield. *Simulation Monographs*. Pudoc, Wageningen, 189 pag.

Fliessbach, A., H.R. Oberholzer, L. Gunst and P. Mäder, 2007. Soil organic matter and biological soil quality indicators after 21 years of organic and conventional farming. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 118 pp. 273-284

Folkerts, H., J.K. Kouwenhoven & U.D. Perdok, 1981. Mogelijkheden voor de rijbanenteelt. *Landbouwmechanisatie* 32: 499-504.

Geertsema, W., H. Runhaar, T. Spek, E. Steingröver en J.P.M. Witte, 2011. *Klimaatadaptatie droge rurale zandgronden-Gelderland*, KvK rapportnummer KvK/034/2011.

Holman, I.P., 2006. Climate change impacts on groundwater recharge – uncertainty, shortcomings and the way forward? *Hydrogeology Journal* 14(5) pp 637-647.

Holman, I.P., T.M. Hess, S.C. Rose, 2011. A broad-scale assessment of the effect of improved soil management on catchment baseflow index. *Hydrological Processes* 25 pp. 2563-2572.

Koopmans, C.J., F.W. Smeding, R. Rutgers, J. Bloem en N. van Eekeren, 2006. *Biodiversiteit en bodembeheer in de landbouw*. Louis Bolk Instituut, RIVM, WUR-Alterra

Kroes, J.G., J.C. Van Dam, P. Groenendijk, R.F.A. Hendriks en C.M.C. Jacobs, 2009. *SWAP version 3.2. Theory description and user manual*. Update 02.

Kroes, J.G., J.C. Van Dam, P. Groenendijk, R.F.A. Hendriks en C.M.C. Jacobs, 2008, *SWAP version 3.2, theory description and user manual*, Alterra, rapport 1649, Wageningen.

Kroes, J.G., J.C. van Dam, J. Huygen and R.W. Vervoort, 1999. *User's Guide of SWAP version 2.0; Simulation of water flow, solute transport and plant growth in the Soil-Water-Atmosphere-Plant environment*. Wageningen Agricultural University. Report 81, DLO Winand Staring Centre. Technical Document 53.

Lamers, J. G., U. D. Perdok, L. M. Lumkes and J. J. Klooster. 1986. "Controlled traffic farming systems in The Netherlands." *Soil and Tillage Research* 8:65-76.

Luske, B., J. Deru, H. Wösten, J. Faber en N. van Eekeren, 2012. *Beworteling van grasland en droogtetolerantie. Maatregelen voor een diepere beworteling*. Louis Bolk Instituut.

Mendonca, L.A.R., M.A.N. Vasquez, J.V. Feitosa, J.F. de Oliveira, R.M. da Franca, E.M.F. Vasquez en H. Frischkorn, 2009. Evaluation of the infiltration capacity of soils under different types of management. *Engenharia Sanitaria e Ambiental* 14(1) pp 89-98.

Monteith, J.L., 1965. Evaporation and the environment. In: *The State and Movement of Water in Living Organisms*. XIXth Symposium. Soc. for xp. Biol., Swansea. Cambridge University Press. Pp 205-234.

Monteith, J.L., 1981. Evaporation and surface temperature. *Quarterly J. Royal Meteo Soc.* 107: 1-27.

Morgan, R.P.C., 2006. *Soil erosion and conservation*. National Soil Resources Institute, Cranfield University, Blackwell Publishing.

Mualem, Y., 1976. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. *Water Resour. Res.*, 12: 513-522.

Pleijter, M., 2003. Veengronden en moerige gronden op de Bodemkaart van Nederland anno 2003. Alterra-rapport 1029

Ruijter, F.J. en A.L. Smit, 2007. Het lot van stikstof uit gewasresten. Plant Research International BV., rapport 133, Wageningen.

Rozemeijer, J. en Y. van der Velde, 2008. Oppervlakkige afstroming ook van belang in het vlakke Nederland. *H2O*, nr 19: 92-94.

Rozemeijer, J.C., H.P. Broers, A. Visser, W. Borren, L. Gerner, B. van IJzendoorn, A. Kramer-Hoenderboom, 2012. Veldonderzoek naar de effecten van peilgestuurde drainage op grondwaterstanden, drainafvoeren en waterkwaliteit op het Oost-Nederlands Plateau. Deltares rapportnummer 1201979-000-BGS-001, Utrecht.

Schipper, P en J. Kroes, 2013. Uit: actualisatie help-tabellen, coauteur J. van Bakel.

Ten Berge, H. en J. Postma, 2010. Duurzaam bodembeheer in de Nederlandse landbouw. Plant Research International, onderdeel van Wageningen UR.

Talsma, M. en S. Kooiman, 2012. Klimaatadaptief waterbeheer: wat biedt de bodem? Kennismaking, kennisvragen en lopende projecten, STOWA, rapport 24, Amersfoort.

Timmer, R.D., G.W. Korthals en L.P.G. Molendijk, 2004. Teelthandleiding groenbemesters - Algemeen. Gepubliceerd op [www.kennisakker.nl](http://www.kennisakker.nl), 30-04-2004.

Van Balen, D., S. Bernaerts en C. Van Iperen, 2008. Bouwvoorverbetering door middel van diepe grondbewerking. *BioKennis, Akkerbouw en vollegrondsgroente*, nr. 14.

Van Balen, D., 2012. Effect van grondbewerking op bodem en productie. Gepubliceerd op [www.kennisakker.nl](http://www.kennisakker.nl), 03-02-2012.

Van Balen, D. en W. Bussink, 2012. Perspectief van bodemverbeteraars. Gepubliceerd op [www.kennisakker.nl](http://www.kennisakker.nl), 02-05-2012.

Van Dam, J.C., J. Huygen, J.G. Wesseling, R.A. Feddes, P. Kabat, P.E.V. van Walsum, P. Groenendijk en C. A. van Diepen, 1997. Theory of SWAP version 2.0. Simulation of water flow, solute transport and plant growth in the Soil-Water-Atmosphere-Plant environment. Report 71, Department Water Resources, Wageningen Agricultural University/Technical Document 45, DLO Winand Staring Centre, Wageningen.

Van Geel, W.C.A., P.H.M. Dekker, W.J.M. de Groot, J.J.H. van den Akker en H.W.G. Froot, 2007. Structuurherstellend vermogen van groenbemesters. PPO projectrapport 510492.

Van der Schoot, J.R. en J. de Haan, 2012. Effecten van organische stofaanvoer op bodem en productie. Gepubliceerd op [www.kennisakker.nl](http://www.kennisakker.nl), 03-02-2012.

Van Eekeren, N., E. Heeres en F. Smeding, 2003. Leven onder de graszode. Louis Bolk Instituut.

Van Eekeren, N., J. Bokhorst, H. de Boer en M. Hanegraaf, 2008. Van schraal naar rijk zand. Louis Bolk Instituut.

Van Eekeren, N., G. J. van der Burght, B. Philipsen, H. van Schooten en M. de Haan, 2011. Vruchtwisseling van gras en maïs, V-focus april, pagina 24 - 26.

Van Eekeren, N., J. Deru, G. J. van der Burght, en J. Bokhorst, 2012. Veel variatie in beworteling gras op praktijkpercelen, V-focus april, pagina 32 - 33.

Van Genuchten, M.Th., 1980. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 44, 892-898.

Verheijen, F., S. Jeffery, A.C. Bastos, M. van der Velde en I. Diafas, 2010. Biochar Application to Soils A Critical Scientific Review of Effects on Soil Properties, Processes and Functions. EUR 24099 EN, Office for the Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 149pp.

Vermeulen, G.D. Jaar onbekend. Ervaring met een rijpadensysteem voor biologische teelt op grotere schaal. Gepubliceerd op <http://edepot.wur.nl/42523>, beschikbaar, 03-12-2012.

Waterschap Peel en Maasvallei, 2012. Vanaf 2018 alle drainage in Limburg peilgestuurd! Gepubliceerd op <http://www.wpm.nl/projecten/@73267/drainage/>, beschikbaar, 03-12-2012.

Wösten, J.H.M., G.J. Veerman, W.J.M. de Groot en J. Stolte, 2001. Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Startingreeks, Alterra, rapport 153, Wageningen.

Zeeland, M. van, J. Paauw, R.D. Timmer, 2009. Literatuurstudie 'Teelt van groenbemesters in combinatie met niet-kerende grondbewerking' PPO nr. 3250134408.

## BIJLAGE 1

## EXPERT OVERLEG

**Datum:** 12 oktober 2012

**Tijd:** 13.30-15.30

**Locatie:** Waterschap Vallei en Veluwe Apeldoorn

**Aanwezigen:** Deltares, Louis Bolk Instituut, Waterschap Vallei en Veluwe en MWH

**Afwezig:** Piet Groenendijk (Alterra) maar heeft literatuur geleverd.

Tijdens het overleg zijn de veel voorkomende bodemtypen in het gebied van Waterschap Vallei en Veluwe en tevens de bodemtypen die problemen opleveren in natte dan wel droge perioden. De gekozen bodemtypen zijn: podzol, beekerd, enkeerd en zavel. De expertgroep is akkoord om alleen te focussen op de gewastypen die veel voorkomend voorkomen in het waterschap. Dit betreft voornamelijk gras- en maïs. Daarnaast zijn de bodemparameters vastgesteld die invloed hebben op de waterhuishouding. Dit betreft: organische stof, poriënvolume, worteldiepte en infiltratieweerstand. Per bodemtype is de huidige situatie en de verandering die mogelijk is weergegeven door middel van bodemverbeteringstechnieken.

---

**Podzol (bij pH 5)**

Huidige situatie	Na bodemverbetering
Organische stof 2,5%	Organische stof 6%
Poriënvolume 0,27	Poriënvolume 0,5
Worteldiepte 20 cm	Worteldiepte 40 cm
Infiltratie (1° cm) 5mm/uur	Infiltratie (1° cm) 20 mm/uur
Infiltratie 0-20 cm 0,5 mm/uur	Infiltratie 0-20 cm 20 mm/uur

---

**Beekeerd**

Huidige situatie	Na bodemverbetering
Organische stof 3,5%	Organische stof 8%
Poriënvolume 0,27	Poriënvolume 0,45
Worteldiepte 30 cm	Worteldiepte 50 cm
Infiltratie 5 mm/uur	Infiltratie 20 mm/uur

---

**Enkeerd**

Huidige situatie	Na bodemverbetering
Organische stof 13	Organische stof 13%
Poriënvolume 0,5	Poriënvolume 0,5
Worteldiepte 80 cm	Worteldiepte 80 cm
Infiltratie 40 mm/uur	Infiltratie 40 mm/uur

---

**Zavel**

Huidige situatie	Na bodemverbetering
Organische stof 2 à 3	Organische stof grasland 6% en maïs 4%
Poriën nader op te zoeken	Poriën nader op te zoeken
Worteldiepte is profiel afhankelijk	Worteldiepte is profiel afhankelijk
Infiltratie 0,5 mm/uur	Infiltratie 20 mm/uur

Om de betreffende parameters te beïnvloeden zijn bodemverbeteringstechnieken geformuleerd:

<b>Bodemparameter</b>	<b>Bodemverbeteringstechniek</b>
Organische stof	drijfmest, mest, compost, NKG.
Poriënvolume	biochar, organische stof toevoeging, vermindering bodembelasting, bodemleven, kalk, gewaskeuze.
Worteldiepte	bemesting, rassen/gewassen, bodemleven, ontwatering (peilbeheer).
Infiltratie	groenbemester, cultivator bij oogst, oogstperiode bedrijfsvoering, bodemleven, mulch, mest.

## BIJLAGE 2

# AGRARIËR INTERVIEW

Op 13 december 2012 heeft agrariër en onder andere vakgroep voorzitter biologische landbouw bij LTO, in een interview de visie en die van haar mede collega's in relatie tot de bodemstructuur toegelicht.

## BEWUSTWORDING

Wat is de reden dat veel agrariërs niet bewust met bodemstructuur bezig zijn?

Is de bewustheid van bodemstructuur afhankelijk van het gewas, bedrijfsvoering, regio, ...?

Is er voldoende kennis van de voordelen van een goede bodemstructuur?

- Er is al best wel wat kennis bij gangbare bedrijven over bodemstructuur, organische stof, bodemvruchtbaarheid e.d., maar vaak zijn de kosten de reden om er niets aan te doen. De kosten zijn wel duidelijk, de baten niet. Slechts een enkeling is er echt helemaal niet mee bezig.
- Het is lastig om de gevolgen van management op de gewasopbrengst en bodem te filteren uit de meteorologische variaties. Concreet: het verschil tussen een nat of droog jaar is groter dan een procent meer of minder o.s. Het weer wordt vaak snel als oorzaak voor structuurproblemen aangewezen, terwijl dat niet (de enige) oorzaak hoeft te zijn.
- Graan is voor de bodem veel beter dan maïs, maar brengt veel minder op.

## BODEMTYPEN

Op welke bodemtypen is er ervaring met bodemstructuur?

Wat zijn verschillen/overeenkomsten tussen maatregelen op verschillende bodemtypen?

Is in de praktijk te zien dat percelen met een goede structuur minder snel last hebben van water op het land?

- Veel bedrijven hebben zowel gras als maïs nodig. Beide wordt dan op het eigen bedrijf geteeld. Een perceel kan niet jarenlang maïs hebben, dan loopt de opbrengst sterk terug. Om dat te voorkomen worden gras en maïs steeds afgewisseld. Dat betekent ook bij iedere wisseling grondbewerking, met alle gevolgen voor structuur en o.s. van dien.
- Er zijn intensieve veehouderij bedrijven die voor eigen gebruik enkele hectares maïs hebben. Het grootste gedeelte van het voer voor deze bedrijven komt van buitenaf. Omdat zij minder afhankelijk zijn van de opbrengst van eigen grond zijn ze misschien eerder bereid om te experimenteren met structuurverbeterende maatregelen.

## WET/REGELGEVING

Welke wetten en regels zijn van invloed op de agrarische praktijk m.b.t. bodem/meststoffen?

Zitten er tegenstrijdigheden in wetgeving?

Hoe zou in regelgeving omgegaan moeten worden met vaste mest, compost e.d.?

- De gevolgen van het mestbeleid worden de laatste jaren steeds meer zichtbaar. Het is eigenlijk niet meer mogelijk om het o.s. percentage op een redelijk peil te houden.
- Mestwetgeving zou meer gericht moeten zijn op duurzaamheid van het hele ecosysteem, en niet alleen gericht op P en N. Ook C zou in de afwegingen en normen meegewogen moeten worden. Meer C bijvoorbeeld betekent over het algemeen een betere benutting van P en N. De norm voor mestgebruik zou afhankelijk gemaakt kunnen worden van het o.s. gehalte van de bodem.

- Maaisel uit watergangen en bermen zou niet uit de omgeving moeten worden afgevoerd, maar teruggebracht in de kringloop op de agrarische bedrijven.
- Digestaat (restproduct uit vergisters) telt nu mee als dierlijke mest, en is daarmee sterk beperkt in het gebruik. Digestaat heeft echter zo'n meerwaarde voor bodem en gewas (o.a. door koolstof) dat het ruimer toegepast zou moeten kunnen worden.
- In het GLB krijgt ieder bedrijf een bedrag per hectare. Een deel daarvan is een vast bedrag, een deel is afhankelijk van enkele prestaties, de zgn. 'vergroeningspremie'. Duurzaam bodembeheer zou als een van de te leveren prestaties opgenomen moeten worden in de voorwaarden voor de vergroeningspremie.
- Duurzaam bodembeheer is gunstig voor het klimaat, er kan veel C mee worden vastgelegd.

### ORGANISATIE

Welke organisatie zou een sturende/stimulerende/leidende rol moeten hebben m.b.t. bodemstructuur? Is daarin een belangrijke rol weggelegd voor het waterschap? Welke?

Zijn bestuurders van waterschappen zich voldoende bewust van het belang van de bodem voor het waterbeheer?

Hoe kan het belang van de bodem in het waterschapsbestuur meer gaan leven?

- Er is steeds meer aandacht voor de bodem in de agrarische vakliteratuur
- Via landbouwbeleid is meest effectief
- Onbekend hoeveel waterschapsbestuurders hier van weten

### MAATREGELEN

Met welke maatregelen is al ervaring opgedaan?

Waarom vallen sommige maatregelen af, en waarom zijn andere wel geschikt?

Welke belemmeringen moeten weggenomen worden voordat agrariërs met bodemverbetering aan de slag gaan?

- Eigenlijk zou een perceel eens in de paar jaar rust moeten krijgen. Zonder grondbewerking e.d. Maar daarvoor is de marge van de opbrengst te klein.
- Door meer beweiding neemt in sommige gevallen de noodzaak tot graslandvernieuwing af.
- Door beregening zo lang mogelijk uit te stellen wordt het gewas gestimuleerd dieper te wortelen, en wordt het daarmee minder gevoelig voor droogte.
- Maatregelen op het bedrijf: blijvend grasland, vast (potstal)mest, bekalken, water vasthouden door slootjes af te sluiten. Door potstalmest te gebruiken is het o.s. gehalte in drie jaar tijd met ruim 2% gestegen op alle percelen van gemiddeld 3 naar 5%.

### STELLINGEN:

Droogte versus wateroverlast:

- beiden zijn actueel, het een niet erger dan het ander.

Agrariërs zelf verantwoordelijk.

- Op de lange duur is een slechte bodemstructuur in het nadeel van hun bedrijfsvoering.
- Niet kerende grondbewerking en goede banden zijn heel belangrijk. Ook loonwerkers betrekken.

Een betere bodemstructuur verdient zich terug als de prijzen van landbouwproducten hoog genoeg zijn

- tov de investeringen in organisch materiaal en rust of lage saldogewassen die de structu-



ur verbeteren (gras). Als prijzen laag zijn, kiezen boeren voor de korte termijn, en wonen ze de bodem uit. Dit zien zij zelf ook als probleem.

- Zelfs bij biologische akkerbouwbedrijven, die een meerprijs krijgen tov gangbaar voor hun producten, zie je toch vaak geen opbouw van organische stof. Iets dalend, of gelijkblijvend terwijl het te laag is voor een goede bodemvruchtbaarheid. Stro is heel duur, en verkoop ipv onderploegen levert veel op.

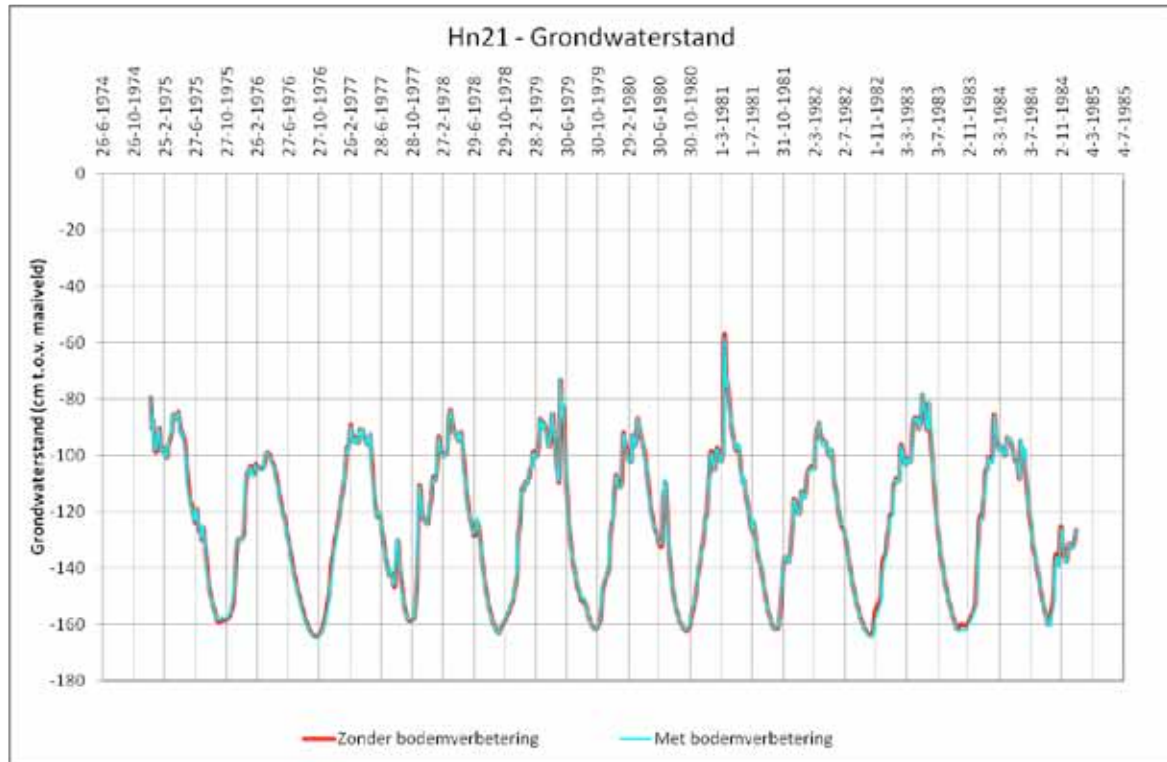
Verkenningen uitvoeren: goed idee.

- Het zou een goed idee zijn om een project op te starten met LTO, het waterschap en het Louis Bolk instituut. Een keukentafelmodel, waarbij de boeren de effecten zien van maatregelen op hun eigen bedrijf zou de basis moeten zijn. Ook het ministerie kan hierin betrokken worden, om te laten zien dat de huidige mestwetgeving onvoldoende C-bemesting borgt. Het moeilijkste in dit project is om boeren te vinden die mee willen doen. Dit zou ook kunnen via Stichting Vernieuwing Gelderse Vallei of via Lami, een milieuprogramma van de provincie. Je zou kunnen beginnen met biologische boeren in de regio, omdat die het meeste affiniteit hebben met de bodem. Maar dat schrikt de gangbaren misschien weer af in een vervolg traject.

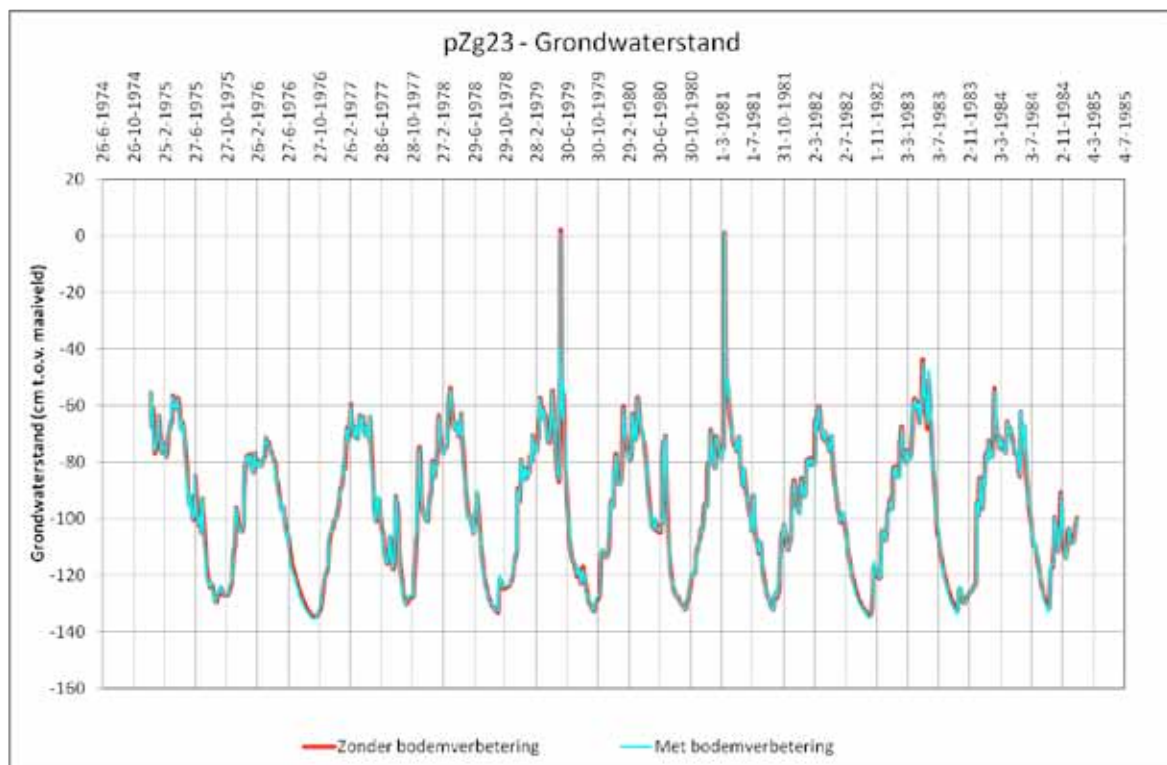
BIJLAGE 3

# GRONDWATERSTANDEN PER BODEMTYPE

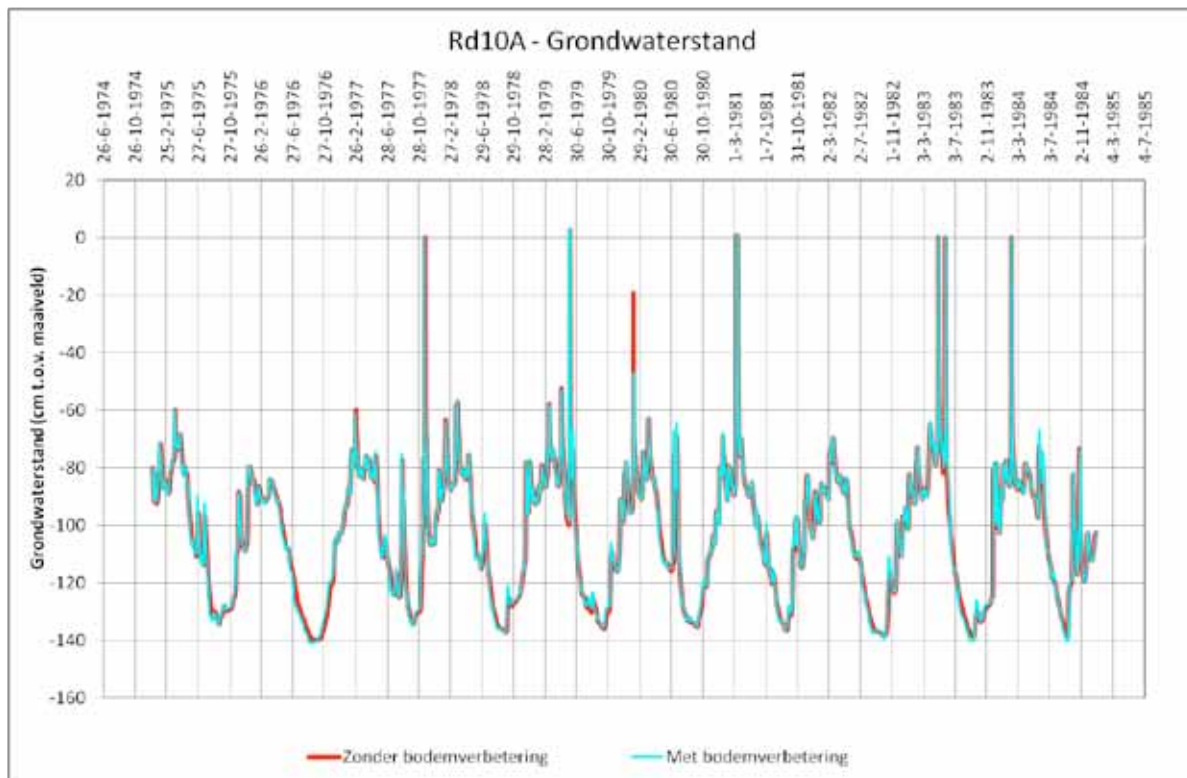
PODZOLGROND



BEEKEERDGROND



OOIVAAGGROND



## BIJLAGE 4

## MODELUITKOMSTEN IN WATERBALANS

## PODZOLGROND EN GRAS

## ZONDER BODEMVERBETERING

woord.BAL - Notepad

File Edit Format View Help

Period : 10/07/1980 until 10/07/1980  
depth soil profile : 300.00 cm

Water storage  
Final : 109.98 cm  
Initial : 108.81 cm  
Change : 1.17 cm

Water balance components (cm)

In		Out	
Rain	: 3.09	Interception	: 0.00
Irrigation	: 0.00	Runoff	: 1.01
Bottom Flux	: -0.43	Transpiration	: 0.00
		soil evaporation	: 0.09
		Crack Flux	: 0.00
		Drainage level 1	: 0.15
Sum	: 2.66	Sum	: 1.25

## MET BODEMVERBETERING

nad.BAL - Notepad

File Edit Format View Help

Period : 10/07/1980 until 10/07/1980  
depth soil profile : 300.00 cm

Water storage  
Final : 112.25 cm  
Initial : 109.83 cm  
Change : 2.42 cm

Water balance components (cm)

In		Out	
Rain	: 3.09	Interception	: 0.00
Irrigation	: 0.00	Runoff	: 0.00
Bottom Flux	: -0.43	Transpiration	: 0.00
		soil evaporation	: 0.09
		Crack Flux	: 0.00
		Drainage level 1	: 0.15
Sum	: 2.66	Sum	: 0.24

voor79d.BAL - Notepad

File Edit Format View Help

Period : 1/06/1979 until 1/06/1979  
depth soil profile : 300.00 cm

Water storage  
Final : 112.96 cm  
Initial : 108.81 cm  
Change : 4.15 cm

Water balance components (cm)

In		Out	
Rain	: 6.04	Interception	: 0.00
Irrigation	: 0.00	Runoff	: 1.27
Bottom Flux	: -0.24	Transpiration	: 0.00
		soil evaporation	: 0.13
		Crack Flux	: 0.00
		Drainage level 1	: 0.15
Sum	: 5.80	Sum	: 1.66

nad.BAL - Notepad

File Edit Format View Help

Period : 1/06/1979 until 1/06/1979  
depth soil profile : 300.00 cm

Water storage  
Final : 114.98 cm  
Initial : 109.83 cm  
Change : 5.15 cm

Water balance components (cm)

In		Out	
Rain	: 6.04	Interception	: 0.00
Irrigation	: 0.00	Runoff	: 0.38
Bottom Flux	: -0.24	Transpiration	: 0.00
		soil evaporation	: 0.13
		Crack Flux	: 0.00
		Drainage level 1	: 0.16
Sum	: 5.80	Sum	: 0.67

Hn75.BAL - Notepad

File Edit Format View Help

Period : 6/01/1975 until 6/01/1975  
depth soil profile : 300.00 cm

Water storage  
Final : 109.88 cm  
Initial : 108.81 cm  
Change : 1.07 cm

Water balance components (cm)

In		Out	
Rain	: 1.67	Interception	: 0.00
Irrigation	: 0.00	Runoff	: 0.00
Bottom Flux	: -0.35	Transpiration	: 0.00
		soil evaporation	: 0.11
		Crack Flux	: 0.00
		Drainage level 1	: 0.15
Sum	: 1.32	Sum	: 0.26

m75.BAL - Notepad

File Edit Format View Help

Period : 6/01/1975 until 6/01/1975  
depth soil profile : 300.00 cm

Water storage  
Final : 110.90 cm  
Initial : 109.83 cm  
Change : 1.06 cm

Water balance components (cm)

In		Out	
Rain	: 1.67	Interception	: 0.00
Irrigation	: 0.00	Runoff	: 0.00
Bottom Flux	: -0.35	Transpiration	: 0.00
		soil evaporation	: 0.11
		Crack Flux	: 0.00
		Drainage level 1	: 0.15
Sum	: 1.32	Sum	: 0.26

Hn77.BAL - Notepad

File Edit Format View Help

Period : 2/11/1977 until 2/11/1977  
depth soil profile : 300.00 cm

Water storage  
Final : 110.31 cm  
Initial : 108.81 cm  
Change : 1.50 cm

Water balance components (cm)

In		Out	
Rain	: 2.31	Interception	: 0.00
Irrigation	: 0.00	Runoff	: 0.00
Bottom Flux	: -0.63	Transpiration	: 0.00
		soil evaporation	: 0.03
		Crack Flux	: 0.00
		Drainage level 1	: 0.14
Sum	: 1.68	Sum	: 0.18

m77.BAL - Notepad

File Edit Format View Help

Period : 2/11/1977 until 2/11/1977  
depth soil profile : 300.00 cm

Water storage  
Final : 111.33 cm  
Initial : 109.83 cm  
Change : 1.50 cm

Water balance components (cm)

In		Out	
Rain	: 2.31	Interception	: 0.00
Irrigation	: 0.00	Runoff	: 0.00
Bottom Flux	: -0.63	Transpiration	: 0.00
		soil evaporation	: 0.03
		Crack Flux	: 0.00
		Drainage level 1	: 0.14
Sum	: 1.68	Sum	: 0.18

ZONDER BODEMVERBETERING

MET BODEMVERBETERING

Hn82.BAL - Notepad

File Edit Format View Help

Period : 18/08/1982 until 18/08/1982  
 Depth soil profile : 300.00 cm

Water storage  
 Final : 108.91 cm  
 Initial : 108.81 cm  
 Change : 0.10 cm

water balance components (cm)

In		Out	
Rain	: 1.03	Interception	: 0.00
Irrigation	: 0.00	Runoff	: 0.00
Bottom flux	: -0.60	Transpiration	: 0.00
		Soil evaporation	: 0.19
		Crack flux	: 0.00
		Drainage level 1	: 0.14
Sum	: 0.43	Sum	: 0.33

m82.BAL - Notepad

File Edit Format View Help

Period : 18/08/1982 until 18/08/1982  
 Depth soil profile : 300.00 cm

Water storage  
 Final : 109.93 cm  
 Initial : 109.83 cm  
 Change : 0.10 cm

water balance components (cm)

In		Out	
Rain	: 1.03	Interception	: 0.00
Irrigation	: 0.00	Runoff	: 0.00
Bottom flux	: -0.60	Transpiration	: 0.00
		Soil evaporation	: 0.19
		Crack flux	: 0.00
		Drainage level 1	: 0.14
Sum	: 0.43	Sum	: 0.33

Hn83.BAL - Notepad

File Edit Format View Help

Period : 27/11/1983 until 27/11/1983  
 Depth soil profile : 300.00 cm

Water storage  
 Final : 111.84 cm  
 Initial : 108.81 cm  
 Change : 3.03 cm

water balance components (cm)

In		Out	
Rain	: 3.87	Interception	: 0.00
Irrigation	: 0.00	Runoff	: 0.00
Bottom flux	: -0.54	Transpiration	: 0.00
		Soil evaporation	: 0.15
		Crack flux	: 0.00
		Drainage level 1	: 0.15
Sum	: 3.33	Sum	: 0.29

m83.BAL - Notepad

File Edit Format View Help

Period : 27/11/1983 until 27/11/1983  
 Depth soil profile : 300.00 cm

Water storage  
 Final : 112.86 cm  
 Initial : 109.83 cm  
 Change : 3.03 cm

water balance components (cm)

In		Out	
Rain	: 3.87	Interception	: 0.00
Irrigation	: 0.00	Runoff	: 0.00
Bottom flux	: -0.55	Transpiration	: 0.00
		Soil evaporation	: 0.15
		Crack flux	: 0.00
		Drainage level 1	: 0.15
Sum	: 3.32	Sum	: 0.30

**PODZOLGROND EN MAÏS**

ZONDER BODEMVERBETERING

MET BODEMVERBETERING

voor.BAL - Notepad

File Edit Format View Help

Period : 10/07/1980 until 10/07/1980  
depth soil profile : 300.00 cm

Water storage  
Final : 109.98 cm  
Initial : 108.81 cm  
Change : 1.17 cm

Water balance components (cm)

In		Out	
Rain	: 3.09	Interception	: 0.00
Irrigation	: 0.00	Runoff	: 1.01
Bottom flux	: -0.43	Transpiration	: 0.00
		soil evaporation	: 0.09
		Crack flux	: 0.00
		Drainage level 1	: 0.15
Sum	: 2.66	Sum	: 1.25

na.BAL - Notepad

File Edit Format View Help

Period : 10/07/1980 until 10/07/1980  
depth soil profile : 300.00 cm

Water storage  
Final : 112.25 cm  
Initial : 109.83 cm  
Change : 2.42 cm

Water balance components (cm)

In		Out	
Rain	: 3.09	Interception	: 0.00
Irrigation	: 0.00	Runoff	: 0.00
Bottom flux	: -0.43	Transpiration	: 0.00
		soil evaporation	: 0.09
		Crack flux	: 0.00
		Drainage level 1	: 0.15
Sum	: 2.66	Sum	: 0.24

voor.BAL - Notepad

File Edit Format View Help

Period : 1/06/1979 until 1/06/1979  
depth soil profile : 300.00 cm

Water storage  
Final : 112.96 cm  
Initial : 108.81 cm  
Change : 4.15 cm

Water balance components (cm)

In		Out	
Rain	: 6.04	Interception	: 0.00
Irrigation	: 0.00	Runoff	: 1.37
Bottom flux	: -0.24	Transpiration	: 0.00
		soil evaporation	: 0.13
		Crack flux	: 0.00
		Drainage level 1	: 0.15
Sum	: 5.80	Sum	: 1.66

na.BAL - Notepad

File Edit Format View Help

Period : 1/06/1979 until 1/06/1979  
depth soil profile : 300.00 cm

Water storage  
Final : 114.98 cm  
Initial : 109.83 cm  
Change : 5.15 cm

Water balance components (cm)

In		Out	
Rain	: 6.04	Interception	: 0.00
Irrigation	: 0.00	Runoff	: 0.38
Bottom flux	: -0.24	Transpiration	: 0.00
		soil evaporation	: 0.13
		Crack flux	: 0.00
		Drainage level 1	: 0.16
Sum	: 5.80	Sum	: 0.67

c75.BAL - Notepad

File Edit Format View Help

Period : 6/01/1975 until 6/01/1975  
depth soil profile : 300.00 cm

Water storage  
Final : 109.88 cm  
Initial : 108.81 cm  
Change : 1.07 cm

Water balance components (cm)

In		Out	
Rain	: 1.67	Interception	: 0.00
Irrigation	: 0.00	Runoff	: 0.00
Bottom flux	: -0.35	Transpiration	: 0.00
		soil evaporation	: 0.11
		Crack flux	: 0.00
		Drainage level 1	: 0.15
Sum	: 1.32	Sum	: 0.26

cm76.BAL - Notepad

File Edit Format View Help

Period : 6/01/1975 until 6/01/1975  
depth soil profile : 300.00 cm

Water storage  
Final : 110.90 cm  
Initial : 109.83 cm  
Change : 1.06 cm

Water balance components (cm)

In		Out	
Rain	: 1.67	Interception	: 0.00
Irrigation	: 0.00	Runoff	: 0.00
Bottom flux	: -0.35	Transpiration	: 0.00
		soil evaporation	: 0.11
		Crack flux	: 0.00
		Drainage level 1	: 0.15
Sum	: 1.32	Sum	: 0.26

c77.BAL - Notepad

File Edit Format View Help

Period : 2/11/1977 until 2/11/1977  
depth soil profile : 300.00 cm

Water storage  
Final : 110.31 cm  
Initial : 108.81 cm  
Change : 1.50 cm

Water balance components (cm)

In		Out	
Rain	: 2.31	Interception	: 0.00
Irrigation	: 0.00	Runoff	: 0.00
Bottom flux	: -0.63	Transpiration	: 0.00
		soil evaporation	: 0.03
		Crack flux	: 0.00
		Drainage level 1	: 0.14
Sum	: 1.68	Sum	: 0.18

cm77.BAL - Notepad

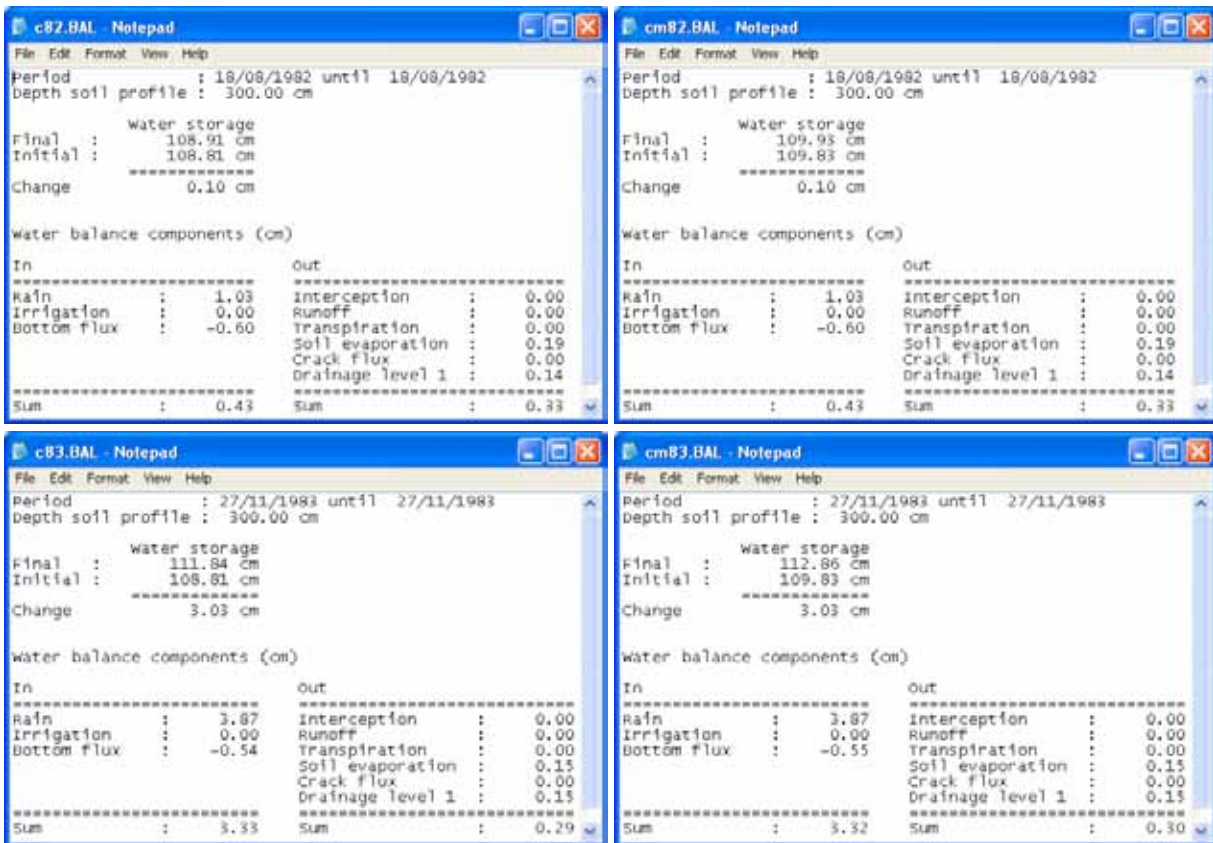
File Edit Format View Help

Period : 2/11/1977 until 2/11/1977  
depth soil profile : 300.00 cm

Water storage  
Final : 111.33 cm  
Initial : 109.83 cm  
Change : 1.50 cm

Water balance components (cm)

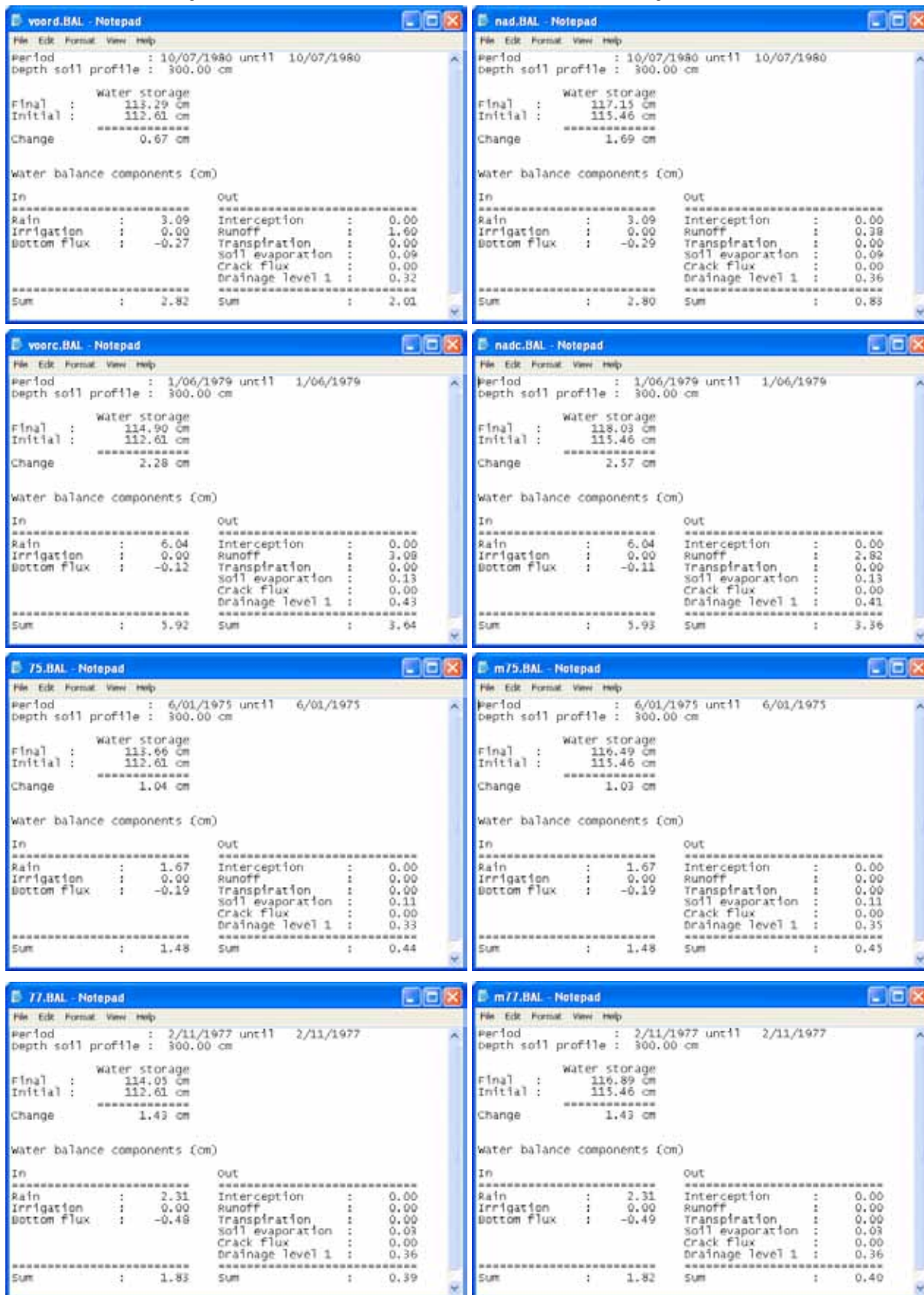
In		Out	
Rain	: 2.31	Interception	: 0.00
Irrigation	: 0.00	Runoff	: 0.00
Bottom flux	: -0.63	Transpiration	: 0.00
		soil evaporation	: 0.03
		Crack flux	: 0.00
		Drainage level 1	: 0.14
Sum	: 1.68	Sum	: 0.18



**BEEKERDGROND EN GRAS**

ZONDER BODEMVERBETERING

MET BODEMVERBETERING





ZONDER BODEMVERBETERING

MET BODEMVERBETERING

83.BAL - Notepad

File Edit Format View Help

Period : 27/11/1983 unt11 27/11/1983  
 Depth soil profile : 300.00 cm

Water storage  
 Final : 115.02 cm  
 Initial : 112.61 cm  
 Change : 2.41 cm

Water balance components (cm)

In		Out	
Rain	: 3.87	Interception	: 0.00
Irrigation	: 0.00	Runoff	: 0.33
Bottom flux	: -0.47	Transpiration	: 0.00
		Soil evaporation	: 0.15
		Crack flux	: 0.00
		Drainage level 1	: 0.31
Sum	: 3.40	Sum	: 0.99

m83.BAL - Notepad

File Edit Format View Help

Period : 27/11/1983 unt11 27/11/1983  
 Depth soil profile : 300.00 cm

Water storage  
 Final : 118.15 cm  
 Initial : 115.46 cm  
 Change : 2.69 cm

Water balance components (cm)

In		Out	
Rain	: 3.87	Interception	: 0.00
Irrigation	: 0.00	Runoff	: 0.07
Bottom flux	: -0.46	Transpiration	: 0.00
		Soil evaporation	: 0.15
		Crack flux	: 0.00
		Drainage level 1	: 0.50
Sum	: 3.41	Sum	: 0.72

82.BAL - Notepad

File Edit Format View Help

Period : 18/08/1982 unt11 18/08/1982  
 Depth soil profile : 300.00 cm

Water storage  
 Final : 112.71 cm  
 Initial : 112.61 cm  
 Change : 0.10 cm

Water balance components (cm)

In		Out	
Rain	: 1.03	Interception	: 0.00
Irrigation	: 0.00	Runoff	: 0.00
Bottom flux	: -0.43	Transpiration	: 0.00
		Soil evaporation	: 0.19
		Crack flux	: 0.00
		Drainage level 1	: 0.31
Sum	: 0.60	Sum	: 0.50

m82.BAL - Notepad

File Edit Format View Help

Period : 18/08/1982 unt11 18/08/1982  
 Depth soil profile : 300.00 cm

Water storage  
 Final : 113.55 cm  
 Initial : 113.46 cm  
 Change : 0.09 cm

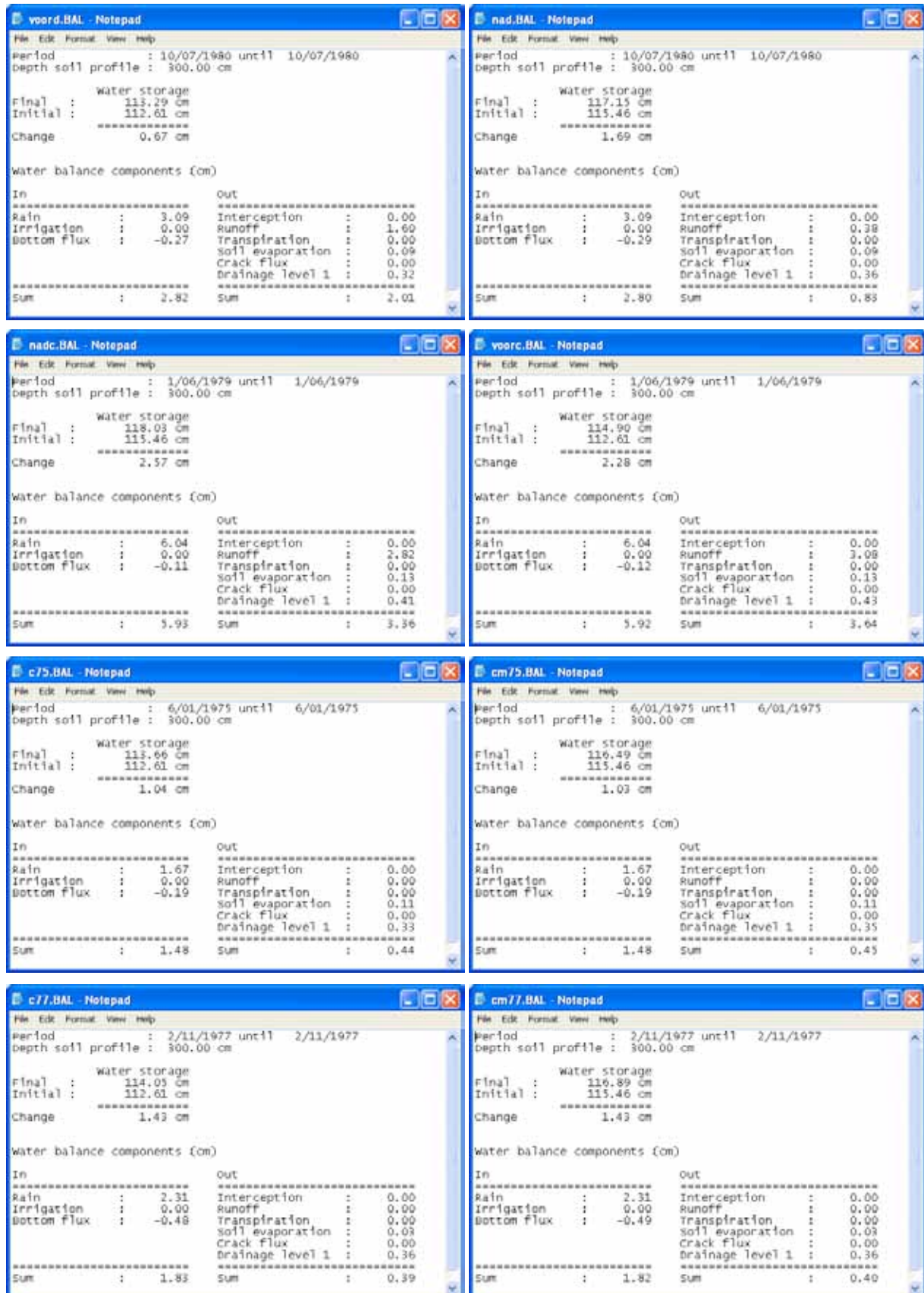
Water balance components (cm)

In		Out	
Rain	: 1.03	Interception	: 0.00
Irrigation	: 0.00	Runoff	: 0.00
Bottom flux	: -0.43	Transpiration	: 0.00
		Soil evaporation	: 0.19
		Crack flux	: 0.00
		Drainage level 1	: 0.52
Sum	: 0.60	Sum	: 0.50

**BEEKERDGROND EN MAÏS**

ZONDER BODEMVERBETERING

MET BODEMVERBETERING



ZONDER BODEMVERBETERING

MET BODEMVERBETERING

```

c83.BAL - Notepad
File Edit Format View Help
Period : 27/11/1983 unt11 27/11/1983
Depth soil profile : 300.00 cm

Water storage
Final : 115.02 cm
Initial : 112.61 cm
Change : 2.41 cm

Water balance components (cm)
In Out
-----
Rain : 3.87 Interception : 0.00
Irrigation : 0.00 Runoff : 0.33
Bottom flux : -0.47 Transpiration : 0.00
Soil evaporation : 0.15
Crack flux : 0.00
Drainage level 1 : 0.51
-----
Sum : 3.40 Sum : 0.99
    
```

```

cm83.BAL - Notepad
File Edit Format View Help
Period : 27/11/1983 unt11 27/11/1983
Depth soil profile : 300.00 cm

Water storage
Final : 118.15 cm
Initial : 115.46 cm
Change : 2.69 cm

Water balance components (cm)
In Out
-----
Rain : 3.87 Interception : 0.00
Irrigation : 0.00 Runoff : 0.07
Bottom flux : -0.46 Transpiration : 0.00
Soil evaporation : 0.15
Crack flux : 0.00
Drainage level 1 : 0.50
-----
Sum : 3.41 Sum : 0.72
    
```

```

c82.BAL - Notepad
File Edit Format View Help
Period : 18/08/1982 unt11 18/08/1982
Depth soil profile : 300.00 cm

Water storage
Final : 112.71 cm
Initial : 112.61 cm
Change : 0.10 cm

Water balance components (cm)
In Out
-----
Rain : 1.03 Interception : 0.00
Irrigation : 0.00 Runoff : 0.00
Bottom flux : -0.43 Transpiration : 0.00
Soil evaporation : 0.19
Crack flux : 0.00
Drainage level 1 : 0.51
-----
Sum : 0.60 Sum : 0.50
    
```

```

cm82.BAL - Notepad
File Edit Format View Help
Period : 18/08/1982 unt11 18/08/1982
Depth soil profile : 300.00 cm

Water storage
Final : 113.55 cm
Initial : 113.46 cm
Change : 0.09 cm

Water balance components (cm)
In Out
-----
Rain : 1.03 Interception : 0.00
Irrigation : 0.00 Runoff : 0.00
Bottom flux : -0.43 Transpiration : 0.00
Soil evaporation : 0.19
Crack flux : 0.00
Drainage level 1 : 0.52
-----
Sum : 0.60 Sum : 0.50
    
```

OOIVAAGGROND EN GRAS

ZONDER BODEMVERBETERING

MET BODEMVERBETERING

voor.BAL - Notepad

File Edit Format View Help

Period : 10/07/1980 unc11 10/07/1980  
 depth soil profile : 300.00 cm

Water storage  
 Final : 134.49 cm  
 Initial : 133.84 cm  
 Change : 0.65 cm

Water balance components (cm)

In		Out	
Rain	: 3.09	Interception	: 0.00
Irrigation	: 0.00	Runoff	: 1.71
Bottom Flux	: -0.23	Transpiration	: 0.00
		soil evaporation	: 0.09
		Crack Flux	: 0.00
		Drainage level 1	: 0.15
Sum	: 2.86	Sum	: 1.95

na.BAL - Notepad

File Edit Format View Help

Period : 10/07/1980 unc11 10/07/1980  
 depth soil profile : 300.00 cm

Water storage  
 Final : 136.09 cm  
 Initial : 134.79 cm  
 Change : 1.27 cm

Water balance components (cm)

In		Out	
Rain	: 3.09	Interception	: 0.00
Irrigation	: 0.00	Runoff	: 1.13
Bottom Flux	: -0.23	Transpiration	: 0.00
		soil evaporation	: 0.09
		Crack Flux	: 0.00
		Drainage level 1	: 0.16
Sum	: 2.86	Sum	: 1.38

voor.BAL - Notepad

File Edit Format View Help

Period : 1/06/1979 unc11 1/06/1979  
 depth soil profile : 300.00 cm

Water storage  
 Final : 136.62 cm  
 Initial : 133.84 cm  
 Change : 2.79 cm

Water balance components (cm)

In		Out	
Rain	: 6.04	Interception	: 0.00
Irrigation	: 0.00	Runoff	: 2.88
Bottom Flux	: -0.07	Transpiration	: 0.00
		soil evaporation	: 0.13
		Crack Flux	: 0.00
		Drainage level 1	: 0.17
Sum	: 5.97	Sum	: 3.18

na.BAL - Notepad

File Edit Format View Help

Period : 1/06/1979 unc11 1/06/1979  
 depth soil profile : 300.00 cm

Water storage  
 Final : 137.87 cm  
 Initial : 134.79 cm  
 Change : 3.08 cm

Water balance components (cm)

In		Out	
Rain	: 6.04	Interception	: 0.00
Irrigation	: 0.00	Runoff	: 2.42
Bottom Flux	: -0.12	Transpiration	: 0.00
		soil evaporation	: 0.13
		Crack Flux	: 0.00
		Drainage level 1	: 0.29
Sum	: 5.92	Sum	: 2.85

75.BAL - Notepad

File Edit Format View Help

Period : 6/01/1975 unc11 6/01/1975  
 depth soil profile : 300.00 cm

Water storage  
 Final : 135.08 cm  
 Initial : 133.84 cm  
 Change : 1.25 cm

Water balance components (cm)

In		Out	
Rain	: 1.67	Interception	: 0.00
Irrigation	: 0.00	Runoff	: 0.00
Bottom Flux	: -0.16	Transpiration	: 0.00
		soil evaporation	: 0.11
		Crack Flux	: 0.00
		Drainage level 1	: 0.16
Sum	: 1.51	Sum	: 0.27

m75.BAL - Notepad

File Edit Format View Help

Period : 6/01/1975 unc11 6/01/1975  
 depth soil profile : 300.00 cm

Water storage  
 Final : 136.03 cm  
 Initial : 134.79 cm  
 Change : 1.24 cm

Water balance components (cm)

In		Out	
Rain	: 1.67	Interception	: 0.00
Irrigation	: 0.00	Runoff	: 0.00
Bottom Flux	: -0.16	Transpiration	: 0.00
		soil evaporation	: 0.11
		Crack Flux	: 0.00
		Drainage level 1	: 0.16
Sum	: 1.51	Sum	: 0.27

77.BAL - Notepad

File Edit Format View Help

Period : 2/11/1977 unc11 2/11/1977  
 depth soil profile : 300.00 cm

Water storage  
 Final : 135.58 cm  
 Initial : 133.84 cm  
 Change : 1.75 cm

Water balance components (cm)

In		Out	
Rain	: 2.31	Interception	: 0.00
Irrigation	: 0.00	Runoff	: 0.00
Bottom Flux	: -0.38	Transpiration	: 0.00
		soil evaporation	: 0.03
		Crack Flux	: 0.00
		Drainage level 1	: 0.15
Sum	: 1.93	Sum	: 0.18

m77.BAL - Notepad

File Edit Format View Help

Period : 2/11/1977 unc11 2/11/1977  
 depth soil profile : 300.00 cm

Water storage  
 Final : 136.53 cm  
 Initial : 134.79 cm  
 Change : 1.74 cm

Water balance components (cm)

In		Out	
Rain	: 2.31	Interception	: 0.00
Irrigation	: 0.00	Runoff	: 0.00
Bottom Flux	: -0.38	Transpiration	: 0.00
		soil evaporation	: 0.03
		Crack Flux	: 0.00
		Drainage level 1	: 0.15
Sum	: 1.93	Sum	: 0.18

ZONDER BODEMVERBETERING

MET BODEMVERBETERING

```

83.BAL - Notepad
File Edit Format View Help
Period : 27/11/1983 untill 27/11/1983
Depth soil profile : 300.00 cm

Water storage
Final : 136.86 cm
Initial : 133.84 cm
Change : 3.02 cm

Water balance components (cm)
In Out
-----
Rain : 3.87 Interception : 0.00
Irrigation : 0.00 Runoff : 0.00
Bottom flux : -0.38 Transpiration : 0.00
Soil evaporation : 0.15
Crack flux : 0.00
Drainage level 1 : 0.33
-----
Sum : 3.49 Sum : 0.48
    
```

```

m83.BAL - Notepad
File Edit Format View Help
Period : 27/11/1983 untill 27/11/1983
Depth soil profile : 300.00 cm

Water storage
Final : 137.81 cm
Initial : 134.79 cm
Change : 3.02 cm

Water balance components (cm)
In Out
-----
Rain : 3.87 Interception : 0.00
Irrigation : 0.00 Runoff : 0.00
Bottom flux : -0.37 Transpiration : 0.00
Soil evaporation : 0.15
Crack flux : 0.00
Drainage level 1 : 0.33
-----
Sum : 3.50 Sum : 0.47
    
```

```

82.BAL - Notepad
File Edit Format View Help
Period : 18/08/1982 untill 18/08/1982
Depth soil profile : 300.00 cm

Water storage
Final : 134.18 cm
Initial : 133.84 cm
Change : 0.34 cm

Water balance components (cm)
In Out
-----
Rain : 1.03 Interception : 0.00
Irrigation : 0.00 Runoff : 0.00
Bottom flux : -0.36 Transpiration : 0.00
Soil evaporation : 0.19
Crack flux : 0.00
Drainage level 1 : 0.14
-----
Sum : 0.67 Sum : 0.33
    
```

```

m82.BAL - Notepad
File Edit Format View Help
Period : 18/08/1982 untill 18/08/1982
Depth soil profile : 300.00 cm

Water storage
Final : 133.13 cm
Initial : 134.79 cm
Change : 0.34 cm

Water balance components (cm)
In Out
-----
Rain : 1.03 Interception : 0.00
Irrigation : 0.00 Runoff : 0.00
Bottom flux : -0.36 Transpiration : 0.00
Soil evaporation : 0.19
Crack flux : 0.00
Drainage level 1 : 0.14
-----
Sum : 0.67 Sum : 0.33
    
```

OOIVAAGGROND EN MAÏS

ZONDER BODEMVERBETERING

MET BODEMVERBETERING

**voord.BAL - Notepad**

File Edit Format View Help

Period : 10/07/1980 until 10/07/1980  
 Depth soil profile : 300.00 cm

Water storage  
 Final : 134.49 cm  
 Initial : 133.84 cm  
 Change : 0.65 cm

Water balance components (cm)

In		Out	
Rain	: 3.09	Interception	: 0.00
Irrigation	: 0.00	Runoff	: 1.71
Bottom flux	: -0.23	Transpiration	: 0.00
		soil evaporation	: 0.09
		Crack flux	: 0.00
		Drainage level 1	: 0.15
Sum	: 2.86	Sum	: 1.95

**naad.BAL - Notepad**

File Edit Format View Help

Period : 10/07/1980 until 10/07/1980  
 Depth soil profile : 300.00 cm

Water storage  
 Final : 136.09 cm  
 Initial : 134.79 cm  
 Change : 1.27 cm

Water balance components (cm)

In		Out	
Rain	: 3.09	Interception	: 0.00
Irrigation	: 0.00	Runoff	: 1.13
Bottom flux	: -0.23	Transpiration	: 0.00
		soil evaporation	: 0.09
		Crack flux	: 0.00
		Drainage level 1	: 0.16
Sum	: 2.86	Sum	: 1.38

**voor.BAL - Notepad**

File Edit Format View Help

Period : 1/06/1979 until 1/06/1979  
 Depth soil profile : 300.00 cm

Water storage  
 Final : 136.62 cm  
 Initial : 133.84 cm  
 Change : 2.79 cm

Water balance components (cm)

In		Out	
Rain	: 6.04	Interception	: 0.00
Irrigation	: 0.00	Runoff	: 2.89
Bottom flux	: -0.07	Transpiration	: 0.00
		soil evaporation	: 0.13
		Crack flux	: 0.00
		Drainage level 1	: 0.17
Sum	: 5.97	Sum	: 3.18

**na.BAL - Notepad**

File Edit Format View Help

Period : 1/06/1979 until 1/06/1979  
 Depth soil profile : 300.00 cm

Water storage  
 Final : 137.87 cm  
 Initial : 134.79 cm  
 Change : 3.08 cm

Water balance components (cm)

In		Out	
Rain	: 6.04	Interception	: 0.00
Irrigation	: 0.00	Runoff	: 2.42
Bottom flux	: -0.12	Transpiration	: 0.00
		soil evaporation	: 0.13
		Crack flux	: 0.00
		Drainage level 1	: 0.29
Sum	: 5.92	Sum	: 2.83

**c/5.BAL - Notepad**

File Edit Format View Help

Period : 6/01/1975 until 6/01/1975  
 Depth soil profile : 300.00 cm

Water storage  
 Final : 135.08 cm  
 Initial : 133.84 cm  
 Change : 1.25 cm

Water balance components (cm)

In		Out	
Rain	: 1.67	Interception	: 0.00
Irrigation	: 0.00	Runoff	: 0.00
Bottom flux	: -0.16	Transpiration	: 0.00
		soil evaporation	: 0.11
		Crack flux	: 0.00
		Drainage level 1	: 0.16
Sum	: 1.51	Sum	: 0.27

**cm/5.BAL - Notepad**

File Edit Format View Help

Period : 6/01/1975 until 6/01/1975  
 Depth soil profile : 300.00 cm

Water storage  
 Final : 136.03 cm  
 Initial : 134.79 cm  
 Change : 1.24 cm

Water balance components (cm)

In		Out	
Rain	: 1.67	Interception	: 0.00
Irrigation	: 0.00	Runoff	: 0.00
Bottom flux	: -0.16	Transpiration	: 0.00
		soil evaporation	: 0.11
		Crack flux	: 0.00
		Drainage level 1	: 0.16
Sum	: 1.51	Sum	: 0.27

**c/7.BAL - Notepad**

File Edit Format View Help

Period : 2/11/1977 until 2/11/1977  
 Depth soil profile : 300.00 cm

Water storage  
 Final : 135.58 cm  
 Initial : 133.84 cm  
 Change : 1.75 cm

Water balance components (cm)

In		Out	
Rain	: 2.31	Interception	: 0.00
Irrigation	: 0.00	Runoff	: 0.00
Bottom flux	: -0.38	Transpiration	: 0.00
		soil evaporation	: 0.03
		Crack flux	: 0.00
		Drainage level 1	: 0.15
Sum	: 1.93	Sum	: 0.18

**cm/7.BAL - Notepad**

File Edit Format View Help

Period : 2/11/1977 until 2/11/1977  
 Depth soil profile : 300.00 cm

Water storage  
 Final : 136.53 cm  
 Initial : 134.79 cm  
 Change : 1.74 cm

Water balance components (cm)

In		Out	
Rain	: 2.31	Interception	: 0.00
Irrigation	: 0.00	Runoff	: 0.00
Bottom flux	: -0.38	Transpiration	: 0.00
		soil evaporation	: 0.03
		Crack flux	: 0.00
		Drainage level 1	: 0.15
Sum	: 1.93	Sum	: 0.18

ZONDER BODEMVERBETERING

MET BODEMVERBETERING

c83.BAL - Notepad

File Edit Format View Help

Period : 27/11/1983 until 27/11/1983  
 Depth soil profile : 300.00 cm

Water storage  
 Final : 136.86 cm  
 Initial : 133.84 cm  
 Change : 3.02 cm

Water balance components (cm)

In		Out	
Rain	: 3.87	Interception	: 0.00
Irrigation	: 0.00	Runoff	: 0.00
Bottom flux	: -0.38	Transpiration	: 0.00
		Soil evaporation	: 0.15
		Crack flux	: 0.00
		Drainage level 1	: 0.33
Sum	: 3.49	Sum	: 0.48

cm82.BAL - Notepad

File Edit Format View Help

Period : 18/08/1982 until 18/08/1982  
 Depth soil profile : 300.00 cm

Water storage  
 Final : 135.13 cm  
 Initial : 134.79 cm  
 Change : 0.34 cm

Water balance components (cm)

In		Out	
Rain	: 1.03	Interception	: 0.00
Irrigation	: 0.00	Runoff	: 0.00
Bottom flux	: -0.36	Transpiration	: 0.00
		Soil evaporation	: 0.19
		Crack flux	: 0.00
		Drainage level 1	: 0.14
Sum	: 0.67	Sum	: 0.33

c82.BAL - Notepad

File Edit Format View Help

Period : 18/08/1982 until 18/08/1982  
 Depth soil profile : 300.00 cm

Water storage  
 Final : 134.18 cm  
 Initial : 133.84 cm  
 Change : 0.34 cm

Water balance components (cm)

In		Out	
Rain	: 1.03	Interception	: 0.00
Irrigation	: 0.00	Runoff	: 0.00
Bottom flux	: -0.36	Transpiration	: 0.00
		Soil evaporation	: 0.19
		Crack flux	: 0.00
		Drainage level 1	: 0.14
Sum	: 0.67	Sum	: 0.33

cm83.BAL - Notepad

File Edit Format View Help

Period : 27/11/1983 until 27/11/1983  
 Depth soil profile : 300.00 cm

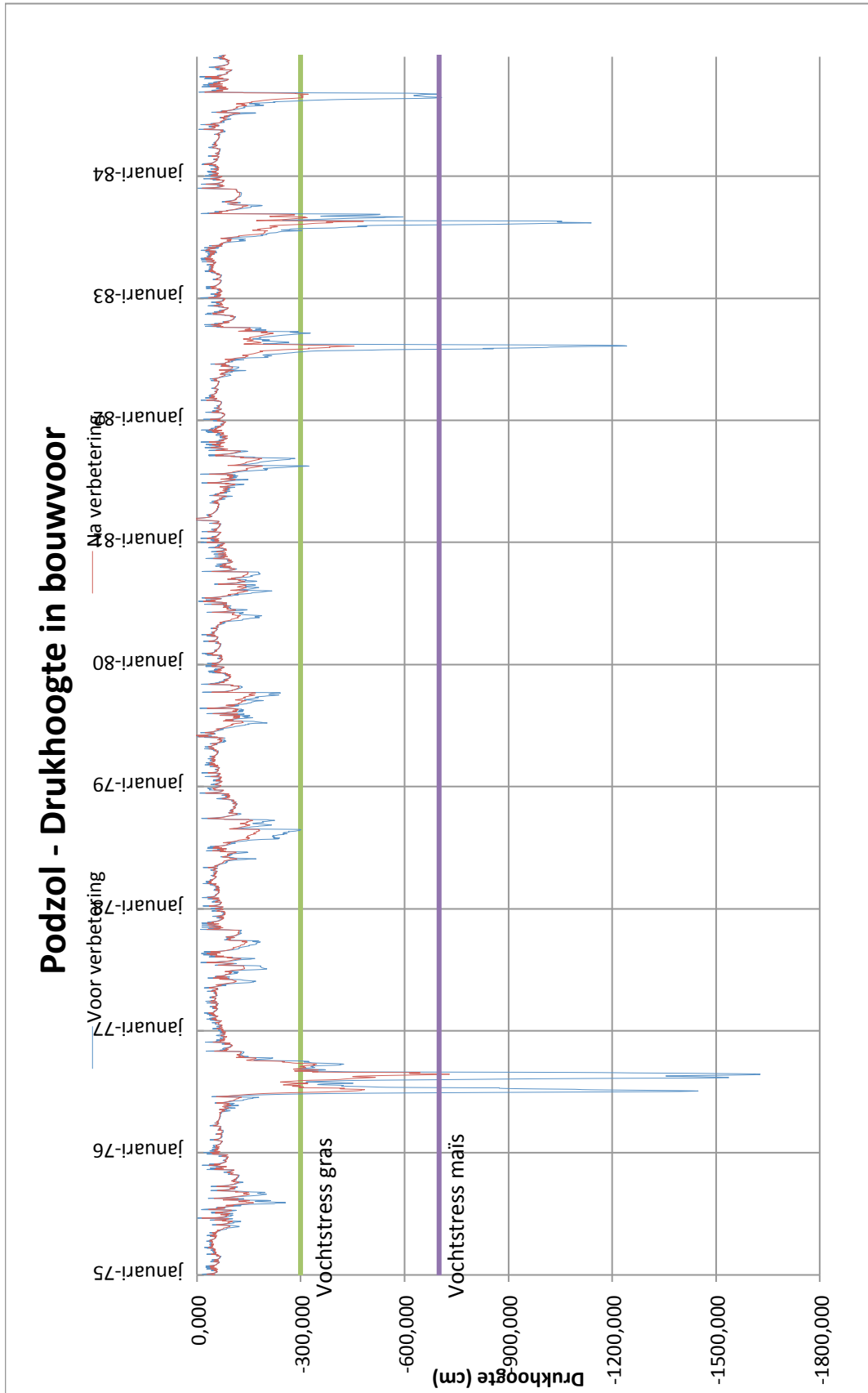
Water storage  
 Final : 137.81 cm  
 Initial : 134.79 cm  
 Change : 3.02 cm

Water balance components (cm)

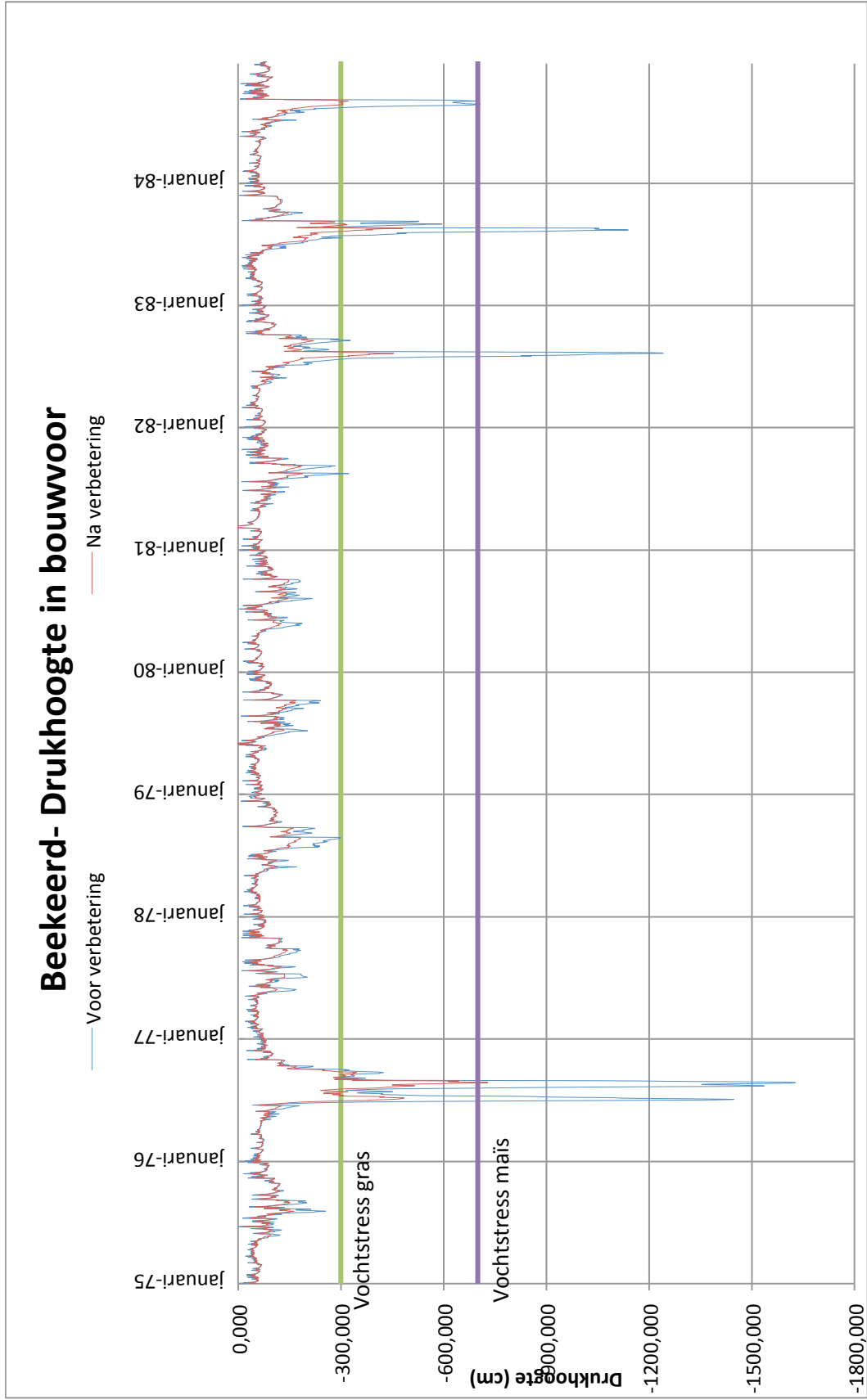
In		Out	
Rain	: 3.87	Interception	: 0.00
Irrigation	: 0.00	Runoff	: 0.00
Bottom flux	: -0.37	Transpiration	: 0.00
		Soil evaporation	: 0.15
		Crack flux	: 0.00
		Drainage level 1	: 0.33
Sum	: 3.50	Sum	: 0.47

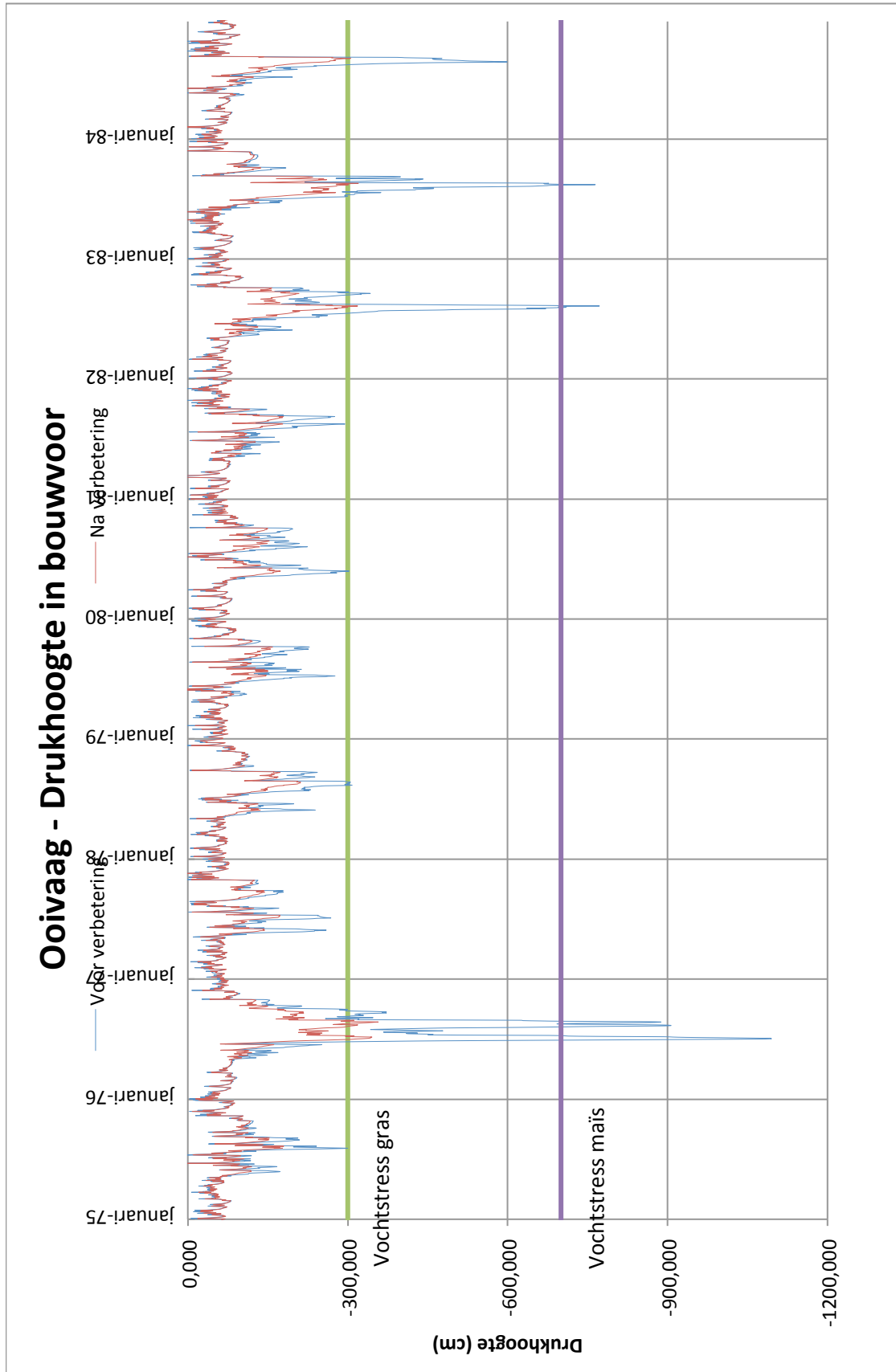
BIJLAGE 5

# MODELUITKOMSTEN VOCHTTTEKORT









BIJLAGE 6

# MODELUITKOMSTEN ACTUELE VERDAMPING

