

**stowa**

EEN BESCHOUWING OP GROND VAN EEN EERSTE ONDERZOEK BIJ WATERSCHAP  
VALLEI EN VELUWE EN AANBEVELINGEN VOOR EEN VERVOLG

# DE INVLOED VAN BODEMSTRUCTUUR OP HET WATERSYSTEEM



RAPPORT

2013  
**13B**

DE INVLOED VAN BODEMSTRUCTUUR OP HET WATERSYSTEEM  
EEN BESCHOUWING OP GROND VAN EEN EERSTE ONDERZOEK BIJ  
WATERSCHAP VALLEI EN VELUWE EN AANBEVELINGEN VOOR EEN VERVOLG

RAPPORT

2013  
**13B**

ISBN 978.90.5773.619.3



# COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer  
Postbus 2180  
3800 CD Amersfoort

AUTEURS  
Bjartur Swart / Maaïke Broos (MWH-Global)

MET BIJDRAGEN VAN  
Peter Schipper / Piet Groenedijk (Alterra)  
Nick van Eekeren / Geert-Jan van der Burgt (Louis Bolk Instituut)  
Gijs Janssen / Pauline van Gaans (Deltares)

BEGELEIDING DOOR  
Michelle Talsma (STOWA)  
Rob Ruijtenberg (Bureau WeL namens STOWA)  
Marinus van Dijk (Waterschap Vallei en Veluwe)

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau  
STOWA STOWA 2013-13B  
ISBN 978.90.5773.619.3

**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 hebben wij 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 bewustzijn 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. Een eerste studie op dat vlak van Waterschap Veluwe (nu Waterschap Vallei en Veluwe) willen we dan ook graag aangrijpen om het belang van de bodem voor de Nederlandse waterhuishouding te indiceren en aan te geven welke stappen de komende tijd gezet kunnen worden om juist in het kader van het Deltaprogramma Agrarisch Waterbeheer in de toekomst de juiste maatregelen voor zowel de landbouw als het watersysteem te kunnen nemen.

Wij hopen dat deze rapportage samen met rapport 13 deel A 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

# SAMENVATTING

Agrarisch bodembeheer heeft een belangrijke invloed op de waterhuishouding. Er zijn sterke aanwijzingen dat de bodemstructuur in veel landbouwgronden verre van optimaal is. Niet optimaal gelet op de zuurstof- en waterhuishouding, bewortelbaarheid, organische stof, nutriëntenhuishouding en erosiebestendigheid. Notoire facetten van een slechte bodemstructuur zijn korstvorming, verslemping en bodemverdichting onder de ploegzool (door te zware machines en ongunstige bodembewerking). Uit het KvK/KvR project Klimaat en Landbouw Noord Nederland bleek nadrukkelijk dat het verbeteren van de bodemstructuur één van de belangrijkste remedies is tegen zowel wateroverlast als tegen de toename in het aantal perioden met vochttekorten. Een goede bodem is dus van belang voor zowel de boer als voor de waterbeheerder. Daarmee lijkt de bodem, als een buffer, ook een belangrijk instrument in het regionale waterbeheer.

In een poging om meer zicht te krijgen op de kwantitatieve potenties van bodemstructuurverbetering op de regionale waterhuishouding heeft Waterschap Veluwe (nu Waterschap Vallei en Veluwe), begeleid door de STOWA, het initiatief genomen om een eerste globale studie uit te voeren naar regionale invloed van bodemstructuur verbeterende maatregelen op de water aan- en afvoerbehoefte in een stroomgebied. Met de bestaande kennis omtrent de relatie tussen landbouwkundige maatregelen en de bodemparameters en de relatie tussen de gewasgroei, bodemvochtvoorziening en de invloed op het watersysteem zijn, in samenwerking met adviesbureau MWH, door het waterschap Vallei en Veluwe oriënterende berekeningen uitgevoerd met het model SWAP. Verder is geïnventariseerd welke maatregelen mogelijk zijn om de structuur van landbouwbodems te verbeteren.

Deze studie is ondersteund door een expertgroep, bestaande uit deskundigen van Alterra, het Louis Bolk Instituut en Deltares. De studie is éénmalig begeleid door een klankbordgroep van STOWA met daarin een vertegenwoordiging van verschillende waterschappen en SKB.

De studie is als STOWA-rapport 2013 – 13A uitgebracht onder de titel: “De invloed van bodemstructuur op het watersysteem. Een verkenning.”

Alterra heeft daarnaast in aanvulling op de modelstudie van Vallei en Veluwe op eigen initiatief verdere indicatieve berekeningen uitgevoerd om het effect van bodemverdichting op de waterhuishouding en gewasgroei te kwantificeren.

Reeds vroeg in het project van waterschap Vallei en Veluwe bleek dat het niet goed mogelijk was om een gebiedstudie uit te voeren. Om toch binnen tijd en budget relevante uitspraken te kunnen doen ten aanzien van de mogelijke invloed van de bodem op het watersysteem hebben het waterschap besloten in te zomen op een drietal bodemtypen die in het beheergebied van Waterschap Vallei en Veluwe veelvuldig voorkomen en na te gaan wat de waterhuishoudkundige relatie is tussen bodembeheer, bodemstructuur en waterhuishouding.

De gekozen bodemtypen zijn:

- Zwak lemig humusarm fijn zand, een goed ontwaterde veldpodzol (Hn21, grondwatertrap VI)
- Lemig fijn zand: een bekeerdgrond (pZg23, grondwatertrap III)
- Lichte zavel, kalkhoudend: een goed ontwaterde ooivaaggrond (Rd10A, grondwatertrap VI).

Deze bodems bevatten vrij weinig humus (en dus ook weinig organische stof) en de doorlatendheid van de bouwvoor is gering ( $k_{\text{sat}} = 0,05$  m/d). Als referentie is uitgegaan van de bodemeigenschappen volgens de zogenaamde Staringsreeks.

Met het model SWAP zijn deze drie bodemtypen voor een langjarige periode op dagbasis doorgekeerd. Een aantal bodem fysische eigenschappen (humusgehalte, dichtheid, porievolume, bewortelingsdiepte en infiltratiecapaciteit) van de bodems zijn daartoe modelmatig zo aangepast dat ze een 'ideale(re)' bodemstructuur zouden krijgen passend bij een set aan bodemstructuur verbeterende maatregelen.

In de onderstaande tabel zijn de veranderingen, zoals aanbevolen door de expertgroep, aangegeven. Om de verschillen te onderzoeken is steeds een berekening uitgevoerd voor de oorspronkelijke situatie (ref= referentie) en een situatie na uitvoering van de (fictieve) bodemstructuurverbetering (rw = rekenwaarde), deze kan binnen de huidige situatie als maximaal haalbaar worden beschouwd.

TABEL 1; DOORGEREKENDE BODEMS MET DE INITIËLE BODEMFYSISCHE PARAMETERS (REFERENTIE) EN DE REKENWAARDEN (RW<sup>1</sup>) VOOR DE VOCHTHUISHOUDING BIJ EEN VERBETERDE BODEMSTRUCTUUR.

Bodem	Diepte (cm-mv)	Humus (%)		Dichtheid (g/cm <sup>3</sup> )		Poriën volume (%)		Worteldiepte Gras (cm)		K <sub>sat</sub> (cm/d)	
		ref	rw	ref	rw	ref	rw	Ref	rw	ref	rw
Hn21	0 - 2	2	6	1.45	1.4	0.46	0.49	25	50	5.4	50
	2 - 25	2	6	1.55	1.4	0.42	0.49			13	50
pZg32	0 - 2	2	8	1.45	1.2	0.46	0.53	30	50	5.4	31
	2 - 25	3	8	1.40	1.2	0.40	0.53			10	31
Rd10A	0 - 20	2,5	6	1.40	1.3	0.43	0.48	30	80	2.4	14

Voor deze drie bodems is het effect nagegaan op de oppervlakkige afstroming, de berging van water en het optreden van droogteschade in het gewas. De berekeningen zijn uitgevoerd voor grasland en mais. Voor grasland is aangenomen dat de worteldiepte door bodemstructuur verbeterende maatregelen toeneemt (tot 50 á 80 cm), voor mais is de worteldiepte (100 cm) niet aangepast.

De berekeningen maken duidelijk dat de invloed van de bodem op het watersysteem in kwantitatief opzicht zeker van belang kan zijn. Op grond van het onderzoek kunnen voor de piekafvoer, de berging en de droogtestress de volgende indicatieve resultaten worden gepresenteerd:

*Vermindering oppervlakkige afstroming:* vooral de geringe doorlatendheid van de podzol- en beekerdgrond in de bovenste 5 cm zorgt ervoor dat een substantieel deel van een zware bui (30 mm/dag of meer) oppervlakkig afstroomt. Deze oppervlakkige afstroming is de belangrijkste oorzaak van piekafvoeren in een stroomgebied en is in het algemeen ook zeer ongunstig voor de belasting van het oppervlaktewater met nutriënten, pesticiden en zware metalen. Na bodemstructuur verbetering treedt bij een regenbui van 30 mm nog nauwelijks oppervlakkige afstroming op. Ook bij een extreme bui van 60 mm daalt de oppervlakkige afstroming aanzienlijk. Dit geeft aan dat piekafvoeren in een stroomgebied door bodemstructuur verbetering substantieel kunnen afnemen.

1 Met de rekenwaarde wordt de aangenomen bovengrens weergegeven van de betreffende parameter.

*Berging van water:* De hoeveelheid poriën en organische stof bepaalt hoeveel water in de bodem tijdens een regenbui kan worden geborgen. Uit de berekeningen blijkt dat de verhoging van het porievolume en het organisch stofgehalte (humus) bij hevige zomerse regenbuien (30 mm of meer) 3 tot 12,5 mm meer water in de bodem wordt geborgen, vooral bij een podzolgrond is de toename groot. Bij winterse regenbuien is nagenoeg geen verschil in waterberging omdat de bodems dan bij aanvang van de bui al nagenoeg verzadigd zijn. Voor de bekeergrond is er dan nog wel een toename van 2,8 mm meer waterbergend vermogen.

- *Gewasschade door droogte:* Gewassen die worden geteeld op bodems met een gering vochthoudend vermogen en een geringe capillaire nalevering zullen tijdens droge perioden water tekort komen. Verhoging van het organisch stofgehalte en diepere wortelgroei zorgen ervoor dat het vochthoudend vermogen toeneemt en meer grondwater via capillaire nalevering de wortels bereikt. Uit berekeningen voor een gemiddeld en vrij droog jaar blijkt dat de aanpassingen van het humusgehalte (organische stof) en diepere wortelgroei het aantal dagen dat gras en mais droogtestress hebben sterk terugdringt. Uitgedrukt in mm watertekort wordt door de aangenomen bodemstructuurverbetering het watertekort teruggebracht met tientallen mm.

In extreem droge jaren (zoals in 1976) kan bodemverbetering droogtestress niet voorkomen maar wel sterk reduceren: op bekeergrond van 96 dagen naar 62 dagen droogtestress en op ooivaaggrond van 89 naar 25 dagen.

In aanvulling op de berekeningen die zijn uitgevoerd door MWH en Vallei en Veluwe, is door Alterra ter ondersteuning van een bijeenkomst over “Landbouw en Water, samen werken aan de bodem in Flevoland” (6 februari 2013) het effect berekend van bodemverdichting voor een zavelgrond met aardappels. De resultaten laten zien dat de resultaten van jaar tot jaar, afhankelijk van de weersomstandigheden kunnen verschillen. Zo bedraagt de oppervlakkige afstroming in een relatief nat jaar (1979) circa 75 mm, en in een daarop volgend vrij gemiddeld jaar circa 50 mm. Dit komt omdat door de aangenomen verdichting in natte perioden minder water in de bodem kan infiltreren.

## CONCLUSIE

De berekeningen, van zowel waterschap Vallei en Veluwe als van Alterra, zijn voorlopig indicatief maar geven een beeld van de mogelijke potentie van bodemstructuur verbeterende maatregelen voor de waterhuishouding. Belangrijk daarbij is de beoordeling in welke mate de landbouw daadwerkelijk in staat is de bodemstructuur zodanig aan te passen dat de door de expertgroep aangegeven waarden voor de verschillende parameters worden bereikt.

Om daadwerkelijk inzicht te verkrijgen in de bijdrage die de landbouw kan leveren aan een verdere verduurzaming en klimaat-adaptief maken van het watersysteem is enerzijds meer feitelijke kennis nodig omtrent de huidige werkelijke toestand van de bodem en de werkelijke invloed van landbouwkundige maatregelen daarop en zullen anderzijds data met betrekking tot bedrijfsvoering en de invloed ervan op de bodemparameters zodanig moeten worden gekoppeld aan de verschillende bestaande modellen dat scenario berekeningen eenvoudig zijn uit te voeren. Het is nu voor de waterbeheerder niet goed mogelijk om inzichtelijk te maken welke type maatregelen het meeste bijdragen aan bijvoorbeeld de water aanvoervraag of aan het beperken van de waterafvoer.

Tijdens het onderzoek is geconstateerd dat veel van de bodemparameters waarmee standaard wordt gerekend (de Staringreeks) zijn gebaseerd op metingen van bodems in de jaren tussen

1965 en 1980. De landbouwbodems zijn door te intensivering van de landbouw en door de toegenomen zwaarte van de machines die op het land rijden sindsdien veranderd. Met name zijn er veel aanwijzingen dat veel landbouwbodems zijn verdicht op het niveau van de ploegzool. Het is dus goed denkbaar dat de vochthuishouding van landbouwbodems is veranderd, terwijl hydrologische modellen nog met de 'oude' bodems rekenen. Door de toenemende aandacht voor het belang van een goede kwaliteit en structuur van landbouwbodems zijn inmiddels wel tal van pilots opgestart waar bodemstructuur verbeterende maatregelen worden uitgevoerd. Echter, het ontbreekt aan adequate meetgegevens om te berekenen en voorspellen wat deze maatregelen voor de waterhuishouding kunnen opleveren. Zonder te weten wat bodem verbeterende maatregelen voor de waterhuishouding opleveren, kunnen de kosten en baten van de maatregelen niet worden afgewogen. Dit kan een belangrijke belemmering zijn om vanuit de pilots te komen tot regionale implementatie.

De studie bij waterschap Vallei en Veluwe is met de hen ter beschikking staande kennis en middelen uitgevoerd. Het leverde het inzicht op dat er voor de waterbeheerder in principe winst te behalen is in bodemstructuurverbetering. Niettemin zijn in de studie ook een aantal vereenvoudigingen aangebracht die het mogelijk moesten maken de studie binnen tijd en budget uit te voeren. Dat leidt er toe dat er discussie kan ontstaan over de realiteit van de parameters en de effecten op de waterhuishouding en landbouw.

In het onderzoek is overigens de invloed van de bodem op de waterkwaliteit niet meegenomen hoewel hier wel effecten te verwachten zijn.

#### **AANBEVELING:**

In het algemeen lijkt het gewenst dat de waterbeheerders in hun toekomstige beheerplannen meer rekening houden met de feitelijke eigenschappen van de bodem en de mate waarin de structuur van de bodem daadwerkelijk door de landbouw kan worden beïnvloed. Concreet betekent dit dat bij het gebruik van de bij de beleidsvoorbereiding en het dagelijks beheer gebruikte modellen meer aandacht moet worden besteed aan de onverzadigde zone en rekening moet worden gehouden met het effect van agrarische beheermaatregelen op de hydrologische eigenschappen van de bodem. Met deze informatie kan de waterbeheerder maatregelen doorrekenen die nodig zijn om op de gevolgen van de klimaatverandering te kunnen anticiperen, die de piekafvoeren verminderen, de droogte problematiek te verminderen of de waterkwaliteit te verbeteren.

Om hiervoor de nodige kennis te ontwikkelen en mogelijkheden te bieden wordt aanbevolen:

- 1 Om een meer uitgebreide studie uit te voeren naar de invloed van de bodemstructuur op de waterhuishouding in een reëel (stroom)gebied en de vraagstelling verder te verbreden en te verdiepen. Aanbevolen wordt ook een tijdlijn aan te brengen waarbinnen de veranderingen in de bodem gerealiseerd kunnen zijn. Een dergelijk studie zou duidelijk moeten maken op welke termijn welke maatregelen tot welke waterhuishoudkundige effecten zouden kunnen leiden. Daarbij zou ook aandacht moeten worden besteed aan enkele waterkwaliteitseffecten.
- 2 Om in een separate studie na te gaan in welke mate de landbouw feitelijk invloed kan uitoefenen op de bodemparameters, welke belemmeringen er zijn in de gangbare bedrijfsvoering, de wet- en regelgeving en technologische mogelijkheden en op welke wijze deze belemmeringen zouden kunnen worden weggenomen.



- 3 Om de actuele gegevens te verzamelen betreffende de huidige kwaliteit van de landbouwbodems. Dit is met name relevant in die gebieden waar er aanwijzingen zijn dat de bodemstructuur in belangrijke mate is verslechterd. De te verzamelen gegevens zijn o.a. indringingsweerstand, dichtheid, verzadigde doorlatendheid en bepalingen in bodemlaboratoria van de pF-curve en de onverzadigde doorlatendheid (teta-h en k-h relatie) op meerdere dieptes (tot minstens 50 a 60 cm-mv). Deze informatie is noodzakelijk ten behoeve van het weergeven van de referentiesituatie in landelijke en regionale studies.
- 4 Om een aantal pilots op te starten (of bij lopende pilots extra onderzoeksvragen in te brengen) om meetgegevens te verzamelen met betrekking tot de invloed van de bodem(structuur) op het watersysteem. Deze meetgegevens zijn nodig om in de bestaande hydrologische modellen het effect van de bodemstructuur op de waterhuishouding beter te kwantificeren en van daar uit te (kunnen) sturen op de waterbalans
- 5 Om voor het verzamelen van de meetgegevens een set aan richtlijnen op te stellen om consistente en uniforme gegevens te verzamelen die bruikbaar zijn
- 6 Om een database te ontwikkelen die het mogelijk maakt de gegevens met betrekking tot agrarische maatregelen en de invloed ervan op de bodemparameters op een eenvoudige wijze aan de gebruikte hydrologische modellen te kunnen koppelen. Hierbij kan worden gedacht aan een standaard set aan rekenkundige bodemprofielen( als uitbreiding op de nu gebruikte Staringreeks). Het doel hiervan is om op relatief eenvoudige wijze een relatie te kunnen leggen tussen bepaalde landbouwkundige ingrepen en het effect ervan op de lokale vochthuishouding en op regionaal niveau op de aan- en afvoercharacteristieken van een stroomgebied.

Op dit moment zijn meerdere ontwikkelingen, zowel ten aanzien van onderzoek als pilotprojecten, gaande. Een belangrijke ontwikkeling is de actualisatie van de Help-tabellen. Het is van belang bij de uitvoering van de bovenstaande aanbevelingen na te gaan in welke mate er gebruik kan worden gemaakt van lopende trajecten of hierbij met additionele kennisvragen kan worden aangesloten.

# 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

SAMENVATTING

DE STOWA IN HET KORT

1	ACHTERGROND EN INLEIDING	1
2	AANPAK BIJ WATERSCHAP VALLEI EN VELUWE	4
3	RESULTATEN EN POTENTIE VAN BODEMSTRUCTUURVERBETERING OP DE WATERBALANS	7
4	DISCUSSIE	13
	Beschikbaarheid kennis / modellen	13
	Actualiteit van de data	14
	Overige effecten van bodemstructuurverbetering	14
5	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	16

# 1

## ACHTERGROND EN INLEIDING

Agrarisch bodembeheer heeft een belangrijke invloed op de waterhuishouding. Er zijn sterke aanwijzingen dat de bodemstructuur in veel landbouwgronden verre van optimaal is. Niet optimaal gelet op de zuurstof- en waterhuishouding, bewortelbaarheid, organische stof, nutriëntenhuishouding en erosiebestendigheid. Notoire facetten van een slechte bodemstructuur zijn korstvorming en verslemping en bodemverdichting onder de ploegzool (door te zware machines en ongunstige bodembewerking). Uit het KvK/KvR project Klimaat en Landbouw Noord Nederland bleek nadrukkelijk dat het verbeteren van de bodemstructuur één van de belangrijkste remedies is tegen zowel de dreigende perioden van wateroverlast als tegen de toename in het aantal perioden met vochttekorten. Een goede bodem is dus van belang voor zowel de boer als voor de waterbeheerder. Daarmee lijkt de bodem, als een buffer, ook een belangrijk instrument in het reguleren van het regionale waterbeheer.

De effecten van een slechte bodemkwaliteit en in het bijzonder een slechte bodemstructuur zijn talrijk: de directe fysische gevolgen zijn een slechtere beluchting, minder vochtbergend vermogen, minder diepe beworteling, minder capillaire nalevering, meer oppervlakkige afstroming, meer af- en uitspoeling van nutriënten. Dit leidt indirect tot afname van bodemleven, verminderde biodiversiteit, toenemende kwetsbaarheid voor ziekten en plagen, meer noodzaak voor toepassing van gewasbescherming, minder goede bereidbaarheid, toenemende kosten agrarische bedrijfsvoering, minder goede gewasopbrengsten en toenemende belasting van grondwater en oppervlaktewater met nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen. Omgekeerd is het zeker lonend voor een agrariër om te werken aan een goede bodemstructuur en levert dit ook zeker voordelen voor de waterhuishouding op het perceel en de lokale wateren. Dit voordeel voor de agrariër wordt echter nog niet altijd door iedere ondernemer volledig erkend. Bij grootschalige toepassing kan het ook een belangrijke bijdrage leveren aan waterkwaliteitsdoelstellingen (KRW), natuurherstel door minder verdroging, grondwateraanvulling en het vergroten van de zelfvoorzienendheid van deelstroomgebieden (minder afhankelijkheid externe zoetwatervoorziening in droge perioden). Echter de invloed van agrarisch bodembeheer op de waterhuishouding is tot nu toe nog niet gekwantificeerd.

In een eerste kennisbijeenkomst bij STOWA met vertegenwoordigers van waterschappen, provincies en landbouworganisaties over dit onderwerp op 22 maart 2011 werd vastgesteld: *“... op dit moment ontbreekt bij veel organisaties nog de bestuurlijke urgentie om met dit onderwerp aan de slag te gaan. Eerst moet dit onderwerp dan ook geagendeerd worden binnen de verschillende organisaties. Hiertoe is het noodzakelijk om de effecten van bodemstructuurverbeterende maatregelen op gebiedsniveau te kwantificeren. Pas wanneer duidelijk is dat grootschalige toepassing van bodemstructuurverbeterende maatregelen echt invloed heeft op regionale waterverdelingsvraagstukken (wateraanvoer), de grondwateraanvulling en op de regionale oppervlaktewaterkwaliteit wordt dit onderwerp echt interessant voor de waterschappen. ....”*

Zie ook het verslag op: [www.STOWA.nl](http://www.STOWA.nl)

In de daarop volgende periode zijn mede vanuit STOWA de nodige projecten en initiatieven geïnitieerd om een beter beeld te krijgen van de stand van zaken van het onderzoek, inzicht te krijgen in de lopende projecten en om de waterwereld in contact te brengen met de agrarische bodemwereld. Daartoe is door STOWA en SKB een kennisdocument samengesteld waarin enerzijds de globale problematiek is beschreven en anderzijds een overzicht is gegeven van de ontwikkelingen en lopende projecten. Dit kennisdocument is gepubliceerd als Stowarapport nr. 2012-24: "Klimaatadaptief waterbeheer: wat biedt de bodem?"

In dit rapport zijn ook de kennisvragen opgenomen die zijn geformuleerd tijdens de tweede kennisbijeenkomst over dit onderwerp die door STOWA en SKB op 2 maart 2012 is georganiseerd. Een van de conclusies van deze bijeenkomst was: *"... dat er vooral veel behoefte is aan het kwantitatief maken van de waterhuishoudkundige effecten van bodem verbeterende maatregelen. Kortom wat levert het nou eigenlijk op, in mm of m<sup>3</sup>? ...."*

Zie ook het verslag en de presentaties op [www.stowa.nl](http://www.stowa.nl)

Inmiddels lopen er in samenwerking met de waterschappen een groot aantal projecten waarbij wordt nagegaan hoe binnen de agrarische bedrijfsvoering zorgvuldiger met water / het watersysteem kan worden omgegaan. Het gaat om projecten als "Bufferboeren", "Peilgestuurde drainage", "Landbouw op Peil" en "Boeren op goede gronden". Dit soort projecten tonen aan dat er binnen de landbouw mogelijkheden zijn en er bij de landbouw bereidheid is om samen met de waterbeheerder na te gaan hoe in de toekomst in een meer duurzaam waterbeheer kan worden voorzien. In veel van deze projecten staan de bodem en het bodembeheer op perceels- en bedrijfsniveau centraal.

Geen of veel minder aandacht is er binnen de projecten voor de impact van de maatregelen op de regionale waterhuishouding en het totale waterbeheer. Dit wordt ook niet of nauwelijks meegenomen in de monitoring. De ruimtelijke schaal van de genoemde pilotprojecten is bovendien te klein is voor het bepalen van regionale effecten

Daarbij speelt mee dat het effect van maatregelen voor sommige bodemstructureigenschappen pas na jaren ressorteert in het gewenste effect. Tijdens de tweede kennisbijeenkomst deed Bert Vermeulen, onderzoeker bij WUR/PRI een grove schatting van de mogelijke extra waterberging in een zandgrond. Aan de hand van een voorbeeld bodemprofiel berekende hij een potentiële extra waterberging van 44 mm, hiermee zou een droge periode van 15 dagen extra overbrugd kunnen worden.

In een poging om meer zicht te krijgen op de kwantitatieve potenties van bodemstructuurverbetering op de regionale waterhuishouding heeft Waterschap Veluwe (nu Waterschap Vallei en Veluwe) het initiatief genomen om een eerste globale studie uit te voeren naar regionale invloed van bodemstructuur verbeterende maatregelen op de water aan- en afvoerbehoefte in een stroomgebied. Met de bestaande kennis omtrent de relatie tussen landbouwkundige maatregelen en de bodemparameters en de relatie tussen de gewasgroei, bodemvochtvoorziening en de invloed op het watersysteem zijn, in samenwerking met adviesbureau MWH, door het waterschap Vallei en Veluwe oriënterende berekeningen uitgevoerd met het model SWAP. Deze studie is ondersteund door een expertgroep, bestaande uit deskundigen van Alterra, Louis Bolk Instituut en Deltares, en is begeleid door een klankbordgroep van STOWA met daarin een vertegenwoordiging van verschillende waterschappen en SKB. Het onderzoeksrapport is bijgevoegd in bijlage 1.

Het onderzoek maakt duidelijk dat de invloed van de bodem op het watersysteem in kwantitatief opzicht zeker van belang kan zijn. Het biedt daarmee een eerste antwoord op een belangrijke kennisvraag die tijdens de kennisbijeenkomsten geïdentificeerd is. In deze notitie plaatsen we het onderzoek van Waterschap Vallei en Veluwe in een wat bredere context en geven we aan welke stappen er de komende periode gezet moeten worden om voldoende betrouwbare uitspraken te kunnen doen met betrekking tot de rol van de bodem in het waterbeheer.

Naar ons oordeel is het onderzoek van Waterschap Vallei en Veluwe een belangrijke eerste vingeroefening geweest in een proces waar we de komende jaren nog veel tijd en energie in moeten steken.

# 2

## AANPAK BIJ WATERSCHAP VALLEI EN VELUWE

### OORSPRONKELIJKE OPZET

In eerste instantie had het toenmalige waterschap Veluwe de intentie een onderzoek uit te voeren naar de effecten van bodemverbetering op de regionale waterhuishouding. De oorspronkelijke onderzoeksopzet was gericht op doorrekenen van een concrete polder. De centrale vraag daarbij zou zijn hoeveel minder water er in droge perioden zou hoeven te worden ingelaten en wat de invloed was van de maatregelen op de waterafvoercharacteristiek van het gebied. Daarbij zouden de huidige situatie en de situatie met een optimaal geconditioneerde bodem met elkaar worden vergeleken. Er was gekozen voor een gebied in de IJsselvallei.

### KEUZES (VAN GEBIED NAAR DRIE BODEMTYPEN)

Vanwege beperkte tijd en budget is er echter reeds bij de eerste projectbespreking voor gekozen het onderzoek te beperken tot zogenaamde plotmodellen voor de drie belangrijkste bodemtypen in het beheergebied van waterschap Vallei en Veluwe.

De keuze is gevallen op :

- Zwak lemig humusarm fijn zand, een goed ontwaterde veldpodzol (Hn21, grondwatertrap VI)
- Lemig fijn zand: een bekeergrond (pZg23, grondwatertrap III)
- Lichte zavel, kalkhoudend: een goed ontwaterde ooivaaggrond (Rd10A, grondwatertrap VI).

Deze keuze om een drietal bodemtypen sec te beschouwen heeft tot belangrijkste consequentie dat het niet mogelijk was om een regionaal stromingsmodel te gebruiken om de water aan- en afvoer te berekenen. De indicaties in de studie met betrekking tot de berging, oppervlakkige afstroming en droogtestress zijn dan ook locatie-gebonden en geven geen regionaal beeld.

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 wel aanwezig is.

### 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 meegedacht bij het vaststellen van de bandbreedte in de parameters en de bijbehorende maatregelen.

Met de keuze van de expertgroep 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) bodemparameters zijn toegekend.

#### **KEUZE VAN DE GEWASSEN**

Bij het bepalen van droogteschade of de oppervlakkige afstroming is ook het gewas bepalend. Voor de studie is gekozen voor de in het gebied van waterschap Veluwe meest voorkomende gewassen, namelijk permanent grasland en mais.

Er zijn grote verschillen in bodemstructuur tussen permanent grasland en bouwland. De keuze met name te kijken naar grasland en mais (vaak als wisselteelt op grasland) geeft wellicht een wat vertekend beeld. De resultaten kunnen en mogen zeker niet direct worden vertaald naar permanente akkerbouwgebieden.

#### **KEUZE VAN DE WATERHUISHOUDKUNDIGE PARAMETERS**

Om het onderzoek uit te voeren is gekozen voor het model SWAP. Binnen dit model is gezocht naar die uitvoerparameters die van belang zijn voor de aan- en afvoercharacteristieken van een watersysteem. Gekozen is om met name te analyseren wat de invloed is van de veranderde bodemkenmerken op:

- De infiltratiecapaciteit aan het maaiveld;
- De effectieve bergingscapaciteit;
- De vermindering van de periode met droogte stress;
- De grondwateraanvulling.

Het doel was om voor elk van de parameters een beeld te krijgen van de kwantitatieve betekenis voor het watersysteem.

De meeste bodemkenmerken, kunnen als vaste waarde in het model worden ingevoerd. Door gebruik te maken van de werkelijke neerslagreeksen kan worden geanalyseerd in welke mate een vergroting van het porievolume onder specifieke omstandigheden ook daadwerkelijk bijdraagt aan extra infiltratie of extra berging. Als bijvoorbeeld in bepaalde perioden de grondwaterstand al hoog is dan leidt een extra porievolume niet altijd tot extra berging.

De gekozen waterhuishoudkundige parameters zijn een goede indicatie voor de mate waarin piekafvoeren in het watersysteem kunnen worden gedempt, extra regenwater in de bodem kan worden geborgen, droogtestress kan worden verminderd en het grondwatersysteem kan worden aangevuld. Daarmee kan een inschatting worden gemaakt van de invloed van bepaalde bodemstructuurverbeteringen op de aan- en afvoer situatie in stroomgebieden.

Opgemerkt moet worden dat de gekozen parameters alleen betrekking hebben op de waterkwantiteit (waterbalans) . De invloed van de bodem op de waterkwaliteit is buiten beschouwing gebleven.

#### **GEKOZEN RANGE VOOR DE BODEMPARAMETERS**

Het porievolume en het organische stofgehalte per bodemlaag bepalen in sterke mate de hydrologische eigenschappen van de grond. De bewortelingsdiepte is evident voor de vochtbeschikbaarheid. Uiteraard is het mogelijk om door het invoeren van extreme waarden de uitkomsten van de modelberekeningen te beïnvloeden. De expertgroep heeft echter, in onderling overleg, op basis van best professional judgement, aangegeven wat de huidige refe-



rentiewaarden zijn en hoe die, binnen een normale bedrijfsvoering en binnen de huidige wettelijke regels, maximaal zouden kunnen veranderen.

Aangetekend moet worden dat het veranderen van sommige parameters vaak een lange implementatietermijn vergt.

Bij het opstellen van deze notitie is de nodige discussie gevoerd omtrent de realiteitswaarde van de gekozen parameters. De discussie spitst zich daarbij vooral toe op het humusgehalte en de vraag of binnen de bestaande regelgeving en bedrijfsvoering het organische stofgehalte inderdaad kan worden verhoogd. Ook wordt opgemerkt dat uit oogpunt van bijvoorbeeld leveringsplicht vaak onder slechte omstandigheden moet worden geoogst hetgeen tot structuurbederf leidt.

Het is niet mogelijk de benoemde agrarische beheermaatregelen ook 1:1 aan veranderingen in de bodemparameters te koppelen. De veranderde bodemparameters moeten in deze worden gezien als een resultante van meerdere maatregelen die allen een deelbijdrage leveren.

## 3

# RESULTATEN EN POTENTIE VAN BODEMSTRUCTUURVERBETERING OP DE WATERBALANS

Reeds vroeg in het project bleek het niet goed mogelijk om een gebiedstudie uit te voeren. Om binnen tijd en budget toch relevante uitspraken te kunnen doen ten aanzien van de mogelijke invloed van de bodem op het watersysteem is ingezoomd op een drietal bodemtypen die in het beheergebied van Waterschap Vallei en Veluwe veelvuldig voorkomen en is nagegaan wat de waterhuishoudkundige relatie is tussen bodembeheer, bodemstructuur en waterhuishouding. De gekozen bodemtypen zijn:

- Zwak lemig humusarm fijn zand, een goed ontwaterde veldpodzol (Hn21, grondwatertrap VI)
- Lemig fijn zand: een bekeergrond (pZg23, grondwatertrap III)
- Lichte zavel, kalkhoudend: een goed ontwaterde ooivaaggrond (Rd10A, grondwatertrap VI).

Deze bodems bevatten vrij weinig humus (en dus ook weinig organische stof) en de doorlatendheid van de bouwvoor is gering ( $k_{\text{sat}} = 0,05$  m/d). Als referentie is uitgegaan van de bodemeigenschappen volgens de zogenaamde Staringsreeks.

Met het model SWAP zijn de drie bodemtypen voor een langjarige periode op dagbasis doorerekend. Een aantal bodem fysische eigenschappen (humusgehalte, dichtheid, poriëvolume, worteldiepte en infiltratiecapaciteit) van de bodems zijn modelmatig zo aangepast dat ze een 'ideale(re)' bodemstructuur zouden krijgen passend bij een set aan bodemstructuur verbeterende maatregelen.

In de onderstaande tabel zijn de veranderingen, zoals aanbevolen door de expertgroep, aangegeven. Om de verschillen te onderzoeken is steeds een berekening uitgevoerd voor de oorspronkelijke situatie (ref= referentie) en een situatie na uitvoering van de (fictieve) bodemstructuurverbetering (rw = rekenwaarde), deze kan binnen de huidige situatie als maximaal haalbaar worden beschouwd.

TABEL 1: DOORGEREKENDE BODEMS MET DE INITIËLE BODEMFYSISCHE PARAMETERS (REFERENTIE) EN DE REKENWAARDEN (RW<sup>2</sup>) VOOR DE VOCHTHUISHOUDING BIJ EEN VERBETERDE BODEMSTRUCTUUR.

Bodem	Diepte (cm-mv)	Humus (%)		Dichtheid (g/cm <sup>3</sup> )		Poriën volume (%)		Worteldiepte Gras (cm)		K <sub>sat</sub> (cm/d)	
		ref	rw	ref	rw	ref	rw	ref	rw	ref	rw
Hn21	0 - 2	2	6	1.45	1.4	0.46	0.49	25	50	5.4	50
	2 - 25	2	6	1.55	1.4	0.42	0.49			13	50
pZg32	0 - 2	2	8	1.45	1.2	0.46	0.53	30	50	5.4	31
	2 - 25	3	8	1.40	1.2	0.40	0.53			10	31
Rd10A	0 - 20	2,5	6	1.40	1.3	0.43	0.48	30	80	2.4	14

2 Met de rekenwaarde wordt de aangenomen bovengrens weergegeven van de betreffende parameter.

Ten aanzien van de gekozen spreiding in de waarde van de parameters kan nog de nodige discussie worden gevoerd. Om het organisch stofgehalte (humus) van 2 % te verhogen naar 6 % zou een agrariër zeer veel GFT moeten aanvoeren, hetgeen geen realistische praktijk is en het zou jaren duren eer deze verhoging wordt bereikt. Voor de beworteling van gras geldt dat een diepte van 50 of 80 cm zou betekenen dat de grasmat veel meer fotosyntheseproduct in het wortelsysteem moet investeren en dat gaat ten koste van de bovengrondse productie. In de praktijk komt een worteldiepte groter dan 30 cm soms voor in situaties waarin water en/of nutriënten beperkend zijn. Aan de andere kant betekent een diepere beworteling een betere benutting van nutriënten en een verminderde droogtegevoeligheid van het gewas.

Voor deze bodems is het effect van de aanpassing bepaald op de oppervlakkige afstroming, de berging van water bij neerslag en het optreden van droogteschade aan het gewas. De berekeningen zijn uitgevoerd voor grasland en mais. Voor grasland is aangenomen dat de worteldiepte door bodemstructuur verbeterende maatregelen toeneemt (tot 50 á 80 cm), voor mais is de worteldiepte (100 cm) niet aangepast.

De berekeningen maken duidelijk dat de invloed van de bodem op het watersysteem in kwantitatief opzicht zeker van belang kan zijn. Op grond van het onderzoek kunnen voor de piekafvoer (oppervlakkige afspoeling), de berging en de droogtestress indicatieve resultaten worden gepresenteerd. De invloed op de grondwateraanvulling en de mogelijke invloed op natschade kon in de studie niet goed worden geanalyseerd.

#### **VERMINDERING OPPERVLAKKIGE AFSPOELING**

Deze post op de waterbalans wordt vooral beïnvloed door maatregelen die met name de doorlatendheid van de bovenste paar cm van het bodemprofiel verhogen. Een continue bedekking van de bodem, vaste rijpaden, aanbrengen van organische stof en stimulering van het bodemleven zijn maatregelen die verslemping van de bodem tegengaan en de infiltratiecapaciteit bevorderen.

Uit de simulaties blijkt dat in de huidige situatie bij een gemiddeld zware bui van 30 mm op alle gronden een substantieel deel (1/3 tot de 1/2) van de neerslag oppervlakkig afstroomt. Dat geldt ook voor een meer extreme bui van 60 mm. Deze oppervlakkige afstroming is de belangrijkste oorzaak van de piekafvoer in een stroomgebied.

In de verbeterde situatie is de oppervlakkige afvoer op de podzol- en beekerdgrond sterk gereduceerd; op de ooivaaggrond wordt de oppervlakkige afstroming weliswaar gereduceerd maar blijft er wel sprake van een oppervlakkige afstroming van ruim 1/3 van de bui.

Bodemstructuurverbetering lijkt daarmee een grote invloed te kunnen hebben op het verminderen van de piekafvoer in stroomgebieden. Het effect is waarschijnlijk het grootst op de hoger gelegen zandgronden waar sprake is van diepere grondwaterniveaus (circa 1/3 deel van de Nederlandse gronden). De piekafvoer van een zware zomerbui (30 mm/etmaal) kan hier na bodemverbetering volledig in de bodem infiltreren. De piekafvoer wordt daarmee met 300 m<sup>3</sup>/ha/etmaal gereduceerd.

## OPPERVLAKKIGE AFSPOELING IN MM/ETM.

Grasland	bui van 30,9 mm		bui van 60,4 mm	
	Voor	Na	Voor	Na
Podzolgrond	10,1	0	13,7	3,8
Beekeerdgrond	16	3,8	30,8	28,2
Ooivaaggrond	17,1	11,3	28,8	24,2

Op de lager gelegen gronden is de reductie in piekafvoer beperkt. Dat komt deels door de aanname dat de infiltratieweerstand op lemige en kleiige gronden minder door bodemstructuurverbetering kan worden beïnvloed.

**BERGING**

Deze post op de waterbalans wordt vooral beïnvloed door maatregelen die met name het porievolume van het bodemprofiel verhogen. Het telen van gewassen met een goede wortelgroei, het bevorderen van bodemleven, het verminderen van de druk door berijding en het verhogen van het organische stofgehalte verhogen het porievolume en daarmee de potentiële bergingscapaciteit van de bodem.

Uit de simulaties blijkt er een verschil tussen de zomer en de wintersituatie.

In de zomer leidt het extra porievolume tot een extra waterberging van 30 - 60 % van het extra volume. Vergroting van het porievolume lijkt dus maar voor 1/3 - 2/3 deel effectief voor de opslag van water. Dit heeft te maken met de mate waarin de bodem al met water verzadigd is. In de winter is de bodem vaak langdurig volledig verzadigd met water doordat er wél neerslag valt maar er vrijwel geen verdamping optreedt. Een toename van het waterbergend vermogen verandert daar vrijwel niets aan. Doorrekeningen in de natte periode geven dan ook aan dat er geen extra berging optreedt doorvergroting van het porie volume.

Hoewel met name in bekeerdgronden het porievolume het meest kan worden vergroot, lijkt het effectieve rendement juist het grootst op podzol- en ooivaaggronden.

Indien op een podzolgrond het porievolume in de bouwvoor wordt verhoogd van 42 naar 49% leidt dat tot een extra waterberging van ca. 12 mm. Dit betekent een extra bergingscapaciteit van 120 m<sup>3</sup>/ha.

## BERGING IN MM.

Grasland	Zomer		Winter	
	bui van 30,9 mm		bui van 23,1 mm	
	Voor	Na	Voor	Na
Podzolgrond	11,7	24,2	15	15
Beekeerdgrond	6,7	16,9	14,3	14,3
Ooivaaggrond	6,5	12,7	17,5	17,4

### VERMINDERING AANTAL DAGEN DROOGTESTRESS

Het aantal dagen droogte stress wordt vooral beïnvloed door maatregelen die zowel het porievolume, 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, het verhogen van het organische stof gehalte vergroten de waterbeschikbaarheid in droge perioden.

Uit de simulaties blijkt dat het verhogen van het organische stofgehalte in combinatie met de grotere bewortelingsdiepte vooral een grote invloed heeft op de droogtestress op ooivaaggronden.

Op podzolgronden zal onder de huidige omstandigheden grasland te maken hebben met gemiddeld 30 dagen droogtestress per jaar. Met bodemverbetering wordt dat terug gebracht tot 22 dagen. Op een ooivaaggrond heeft bodemverbetering relatief gezien meer effect: van 23 naar 1 dag droogtestress.

#### AANTAL DAGEN DROOGTESTRESS IN EEN GEMIDDELD JAAR.

Gewas	Bodemtype	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

In extreem droge jaren (zoals in 1976) kan bodemverbetering droogtestress niet voorkomen maar wel sterk reduceren: op beekeerdgrond van 96 dagen naar 62 dagen droogtestress en op ooivaaggrond van 89 naar 25 dagen.

Mais heeft relatief tot grasland gezien weinig last van droogtestress. Door bodemverbetering kan droogtestress zelfs onder extremere condities goeddeels worden voorkomen.

### GRONDWATERAANVULLING

Vergroting van de infiltratie van neerslag en het bufferen van water in het bodemprofiel zou ertoe kunnen leiden dat meer water naar het grondwater kan infiltreren. Met SWAP wordt voor een bodem een waterbalans opgesteld. Een van de posten in deze balans is de infiltratie naar het grondwater. Hoewel er in één situatie een significant verschil gevonden is tussen de infiltratie voor en na de bodem verbeterende maatregelen, blijkt deze post over het algemeen niet te veranderen. Onduidelijk is waardoor dit wordt veroorzaakt. Een nadere analyse is daartoe noodzakelijk. Over de invloed van bodemverbetering op de aanvoer naar het grondwater kunnen op basis van deze studie geen uitspraken worden gedaan.

### OPBRENGST-DERVING DOOR NATSCHADE

Natschade kan verschillende oorzaken. Het leidt onder andere tot zuurstofgebrek in de wortelzone. Natschade ontstaat bijvoorbeeld doordat het water onvoldoende snel naar diepere lagen infiltreert. Dat kan het geval zijn bij structuurproblemen zoals een ploegzool (verdichte laag onder ploegdiepte) of interne slemp (verdichtingslaag in de bouwvoor door inspoeling van klei- en lutumdeeltjes). In het algemeen zal bodemstructuurverbetering natschade dan ook verminderen.

Door extra water vast te houden kan de bodem wel later opwarmen waardoor een gewas zich pas later ontwikkelt.

Binnen het kader van het project bleek het niet mogelijk natschade met het SWAP-model te berekenen.

### AANVULLENDE BEREKENINGEN ALTERRA

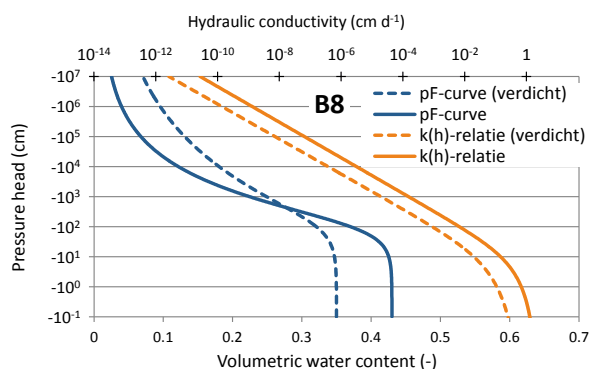
In aanvulling op de berekeningen die zijn uitgevoerd door MWH en Vallei en Veluwe, is door Alterra ter ondersteuning van een bijeenkomst over “Landbouw en Water, samen werken aan de bodem in Flevoland” (6 februari 2013) het effect berekend van bodemverdichting voor een zavelgrond met aardappels.

Voor een rekeneenheid die representatief is voor homogene zavelgronden in Zeeland zijn met het modelinstrumentarium SWAP-WOFOST berekeningen uitgevoerd. Het is een rekeneenheid uit een landelijke dataset (Stone-plot nr 4999), met grondwatertrap VI. Bodemfysisch is de rekeneenheid geschematiseerd met een bovengrond als B8 van 0-50 cm een ondergrond als O9 dieper dan 25 cm. Door Stuyt et al (2006)<sup>3</sup> is de uitgangstoestand voor de SWAP-WOFOST modellering uitgebreid beschreven. Voor de rekeneenheid zijn verkennende berekeningen gedaan naar de invloed van bodemverdichting op verdamping en gewasopbrengst.

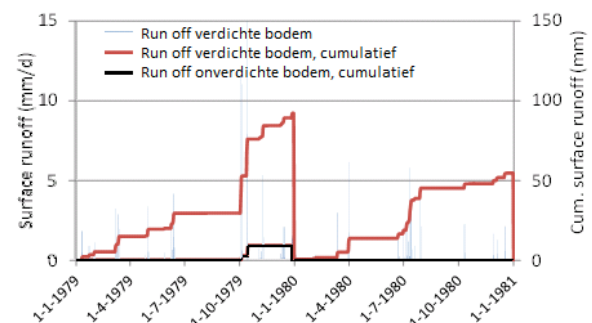
Voor deze rekeneenheid zijn verkennende berekeningen gedaan naar de invloed van bodemverdichting op verdamping en gewasopbrengst. In een eerste verkennende berekening is bodemverdichting benaderd door een ander (verdicht) type bovengrond aan te nemen (figuur 3.1). De doorlatendheid daarvan is beduidend minder. Ook is een verkennende berekening uitgevoerd waarbij tevens de beworteling is beperkt tot een diepte van 25 cm ipv 50 cm.

De berekeningen zijn op dagbasis uitgevoerd voor een langjarige periode (1970 – 2000). De resultaten laten zien dat significant meer oppervlakkige afvoer optreedt; in een relatief nat jaar (1979) circa 75 mm, in een daarop volgend vrij gemiddeld jaar circa 50 mm. Dit komt omdat door de aangenomen verdichting in natte perioden minder water in de bodem kan infiltreren. De berekeningen tonen verder dat de verdamping in relatief droge zomers als 1986 met circa 20 % daalt (bodemverdichting i.c.m. geringere worteldiepte), en dat daarbij de gewasopbrengst met circa 30 % daalt. De effecten op verdamping zijn daarmee geringer dan het effect op gewasopbrengst.

FIGUUR 3.1 PF CURVES VAN REFERENTIE (B8) EN VERDICHTE BOVENGROND

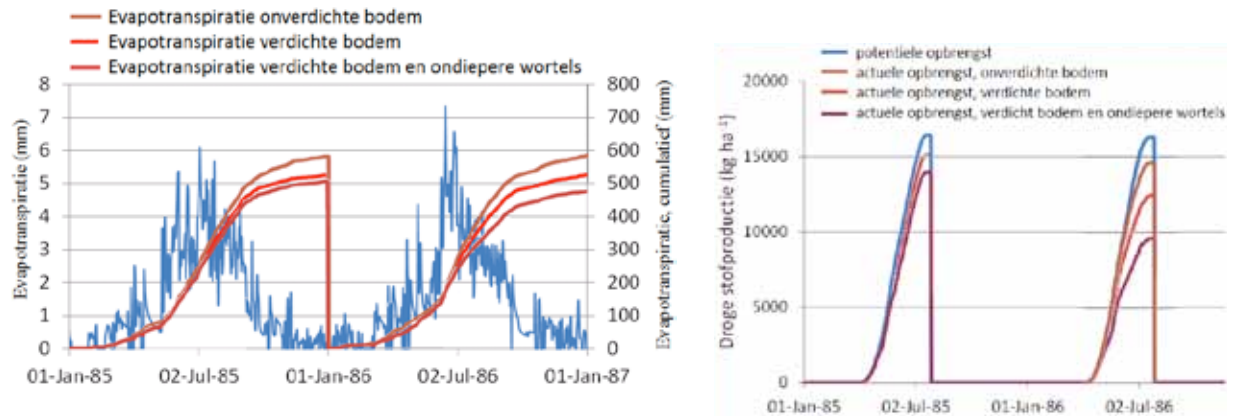


FIGUUR 3.2 EFFECT AANNAMES BODEMVERDICHING ZAVELGROND MET AARDAPPELS OP DE OPPERVLAKKIGE RUNOFF



3 Stuyt, L. C. P. M., Bakel, P. J. T. Van, Kroes, J. G., Bos, E. J., Elst, M. Van Der, Pronk, B., Rijk, P. J., Clevering, O.A., Dekking, A.J.G., Voort, M.P.J. Van Der, Wolf, M. De, Brandenburg, W.A., (2006). Transitie en toekomst van Deltalandbouw; Indicatoren voor de ontwikkeling van de land- en tuinbouw in de Zuidwestelijke Delta van Nederland. Alterra, rapport 1132, Wageningen

FIGUUR 3.4 EFFECTEN AANNAMES VOOR BODEMVERDICHTING ZAVELGROND MET AARDAPPELS OP DE VERDAMPING (LINKS) EN DE GEWASOPBRENGST (RECHTS).



Bedacht moet worden dat deze berekeningen alleen een richting aangeven voor de effecten. Dit omdat de vertaling van bodemverdichting naar veranderende bodemfysische parameters niet gebaseerd zijn op metingen en er ook geen gevoeligheidsanalyse of onzekerheidsanalyse is uitgevoerd. Daarbij is de aanname dat de verdichting betrekking heeft over de gehele bouwvoor (0-50 cm) vrij extreem (worst-case), zodat ook de berekende effecten naar verwachting vrij extreem zijn.

## 4

## DISCUSSIE

**BESCHIKBAARHEID KENNIS / MODELLEN**

Het onderzoek van Waterschap Veluwe richtte zich op de vraag wat de invloed is van een agrarische maatregel op de regionale waterhuishouding. Daarvoor is het nodig inzicht te hebben in:

- De invloed van de maatregel op de bodemparameters (organische stof, porievolume,);
- De invloed van de bodemparameters op de hydrologische modelparameters (doorlatendheid, bergingscapaciteit);
- De invloed van de hydrologische parameters op de waterbalans van het perceel (verdamping, drainafvoer, oppervlakkige afstroming, berging, infiltratie);
- Invloed op de wateraan- en afvoercharacteristieken van het stroomgebied (piekafvoer, wateraanvoerbehoefte).

Alterra heeft het model SWAP ontwikkeld om de waterhuishouding in de bodem en de daaraan gerelateerde droge stofproductie van een gewas te modelleren. Het model simuleert de stroming van water, het transport van stoffen en de geleiding van warmte in de verzadigde en onverzadigde zone. Het model is ontwikkeld voor het simuleren van water- en stoftransporten op veldschaalniveau gedurende het groeiseizoen en voor langere tijdreeksen. Het model wordt ook gebruikt in stroomgebied studies waarin de invloed van de regionale grondwaterstroming minder van belang is. De meest recente versie van het SWAP-model bevat een geavanceerde beschrijving van zwel- en krimp in kleigronden en het dynamische gedrag van scheuren en macro-poriën.

Het model kent in gebruik evenwel haar beperkingen. SWAP is in essentie een 1-dimensionaal model waarin de gemiddelde perceeleigenschappen zijn beschreven. Processen die zich op een gedetailleerdere schaal binnen een perceel afspelen zijn moeilijk te beschrijven. Een voorbeeld hiervan is het ontstaan van plassen op het maaiveld na een hevige regenbui. Dit proces wordt sterk beïnvloed door de variatie in maaiveldhoogte en omdat SWAP door z'n 1-dimensionale opzet uitgaat van één niveau, is dit proces alleen met een geconceptualiseerde beschrijving te modelleren. Voor het goed instellen van de parameters voor deze geconceptualiseerde beschrijving zijn empirische gegevens nodig die in veel gevallen ontbreken.

Het dynamische gedrag van verslemping en korstvorming is niet in het model beschreven, evenals de invloed van wormgangen en molsgangen. Lokaal kunnen deze fenomenen de stroming naar het grondwater en de afstroming naar het oppervlaktewater sterk beïnvloeden. In de internationale literatuur zijn bijna geen modellen te vinden waarin deze fenomenen zijn beschreven omdat ze vaak heel specifiek zijn voor een bepaalde situatie.



Verder moeten voor het goed simuleren van de waterhuishouding op regionale schaal soms vertaalslagen worden toegepast. Het model leidt niet 1:1 tot die antwoorden die voor de waterbeheerder het meest relevant zijn. Voor het bepalen van de water aan- en afvoercharacteristieken voor een stroomgebied zijn specifieke regionale stroomgebiedsmodellen nodig. Hiervan zijn er verschillende bij de waterschappen in gebruik.

#### **ACTUALITEIT VAN DE DATA**

Om het effect van bodemverdichting te vertalen naar de waterhuishouding op het perceel zijn in feite nauwelijks veldgegevens beschikbaar omdat de relaties tussen de zuigspanning, doorlatendheid en porievolume hoofdzakelijk zijn afgeleid uit metingen in de jaren 60-70 van de vorige eeuw. Het is aannemelijk dat bodemverdichting juist de afgelopen decennia sterk is toegenomen. Door ruilverkavelingen, bodembeheer, ontwatering en landbouwmechanisatie zijn inmiddels belangrijke veranderingen opgetreden.

Ook tijdens de kennisdag op 2 maart 2012 werd gepleit voor een actualisatie van de bodemgegevens.

Niet alleen ontbreekt informatie over de actuele stand van zaken met betrekking tot de diverse bodemparameters die van belang zijn voor de waterhuishouding van de bodem en daarmee voor het waterbeheer in een gebied, het ontbreekt ook aan kennis over de verbeteringen die in deze parameters realistisch en haalbaar zijn. In deze studie is dat opgelost met een expert groep. Deze informatie is noodzakelijk om de bijdrage die bodemverbeterende maatregelen kunnen leveren aan waterbeheer te kunnen modelleren.

#### **OVERIGE EFFECTEN VAN BODEMSTRUCTUURVERBETERING**

Bodemverbeterende maatregelen hebben echter niet alleen effect op bodemparameters die van hydrologisch belang zijn. Overige potentiële effecten van bodemverbeterende maatregelen zijn o.a.:

Voor waterkwaliteit:

- Nutriëntenbuffering;
- Minder gebruik van gewasbeschermingsmiddelen;
- Adsorptie van microverontreinigingen;
- Minder aanvoer van gebiedsvreemd water;
- Minder surface run-off (minder afspoeling van nutriënten/microverontreinigingen).

Hoewel dit in de studie niet is meegenomen, geldt in het algemeen dat een slechte bodemstructuur, met name verdichting, ongunstige invloeden heeft op de waterkwaliteit. Als bijvoorbeeld de oppervlakkige afvoer significant toeneemt, zal ook de belasting van het oppervlaktewater met nutriënten, zware metalen en pesticiden sterk toenemen. En door een slechte aeratie zal het opgelost organisch stofgehalte (DOC) in de ondiepe bodem toenemen en omdat veel metalen en organische microverontreinigingen zich daar specifiek aan hechten, zullen deze stoffen sneller naar het grondwater uitspoelen.

#### Voor landbouw

- Hogere kwaliteit van producten;
- Minder ziektedruk;
- Minder gebruik van anorganische meststoffen/Betere benutting van nutriënten;
- Minder gebruik gewasbeschermingsmiddelen;
- Minder beregening nodig;
- Minder natschade door verslemping;
- Meer draagkracht
- Hogere opbrengst.

#### Voor biodiversiteit

- Meer bodemleven (van schimmels tot wormen en mollen);
- Meer weidevogels.

#### Voor klimaatsverandering

- Vastlegging van koolstof

Ook over deze effecten is nog weinig kwantitatieve informatie beschikbaar. Meer informatie over de effecten van bodemverbeterende maatregelen op de regionale waterkwaliteit zou kunnen bijdragen aan het vergroten van draagvlak en urgentie met betrekking tot dit onderwerp bij de waterschappen. En omdat de agrariërs essentieel zijn voor een grootschalige toepassing van bodemverbeterende technieken, is het ook van belang om meer kennis te verzamelen over de effecten die meer direct voor hen van belang zijn.

# 5

## CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

### CONCLUSIE

De berekeningen, van zowel waterschap Vallei en Veluwe als van Alterra, zijn voorlopig indicatief maar geven een beeld van de mogelijke potentie van bodemstructuur verbeterende maatregelen voor de waterhuishouding. Belangrijk daarbij is de beoordeling in welke mate de landbouw daadwerkelijk in staat is de bodemstructuur zodanig aan te passen dat de door de expertgroep aangegeven waarden voor de verschillende parameters worden bereikt.

De bodem heeft invloed op:

- De hoeveelheid water die bij een bui direct en oppervlakkig afstroomt en daarmee op de piekafvoer van het watersysteem maar ook op de hoeveelheid meststoffen en microverontreinigingen die oppervlakkig naar het oppervlaktewater afspoelen.
- De hoeveelheid water die in de bodem kan worden geborgen en daarmee op de sponswerking van het systeem.
- De hoeveelheid water die in droge periode voor een plant beschikbaar is en daarmee op de droogtegevoeligheid van het systeem.
- De kwaliteit van het in de bodem opgeslagen water dat naar grond- en oppervlaktewater uitspoelt.

Om daadwerkelijk inzicht te verkrijgen in de bijdrage die de landbouw kan leveren aan een verdere verduurzaming en klimaat-adaptief maken van het watersysteem is enerzijds meer feitelijke kennis nodig omtrent de huidige werkelijke toestand van de bodem en de werkelijke invloed van landbouwkundige maatregelen daarop en zullen anderzijds data met betrekking tot bedrijfsvoering en de invloed ervan op de bodemparameters zodanig moeten worden gekoppeld aan de verschillende bestaande modellen dat scenario berekeningen eenvoudig zijn uit te voeren. Het is nu voor de waterbeheerder niet goed mogelijk om inzichtelijk te maken welke type maatregelen het meeste bijdragen aan bijvoorbeeld de water aanvoervraag of aan het beperken van de waterafvoer.

Tijdens het onderzoek is geconstateerd dat veel van de bodemparameters waarmee standaard wordt gerekend (de Staringreeks) zijn gebaseerd op metingen van bodems in de jaren tussen 1965 en 1980. De landbouwbodems zijn door te intensivering van de landbouw en door de toegenomen zwaarte van de machines die op het land rijden sindsdien veranderd. Met name zijn er veel aanwijzingen dat veel landbouwbodems zijn verdicht op het niveau van de ploegzool. Het is dus goed denkbaar dat de vochthuishouding van landbouwbodems is veranderd, terwijl hydrologische modellen nog met de 'oude' bodems rekenen. Door de toenemende aandacht voor het belang van een goede kwaliteit en structuur van landbouwbodems zijn inmiddels wel tal van pilots opgestart waar bodemstructuur verbeterende maatregelen worden uitgevoerd. Echter, het ontbreekt aan adequate meetgegevens om te berekenen en voorspellen wat deze maatregelen voor de waterhuishouding kunnen opleveren. Zonder te weten wat bodem verbeterende maatregelen voor de waterhuishouding opleveren, kunnen de kosten en baten van de maatregelen niet worden afgewogen.

Dit kan een belangrijke belemmering zijn om vanuit de pilots te komen tot regionale implementatie.

De studie bij waterschap Vallei en Veluwe is met de hen ter beschikking staande kennis en middelen uitgevoerd. Het leverde het inzicht op dat er voor de waterbeheerder in principe winst te behalen is in bodemstructuurverbetering. Niettemin zijn in de studie ook een aantal vereenvoudigingen aangebracht die het mogelijk moesten maken de studie binnen tijd en budget uit te voeren. Dat leidt er toe dat er discussie kan ontstaan over de realiteit van de parameters en de effecten op de waterhuishouding en landbouw.

In het onderzoek is overigens de invloed van de bodem op de waterkwaliteit niet meegenomen hoewel deze invloed wel mag worden verwacht.

#### **AANBEVELING:**

In het algemeen lijkt het gewenst dat de waterbeheerders in hun toekomstige beheerplannen meer rekening houden met de feitelijke eigenschappen van de bodem en de mate waarin de structuur van de bodem daadwerkelijk door de landbouw kan worden beïnvloed. Concreet betekent dit dat bij het gebruik van de bij de beleidsvoorbereiding en het dagelijks beheer gebruikte modellen meer aandacht moet worden besteed aan de onverzadigde zone en rekening moet worden gehouden met het effect van agrarische beheermaatregelen op de hydrologische eigenschappen van de bodem. Met deze informatie kan de waterbeheerder maatregelen doorrekenen die nodig zijn om op de gevolgen van de klimaatverandering te kunnen anticiperen, die de piekafvoeren verminderen, de droogte problematiek te verminderen of de waterkwaliteit te verbeteren.

Om hiervoor de nodige kennis te ontwikkelen en mogelijkheden te bieden wordt aanbevolen:

- 1 Om een meer uitgebreide studie uit te voeren naar de invloed van de bodemstructuur op de waterhuishouding in een reëel (stroom)gebied en de vraagstelling verder te verbreden en verdiepen. Aanbevolen wordt ook een tijdlijn aan te brengen waarbinnen de veranderingen in de bodem gerealiseerd kunnen zijn. Een dergelijk studie zou duidelijk moeten maken op welke termijn welke maatregelen tot welke waterhuishoudkundige effecten zouden kunnen leiden. Daarbij zou bij voorkeur ook aandacht moeten worden besteed aan enkele waterkwaliteitseffecten.
- 2 Om in een separate studie na te gaan in welke mate de landbouw feitelijk invloed kan uit oefenen op de bodemparameters, welke belemmeringen er zijn in de gangbare bedrijfsvoering, de wet- en regelgeving en technologische mogelijkheden en op welke wijze deze belemmeringen zouden kunnen worden weggenomen.
- 3 Om de actuele gegevens te verzamelen betreffende de huidige kwaliteit van de landbouwbodems. Dit is met name relevant in die gebieden waar er aanwijzingen zijn dat de bodemstructuur in belangrijke mate is verslechterd. De te verzamelen gegevens zijn o.a. indringingsweerstand, dichtheid, verzadigde doorlatendheid en bepalingen in bodemlaboratoria van de pF-curve en de onverzadigde doorlatendheid (teta-h en k-h relatie) op meerdere dieptes (tot minstens 50 a 60 cm-mv). Deze informatie is noodzakelijk ten behoeve van het weergeven van de referentiesituatie in landelijke en regionale studies.

- 4 Om een aantal pilots op te starten (of bij lopende pilots extra onderzoeksvragen in te brengen) om meetgegevens te verzamelen met betrekking tot de invloed van de bodem(structuur) op het watersysteem. Deze meetgegevens zijn nodig om in de bestaande hydrologische modellen het effect van de bodemstructuur op de waterhuishouding beter te kwantificeren en van daar uit te (kunnen) sturen op de waterbalans.
- 5 Om voor het verzamelen van de meetgegevens een set aan richtlijnen op te stellen om consistente en uniforme gegevens te verzamelen die bruikbaar zijn.
- 6 Om een database te ontwikkelen die het mogelijk maakt de gegevens met betrekking tot agrarische maatregelen en de invloed ervan op de bodemparameters op een eenvoudige wijze aan de gebruikte hydrologische modellen te kunnen koppelen. Hierbij kan worden gedacht aan een standaard set aan rekenkundige bodemprofielen( als uitbreiding op de nu gebruikte Staringreeks). Het doel hiervan is om op relatief eenvoudige wijze een relatie te kunnen leggen tussen bepaalde landbouwkundige ingrepen en het effect ervan op de lokale vochthuishouding en op regionaal niveau op de aan- en afvoercharacteristieken van een stroomgebied.

Op dit moment zijn meerdere ontwikkelingen, zowel ten aanzien van onderzoek als pilotprojecten, gaande. Een belangrijke ontwikkeling is de actualisatie van de Help-tabellen. Het is van belang bij de uitvoering van de bovenstaande aanbevelingen na te gaan in welke mate er gebruik kan worden gemaakt van lopende trajecten of hierbij met additionele kennisvragen kan worden aangesloten.