

GOEDE GROND VOOR EEN DUURZAAM WATERSYSTEEM



RAPPORT

2015
19

GOEDE GROND VOOR EEN DUURZAAM WATERSYSTEEM
VERDERE VERKENNINGEN IN DE RELATIE TUSSEN AGRARISCH
BODEMBEHEER, BODEMKWALITEIT EN WATERHUISHOUDING

RAPPORT

2015

19

ISBN 978-90-5773-688-9



COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer
Postbus 2180
3800 CD Amersfoort

AUTEURS

Peter Schipper (Wageningen UR (Alterra))
Piet Groenendijk (Wageningen UR (Alterra))
Nick van Eekeren (Louis Bolk Instituut)
Marleen van Zanen (Louis Bolk Instituut)
Joachim Rozemeijer (Deltares)
Gijs Jansen (Deltares)
Bjartur Swart (Earth Care Solutions)

BEGELEIDING

Marinus van Dijk (Waterschap vallei en Veluwe),
Kees van Rooijen/Johan Elshof (LTO)
Laurens Gerner (waterschap Rijn & IJssel)
Toin Lambrechts (Waterschap Reest en Wieden)
Bas Worm (Waterschap Vechtstromen)
Wilbert van Zeventer (ministerie van I&M)
Sonja Kooijman (SKB)
Maarten Verkerk (Waterschap Aa & Maas)
Arne Roelevink (waterschap Noorderzijlvest)
Michelle Talsma (STOWA)
Rob Ruijtenberg (Bureau WeL namens STOWA)

Onderzoek mede mogelijk gemaakt door Ministerie van I&M en STOWA

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau
STOWA STOWA 2015-19
ISBN 978-90-5773-688-9

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

Vanuit het waterbeheer wordt met de nodige interesse gekeken naar de mogelijke bijdrage van goed bodembeheer aan het behalen van de KRW-doelen, het oplossen van zoetwatertekorten, het tegengaan van wateroverlast en daarmee aan het robuuster maken van het watersysteem.

De laatste jaren werden met het oog hierop diverse pilots gestart om via verbetering van de bodemkwaliteit zowel de agrarische bedrijfsvoering te verbeteren als te komen tot een beter waterhuishouding. De pilots zijn met name gericht op verhoging van het organisch-stofgehalte, het bevorderen van een diepere beworteling en het stimuleren van bodemleven.

In deze pilots werden de bodemindicatoren gemonitord, maar werden geen directe metingen of (model-)berekeningen uitgevoerd die inzicht geven in het effect van de maatregelen op de waterhuishouding. Het was daarom onbekend wat maatregelen op perceelsniveau opleveren aan extra berging, afname van de oppervlakkige afstroming, afname van de wateraanvoer-behoefte of het effect op piekafvoeren.

De modelstudie 'Goede grond voor een duurzaam watersysteem' heeft hierin verandering gebracht.

In de modelstudie zijn:

- de potentiële effecten van bodemverbeterende maatregelen op de waterhuishouding (waterkwantiteit en -kwaliteit) inzichtelijk gemaakt;
- tekortkomingen van de gebruikte modellen in beeld gebracht;
- lopende projecten in beeld gebracht en
- is verkend welke monitoring nodig is om tot kwantificering te komen.

Uit de modelstudie komt naar voren dat bodemverbeterende maatregelen (grote) effecten kunnen hebben op de vermindering van piekafvoeren en de vermindering van droogte.

In een vervolg wil STOWA werken aan een verdere kwantificering van de effecten en de haalbaarheid van de maatregelen in de praktijk. Hiervoor is monitoring in projecten een belangrijke bron van informatie. Met behulp van deze gegevens kan het bestaande keuze-instrumentarium sterk worden verbeterd. Met behulp van dit instrumentarium is de waterbeheerder dan straks in staat om een afgewogen keuze te maken voor maatregelen die het meest bijdragen aan een doelmatig waterbeheer.

Amersfoort, juni 2015

Directeur STOWA

Ir. J.J. Buntsma

SAMENVATTING

Een optimale bodemkwaliteit draagt bij aan de wateropgaven en een betere opbrengst van landbouwgewassen. In de praktijk zijn veel landbouwbodems in meer of mindere mate verdicht, zijn de condities voor bodemleven niet gunstig, is het organisch stofgehalte niet optimaal en de beworteling beperkt. De laatste jaren zijn daarom projecten opgezet waarin waterbeheerders en agrariërs samenwerken om bodem verbeterende maatregelen in de praktijk uit te voeren. Het is echter geheel niet bekend wat de effecten van zulke maatregelen zijn op de kwantiteit en kwaliteit van het water op lokaal (perceel) niveau en op het regionale watersysteem.

Daarom hebben Alterra, Deltares, het Louis Bolk Instituut en ECS op verzoek van Stowa, I&M, SKB, Waterschap Veluwe, Vechtstromen en Rijn en IJssel een plan opgesteld voor een onderzoeksprogramma. Op basis van dit plan “Goede grond voor een duurzaam watersysteem” heeft Stowa opdracht verleend voor uitvoering van een eerste fase. In de eerste fase zijn:

- potentiële effecten op de waterhuishouding (kwantiteit en kwaliteit) van enkele bodemverbeterende maatregelen verkend met state-of-the-art modellen op perceels- en stroomgebiedsniveau;
- kennishiaten en tekortkomingen in de gebruikte modelconcepten geïdentificeerd;
- lopende projecten verkend om na te gaan of en hoe monitoring en onderzoek kan worden ingevuld om hiaten in kennis op te vullen en veldgegevens te verzamelen die als input en toetsing kunnen worden gebruikt om modelmatig effecten te kwantificeren.
- Aandacht en interesse voor het onderwerp gepeild door het verzorgen van lezingen en organiseren van workshops op landelijke bijeenkomsten.

Het voorliggende rapport beschrijft de resultaten van deze eerste fase.

1 WAAROM WERKEN AAN “GOEDE GROND VOOR EEN DUURZAAM WATERSYSTEEM”?

De kwaliteit van landbouwbodems is essentieel vanuit het perspectief van de agrariër. Echter ook de waterbeheerders hebben, mede vanuit hun belangrijke wateropgaven (waterkwaliteit, veiligheid, adaptatie op extremere neerslag en droogte) baat bij een gezond bodemsysteem. De toestand van de bodem bepaalt namelijk in belangrijke mate hoeveel water er in natte perioden kan worden geborgen (reductie piekafvoeren en wateroverlast) en in drogere perioden kan worden vastgehouden (verminderen van vochttekorten). Daar bovenop heeft de bodemkwaliteit direct en indirect ook een belangrijke invloed op de waterkwaliteit van een stroomgebied.

De kwaliteit van de landbouwbodems staat onder druk door toegenomen mechanisatie (zware machines op het land), maximalisering van de gewasproductie en de wijze van bemesting (drijfmest en kunstmest in plaats van stalmest en andere organische bemesting). Dit wordt mede in de hand gewerkt door de liberalisering van het pachtstelsel en toename van eenjarige pachtcontracten voor specifieke teelten, want dit geeft minder prikkels om te investeren in de bodemkwaliteit van opvolgende jaren.

Het besef groeit bij boeren en waterschappen dat aanpassingen in het agrarisch bodembeheer in belangrijke mate achteruitgang van de bodemkwaliteit kan tegengaan en vaak voordelig zijn voor zowel de agrariër als de waterbeheerder en uiteindelijk ook de consument.

Afgelopen jaren zijn al tal van projecten van de grond gekomen om gezamenlijk met boeren te werken aan verbetering van de bodem en de waterhuishouding. In die projecten zijn met deelnemende agrariërs een groot aantal maatregelen in de praktijk uitgevoerd en getest. Het betreft dan maatregelen die direct gericht zijn op bodemverbetering (bijvoorbeeld werken

met dieper wortelende gewassen, toepassen compost in plaats van drijfmest en stimuleren van bodemleven), maar ook maatregelen die gericht zijn op aanpassing van de detailwaterhuishouding zoals regelbare drainage.

Echter, veelal is ook gebleken dat de monitoring in deze pilots veelal niet toegesneden is geweest op het vaststellen van langjarige effecten op de waterkwantiteit en -kwaliteit. Monitoring is duur en vergt lange doorlooptijden, terwijl het doel van deze pilots is gericht om maatregelen in praktijk te brengen. Het gevolg hiervan is dat niet goed bekend is wat de maatregelen nou per saldo opleveren voor het watersysteem. De waterbeheerder kan daardoor maatregelen voor bodemverbetering nog altijd niet goed afwegen tegen maatregelen die voor waterbeheerders meer gangbaar zijn, zoals het aanwijzen van waterbergingsgebieden of flexibeler peilbeheer. Maar evenzeer geldt dat voor agrariërs ook niet goed aan te geven is wat de effecten zijn van de bodemverbeterende maatregelen op de vocht- en nutriëntenhuishouding en de mede daarvan afhankelijke gewasopbrengsten.

Kortom, er is een behoefte om effecten van bodemverbeterende maatregelen op het watersysteem te kunnen kwantificeren, zowel voor de agrariër als voor de waterbeheerder. Dit vraagt om een andere insteek van monitoring bij onderzoek naar maatregelen, maar ook om een geschikt modelinstrumentarium om meetresultaten te kunnen extrapoleren naar andere omstandigheden, zowel in tijd (langjarige effecten, ander klimaat), als in ruimte (andere bodems, stroomgebiedsniveau).

2 WAT ZIJN DE POTENTIES VAN BODEM VERBETERENDE MAATREGELLEN?

Werken aan verbetering van de bodemkwaliteit is werken aan organische stof, bodemchemie, bodemleven, bodenstructuur, waterhuishouding en beworteling. Deze elementen kunnen niet los van elkaar worden gezien maar hangen allemaal met elkaar samen. Bodemverbeterende maatregelen grijpen dan ook vaak aan op meerdere elementen van de bodemkwaliteit. Om een beeld te krijgen van wat bodemverbeterende maatregelen kunnen opleveren voor het watersysteem, zijn met state-of-the-art modellen berekeningen uitgevoerd op perceelniveau en op stroomgebiedsniveau.


2.1 METHODE: SCENARIO'S EN INVULLING VAN DE MODELBEREKENINGEN

Op perceelniveau zijn 2 verschillende bodemtypen die beiden veel voorkomen in de Gelderse Vallei geschematiseerd en doorgerekend met het modelinstrumentarium SWAP-WOFOST-ANIMO voor verschillende gewassen en verschillende hydrologische omstandigheden. De bodemtypen zijn: zwak lemig fijn zand (Veldpodzol) en lichte zavel (Ooivaaggrond). Berekeningen zijn uitgevoerd voor gras en snijmaïs en daarbij voor een bodem met vrij hoge grondwaterstanden en een bodem met vrij lage grondwaterstanden.

Op stroomgebiedsniveau zijn modelberekeningen voor het stroomgebied van de Baakse Beek uitgevoerd met het model AMIGO, dat is opgebouwd uit de modellen Modflow en MetaSWAP. Met deze modellen zijn de volgende varianten doorgerekend: a) een referentie situatie met bodemkenmerken van een tot enkele decennia terug waar al enige mate van verdichting is opgetreden, b) een situatie waarbij bodems door intensieve grondbewerkingen met zware machines verder verdicht zijn en c) bodems die ten opzichte van de referentie zijn verbeterd door maatregelen.

Voor de berekeningen met SWAP is in databases van de WUR (Staringreeks 2002 en BOFEK) gezocht naar gemeten vocht karakteristieken die representatief zijn voor de referentie, de verdichte en de verbeterde bodems. De hierbij gedane aanpassingen zijn zo goed mogelijk vertaald naar inputparameters voor MetaSWAP in het AMIGO-model, zodat de varianten op beide schaalniveaus vergelijkbaar zijn gemaakt.

De doorgerekende scenario's zijn in onderstaande tabel samengevat.

	Referentie	Verdicht	Verbeterd
	Standaard worteldiepte Maïs 60 cm / gras 25 cm	Ondiepere beworteling Maïs 35 cm / gras 15 cm	Diepere beworteling maïs 80 cm / gras 35 cm*
	Vocht- en doorlatendheid karakteristieken voor zwak lemig fijn zand en lichte zavel afgeleid uit het Bodem Informatie Systeem. Voor beide geldt dat al enige mate van verdichting is opgetreden	Vocht- en doorlatendheid karakteristieken die representatief zijn voor een duidelijk verdichte laag net onder de ploegzool (op zo'n 30 a 50 cm diepte) en bij gras net onder de wortelzone)	Vocht- en doorlatendheid karakteristieken die representatief zijn voor bodems met een verhoogd organisch stofgehalte (verhoging ca 1,5 %), beter bodemleven en waar verdichting geheel is opgeheven.

* Voor droge bodems zijn grotere worteldieptes aangenomen, nl. maïs 100 cm en gras 40 cm.

De invoerparameters voor de modellering van het scenario waarbij bodems zijn verdicht en verbeterd, zijn afgeleid op basis van een uitgebreide analyse van datasets van bodems waarvan de vocht karakteristieken in het laboratorium zijn bepaald. Dit geldt ook voor de invoerparameters van het scenario met een verhoogd organisch stofgehalte. In de voorgaande studie voor de Veluwe waarin verkennend is gerekend met SWAP, was volstaan met indicatieve worst- en best-case aannames.

Naast de 3 genoemde hoofdvarianten (referentie, verdicht en verbeterd) zijn op perceelniveau specifieke berekeningen uitgevoerd voor de aanwezigheid van een slempkorst en een verbetering van de maaiveldligging waardoor de berging op maaiveld toeneemt en oppervlakte afstroming wordt geremd. Op stroomgebiedsniveau zijn ook berekeningen uitgevoerd voor wijziging van gewassen, namelijk een berekening waarin overall waar maïs wordt geteeld overgegaan wordt op gras en een berekening waarin het huidige areaal gras wordt vervangen door maïs.

Op perceelniveau is een tijdreeks van 33 jaar op uurbasis doorgerekend voor een vrij natte en een vrij droge veldpodzol en ooivaaggrond met gras en snijmaïs. De output is statistisch verwerkt om na te gaan hoe de bodems extreme piekbuien in de zomer en in de winter verwerken. Verder is met de resultaten de droogteschade voor het langjarig gemiddelde en het typische droge jaar 2003 in beeld gebracht en de daaraan gerelateerde gewasopbrengst.

Op stroomgebiedsniveau is voor de effecten op piekafvoeren gekeken naar het jaar 1998 omdat juni 1998 de natste junimaand van de 20e eeuw was die veel wateroverlast gaf en vervolgens in oktober 1998 nogmaals een periode met extreme buien voorkwam. Voor het effect op de droogte is ingezoomd op het zomerhalfjaar van 2003, wat een uitzonderlijk droog voorjaar en zomer kende.

Om te zien wat effecten kunnen zijn op uitspoeling naar grondwater en oppervlaktewater zijn modelberekeningen uitgevoerd met SWAP-WOFOST-ANIMO. Deze zijn uitgevoerd voor dezelfde veldpodzol- en ooivaaggronden met een voor de Gelderse Vallei vrij gemiddelde nitraatuitspoeling. De rekenparameters zijn overgenomen uit STONE, het landelijke model voor uit- en afspoeling van nutriënten.

2.2 RESULTATEN MODELBEREKENINGEN: POTENTIES DOOR AFNAME PIEKAFVOEREN

De berekeningen tonen aan dat de bodem veel invloed heeft op de piekafvoeren. Op perceelniveau blijkt dat bodems met een verbeterde bodemstructuur en hieraan gerelateerde grotere infiltratiecapaciteit zomerse piekbuien veel beter verwerken en dat de piekafvoeren naar de watergangen met de helft af kunnen nemen. De piekafvoeren nemen ook in de winter af, maar deze afname is minder groot dan in de zomer (zie figuur 1) omdat dan de piekafvoeren in de winter ook optreden in tijden dat de grondwaterstanden erg hoog zijn en er nauwelijks regenwater in de bodem geborgen kan worden. Een betere infiltratiecapaciteit heeft dan weinig invloed. De berekeningen geven tevens aan dat de piekafvoeren sterk afnemen door een verbetering van het reliëf van percelen, hetgeen logisch is omdat hiermee een situatie wordt berekend waarbij de condities voor oppervlakte afstroming sterk zijn beperkt. Als de vorming van een slempkorst voorkomen kan worden, nemen de piekafvoeren in zomerse omstandigheden af.

In de modellen is niet berekend of en in welke mate de piekafvoeren leiden tot wateroverlast. In het algemeen kan worden gesteld dat plasvorming op de akkers vooral schade zal geven in het groeiseizoen en dan met name in het beging (zaaitijd) en eind (oogst) en dat hoge piekafvoeren vooral in de winter kunnen leiden tot situaties dat waterlopen buiten hun oevers treden.

Op het niveau van het gehele stroomgebied is een significante reductie van de piekafvoeren berekend bij bodemverbetering (zie figuur 2). Uit de regionale modellering is ook naar voren gekomen dat het effect van bodemverbetering of verdichting nauwelijks effect heeft op de langjarig gemiddelde grondwaterstanden (weinig / geen verandering GHG of GLG). Deze standen worden vooral bepaald door de drainage. In een verbeterde bodem wordt wel meer water vastgehouden in de onverzadigde zone en leidt dit tot minder grote vochttekorten dat in het navolgende wordt behandeld.

2.3 RESULTATEN MODELBEREKENINGEN: POTENTIES DOOR AFNAME DROOGTESTRESS

Op perceelniveau blijkt dat een verbeterde bodem tot significant minder droogteschade leidt. Dit geldt voor zowel het langjarig gemiddelde als voor een droge zomer als 2003. De gewasopbrengsten (kg droge stof) nemen daarbij significant toe. Figuur 3 geeft de resultaten weer voor snijmaïs op vrij droge veldpodzolgronden. Voor ooivaaggronden zijn de verschillen nog wat groter.

Door een betere bodemstructuur neemt ook de beregeningsbehoefte af. Op perceelniveau wordt met het modelinstrumentarium voor veldpodzolgronden berekend dat de beregeningsbehoefte door de bodemverbetering afneemt met circa 50 mm (2 beregeningsbeurten) en dat als bodems verder verdicht worden de beregeningsbehoefte juist toeneemt met zo'n 30 mm. Voor ooivaaggronden wordt een nog grotere afname van de beregeningsbehoefte berekend (circa 60 à 90 mm).

Voor het stroomgebied van de Baakse Beek is het effect op droogte in beeld gebracht door te kijken naar de berekeningsresultaten van beregening. Zodra volgens de modelrun een kritisch vochtgehalte in de wortelzone wordt onderschreden, wordt automatisch in het model een beregeningsgift gegeven. De aldus berekende beregeningsbehoefte in 2003 is cumulatief weergegeven in figuur 4. Ten opzichte van een verdichte bodem neemt de beregeningsbehoefte bij verbeterde bodems op stroomgebiedniveau af met circa 8 mm (0,6 Mm³). Dit lijkt ten opzichte van de perceelmodellering gering, maar dat komt omdat in het stroomgebied ook een aanzienlijk oppervlak natuur is en dat ook lang niet overal beregening wordt toegepast. Hierbij is uitgegaan van de meest recente beregeningskaart, die aangeeft waar agrariërs wel/niet beregenen. Hierbij dient te worden bedacht dat in het algemeen het areaal dat wordt beregend de laatste jaren toeneemt en de verwachting is dat deze trend zich voortzet.

2.4 RESULTATEN MODELBEREKENINGEN: POTENTIES DOOR MINDER UIT- EN AFSPOELING NUTRIËNTEN

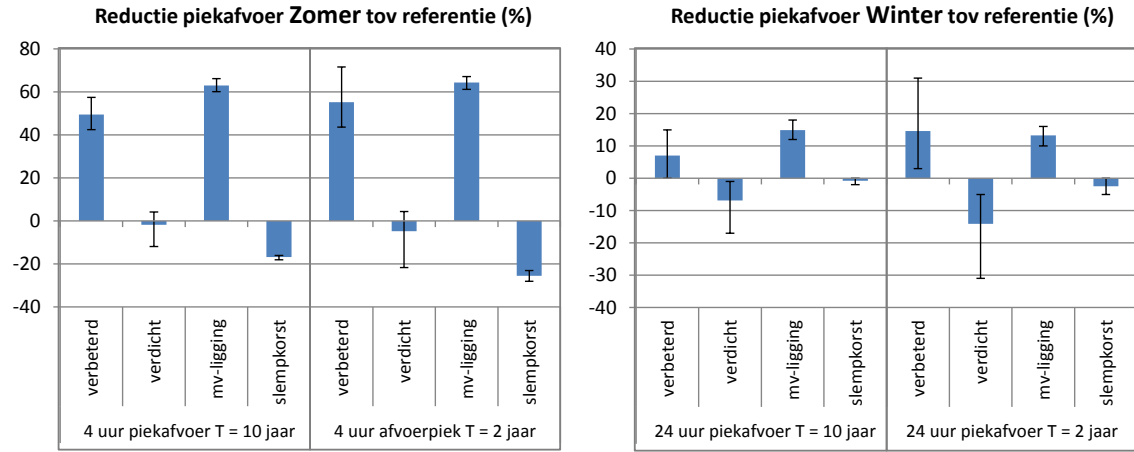
Met SWAP-WOFOST-ANIMO is op perceelniveau verkend wat het effect is van bodemverbetering op de uitspoeling van nutriënten naar grond- en oppervlaktewater. De rekenresultaten geven weliswaar aan dat door een verbetering van de bodemkwaliteit minder nitraat uitspoelt en de oppervlakkige afspoeling van fosfaat afneemt, maar de omvang van deze vermindering is niet goed aan te geven. Dit komt vooral omdat het modelinstrumentarium nog onvoldoende rekening houdt met diverse terugkoppelingen in bodemkwaliteitsfactoren. Zo zijn de veranderende gewasopbrengsten, nutriëntenbenutting en invloed van een hoger organisch stofgehalte op de mineralisatie en denitrificatie in de rekenmodules nog niet goed op elkaar afgestemd. Geconcludeerd is dat het modelinstrumentarium nu nog niet geschikt is om de effecten betrouwbaar te kwantificeren en dat hiervoor enkele essentiële terugkoppelingen in het modelinstrumentarium moeten worden ingebouwd en getest. Er zijn wel aanwijzingen dat wanneer oppervlakkige afstroming optreedt, dit gepaard kan gaan met hoge piekbelastingen van nutriënten, vooral als kort ervoor is bemest. Dit risico zal bij bodemverbeterende maatregelen sterk kunnen afnemen. (Meet)gegevens om dit te kwantificeren zijn nog onvoldoende verzameld.

2.5 WAT ZIJN DE BEPALENDE FACTOREN VAN DE BEREKENDE EFFECTEN?

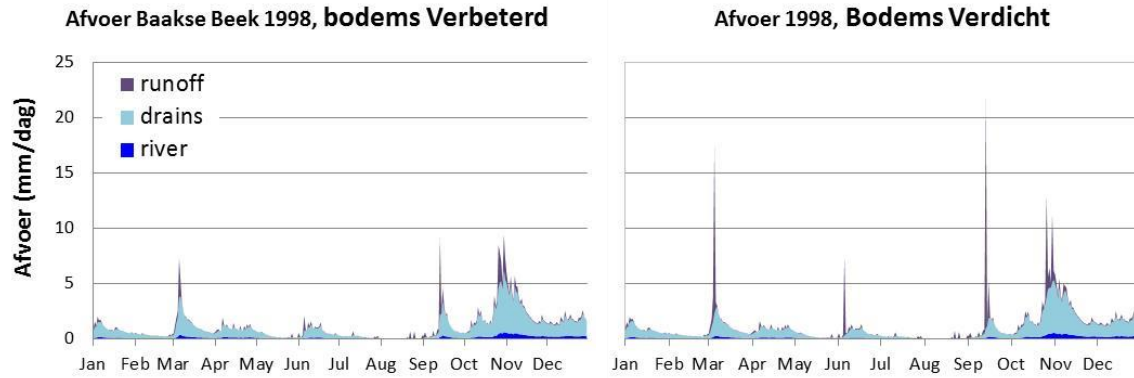
Piekafvoeren: duidelijk is geworden dat vooral het infiltratiegedrag van de bodem (infiltratiecapaciteit en –snelheid) bepalend is voor de gevonden effecten. De oppervlakkige afstroming bij een verdichte bodem is significant hoger dan bij een verbeterde bodem. Ook de berging op het maaiveld is bepalend en dus het reliëf van de percelen met betrekking tot de risico's voor oppervlakteafstroming.

Droogte / beregeningsbehoefte: gebleken is dat vooral de diepte van de beworteling een groot effect heeft op de droogteschade en de beregeningsbehoefte. Een verbeterde bodemstructuur door een toename van het gehalte organische stof en een verbeterd bodemleven heeft hier minder directe invloed op dan verwacht. Hierbij moet worden bedacht dat voldoende organisch stof en bodemleven indirect invloed hebben op de beworteling en verhoging van organisch stof en bodemleven nodig is om te zorgen dat bij het opheffen van bodemverdichting de verbeterde structuur van blijvende aard is.

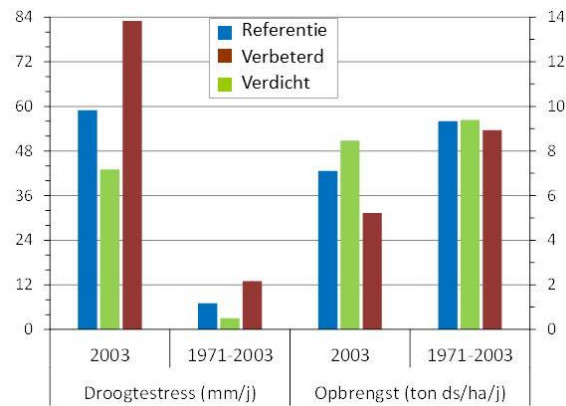
FIGUUR 1 REDUCTIE PIEKAFVOEREN EXTREME BUIEN 'S ZOMERS EN 'S WINTERS OP PERCEELNIVEAU



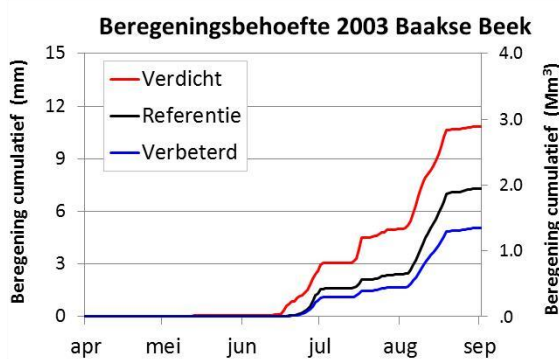
FIGUUR 2 REDUCTIE PIEKAFVOEREN EXTREME BUIEN 1998 STROOMGEBIED BAAKSE BEEK



FIGUUR 3 DROOGTESCHADE EN GEWASOPBRENGSTEN VOOR MAÏS OP VRIJ DROGE VELDPDZOLGRONDEN (REFERENTIE, VERBETERD & VERDICHT) BODEMKWALITEIT)



FIGUUR 4 BEREGENINGSBEHOEFTE 2003 STROOMGEBIED BAAKSE BEEK (REFERENTIE, VERBETERD EN VERDICHT) BODEMKWALITEIT)



3 HOE BETROUWBAAR ZIJN DE BEREKENDE EFFECTEN?

Op de berekeningen zijn geen statistisch onderbouwde gevoeligheidsanalyses uitgevoerd, mede omdat er onvoldoende kennis is om bandbreedtes van de belangrijke inputparameters goed te schatten en/of te onderbouwen. De onzekerheden van de berekende effecten kunnen daarom alleen indicatief worden aangegeven op basis van expertkennis.

In de modelleringen zijn voor de rekenscenario's geen best/worst-case, maar zo realistisch mogelijke aannames gedaan voor verandering van de bodemfysische eigenschappen. Hierbij is gebruik gemaakt van beschikbare data van bodemmonsters waarvan de factoren van de bodemkwaliteit in het veld en/of laboratorium zijn onderzocht. In de databases zijn echter niet veel geschikte bodemmonsters om de verandering van inputparameters voor de rekenvarianten uit af te leiden. Daarbij moet ook worden bedacht dat de effecten berekend zijn voor slechts 2 bodemtypes met 2 gewassen.

Ondanks deze onzekerheden wordt geconcludeerd dat bodemverbeterende maatregelen, die effect hebben op de infiltratiecapaciteit, infiltratiesnelheid, reliëf van percelen en diepte van beworteling, leiden tot lagere piekafvoeren, minder droogteschade, een kleinere beregeningsbehoefte en betere gewasopbrengsten.

Voor de waterkwaliteit kan alleen worden geconcludeerd dat bodemverbeterende maatregelen waarschijnlijk gunstig zijn voor de nutriëntenemissies naar water, want voor veel situaties geldt dat oppervlakteafstroming een belangrijke emissieroute van verontreinigende stoffen is. Het modelinstrumentarium voor uit- en afspoeling van nutriënten is nog niet geschikt om effecten van bodem verbeterende maatregelen te kwantificeren, zodat de mate van emissiereductie met het huidige modelinstrumentarium niet goed kan worden aangegeven.

4 WAT MOETEN WE MONITOREN OM EFFECTEN TE KUNNEN KWANTIFICEREN?

Om effecten van een verbeterde bodemstructuur op de vochthuishouding van landbouwpercelen te kunnen kwantificeren dient de monitoring vooral gericht te worden op de infiltratie- en bewortelings eigenschappen van de bodem. Voor praktijkprojecten waar door waterbeheerders en agrariërs wordt gewerkt aan verbetering van de kwaliteit van landbouwbodems, wordt daarom geadviseerd het volgende in de monitoring op te nemen:

Voorstel Monitoring gericht op mogelijke kwantificering effecten bodemkwaliteit op het watersysteem

- Visueel: Perceelkenmerken, afstand waterlopen, hol/bol maaiveldverloop, rijpaden, aanwezigheid buisdrainage, greppels, eventuele probleemzones binnen het perceel (foto's of andere informatie over plassen, slechte gewasgroei ed.).
- Registratie van grondbewerkingen, gewasopbrengsten en bemesting.
- Ondiepe boringen tot onder de GLG, daarbij beschrijving korrelgrootte, lutum- en organisch stofgehalte, GHG, GLG en actuele grondwaterstand. Daarbij zoveel mogelijk ook (dunne) storende lagen vermelden. Bij voorkeur uitvoering met profielkuil om ondiepe dunne storende lagen te kunnen karteren.
- Visueel na het maken van een profielkuil: structuurbeschrijving, bewortelbaarheid en bewortelingsdiepte, tellen aantal levende wortels per dm², aangeven diepte en dikte eventuele verstoringen en/of verdichte lagen, scheuren, doorgaande poriën, wormactiviteit.
- Indringingsweerstand, zoveel mogelijk bij veldcapaciteit en het vochtgehalte meten.

- Infiltratieproeven (bij voorkeur dubbelrings), op het niveau van de ploegzool dus eerst de bouwvoor wegschuiven. Zoveel mogelijk bij veldcapaciteit.
- Voor profielkuilen, te steken bodemmonsters, meten indringingsweerstand en infiltratie snelheden dient specifiek te worden gekeken naar verschillen tussen de kop van de akkers en het midden van het perceel.

Naar aanleiding van deze studie is deze monitoring, aanvullend op de al lopende monitoring, grotendeels opgenomen in het veldwerk voor het project Vruchtbare Kringlopen (Rijn & IJssel).

Voor de effecten op de nutriënten dient ook aandacht te worden besteed aan het monitoren van de chemische kwaliteit van de bodem, grondwater, drainagewater en het monitoren van de oppervlakte-waterkwaliteit in de haarvaten en op punten die kenmerkend zijn om vruchten te kunnen berekenen.

5 CONCLUSIES

Uit het onderzoek van fase 1 van “Goede grond voor een duurzaam watersysteem” blijkt dat de positieve verwachtingen t.a.v. het effect van bodem verbeterende maatregelen op piekafvoeren en vermindering van droogte-effecten worden bevestigd door resultaten van de modelstudies. Daarom wordt geconcludeerd dat het voor zowel de agrariër als waterbeheerder zinvol is om mee te werken aan bodem verbeterende maatregelen, te meer daar er diverse signalen zijn dat de conditie van landbouwbodems onder druk staat. Een goede bodemkwaliteit (ofwel goede bodem conditie) is gunstig voor zowel de agrarische productie en -bedrijfsvoering als het watersysteem, waardoor bodem verbeterende maatregelen voor zowel waterschap als agrariër perspectief bieden. Een verdere kennis uitwisseling op het gebied van bodem, water en agrarische bedrijfsvoering is daarom wenselijk.

Verdere conclusies zijn:

- Agrariërs hebben tal van mogelijkheden om te sturen op verbetering van de bodemkwaliteit en hebben daar ook goede perspectieven voor. Studies naar bodemverdichting tonen bijvoorbeeld dat het voorkomen en verhelpen voor de agrariër snel baten oplevert (op zandgrond 12% opbrengst voor gras en 15% voor maïs). Een studie naar organische stof toont dat verhoging van het organisch stofgehalte op zandgrond met 1 % in de bovengrond (0-10 cm) leidt tot een extra opbrengst van 1320 kg droge stof gras per hectare ofwel (x 0,11 /kg ds) 145 per ha per jaar.
- Gevonden is dat het infiltratiegedrag van de bodem en diepte van beworteling in belangrijke mate de berekende effecten op het watersysteem bepalen. Voor oppervlakkige afstroming (en dus ook de piekafvoeren) is ook de maaiveldligging (reliëf en helling) van percelen een bepalende factor.
- Het modelinstrumentarium voor de kwantiteit is redelijk geschikt om de beschouwde maatregelen globaal te kwantificeren. Wel zijn aandachtspunten naar voren gekomen die aanleiding geven om de modelconcepten nog te verbeteren. Voor SWAP is beïnvloeding van de diepte van de beworteling in relatie tot het berekenen van natschade een aandachtspunt, voor MetaSWAP de wijze waarop de infiltratiecapaciteit wordt opgelegd.
- Het modelinstrumentarium voor de kwaliteit (nutriënten) is nog niet geschikt om effecten te kwantificeren. Het instrumentarium omvat wel de belangrijke processen voor het gedrag van de nutriënten in de bodem en gewasopname, maar schiet nog tekort in het beschrijven van de terugkoppelingen tussen processen en de factoren van de bodemkwaliteit die door maatregelen worden beïnvloed. Dit zegt in feite ook iets over de huidige kennis van bodems, namelijk dat de factoren die bodemkwaliteit bepalen (organische stof,

bodemchemie, bodemleven, bodenstructuur, waterhuishouding en beworteling) niet los van elkaar kunnen worden gezien maar sterk met elkaar samenhangen.

- De laatste jaren zijn tal van projecten uitgevoerd en gestart waar waterbeheerders met agrariërs samenwerken om bodemverbeterende maatregelen in de praktijk uit te voeren. Kwantitatieve informatie over de effecten op het watersysteem en over de factoren die door maatregelen worden beïnvloed is relatief schaars. De huidige monitoring is meestal hierop niet ingericht. Om de hydrologische modellen te voeden met informatie over bodemverbetering zijn langjarige systematische veldexperimenten nodig waar bodemverbeterende maatregelen worden uitgevoerd.
- In diverse bijeenkomsten zijn de opzet en deelresultaten van het project gecommuniceerd. In al deze bijeenkomsten werd het belang van het onderzoek en het onderwerp onderkend. Mede hierdoor is de aandacht voor het onderwerp - de relatie tussen bodemkwaliteit en het watersysteem- toegenomen.

6 AANBEVELINGEN

6.1 AANBEVELINGEN OM KENNISLEEMTEN OP TE VULLEN:

Om effecten op het watersysteem te kunnen kwantificeren, wordt aanbevolen om:

- Gerichte monitoring op te zetten en uit te voeren zoals hiervoor aangegeven in projecten waar samen met agrariërs wordt gewerkt en gemeten aan de bodemkwaliteit en maatregelen om deze te verbeteren;
- Een database op te zetten waarin metingen en inzichten in effecten van bodemverbeterende maatregelen worden gebundeld;
- Adequate meetgegevens verzamelen over de risico's van piekbelastingen (meststoffen e.a. verontreinigende stoffen) als regenwater oppervlakkig (over het maaiveld) naar watergangen stroomt;
- Het modelinstrumentarium voor de waterkwantiteit zodanig te verbeteren, dat hiermee redelijk valide het effect van bodemverbeterende maatregelen op de waterkwaliteit kan worden berekend en zo bodemverbetering meegenomen kan worden in het waterkwaliteit beleid (met name Kader Richtlijn Water);
- Voor het traject van waterwijzer aandacht te besteden aan de berekening van schade van landbouwgewassen, wanneer door maatregelen de diepte van beworteling toeneemt (met name nat-schade);
- Het bestaande modelinstrumentarium voor de kwaliteit (emissies nutriënten naar water) te verbeteren en verder te ontwikkelen, gericht op het inbouwen en verbeteren van terugkoppelingen tussen de processen die bepalend zijn voor het stofgedrag en de bodemfactoren die door maatregelen worden beïnvloed.
- De gedane berekeningen uit te breiden voor andere gewassen en andere bodems, in samenwerking met waterschappen e.a. actoren.

6.2 AANBEVELINGEN VOOR MONITORING IN LOPENDE PROJECTEN:

In fase 1 zijn de talrijke lopende projecten nagelopen en is bekeken in hoeverre ze zich lenen voor aanvullende monitoring, gericht op het kunnen kwantificeren van effecten op het watersysteem. Uit deze inventarisatie is vanuit pragmatische overwegingen een keuze gemaakt voor de volgende drie projecten:

- 1 Vruchtbare Kringloop (Oost-Gelderland). Hier wordt de Kringloopwijzer breed ingevoerd en is een studiegroep gevormd. Op een aantal percelen wordt door het Waterschap Rijn en IJssel

aanvullend veldonderzoek uitgevoerd. Het Knowledge Transfer Centrum De Marke ligt centraal in dit gebied. Voor dit project is een monitoringsplan opgesteld waarmee in het najaar 2014 is aangevangen met veldonderzoek.

- 2 Bufferboeren rondom de drinkwaterwinning Loosbroek van Brabant Water en SKB-Showcase “De bodem als basis voor duurzame landbouw en schoon water” in Oost-Brabant. Bufferboeren en SKB-Showcase lopen in 2014 af. Resultaten laten zien dat een voortzetting van monitoring waardevol is, waarbij meer gerichte metingen op hydrologische effecten en metingen van nitraatuitspoeling voor de hand liggen. Een deelvoorstel is ontwikkeld voor watersysteem gerelateerde metingen op de PPO locatie Vredepeel, aansluitend aan het systeemonderzoek waarin het effect van de aanvoer van compost op de bodemkwaliteit en gewasopbrengsten wordt onderzocht
- 3 ‘Gouden Gronden’ (het noordelijk zeekleigebied). In dit gebiedsgerichte project zal een analyse van de effecten van maatregelen op droogte, wateroverlast, waterkwaliteit en gewasopbrengst plaatsvinden en worden gegevens verzameld om rekenmodellen aan te kunnen passen zodat de invloed van bodemkwaliteit tot uitdrukking worden gebracht in de procesbeschrijvingen, de ijking en de toetsing. Metingen en experimenten zijn mogelijk op de proefbedrijven Kollummerwaard in Munnikezijl en Ebelsheerd in Nieuw Beerta

Aanbevolen wordt om in het vervolgtraject van Goede grond voor een duurzaam watersysteem met deze projecten aan de slag te gaan.

6.3 AANBEVELINGEN GERICHT OP DRAAGVLAK EN GOVERNANCE:

Gelet op de discussies met de begeleidingsgroep en de reacties op het project tijdens bijeenkomsten, wordt aanbevolen om voor verder draagvlak te werken aan:

- Analyse van handelingsperspectieven voor de agrariër en waterbeheerder, waaronder de kosten-baten, inpasbaarheid en draagvlak van maatregelen voor de agrariër en de winst voor het watersysteem af te zetten tegen andere maatregelen die voor de waterbeheerders meer gangbaar zijn;
- De betrokkenheid van provincies te vergroten;
- Het aspect voor governance verder uitdiepen. Bijvoorbeeld door uit te zoeken wat de drijfveren zijn om te investeren in verbetering van de bodemkwaliteit voor het Rijk, de Provincie, de agrarische sector en regionale waterbeheerders, hoe zij daarin goed kunnen samenwerken en met welke instrumenten. En hoe bijvoorbeeld aangesloten kan worden bij de initiatieven voor (Deltaplan) Agrarisch Waterbeheer;
- De studie en initiatieven onder de aandacht te brengen van bestuurders.

DE STOWA IN HET KORT

STOWA is het kenniscentrum van de regionale waterbeheerders (veelal de waterschappen) in Nederland. STOWA ontwikkelt, vergaart, verspreidt en implementeert toegepaste kennis die de waterbeheerders nodig hebben om de opgaven waar zij in hun werk voor staan, goed uit te voeren. Deze kennis kan liggen op toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk-juridisch of sociaalwetenschappelijk gebied.

STOWA werkt in hoge mate vraaggestuurd. We inventariseren nauwgezet welke kennisvragen waterschappen hebben en zetten die vragen uit bij de juiste kennisleveranciers. Het initiatief daarvoor ligt veelal bij de kennisvragende waterbeheerders, maar soms ook bij kennisinstellingen en het bedrijfsleven. Dit tweerichtingsverkeer stimuleert vernieuwing en innovatie. Vraaggestuurd werken betekent ook dat we zelf voortdurend op zoek zijn naar de 'kennisvragen van morgen' – de vragen die we graag op de agenda zetten nog voordat iemand ze gesteld heeft – om optimaal voorbereid te zijn op de toekomst.

STOWA ontzorgt de waterbeheerders. Wij nemen de aanbesteding en begeleiding van de gezamenlijke kennisprojecten op ons. Wij zorgen ervoor dat waterbeheerders verbonden blijven met deze projecten en er ook 'eigenaar' van zijn. Dit om te waarborgen dat de juiste kennisvragen worden beantwoord. De projecten worden begeleid door commissies waar regionale waterbeheerders zelf deel van uitmaken. De grote onderzoekslijnen worden per werkveld uitgezet en verantwoord door speciale programmacommissies. Ook hierin hebben de regionale waterbeheerders zitting.

STOWA verbindt niet alleen kennisvragers en kennisleveranciers, maar ook de regionale waterbeheerders onderling. Door de samenwerking van de waterbeheerders binnen STOWA zijn zij samen verantwoordelijk voor de programmering, zetten zij gezamenlijk de koers uit, worden meerdere waterschappen bij één en het zelfde onderzoek betrokken en komen de resultaten sneller ten goede van alle waterschappen.

De grondbeginselen van STOWA zijn verwoord in onze missie:

Het samen met regionale waterbeheerders definiëren van hun kennisbehoeften op het gebied van het waterbeheer en het voor én met deze beheerders (laten) ontwikkelen, bijeenbrengen, beschikbaar maken, delen, verankeren en implementeren van de benodigde kennis.

VERDERE VERKENNINGEN IN DE RELATIE TUSSEN AGRARISCH BODEMBEHEER, BODEMKWALITEIT EN WATERHUISHOUDING

INHOUD

	TEN GELEIDE	
	SAMENVATTING	
	STOWA IN HET KORT	
1	PROJECT GOEDE GROND VOOR EEN DUURZAAM WATERSYSTEEM	1
	1.1 Achtergrond	1
	1.2 Voorstel voor een onderzoeksprogramma	2
	1.3 Opdracht fase 1	3
	1.4 Leeswijzer	4
2	WAAROM WERKEN AAN BODEMKWALITEIT?	5
	2.1 Wat is een goede bodem en wat kun je eraan doen?	5
	2.2 Gaat de kwaliteit van landbouwbodems achteruit?	6
	2.3 Wat zijn handelingsperspectieven voor de agrariër?	7
	2.4 Handelingsperspectieven Waterbeheerder	10
	2.5 Hoe kunnen maatregelen worden gestimuleerd?	11
3	MODELVERKENNING EFFECTEN PERCEELSNIVO	12
	3.1 Nut en noodzaak van modelleren	12
	3.2 Globale verkenning Vallei en Veluwe (2013)	13
	3.3 Modelling waterkwantiteit en -kwaliteit perceelniveau	14
	3.3.1 Inleiding	14
	3.3.2 Opzet modelberekeningen	14
	3.3.3 Resultaten bodemverbetering voor piekafvoeren, droogte en gewasopbrengst	18
	3.3.4 Modelresultaten Nutriëntenuitspoeling	22
	3.3.5 Resultaten maaiveldligging	25

4	MODELVERKENNING EFFECTEN STROOMGEBIED	27
4.1	Inleiding	27
4.2	Gebiedsbeschrijving	27
4.3	Aanpak	28
4.4	Rekenvarianten	29
4.5	Doelvariabelen	32
4.6	Modelresultaten stroomgebied	32
4.7	Conclusies en aanbevelingen modellering stroomgebied	37
4.8	Kennishiaten in modellen perceel en stroomgebied	38
5	INVENTARISATIE PROJECTEN EN VELDONDERZOEK	40
5.1	Lopende projecten	40
5.2	Bedrijfs- en proefveldonderzoek	42
6	MONITORING	43
6.1	Voorstel voor monitoring in regionale projecten	43
6.2	Vruchtbare kringloop, Oost Gelderland	43
6.3	Oost Brabant	47
6.4	Gouden gronden	48
6.6	Voorbeeld monitoringsplan proefbedrijf en regio	49
7	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	53
7.1	Conclusies	53
7.2	Aanbevelingen	54
	7.2.1 Aanbevelingen om kennisleemten op te vullen:	54
	7.2.2 Aanbevelingen voor monitoring in lopende projecten:	54
8	LITERATUUR	56
	BIJLAGEN	
Bijlage 1	Modelinvoer perceelniveau	58
Bijlage 2	Modelresultaten perceelniveau	62
Bijlage 3	Advies metingen en monitoring	65
Bijlage 4	Overzicht projecten duurzaam bodemgebruik	69

1

PROJECT GOEDE GROND VOOR EEN DUURZAAM WATERSYSTEEM

1.1 ACHTERGROND

De bodem en het landbouwkundig gebruik ervan worden in toenemende mate gezien als belangrijke factoren bij het toekomstige waterbeheer. Zowel op Europees niveau (het EIP-Water) als op nationaal niveau (Deltaplan hoge zandgronden) wordt gewezen op de bijdrage die de bodem kan leveren aan het behalen van de KRW-doelen, de verdrogingsproblematiek, wateroverlast en het robuuster maken van ons watersysteem. Ook binnen de landbouw is er een toenemend bewustzijn van het belang van een goede bodem voor de agrarische bedrijfsvoering.

Om de relatie tussen bodem en water goed in de toekomstige beleidsontwikkelingen mee te kunnen nemen is het noodzakelijk dat de invloed van de bodem in de hydrologische modelleringen kan worden meegenomen. Daarmee kan niet alleen een goede basis onder kosten – baten analyses worden gelegd, ook aan bijvoorbeeld zoetwateraanvoerstudies en wateroverlaststudies kunnen bodemkundige scenario's worden toegevoegd. Dit kan tot nieuwe beleidsmatige keuzes leiden.

STOWA heeft de relatie tussen bodem en water al vroeg onderkend. Met het organiseren van workshops, symposia en het opstellen van een kennisdocument stond zij aan de basis van de verbreiding van kennis in de relatie tussen bodem- en water beheer.

De laatste jaren zijn in Nederland diverse pilots opgestart om in de praktijkmaatregelen te testen om de bodemkwaliteit te verbeteren met het oog op een verbeterde agrarische bedrijfsvoering te testen om meer water op het bedrijf te vast te houden met het oog op het tegengaan van verdroging. De pilots zijn deels gericht op verhoging van het organisch stofgehalte, het bevorderen van een diepere beworteling en het stimuleren van bodemleven en deels op het meer vasthouden van het water op bedrijfsniveau. In de pilots worden de bodemindicatoren gemonitord, maar er worden geen directe metingen of (model-) berekeningen uitgevoerd die inzicht geven in het effect van de maatregelen op de waterhuishouding. Het is onbekend wat de maatregelen op perceelsniveau opleveren aan extra berging, afname van de oppervlakkige afstroming, afname van de wateraanvoerbehoefte en het optreden van piekafvoeren. Een overzicht van mogelijke maatregelen ter verbetering van de beworteling van grasland is gegeven in tabel 1.1

TABEL 1.1 FACTOREN EN MAATREGELEN DIE BEWORTELING VAN GRASLAND BEÏNVLOEDEN. BRON: VAN EEKEREN ET AL, 2011.

Categorie	Hoofdfactor	Deelfactor (en effect op beworteling)	Maatregel
Bodem	Bodemfysisch	<ul style="list-style-type: none"> Bodemverdichting (-) Diepte zwarte laag (+) 	<ul style="list-style-type: none"> Voorkom verdichting en structuurschade
	Bodemchemisch	<ul style="list-style-type: none"> P-toestand (- en +) pH (zure grond: -) 	<ul style="list-style-type: none"> Houd fosfaattoestand voldoende Houd pH op peil
	Bodembiologisch	<ul style="list-style-type: none"> Regenwormen (+) 	<ul style="list-style-type: none"> Bevorder regenwormen (aantallen, activiteit en soorten)
Ontwatering	Ontwatering	<ul style="list-style-type: none"> Zuurstofarm (-) 	<ul style="list-style-type: none"> Zorg voor een goede ontwatering
Gewas	Soorten en rassen	<ul style="list-style-type: none"> Soorten en rassen 	<ul style="list-style-type: none"> Kies grassoorten en -rassen met een diepe en intensieve beworteling
	Maatregelen bij herinzaai	<ul style="list-style-type: none"> Zaadbehandeling (+) Zaadichtheid (+ ?) Gerst meezaaien (+ ?) 	<ul style="list-style-type: none"> Gebruik een snelgroeïend / diepwortelend gewas als dekvrucht bij herinzaai
Management	Bemesting	<ul style="list-style-type: none"> Algemeen: (-) N: (-) P: (-/+) K: (o) Humuszuren (+) 	<ul style="list-style-type: none"> Algemeen: N-niveau verlagen Uitstel van N-gift na maaien N-gift toediening onder het maaiveld Toediening humuszuren in de bodem vóór het zaaien
	Maaïen en beweiden	<ul style="list-style-type: none"> Maaifrequentie (-/+) Maaïhoogte (-/+) Beweidingssysteem (omweiden versus standweiden) 	<ul style="list-style-type: none"> Maaï minder frequent Streef naar optimaal bladoppervlakte voor fotosynthese
	Beregenen	<ul style="list-style-type: none"> Vochtvoorziening (-/+) 	<ul style="list-style-type: none"> Beregen minder frequent Voorkom droogtestress

De landbouw heeft, zo blijkt uit verschillende pilots, verschillende teelt-technische mogelijkheden om bijvoorbeeld de waterberging, de watervraag of de uitspoeling van nutriënten te beïnvloeden. Er is echter nog geen koppeling aangebracht tussen de landbouwkundige bedrijfsvoering, de bodemkundige parameters en de hydrologische parameters van de modellen die door de waterbeheerders voor hun kwaliteits- en kwantiteitsbeheer worden gebruikt. Daardoor is het momenteel niet mogelijk hydrologische scenariostudies uit te voeren die kwantitatieve informatie geven over effecten van maatregelen ter verbetering van de bodemkwaliteit / bodemstructuur. Zonder deze informatie kunnen bestuurders maatregelen ter verbetering van de bodemkwaliteit niet in hun adaptatiestrategieën afwegen; is het bijvoorbeeld beter om in te zetten op het creëren van meer open-waterberging of kan veel bereikt worden door samen met agrariërs de bodemkwaliteit te verbeteren zodanig dat een wederzijdse meerwaarde ontstaat?

1.2 VOORSTEL VOOR EEN ONDERZOEKSPROGRAMMA

Zoals aangegeven is door het consortium een onderzoeksprogramma opgesteld. De hoofdlijnen van dit programma zijn schematisch weergegeven in figuur 1.1. Het omvat de volgende werkpakketten.

Werkpakket 1, 'Zaaien en oogsten', richt zich op het verzamelen en uitdragen van kennis en inzichten. Het uitdragen van kennis vindt plaats via nieuwsbrieven, presentaties, het organiseren van symposia etc.

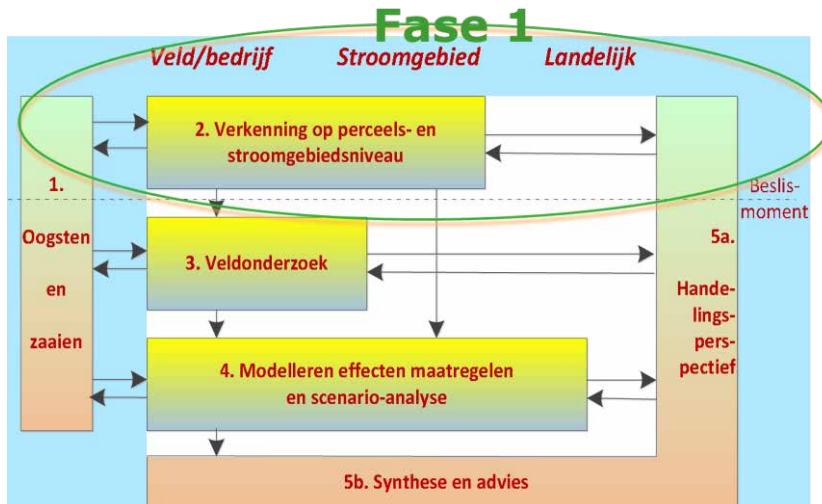
Werkpakket 2, 'Verkenning op perceel- en stroomgebied niveau', richt zich op de relaties in de gebruikte modellen tussen bodem en water en analyseert welke parameters daarin het meest bepalend zijn.

Werkpakket 3, 'Veldonderzoek', leidt tot het doen van aanvullende metingen in bestaande en nieuwe projecten om informatie over essentiële parameters voor het modeleren te verkrijgen. Werkpakket 4, 'Modeleren effecten maatregelen en scenario-analyse', vormt het hart van het project en laat zien welke maatregelen op welke gronden specifieke gevolgen hebben voor het waterbeheer.

Werkpakket 5, 'Handelingsperspectief en synthese', verkent al vroeg in het project inzichten ten aanzien van mogelijke "no-regret"-maatregelen en trekt op het eind de voor de waterbeheerder relevante conclusies.

FIGUUR 1.1

AANDEEL VAN FASE 1 IN EEN MEERJARIG PROGRAMMA (VISIE MEDIO 2013)



Doel van het onderzoeksprogramma is om:

- Alle beschikbare kennis met betrekking tot de relatie tussen bodem en water te verzamelen.
- Na te gaan welke essentiële kennis er ontbreekt en voorstellen te doen om deze (zo mogelijk in lopende projecten) alsnog te vergaren.
- Na te gaan hoe in de huidige hydrologische modellen de bodemkundige veranderingen het best kunnen worden geïmplementeerd.
- Op basis van de vergaarde kennis en inzicht de hydrologische modellen dusdanig door te ontwikkelen dat scenario's met bodemverbetering mogelijk worden
- In een aantal voorbeeldgebieden maatregel-effect relaties door te rekenen voor de toetsing en demonstratie van de modellen
- De verzamelde kennis en inzichten zoveel mogelijk uit te dragen.
- Handlingsperspectieven te formuleren voor zowel overheden als lokale ondernemers.

1.3 OPDRACHT FASE 1

Als eerste stap in dit ambitieuze maar relevante onderzoeksprogramma heeft STOWA aan het consortium¹ opdracht gegeven om:

- Potentiële effecten op de waterhuishouding (kwantiteit en kwaliteit) van enkele bodemverbeterende maatregelen te verkennen met state-of-the-art modellen op perceels- en stroomgebiedsniveau;
 - Op stroomgebiedsniveau de effecten op de waterkwantiteit (piekafvoeren naar het oppervlaktewater, droogte / beregeningsbehoefte)
 - Op perceel niveau naast deze effecten op de kwantiteit ook de effecten op de waterkwaliteit in de vorm van de effecten op de uit- en afspoeling van nutriënten.
- Aandachtspunten hierbij zijn om de aannames over modelinvoer van de rekenvarianten ten opzichte van de voorgaande Veluwe-studie verder uit te zoeken en onderbouwen en om kennishiaten en tekortkomingen in de gebruikte modelconcepten te identificeren;
- Lopende projecten te verkennen om na te gaan of en hoe monitoring en onderzoek kan worden ingevuld om hiaten in kennis op te vullen en veldgegevens te verzamelen die als input en toetsing kunnen worden gebruikt om modelmatig effecten te kwantificeren.
- Op basis van de verzamelde kennis globaal handlingsperspectieven te geven
- Aandacht en interesse voor het onderwerp te peilen door het verzorgen van lezingen en organiseren van workshops op landelijke bijeenkomsten.

¹ Het consortium bestaat uit WUR-Alterra, Deltares, het Louis Bolk Instituut en ECS - Earth Care Solutions.

Fase 1 is hiermee een oriëntatie op alle werkpakketten, opdat hieruit te trekken conclusies en aanbevelingen benut kunnen worden om het onderzoeksprogramma waar nodig bij te stellen en verder uit te werken.

1.4 LEESWIJZER

Het voorliggende rapport beschrijft de resultaten van deze eerste fase.

- Hoofdstuk 2 beschrijft waarom het belangrijk is om te werken aan de bodemkwaliteit.
- Hoofdstuk 3 behandelt de resultaten van de modelberekeningen op perceelsniveau
- Hoofdstuk 4 behandelt de resultaten van de modelberekeningen op stroomgebiedsniveau
- Hoofdstuk 5 geeft de resultaten van de inventarisatie van uitgevoerde en lopende projecten
- Hoofdstuk 6 geeft handvaten voor monitoring van effecten bodemverbetering op water
- Hoofdstuk 7 geeft de conclusies en aanbevelingen

De bijlagen geven detail- en achtergrondinformatie over

- 1 Modelinvoer modellering perceelniveau
- 2 Modelresultaten perceelniveau
- 3 Inventarisatie uitgevoerde en lopende projecten bodemverbetering
- 4 Voorbeelden monitoring

2

WAAROM WERKEN AAN BODEMKWALITEIT?

2.1 WAT IS EEN GOEDE BODEM EN WAT KUN JE ERAAN DOEN?

Voor een goede sponswerking moeten bodems goed doorlaatbaar zijn, hebben ze een goede structuur en bevatten ze veel open ruimtes. In de praktijk zijn veel landbouwbodems in meer of mindere mate verdicht, zijn de condities voor bodemleven niet gunstig, is het organisch stofgehalte niet optimaal en is de beworteling beperkt.

Werken aan verbetering van de bodemkwaliteit is werken aan organische stof, bodemchemie, bodemleven, bodenstructuur, waterhuishouding en beworteling (zie figuur 2.1). Deze elementen kunnen niet los van elkaar worden gezien maar hangen allemaal met elkaar samen. Bodemverbeterende maatregelen grijpen dan ook vaak aan op meerdere elementen van de bodemkwaliteit. Om de kwaliteit te verbeteren, gelden de volgende vuistregels:

Verhoog het organische stofgehalte

- 1% og. stof houdt 4-6 mm extra water vast in de bouwvoor
- Organische stof geeft veerkracht aan de bodem en voeding aan het bodemleven

Houd de chemische toestand op peil

- Een zure grond is niet gunstig voor bodemleven en de benutting van nutriënten
- Bekalk indien nodig

Voed het bodemleven

- Bodemleven verbetert de infiltratie, het water vasthoudend- en het water naleverend vermogen
- Stimuleer via teelt van grassen of granen, organische mest en groenbemesters. Verminder de afbraak door minder intensieve grondbewerking

Zorg voor goede structuur

- Beoordeel het profiel via een Bodemscan of www.mijnbodemconditie.nl Is de beworteling verstoord of blijft er water staan?
- Werk onder droge omstandigheden, met brede banden, lage luchtdruk (<0,8 bar) en liefst met vaste rijpaden

Zorg voor goede ontwatering

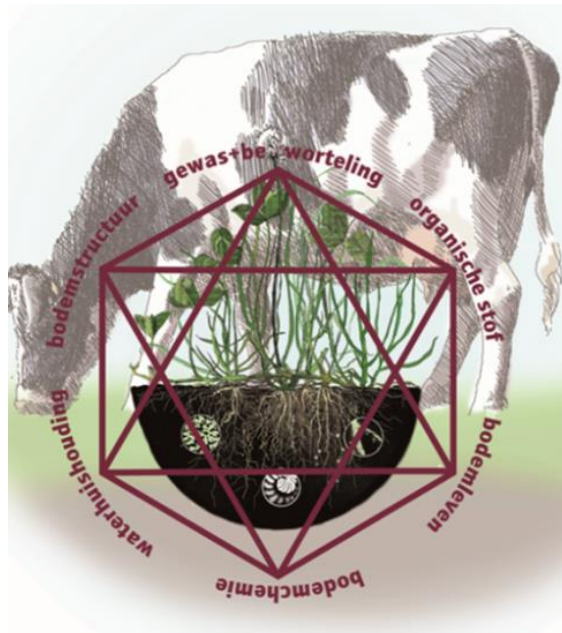
- Een slechte ontwatering brengt structuurschade, zuurstofloze condities, verlies van stikstof door denitrificatie, verlies bodemleven en meer kans op ziektes
- Check drainage regelmatig

Zorg voor goede beworteling

- Voorkom verdichting en zorg voor goede ontwatering
- Bevorder regenwormen (pendelaars)
- Kies snelgroeïende/diep wortelende rassen en gewassen

FIGUUR 2.1

EEN VOORSTELLING VAN DE 6 ELEMENTEN VAN DE BODEMKWALITEIT (N. VAN EEKEREN, 2013).

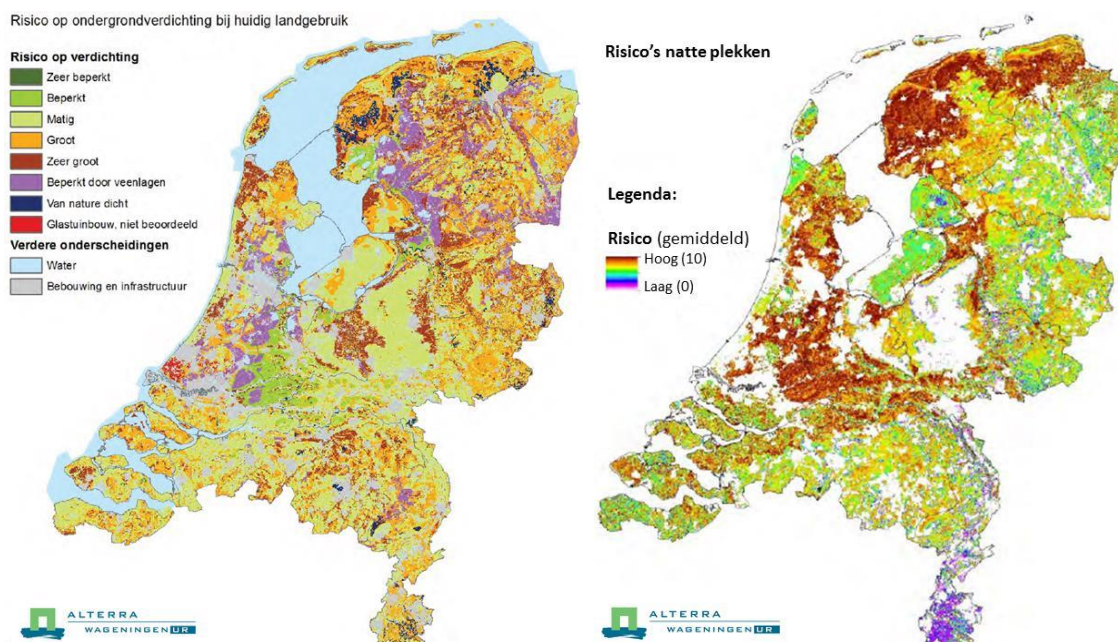


2.2 GAAT DE KWALITEIT VAN LANDBOUWBODEMS ACHTERUIT?

De kwaliteit van de landbouwbodems staat onder druk door toegenomen mechanisatie (zware machines op het land), maximalisering van de gewasproductie en de wijze van bemesting (drijfmest en kunstmest in plaats van stalmest en andere organische bemesting). Dit wordt mede in de hand gewerkt door de liberalisering van het pachtstelsel en toename van eenjarige pachtcontracten voor specifieke teelten, want dit geeft minder prikkels om te investeren in de bodemkwaliteit van opvolgende jaren.

De kwaliteit van landbouwbodems staat anno 2014 dus onder druk. Of deze ook daadwerkelijk achteruit is gegaan kan moeilijk worden aangegeven. Wel is recent geconcludeerd dat op veel landbouwbodems aanzienlijke risico's bestaan voor verdichting, met name dan verdichting van de ondergrond (net onder ploegzool), zie figuur 2.2. Hierdoor kan regenwater minder goed en minder snel infiltreren, groeien wortels minder diep en dalen gewasopbrengsten. Een beperkte infiltratiecapaciteit geeft meer oppervlakkige afstroming en daaraan gerelateerd grotere emissies van contaminanten (nutriënten, bestrijdingsmiddelen) naar het oppervlaktewater. Op veel percelen zijn al grote risico's voor oppervlakkige afspoeling (figuur 2.2, rechts). Als bodems verdicht raken, nemen deze risico's sterk toe.

FIGUUR 2.2 RISICO'S BODEMVERDICHTING (LINKS, VAN DE AKKER ET AL., 2013) EN RISICO'S NATTE PLEKKEN (RECHTS, MASSOP ET AL., 2014) OP LANDBOUWPERCELEN



Er zijn ook aanwijzingen dat het organisch stofgehalte van sommige type landbouwbodems daalt. Daardoor spoelt meer nitraat uit, drogen bodems sneller uit en dalen gewasopbrengsten. Het bodemleven wordt bedreigd door monoculturen en toepassing van bestrijdingsmiddelen. Hierdoor daalt de biodiversiteit, nemen risico's voor ziekten en plagen toe en wordt het gunstige effect van een gezond bodemleven op de bodemstructuur verkleind.

2.3 WAT ZIJN HANDELINGSPERSPECTIEVEN VOOR DE AGRARIËR?

Agrariërs met grasland en andere open teelt hebben baat bij een goede kwaliteit van hun landbouwbodems omdat dit de basis vormt voor een goede gewasproductie. Een goede bodemkwaliteit komt ten goede aan de vochthuishouding, de nutriëntenhuishouding en het voorkomen van ziekten en plagen. Daarnaast vergemakkelijkt het de noodzakelijke grondbewerkingen en draagt bij aan de biodiversiteit. Deze facetten zijn uitgelicht in Tabel 2.1.

TABEL 2.1 GOEDE KWALITEIT LANDBOUWBODEMS ALS BASIS VOOR GOEDE OPBRENGSTEN

Vochthuishouding	- vochtvoorziening droge perioden (berging, capillaire opstijging)
- Minder beregening	- goede infiltratiecapaciteit voor verwerking neerslag en piekbuien, minder oppervlakkige afspoeling en minder plassen
- Minder nat/droogte schade	
Nutriëntenhuishouding	- Efficiënte benutting nutriënten door goede beluchting
- Minder kunstmest	- Minder verliezen naar grond- en oppervlaktewater (gerelateerd aan vochthuishouding)
- Betere gewasopbrengsten	- Beter behoud / opbouw organische stof
Ziekten en plagen	- Minder noodzaak voor bestrijding ziekten en plagen (gerelateerd aan vochthuishouding en biodiversiteit)
- Minder gewasbescherming	- Minder emissies gewasbeschermingsmiddelen naar water
- Hogere opbrengsten	
Grondbewerkingen	- Minder bewerkingen voor bestrijding ziekten en plagen
- Minder grondbewerkingen	- Bewerking, waaronder oogst, na natte perioden zo snel mogelijk
- Betere oogst	

Voor het werken aan bodemkwaliteit voor een duurzaam watersysteem kan aan verschillende maatregelen worden gedacht (zie tabel 2.2). In de verschillende pilots wordt met name gewerkt aan verhogen organische stof, beworteling, en preventie en opheffen van bodemverdichting.

TABEL 2.2 LIJST MET WATERSYSTEEM GERICHTE MAATREGELEN OP HET BOERENBEDRIJF (BRON: VAN EEKEREN EN ZANEVELD-REIJNDERS, 2014).

Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3
1. Hydrologische maatregelen	Alternatieve beregening	Gebruik spoelwater van pompstation (alleen lokaal toepasbaar) Spoel/spuiwater RWZI
	Peilbeheer en ontwatering	Stuwtdjes Peilgestuurde drainage
	Beregenen	Optimalisering huidige beregening
2. Verhogen organische stof (water retentie, water infiltratie)	Afbraak verminderen	Niet kerende grondbewerking Direct zaaien maïs Frequentie graslandvernieuwing minimaliseren Bewust omgaan met bekalken (Tijdig) vangewas, etc..
	Aanvoer verhogen	Verhogen areaal grasland Verhogen gewasresten (wortels, stro) Zie gewaskeuze en wortels Keuze mestsoort hoge effectieve organische stof Keuze groenbemester hoge effectieve OS (zie vruchtwisseling) Slootveegsel (mits schoon) of biomassa van natuur- of andere terreinen Houtsnippers BIOCHARetc
3. Gewaskeuze (water verbruik, N-behoefte, opbrengst)	Eenjarig	Maïs Hennep Andere granen (incl. Sorghum)etc
	Meerjarig	Engels raaigras Rietzwenkgras in mengsel met Engels raaigras (diepe wortels) Kropaar in mengsel met Engels raaigras (minder verdamping) Rode klaver in mengsel met Engels raaigras (diepe wortels) Luzerne Kruiden (cichorei, smalle weegbree) in mengsel met raaigrasetc
4. Vruchtwisseling (organische stof opbouw, N-behoefte, opbrengst)	Veehouderij	GrasàMaïs Gras rode- en witte klaveràMaïs HennepàMaïs Hoeveel jaren? Doorrekenen organische stof modellenetc
		Akkerbouw
	Veehouderij-akkerbouwetc Samenwerken veehouderij akkerbouwetc
5. Beworteling (diepte en intensiteit, met preventie bodemverdichting)	Bodem	Preventie verdichting , structuur, pH, regenwormen
	Gewas	Gewaskeuze en raskeuze (gras, maïs etc.)
	Bemesting	Stikstof (-), fosfor (+/-)
	...etc	...etc

FINANCIËLE PRIKKELS:

Naast de algemene zorg voor een goede bodem en het omgaan met de druk van externe factoren kan het voor een agrariër ook financieel aantrekkelijk zijn om in de bodem te investeren.

In een rapport van De Wit (2013) is een bedrijfseconomische verkenning beschreven van de verhoging van het bodemorganische stofgehalte door het toepassen van compost in de akkerbouw. In de analyse is uitgegaan van een gemiddeld akkerbouwbedrijf in het zuidelijk veehouderijgebied. Dit bedrijf op zandgrond (met 45 ha) heeft een bouwplan met circa 1/3 granen, 1/3 aardappel, 1/6 bieten en 1/6 conserven. In de referentiesituatie wordt de mestplaatsingsruimte grotendeels opgevuld met runderdrijfmest en de stikstofgebruiksruimte met aanvullende KAS-meststof (stikstofhoudende kunstmest korrels). In een statische rekenvariant werd de runderdrijfmest en de kunstmest gedeeltelijk vervangen door de toepassing van GFT-compost. Voor de aanwending van de runderdrijfmest ontvangt de akkerbouwer een vergoeding van 6 €/m³ en de aanwending van compost kost hem € 9 per ton op land. Uit experimenteel onderzoek blijkt dat met de toepassing van compost opbrengstverhoging van 5 – 10% mogelijk zijn. In dit voorbeeld kost de vervanging van een deel van de runderdrijfmest door compost 120 €/ha, maar stijgt ook de opbrengst met 175 €/ha, waardoor het saldo 55 €/ha hoger uitkomt.

Het is waarschijnlijk dat de voordelen niet direct in het eerste jaar volledig zichtbaar worden. Indien er van uitgegaan wordt dat er in het eerste jaar geen meeropbrengsten zijn en dat de verminderde beregeningskosten pas vanaf het 12e jaar zichtbaar zullen worden, blijkt dat de investeringen in een goede bodemkwaliteit door middel van GFT-compost nog steeds een goede investering is. Het geïnvesteerde geld wordt namelijk in 7 jaar terugverdiend en het gemiddelde rendement over 30 jaar bedraagt circa 20% (De Wit, 2013).

In een artikel in De Boerderij (12 juli 2014) wordt verslag gedaan een velddag bodem en bemesting bij PPO in Vredepeel. In het meerjarig bedrijfssystemenonderzoek op Vredepeel ligt onder andere een bedrijfssysteem waar met kunstmest en mineralenconcentraten in de mineralenbehoefte wordt voorzien naast een systeem waarin de mineralen via dierlijke mest worden aangevoerd. Binnen dit laatste systeem wordt gemiddeld 600 kilo extra effectieve organische stof aangevoerd. Bouwplanbreed levert dat een € 600 per hectare hoger saldo op. De verschillen in gewasopbrengst tussen de beide systemen werden pas na 6 tot 7 jaar zichtbaar. Aanvoer van een kilo effectieve organische stof verdient je dus op lange termijn ruimschoots terug. (bron: Investeren in aanvoer van organische stof loont).

Voor een melkveehouderij is het moeilijk om goed inzicht te krijgen in het effect van bodemverbetering op het bedrijfssaldo. In een uiterst eenvoudig rekenvoorbeeld nemen we aan dat het land van een fictief bedrijf voor 80% uit grasland bestaat en voor 20% uit snijmaïs. In plaats van continueelt met mais wordt snijmaïs nu afgewisseld zodat een perceel eens in de 5 jaar met dit gewas wordt beteeld. In de praktijk blijft meestal een deel permanent grasland en wordt enkele jaren achtereen mais geteeld, daar is in dit eenvoudige voorbeeld niet vanuit gegaan. Verder nemen we aan dat door bodemverbetering een opbrengststijging van 5% wordt gerealiseerd². Dit correspondeert met ca. 100 €/ha/jr. De extra kosten voor graslandvernieuwing bedragen dan 185 €/ha/jr. De graslandvernieuwing leidt ook tot een hogere opbrengst en deze stijging kan 10 – 20% bedragen (200 – 400 €/ha/jr). De bodemverbetering door de toepassing van vruchtwisseling leidt in dit geval tot een hoger saldo van 100 – 300 €/ha/jr.

2 In de modellen SWAP/WOFOST (hoofdstuk 3) berekend dat de opbrengst door bodemverbetering met enkele procenten kan toenemen. Voor het droge jaar 2003 werd zelfs een effect ca 20% berekend.

Ook internationaal wordt met praktisch onderzoek aangetoond dat het verbeteren van de conditie van landbouwbodems gunstig is voor de agrariër, bijvoorbeeld langjarig onderzoek door de Universiteit van South Dakota (US), naar de effecten van niet-kerende grondbewerking en vanggewassen. Door in dat onderzoek naast gewasopbrengsten en bodemvocht ook koolstof isotopen te meten kon geconcludeerd worden dat door water stress het gewas minder nutriënten kan opnemen en minder snel herstelt van ziektes.

2.4 HANDELINGSPERSPECTIEVEN WATERBEHEERDER

De handelingsperspectieven voor de waterbeheerder richten zich enerzijds op de wijze waarop de waterbeheerder de veranderingen in de bodem meeneemt in zijn eigen regionale planvorming en anderzijds op de maatregelen die hij kan nemen om samen met partijen de kwaliteit van de bodem direct of indirect te beïnvloeden.

REGIONALE PLANVORMING

Een goed inzicht in de actuele toestand van de bodem en de mogelijke veranderingen die daarin door een gericht beheer en gebruik kunnen optreden is essentieel voor een adequate planvorming. De kwantitatieve en kwalitatieve rol die de bodem en het bodembeheer kan spelen bij het bereiken van de doelstellingen voor de KRW, voor het behalen van de wateropgave, voor het anticiperen op klimaatveranderingen en het bepalen van de efficiency van toekomstige investeringsbeslissingen kan in toenemende mate onderdeel worden van de reguliere planvorming. Het is dan van belang die invloed goed te kunnen kwantificeren met bij voorkeur dezelfde modelinstrumentaria die nu ook al door de waterbeheerders worden gebruikt. Nationale en regionale waterbeheerders kunnen kennis met betrekking tot de veranderbaarheid van de bodem inzetten bij:

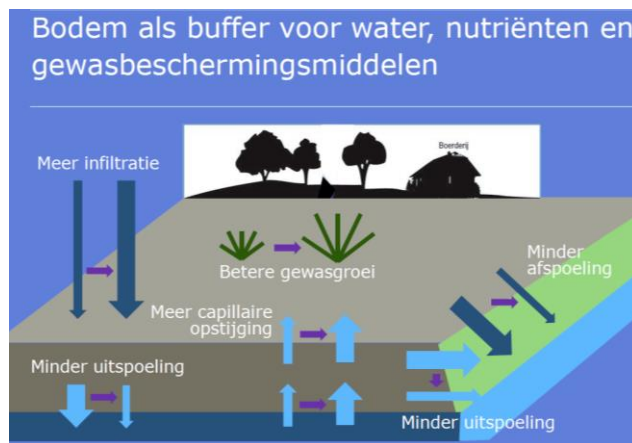
- regionale studies naar verdroging en de vraag welke gebieden met op de bodemgerichte maatregelen voldoende water kunnen bufferen en naar welke gebieden wateraanvoer noodzakelijk blijft.
- regionale studies naar wateroverlast en de vraag in welke gebieden piekafvoeren kunnen worden gereduceerd door bodem verbeterende maatregelen en in welke gebieden de bodemopbouw van dien aard is dat ander soortige maatregelen moeten worden genomen om in de bergingsbehoefte te kunnen voorzien.
- regionale studies naar de effectiviteit van maatregelen om de uitspoeling van nutriënten en microverontreinigingen te verminderen en te bepalen in welke mate de KRW-doelstellingen voor 2027 kunnen worden behaald;
- regionale studies naar de bestrijding van zoute kwel en de vraag welke gebieden met op de bodemgerichte maatregelen voldoende zoetwater kunnen bufferen en naar welke gebieden zoetwateraanvoer noodzakelijk blijft.

MAATREGELEN OM SAMEN MET PARTIJEN DE BODEMKWALITEIT TE BEÏNVLOEDEN

Het behoud en de verdere ontwikkeling van de sponswerking van landbouwbodems is belangrijk voor het goed functioneren van het watersysteem. De sponswerking werkt bufferend op watervraag en -afvoer, waardoor problemen met droogte en wateroverlast voorkomen, uitgesteld en/of verkleind kunnen worden. Daarnaast zijn er positieve effecten van de sponswerking op de waterkwaliteit, vooral omdat er minder risico's zijn op oppervlakkige afstroming. De perspectieven van een waterbeheerder voor het (mee)werken aan een goede kwaliteit landbouwbodems wordt geïllustreerd in figuur 2.3.

FIGUUR 2.3

ROL VAN DE BODEM BIJ HET STREVEN NAAR EEN DUURZAAM WATERSYSTEEM. (BRON: SHEET JANJO DE HAAN VOOR CONGRES WATERKWALITEIT OP DE KAART 2 OKTOBER 2014).



2.5 HOE KUNNEN MAATREGELEN WORDEN GESTIMULEERD?

Waterbeheerders kunnen agrariërs stimuleren tot bodemverbeterende maatregelen door:

- Advisering en voorlichting, waarbij er op gewezen kan worden dat veel maatregelen die bijdragen aan het verbeteren van het watersysteem ook in het belang zijn van de agrariër en financiële voordelen kunnen bieden;
- Stimuleren en bijdragen aan onderzoek dat leidt tot voor de praktijk hanteerbare tools waarin de relaties tussen bodembeheer – waterhuishouding – gewasopbrengst – bedrijfsvoering nader zijn gekwantificeerd;
- Deelnemen in initiatieven gericht op certificering van agrarische bedrijven voor duurzaam en klimaatvriendelijk ondernemen. In de certificering dienen aspecten t.a.v. watersysteem gericht bodembeheer nadrukkelijk aandacht te krijgen (voorbeelden: duurzame grond onder Hollandse melk, water in de Kringloopwijzer);
- Bijdragen in de organische stofbehoefte van de landbouw als groenresten op grote(re) schaal wordt toegepast. Sloot- en bermmaaisel kan worden gecomposteerd of gefermenteerd en verwerkt worden op het land (voorbeelden: HHNK, De Dommel, Rijn en IJssel).
- Eventueel kan gewerkt worden met subsidies, bijvoorbeeld vanuit POP3.

Daarnaast zijn er goede mogelijkheden om binnen het kader van het Deltaplan Agrarisch Waterbeheer sámen met agrariërs projecten te initiëren die bijdragen aan verbetering van het watersysteem. Hiertoe zijn weliswaar geen rijksmiddelen voor ter beschikking gesteld, maar worden projecten door het Rijk wel ondersteund met informatie in de vorm van factsheets en tools zie het inzichtelijk maken hoe haalbaar en effectief (kosten / baten) maatregelen zijn (zie www.agrarischwaterbeheer.nl).

Het voorzieningenniveau is een nieuw instrument dat deel uitmaakt van de Deltabeslissing Zoetwater. Beleid wordt ontwikkeld en vernieuwd t.a.v. hoe om te gaan met waterschaarste en de periodes voorafgaand aan schaarste. In de uitwerking van het voorzieningenniveau door regionaal waterbeheerders en gebruikers van zoet water zouden aan het beheer van de bodem voorwaarden verbonden kunnen worden.

Het is natuurlijk ook mogelijk om handelingen voor duurzaam bodembeheer af te dwingen via regelgeving: bijvoorbeeld door extra voorwaarden te stellen bij het afgeven van een vergunning voor de aanleg van drainage.

3

MODELVERKENNING EFFECTEN

PERCEELSNIVO

3.1 NUT EN NOODZAAK VAN MODELLEREN

Het onderzoekprogramma “Goede grond voor een duurzaam watersysteem” beoogt adequate rekeninstrumenten op te leveren waarmee maatregelen kunnen worden beoordeeld en worden afgewogen tegen eventuele alternatieve maatregelen. Het werken aan bodemverbetering wordt momenteel in de praktijk gebracht door een aantal uitvoerings- en demonstratieprojecten. Dergelijke projecten dragen sterk bij aan het bewustzijn van de kansen die er zijn voor duurzaam bodembeheer om de bodem beter te benutten voor gewasproductie, voor waterberging en voor reductie van milieu-emissies. Echter, vaak kunnen kwantificeringsvragen niet met de resultaten van dergelijke projecten worden beantwoord.

Voor het kwantificeren van effecten is een combinatie van monitoren en modelleren een goede oplossing. Een aantal motieven kunnen worden genoemd voor het uitvoeren van evaluaties met modellen:

- Voorspellen van effecten van maatregelen. Effecten bodemverbetering zijn zichtbaar op lange termijn. De ophoging van het organisch stofpercentage met 1% in grasland duurt een aantal jaren. Voor een dergelijke ophoging van 1% kan ook met de aanvoer van mest of compost bereikt worden, maar daar zijn grote hoeveelheden voor nodig. In het rapport “Verkenningen organische stof” van Hospers-Brandts en Van der Burgt (2013) is een scenario uitgewerkt waarin naast een vruchtwisseling volgens biologische teelt jaarlijks ook nog 10 ton compost / ha wordt toegediend. Het rekenmodel voorspelde dat het organische stofpercentage na 30 jaar met 0.9% toenam van 3.7% naar 4.6%. Bodemverbetering door organische stoftoevoer is dus een zaak van lange adem, hoewel het wel sneller gaat als het gehalte in de uitgangssituatie laag (< 3%) is.
- Toekomstig klimaat is nu nog niet “te meten”. Bij het vaststellen van veiligheidsnormen en ontwerpbeslissingen voor het watersysteem wordt het toekomstige weer in beschouwing genomen. Toekomstige droogte- en piekafvoersituaties zijn alleen met modellen te benaderen waarin aannames over klimaatscenario’s zijn verwerkt.
- Extrapolatie “veldresultaten” naar grotere gebieden. Metingen in het veld hebben veelal betrekking op enkele percelen of deelstroomgebieden. Voor de bepaling van de effecten van bodemverbeterende maatregelen naar stroomgebieden en naar stroomgebieden waarin geen metingen zijn uitgevoerd, kan op basis van getoetste modellen extrapolatie in tijd en ruimte worden uitgevoerd.
- Kwantificering effecten. Effecten van in de praktijk uitgevoerde bodemverbeterende maatregelen het watersysteem zijn vaak moeilijk te interpreteren en te kwantificeren. Effecten op opbrengsten uitspoeling zijn te meten, maar een grootheid als “droogtestress” is in de praktijk vanwege de verwevenheid met andere groeiomstandigheden nauwelijks direct te meten en kan alleen met een model worden gekwantificeerd.

- Combineren maatregelen (bodem, drainage). Een agrariër en een waterbeheerder wenst eventueel te nemen maatregelen af te wegen tegen alternatieve maatregelen. Hierbij wordt ook gekeken naar combinaties van maatregelen. Een voorbeeld hiervan is de combinatie van klimaatadaptieve drainage en het verhogen van het organische stofgehalte door de aanvoer van compost of organische reststromen. Voor het voorspellen van effecten van combinaties van maatregelen zijn rekenmodellen onontbeerlijk.

Voorafgaand aan de hier gerapporteerde 1e fase van het onderzoeksprogramma is een oriënterende modelstudie naar de potentie van bodemverbeterende maatregelen uitgevoerd door Waterschap Veluwe en MWH-Global. De bevindingen van deze studie worden hieronder in sectie 3.2 nog eens kort aangehaald. Binnen de 1e fase van het onderzoeksprogramma is een verdiepingsslag uitgevoerd naar de te verwachten effecten van bodemverbeterende maatregelen, zowel op perceels- als stroomgebiedsschaal. De verdieping zit hem daarbij vooral in het feit dat gebruik gemaakt is van betere datasets en realistischere bandbreedtes van modelparameters. De modelverkenning op perceelsschaal wordt besproken in sectie 3.3, die op de stroomgebiedsschaal in sectie 3.4

3.2 GLOBALE VERKENNING VALLEI EN VELUWE (2013)

Om meer zicht te krijgen op de mogelijke effecten van bodemstructuurverbetering op de regionale waterhuishouding heeft Waterschap Veluwe een eerste globale studie uitgevoerd naar de invloed van bodemstructuurverbeterende maatregelen op de water aan- en afvoerbehoefte. De oriënterende berekeningen zijn uitgevoerd door het waterschap Vallei en Veluwe in samenwerking met MWH-Global. Hiervoor is het model SWAP-2.07d gebruikt. De studie is als STOWA-rapport 2013 – 13A uitgebracht onder de titel: “De invloed van bodemstructuur op het watersysteem. Een verkenning.”

In de studie zijn 3 bodemtypen gekozen:

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

Aangenomen is dat de bodemstructuur verbetert door het verhogen van het organisch stofpercentage met 4 à 5% tot 6 à 8%. Aangenomen is dat een dergelijke verhoging mogelijk is in permanent grasland en in maïsland in vruchtwisseling met grasland. Met pedotransferfuncties (Wösten et al, 1998) is geschat wat het effect van deze verhoging is op het poriënvolume en de verzadigde doorlatendheid. Tevens zijn aannames gedaan over een grotere worteldiepte van grasland (Tabel 3.1).

TABEL 3.1 PARAMETERS VOOR DE REFERENTIESITUATIE (REF) EN DE BODEM NA VERBETERING (BETER) IN HET ORIENTEREND MODELONDERZOEK (STOWA, 2013, RAPPORT 13B)

Bodem	Diepte	Org. stof (gew. %)		Poriën (volume %)		Worteldiepte grasland (cm)		Ksat (cm/d)	
		Ref	Beter	Ref	Beter	Ref	Beter	Ref	Beter
Hn21	0 – 2	2	6	0.46	0.46	25	50	5.4	50
	2 – 25	2	6	0.42	0.42			13	50
pZg32	0 – 2	2	8	0.46	0.46	30	50	5.4	31
	2 – 25	3	8	0.40	0.40			10	31
Rd10A	0 - 20	2.5	6	0.43	0.48	30	80	2.4	14

Voor maïsland is de worteldiepte op 100 cm verondersteld in zowel de Referentie als de verbeterde situatie.

De belangrijkste resultaten:

- In de referentiesituatie wordt van een zware regenbui (30 mm/d of meer) een belangrijk deel oppervlakkig afgevoerd. Na een verhoging van de verzadigde doorlatendheid in het bovenste deel van de bodem treedt nog nauwelijks oppervlakkige afstroming. Ook bij een extreme bui van 60 mm daalt de oppervlakkige afstroming aanzienlijk.
- Door de verhoging van het poriënvolume wordt van een zware regenbui (30 mm/d of meer) 3 tot 12.5 mm extra water in de bodem geborgen.
- Door de diepere beworteling kan het gewas het bodemwater en de capillaire nalevering beter benutten. Voor grasland is berekend dat het aantal dagen in 1984 met droogtestress afneemt van 30 naar 22 voor de podzolgrond, van 24 naar 9 dagen voor de beekerdgrond en 23 naar 1 dag voor de ooivaaggrond.

Ondanks enkele zwakke punten in de modelstudie (bijv. keuze onderrandvoorwaarde bij de veronderstelde Gt, diepte beworteling) illustreren de cijfers duidelijk dat met bodemverbetering effect is te sorteren op de piekafvoeren en de droogteresistentie.

3.3 MODELLERING WATERKWANTITEIT EN -KWALITEIT PERCEELNIVEAU

3.3.1 INLEIDING

De gegevens van het onderzoek “Droogteresistentie van grasland in de Gelderse Vallei. Kijk eens wat vaker onder de graszode” (Faber et al., 2012) zijn als uitgangspunt genomen voor berekeningen met SWAP (gewas en water) en ANIMO (uitspoeling). In die studie zijn van een twintigtal locaties beschrijvingen gemaakt van het bodemprofiel en zijn van enkele locaties grondmonsters geanalyseerd en bodemfysische relaties gemeten. In onderhavige studie zijn voor grasland en snijmaïs op veldpodzolgrond en ooivaaggrond opties doorgerekend met een verdichte grond, een matig verdichte grond (huidige situatie) en een verbeterde grond (door aanpassen van bewerking en verrijking met organische stof).

3.3.2 OPZET MODELBEREKENINGEN

KEUZEN VAN BODEMPROFIELEN EN LANDGEBRUIK

De perceelsmodelberekeningen zijn uitgevoerd met kenmerkende bodemprofielen van de Gelderse Vallei. Over dit gebied was veel kennis beschikbaar, o.a. in de vorm van methoden en resultaten van bovengenoemde eerder uitgevoerde modelberekeningen (Van Dijk en Van Miltenburg, 2013; Swart en Broos, 2013) en uit de studie van Faber et al. (2012). Bovendien ligt het Baakse Beekgebied in de Gelderse Vallei. Dit beekgebied is benoemd als mogelijke gebiedspilot en voor dit beekgebied zijn ook de modelberekeningen op stroomgebiedsniveau uitgevoerd. Twee veel voorkomende bodemprofielen zijn gekozen die bestaan uit verschillende bodemmaterialen: zand en zavel. Het gaat om een veldpodzol (Hn21) in zwak lemig zand en een ooivaaggrond (Rd10A) in lichte zavel. De eerste is verreweg de meest voorkomende grond in de Gelderse Vallei. De tweede komt bijna evenveel voor als de twee andere belangrijke bodems in het gebied, beide ook in zand, maar is gekozen voor het afwijkende bodemmateriaal en de daarmee samenhangende bodemfysische en -chemische eigenschappen.

Voor de modelberekeningen zijn de bodemprofielen van Tabel 3.2 opgesteld. Dit is gedaan op grond van de bodemfysische karakterisering van de gronden in Gelderland van De Vries (1991), waarin de voorkomende bodemprofielen zijn beschreven als ‘profielschetsen’ (schematische beschrijving bodemopbouw op basis bodemkaartenheden). De toekenning van Bouwstenen van de Staringreeks (Wösten et al., 1987) aan de bodemhorizonten is hierbij overgenomen van de oorspronkelijke profielschetsen. De Staringreeks is een reeks van standaardbodems (bouwstenen) voor Nederland waaraan de hydraulische eigenschappen waterretentie en doorlatendheidskarakteristieken zijn verbonden. Bij het samenstellen van de bodemprofielen is ook gekeken naar gegevens van Faber et al. (2012), Van Dijk en Van Miltenburg (2013) en Swart en Broos (2013).

TABEL 3.2 PROFIELOPBOW EN TOEKENNING STRARINGREEKS-BOUWSTENEN AAN DE DOORGEREKENDE VELDPDZOL- EN OOIVAAGGRONDPROFIELEN. BOVEN: VELDPDZOL; ONDER: OOIVAAGGROND. PROFIELSCHETSEN VERWIJZEN NAAR DE VRIES (1991).

Profielopbouw Veldpodzolgrond; profielschetsen 59 t/m 71 en 86, 87, 88

code	Horizontaal	Omschrijving van het materiaal	Bodemfysische bouwsteen
	diepte (cm -mv)		
1Ap	0- 35	humeus, zwak lemig, fijn zand	B2
1Bhe1	35- 45	humeus, zwak lemig, fijn zand	O2
1Bhe2	45- 60	zwak lemig, fijn zand	O2
1C	60-150 (en dieper)	zwak lemig, fijn zand	O2

Profielopbouw Ooivaaggrond; profielschetsen 250 en 251

code	Horizont	Omschrijving van het materiaal	Bodemfysische bouwsteen
	diepte (cm -mv)		
1Ap	0- 20	humeuze, lichte zavel	B8
1Bw	20- 75	lichte zavel	B9
2C	75-150 (en dieper)	leemarm, matig fijn rivierzand	O2

Het landgebruik in de Gelderse Vallei is voornamelijk gras (ca. 60%), gevolgd door snijmaïs (ca. 20%). Beide dominante landgebruiksvormen zijn meegenomen in de modelberekeningen.

Voor de twee bodems en de twee gewassen zijn elk twee hydrologische varianten onderscheiden: “matig nat” en “droog”. “Matig nat” correspondeert voor de gewas-bodemcombinaties met een grondwatertrap V. “Droog” correspondeert voor grasland met grondwatertrap VII en voor snijmaïs met grondwatertrap VI.

KEUZEN VAN DOELGROOTHEDEN

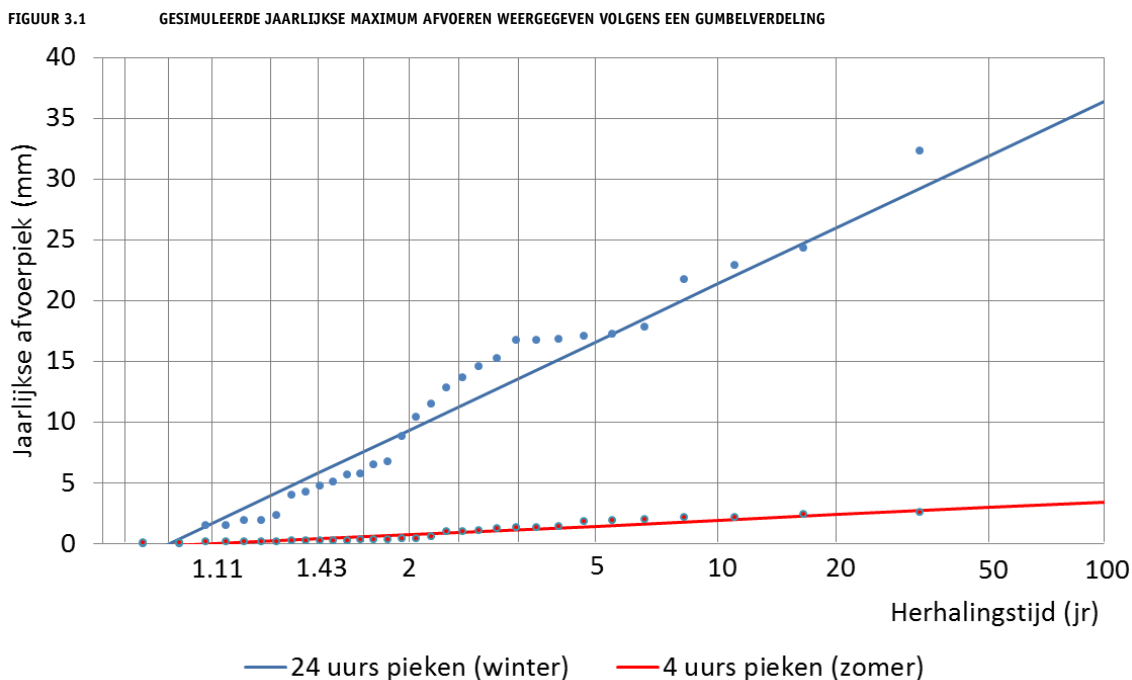
Om de effecten te bepalen van verschillen in bodemkwaliteitparameters op relevante aspecten van water- en bodembeheer en landbouwbedrijfsvoering, is voor de modelberekeningen een aantal doelgrootheden benoemd. Doelgrootheden zijn:

- 1 Piekafvoer (wateroverlast):
 - a zomer- en winterpiekafvoeren;
 - b 4-uurs en 24-uurs pieken.
- 2 Gewasgroei en -opbrengst:
 - a Opbrengst als droge stof, droogtestress en natschade;
 - b gemiddeld, recent uitgesproken droog jaar 2003 en nat jaar 1998;
 - c beregeningsbehoefte (alleen voor gras).

- 3 Nutriëntenbelasting van de omgeving:
- nitraatconcentraties in de bovenste meter van het grondwater;
 - belasting oppervlaktewater met stikstof en fosfor.

De rekenperiode bestond uit de dertigjarige reeks werkelijke weerjaren 1971-2000, aangevuld met het zeer droge jaar 2003 en de twee tussenliggende jaren.

De doelgrootheid “piekafvoer” is bepaald door van de gehele periode de jaarlijkse 4 uren en 24 uren maximumafvoeren te berekenen. Nagegaan is welke statistische verdeling de beste fit opleverde voor deze maximumafvoeren. Alhoewel de verschillen in resultaten niet groot waren, bleek de Gumbelverdeling het beste resultaat op te leveren. Vervolgens is een trendmodel gefit met een Gumbelverdeling (figuur 3.1).



Een reductie van de piekafvoer is berekend door de maximum waarden van zowel de referentie run als van een run waarin een maatregel wordt gesimuleerd uit te zetten tegen een Gumbelverdeling. Bij een herhalingstijd zijn dan de jaarlijks afvoerpieken af te lezen en de reductie (in %) wordt dan bepaald als $1 - \frac{\text{reductie}}{\text{referentie}}$, vermenigvuldigd met 100%.

KEUZEN VAN REKENVARIANTEN

Met de modellen zijn rekenexperimenten uitgevoerd om de effecten van verschillende bodemkwaliteitparameters op de gekozen doelgrootheden te onderzoeken. Deze rekenexperimenten (rekenvarianten; tabel 3.3) sluiten aan op de uitgangspunten in Par. 3.3.2.1.

TABEL 3.3 REKENVARIANTEN EN AANNAMEN VOOR BODEMKWALITEITSPARAMETERS BEWORTELING, BERGINGSRELATIE, DOORLATENDHEID EN DE WEERSTAND VOOR OPPERVLAKKIGE AFSTROMING RELATIEF T.O.V. DE UITGANGSSTOESTAND (REFERENTIE MET BASISWAARDEN). 'ONDERGROND' STAAT HIER VOOR HET DEEL VAN DE ONDERGROND DAT ONDERHEFVIG IS AAN VERBETERING OF VERDICHTING. - = NIET VERANDERD.

Num- mer	Naam	Beworteling (cm)		Bergingsrelatie		Doorlatendheid		Weerstand oppervlakte- afstroming
		gras	mais	bovengrond ¹	ondergrond ²	bovengrond ¹	ondergrond ²	
0	Referentie	25	60	basis	basis	basis	basis	basis
1	Betere bodem	35/40	80/100 ³	gunstiger	gunstiger	groter in natte traject	groter in natte traject	-
2	Betere maaiveld ligging	-	-	-	-	-	-	groter
3	Verdichte bodem	15	35	-	ongunstiger	-	kleiner in natte traject, groter in droge traject	-
4	Slempkorst	-	-	Bovenste 2 cm aangepast	-	Sterk verkleind in bovenste 2 cm	-	-

1 bovengrond: gras basis en beter = 0-25 cm; gras verdicht = 0-15 cm; mais alles = 0-35 cm

2 ondergrond: gras basis en beter = 25-35 cm; gras verdicht = 15-35 cm; mais alles = 35-50 cm

3 35/40 en 80/100 = matig-natte/droge bodem

De tabel laat zien dat in een verbeterde bodem zowel bovengrond als 'ondergrond' zijn verbeterd; in de verdichte bodem is alleen de 'ondergrond' verdicht t.o.v. de referentiesituatie.

Door de resultaten van de vijf rekenvarianten onderling te vergelijken worden de effecten van bodemverbeteringsmaatregelen op de verschillende doelvariabelen duidelijk. Tabel 3.4 geeft aan hoe de rekenvarianten onderling zijn vergeleken voor elke maatregel. In de tabel is een naam toegekend aan deze maatregelen en is aangegeven met welke concrete bodemkwaliteitsparameters en acties, zoals opheffen verdichting en slempkorst, zij samenhangen.

Tabel 3.4; Aanduiding van gesimuleerde bodemverbeteringsmaatregelen verkregen door onderling vergelijken van de rekenvarianten van tabel 6. Kwalitatief aangegeven zijn de verschillen van relevante bodemkwaliteitsparameters bij onderling vergelijken van de waarden van de rekenvarianten. '1 : 0' betekent dat rekenvariant 1 is vergeleken t.o.v. rekenvariant 0.

Bodemver- beterings- maatregel	Aanduiding in figuren en tabellen	Vergeleken reken- varianten	Bodemkwaliteitsparameters			
			vochtbergend- en -doorlatendvermogen		Maaiveldlig	Worteldiepte
			bovengrond: org.stof, bodemleven	ondergrond: verdichting	weerstand afstroming	
Verbetering	basis -> beter	1 : 0	matig -> goed	matig verd. -> onverd.	n.v.t.	matig diep -> diep
Herstel	slecht -> beter	1 : 3	matig -> goed	verdicht -> onverdicht	n.v.t.	ondiep -> diep
Restauratie	slecht -> basis	0 : 3	blijft matig	verdicht -> matig verd.	n.v.t.	ondiep -> matig dp
Maaiveld	betere ligging	0 : 2	n.v.t.	n.v.t.	vergroot	n.v.t.
Slempkorst	slempkorst	0 : 4	slempkorst opgeheven	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.

In tabel 3.4 is aangegeven welke bodemtoestanden zoals organischestofgehalte, bodemleven en verdichting belangrijk zijn en hoe die samenhangen met beïnvloedbare bodemkwaliteitsparameters. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen de bovengrond - de wortelzone bij gras en de bouwvoor bij akkerbouw - en de ondergrond (zie ook tabel 3.3). In de bovengrond worden de bodemkwaliteitsparameters 'vermogen voor vochtberging en -doorlatendheid en bewortelingsdiepte' vooral bepaald door het organischestofgehalte en het bodemleven. Verhoging

hiervan (tot een zeker maximum) verbetert dit vermogen. In de ondergrond tussen 15-35 cm (gras) en 30-50 cm (akkerbouw) is het vooral de verdichting door berijding met zware landbouwmachines die dit vermogen nadelig beïnvloedt. Opheffen van de verdichte ondergrond (onder de wortelzone bij gras; de ploegzool bij akkerbouw) dient gepaard te gaan met verhogen van het organischestofgehalte en het bodemleven om de verbeterde toestand te bestendigen. De weerstand voor oppervlakteaftstroming is vooral afhankelijk van de micro-reliëf en de helling van het maaiveld.

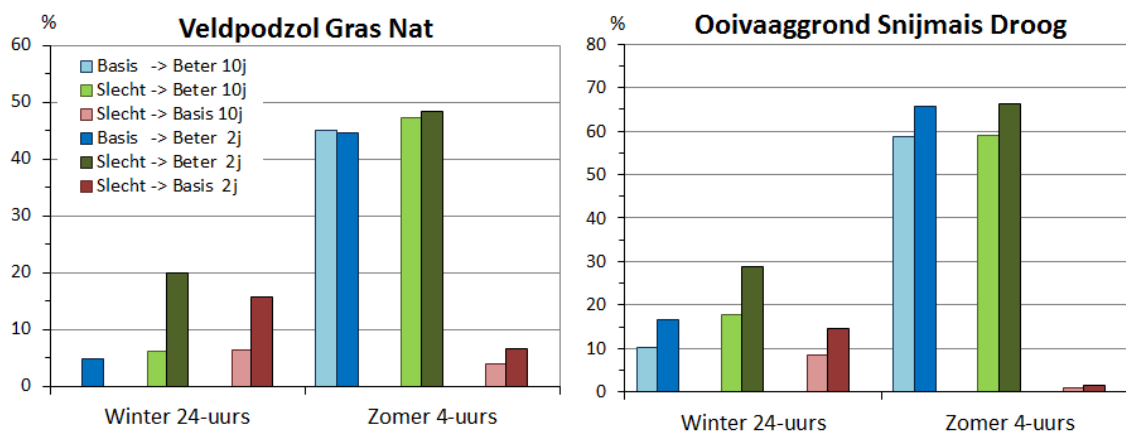
Voor de modelberekeningen was het nodig dat de verschillende bodemkwaliteitparameters werden vertaald naar (veranderingen van) waarden van modelparameters, de grootheden die in het model de verschillende relevante bodemtoestanden bepalen en processen sturen. Om welke modelparameters het gaat en hoe hun waarden zijn aangepast voor de verschillende rekenvarianten is meer uitgebreid behandeld in bijlage 2.

3.3.3 RESULTATEN BODEMVERBETERING VOOR PIEKAFVOEREN, DROOGTE EN GEWASOPBRENGST

PIEKAFVOEREN

Het effect van bodemverbeteringsmaatregelen op piekafvoeren is weergegeven in tabel 3.5, voor het herstel en de restauratie van een verdichte bodem, en het effect van de verbetering van een 'normale' bodem door de extra aanvoer van organische stof en de stimulering van het bodemleven. Figuur 3.2 bevat een grafische weergave van enkele resultaten. Een volledig overzicht van alle resultaten in figuurvorm is gegeven in bijlage 3.

FIGUUR 3.2 BEREKENDE REDUCTIE (%) VAN 24-UURSAFVOERPIEKEN IN WINTER EN 4-UURSAFVOERPIEKEN IN ZOMER DOOR BODEMVERBETERING VAN DE REFERENTIE TOESTAND (BASIS) EN DE VERDICHTTE TOESTAND (SLECHT) NAAR DE VERBETERDE TOESTAND, EN ALS VERGELIJKING TUSSEN VERDICHTTE EN REFERENTIEBODEM, BIJ HERHALINGSTIJDEN VAN 2 JAAR EN VAN 10 JAAR, VOOR DE VELDPDZOLGROND EN DE OOIVAAGGROND. BASIS: REFERENTIE; BETER: VERBETERDE BODEM; SLECHT: VERDICHTTE BODEM.



TABEL 3.5 BEREKENDE REDUCTIE (%) VAN 24-UURSAFVOERPIEKEN IN DE WINTER EN 4-UURSAFVOERPIEKEN IN DE ZOMER DOOR BODEMVERBETERING VAN DE REFERENTIE TOESTAND (BASIS) EN DE VERDICHTTE TOESTAND (SLECHT) NAAR DE VERBETERDE TOESTAND, EN ALS VERGELIJKING TUSSEN VERDICHTTE EN REFERENTIEBODEM, BIJ HERHALINGSTIJDEN VAN 2 JAAR EN VAN 10 JAAR, VOOR DE VELDPDZOLGROND.

Gewas en ontwatering	Winter 24-uursafvoerpieken						Zomer 4-uursafvoerpieken					
	verbetering		herstel		restauratie		verbetering		herstel		restauratie	
	basis -> beter		slecht -> beter		slecht -> basis		basis -> beter		slecht -> beter		slecht -> basis	
	2 jr	10 jr	2 jr	10 jr	2 jr	10 jr	2 jr	10 jr	2 jr	10 jr	2 jr	r
Podzolgrond												
Gras matig nat	5	0	20	6	16	6	45	45	48	47	7	4
Gras droog	10	4	27	13	20	10	58	59	60	60	6	3
Snijmais matig nat	3	1	8	2	5	1	40	29	37	24	-5	-8
Snijmais drg	19	9	28	15	11	6	49	50	49	50	0	0
Ooivaaggrond												
Gras matig nat	10	3	19	7	9	4	58	46	64	50	14	7
Gras droog	22	14	46	29	31	17	69	66	72	68	10	6
Snijmais mat. nat	31	15	35	18	6	3	57	42	58	43	4	1
Snijmais droog	17	10	29	18	15	8	66	59	66	59	2	1

Voor een betere bodem, of die nou verkregen is door verbetering van een 'normale' bodem of door herstellen van een verdichte bodem, geeft een grote reductie van de 4-uurs-afvoerpieken in de zomer, tot ruim 70% bij een droge ooivaaggrond met gras. 'Verbetering' en 'herstel' verschillen hierbij weinig. 'Restauratie' van een verdichte bodem naar een normale bodem laat voor de 4-uurs-zomerpieken dan ook weinig effect zien. Het effect is meestal wat groter voor de herhalingsstijd van 2 jaar dan voor die van 10 jaar.

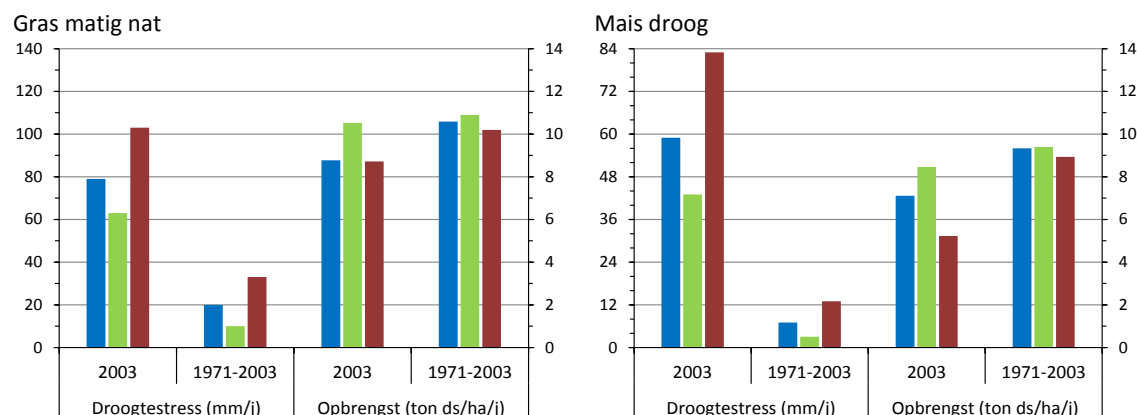
Voor de 24-uurs-winterafvoerpieken is het effect veel geringer; bij 'verbetering en afvoersituaties van eens per 10 jaar variërend van 0 tot 15 %. Bij afvoersituaties van eens per twee jaar zelfs nog iets meer, dus zeker relevant. Bij 'restauratie' van verdichting treden vergelijkbare positieve effecten op. Het effect van 'herstel' is ongeveer gelijk aan het effect van 'restauratie' plus 'verbetering' en levert een reductie variërend van enkele procenten tot bijna 30 % in situaties met afvoerpieken van eens per 10 jaar.

GEWASVERDAMPING EN -OPBRENGST

Bij gewasverdamping en gewasopbrengst is zowel een effect van natschade als van droogtestress te onderscheiden. De effecten van natschade zijn niet altijd logisch te verklaren. De grotere worteldiepte bij een verbeterde bodem lijkt in de berekeningen een gewas ook gevoeliger te maken voor natte omstandigheden. Aanbevolen wordt de modelimplementatie van dit proces nader te controleren.

De richting en de orde van grootte van effecten van droogtestress zijn daarentegen wel logisch. Het effect van de restauratie van een verdichte bodem, en het effect van de verbetering van een normale bodem op droogtestress en opbrengst is voor de veldpodzol weergegeven in tabel 3.6 en 3.7. Figuur 3.3 bevat een grafische weergave van enkele resultaten. De modelscenario's waarvan de resultaten in tabel 9 en 10 en figuur 3.3 zijn weergegeven, zijn doorgerekend zonder dat in de modellering berekening is gesimuleerd.

FIGUUR 3.3 VOOR DE VELDPDZOL BEREKENDE DROOGTESCHADE ALS VERDAMPINGSTEKORT EN BIJBEHORENDE GEWASOPBRENGST ALS DROGESTOFPRODUCTIE (DS) VOOR EEN UITGESPROKEN NAT JAAR (1998) EEN UITGESPROKEN DROOG JAAR (2003) EN GEMIDDELD OVER DE 33-JARIGE SIMULATIEPERIODE 1971-2003. RESULTATEN ZIJN GEGEVEN VOOR DE REFERENTIEBODEM (BASIS), DE VERBETERDE BODEM (BETER) EN DE VERDICHTTE BODEM (SLECHT). BLAUW: REFERENTIE; GROEN: VERBETERDE BODEM; ROOD: VERDICHTTE BODEM



TABEL 3.6 VERANDERING IN BEREKENDE DROOGTESTRESS (MM/J) EN GEWASOPBRENGST (KG/HA/J) DOOR BODEMVERBETERING TEN OPZICHT VAN DE REFERENTIE. PROCENTUELE VERMINDERING OPBRENGSTDERIVING UITGEDRUK T.O.V. OPBRENGST VAN DE REFERENTIE.

Bodem-gewas combinatie	Vermindering droogtestress (mm/j)		Vermindering opbrengstderiving (kg/ha/j)	
	2003	1971-2003	2003	1971-2003
Veldpodzol				
Gras matig nat	16 (20%)	10 (50%)	1754 (20%)	314 (3%)
Gras droog	34 (19%)	18 (25%)	1705 (23%)	425 (3%)
Snijmas matig nat	3 (8%)	1 (33%)	242 (3%)	-145 (-2%)
Snijmais droog	16 (27%)	4 (57%)	1349 (19%)	59 (1%)
Ooivaaggrond				
Gras matig nat	42 (56%)	12 (71%)	1652 (19%)	335 (3%)
Gras droog	22 (21%)	19 (54%)	1455 (17%)	525 (5%)
Snijmas matig nat	30 (88%)	2 (100%)	2253 (25%)	-25 (0%)
Snijmais droog	44 (90%)	4 (100%)	3270 (41%)	171 (2%)

TABEL 3.7 VERANDERING IN BEREKENDE DROOGTESTRESS (MM/J) EN GEWASOPBRENGST (KG/HA/J) DOOR RESTAURATIE VAN EEN VERDICHTTE BODEM TEN OPZICHT VAN DE REFERENTIE. PROCENTUELE VERMINDERING OPBRENGSTDERIVING UITGEDRUK T.O.V. OPBRENGST VAN DE REFERENTIE

Bodem-gewas combinatie	Vermindering droogtestress (mm/j)		Vermindering opbrengstderiving (kg/ha/j)	
	2003	1971-2003	2003	1971-2003
Veldpodzol				
Gras matig nat	24 (30%)	13 (65%)	57 (1%)	386 (4%)
Gras droog	26 (20%)	28 (54%)	-135 (-2%)	659 (7%)
Snijmas matig nat	20 (56%)	3 (100%)	1552 (17%)	-124 (-1%)
Snijmais droog	24 (41%)	6 (86%)	1886 (27%)	405 (4%)
Ooivaaggrond				
Gras matig nat	3 (4%)	5 (29%)	-1388 (-16%)	92 (1%)
Gras droog	2 (2%)	3 (9%)	-97 (-1%)	4 (0%)
Snijmas matig nat	17 (50%)	3 (150%)	1222 (14%)	50 (1%)
Snijmais droog	14 (29%)	4 (100%)	1055 (13%)	278 (3%)

Bodemverbetering door aanvoer van extra organische stof en een betere beworteling leidt tot minder droogtestress (tabel 9). Dit effect is grotendeels toe te schrijven aan de betere beworteling. Gemiddeld voor de periode 1971-2003 bedraagt de vermindering van de droogtestress voor de veldpodzolgrond 25-57%. Dit correspondeert met een vermindering van de opbrengstderving door droogte van enkele procenten. Voor het droge jaar 2003 wordt een vermindering van de droogtestress van 8-27% berekend. Dit correspondeert met een vermindering van de opbrengstderving van 3-23%.

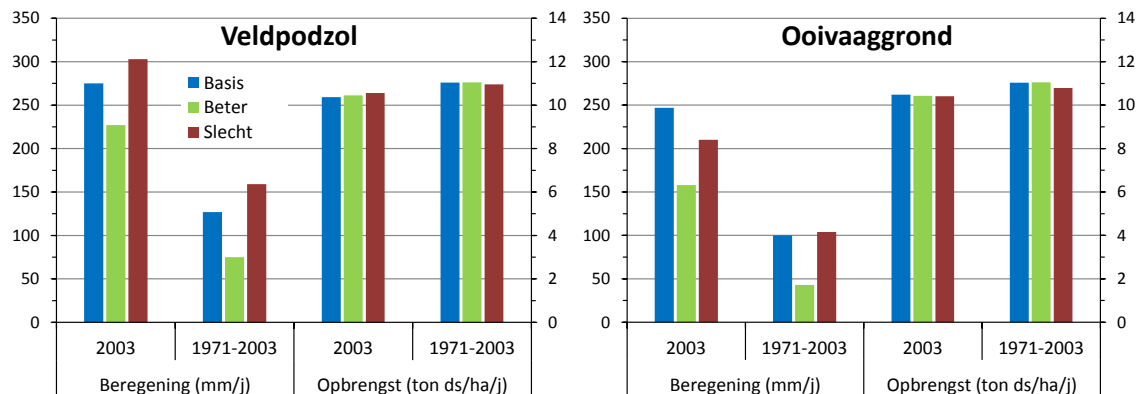
Voor de ooivaaggrond liggen bij bodemverbetering de getallen van verminderde droogtestress en opbrengstreducties door droogte hoger. De vermindering van de droogtestress bedraagt gemiddeld voor de periode 1971-2003 54-100%. Dit correspondeert met een vermindering van de opbrengstderving door droogte 0-3%. Voor het droge jaar 2003 is een vermindering van de droogtestress van 21-90% berekend. Dit correspondeert met een vermindering van de opbrengstderving van 0-3%.

Restauratie van een verdichte bodem leidt in een veldpodzolgrond tot een wisselend beeld (tabel 10). De droogtestress voor snijmais is in een verdichte grond kleiner dan voor grasland. In absolute termen (mm/j) is het effect van restauratie van de verdichte bodem ook iets kleiner bij snijmais dan bij gras. Procentueel gezien is het effect echter veel groter bij snijmais: 41-100% tegenover 20-65%. Het effect op de opbrengst is eveneens het grootst bij snijmais en dan vooral in het droge jaar 2003: 17-27%. Bij gras-droog in het droge jaar 2003 en bij snijmais-nat gemiddeld in 1971-2003 neemt de opbrengstderving toe i.p.v. af bij restauratie. De oorzaak hiervan is niet helemaal duidelijk.

Bij de ooivaaggrond leidt restauratie van de verdichte bodem tot een zelfde beeld voor de procentuele vermindering van de droogtestress als bij de veldpodzolgrond; de effecten zijn voor snijmais groter dan voor gras: 29-150% tegen 2-29%. Ook bij de ooivaaggrond is het effect op de opbrengst eveneens het grootst bij snijmais en dan vooral in het droge jaar 2003: 13-14%. Bij gras in het droge jaar 2003 neemt de opbrengstderving (fors) toe i.p.v. af bij restauratie. De oorzaak hiervan is niet helemaal duidelijk.

De droogtegevoeligheid van de grond en het effect van maatregelen is eveneens na te gaan door berekening als maat te nemen. In extra modelruns zijn de scenario's voor de referentie-, verbeterde- en slechte bodem daarom ook gesimuleerd mét berekening. Op tijdstippen dat de droogtegraad een bepaald criterium overschrijdt wordt een berekeningsgift gegeven waarmee de wortelzone weer op veldcapaciteit kan komen. Op deze manier worden optimale groeiomstandigheden gecreëerd. Figuur 3.4 geeft de resultaten voor de berekeningsgiften en de gesimuleerde droge stofproductie.

FIGUUR 3.4 BEREKENDE BEREGENINGSBEHOEFTE VAN GRAS OP DE DROGE BODEM EN BIJBEHORENDE GEWASOPBRENGST ALS DROGESTOFFPRODUCTIE (DS) VOOR EEN UITGESPROKEN DROOG JAAR (2003) EN GEMIDDELD OVER DE 33-JARIGE SIMULATIE-PERIODE 1971-2003. RESULTATEN ZIJN GEGEVEN VOOR DE REFERENTIEBODEM (BASIS), DE VERBETERDE BODEM (BETER) EN DE VERDICHTTE BODEM (SLECHT).



De verbetering van een veldpodzolgrond door de aanvoer van organische stof en een betere worteling leidt langjarig tot een vermindering van beregening van 48 mm/jaar en voor het droge jaar 2003 tot een vermindering van 52 mm. De restauratie van een verdichte veldpodzol grond tot een 'normale bodem' resulteert langjarig in een verminderde beregening van 28 mm/jaar en voor het droge jaar 2003 32 mm. Het effect van beregening in combinatie met bodemmaatregelen op de gewasproductie is verwaarloosbaar klein. In 2003 lijkt voor een verdichte bodem en deze sterk verhoogde beregeningsgift zelfs een iets hogere gewasproductie te worden berekend. Dit is te beschouwen als een modelartefact.

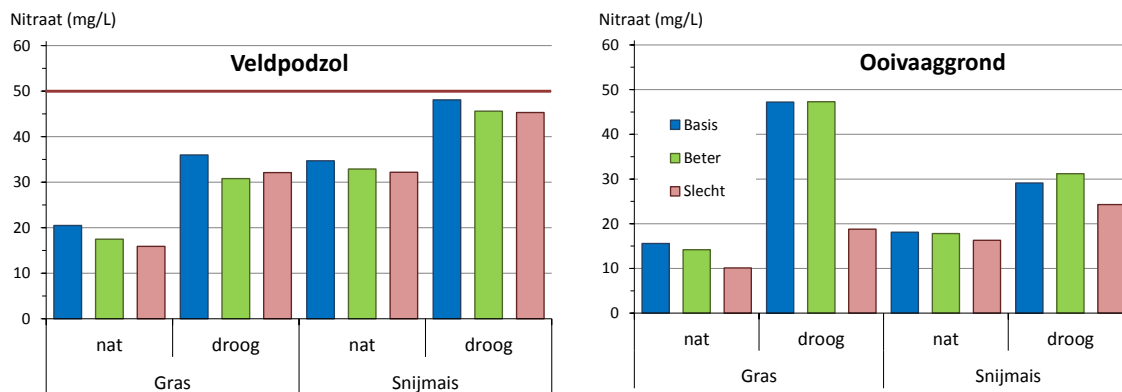
Wanneer de modelscenario's met beregening (figuur 3.4) worden vergeleken met de modelscenario's zonder beregening (figuur 3.3), worden ongeveer de zelfde gewasproducties berekend maar is dus wel veel water voor beregening nodig.

De verbetering van een ooivaaggrond leidt langjarig tot een vermindering van beregening van 57 mm/jaar en voor het droge jaar 2003 tot een vermindering van 89 mm/jaar. De restauratie van een verdichte ooivaaggrond tot een 'normale bodem' resulteert langjarig in een extra beregening van 35 mm/jaar. Dit is toe te schrijven aan een beter capillair geleidingsvermogen van de ondergrond van een verdichte bodem. Voor het droge jaar 2003 heeft het geen effect. Ook hier is het effect van de beregening in combinatie met de bodemmaatregelen op de gewasproductie verwaarloosbaar klein.

3.3.4 MODELRESULTATEN NUTRIËNTENUITSPOELING

Op basis van de bovenstaande berekeningen met het SWAP-WOFOST-model zijn met het ANIMO-model nitraatconcentraties in het grondwater berekend en stikstof- en fosforvrachten naar het oppervlaktewater. De parameterisering van de veldpodzolgrond en de ooivaaggrond is gedaan door uit het STONE-model representatieve plots te kiezen voor de Gelderse vallei die passen bij de bodembeschrijving en de gewassen. In het Gelderse vallei gebied komen situaties voor met een erg hoge of erg lage uitspoeling, maar er is hier gekozen voor STONE-plots met een redelijk gemiddeld beeld van nitraatuitspoeling om de effecten van bodemmaatregelen duidelijk tot uitdrukking te brengen. Figuur 3.5 geeft de effecten weer van bodemmaatregelen op de langjarig gemiddelde uitspoeling van nitraat.

FIGUUR 3.5 BEREKENDE NITRAATCONCENTRATIES IN DE BOVENSTE METER VAN HET GRONDWATER VAN DE REFERENTIEBODEM (BASIS), DE VERBETERDE BODEM (BETER) EN DE VERDICHTTE BODEM (SLECHT) ALS GEMIDDELDEN VAN DE 30-JARIGE SIMULATIEPERIODE 1971-2000. BASIS: REFERENTIE; BETER: VERBETERDE BODEM; SLECHT: BODEMVERDICHTING.



In de veldpodzolgrond leidt bodemverbetering tot vermindering van de nitraatconcentratie met ca. 5 mg/L. In de ooivaaggrond is het beeld wisselend. De effecten van bodemverbetering zijn hier relatief klein en op het droge bodemprofiel met snijmais wordt zelfs een lichte verhoging van de nitraatconcentratie berekend. Dit is contra-intuïtief, maar is wel te verklaren vanuit de aanpassingen in het model: de opgelegde verandering in N-opname matcht niet goed met de berekende verandering van droge stofproductie. De gekozen modelaanpassingen schieten tekort om realistische reducties van de nitraatuitspoeling te berekenen.

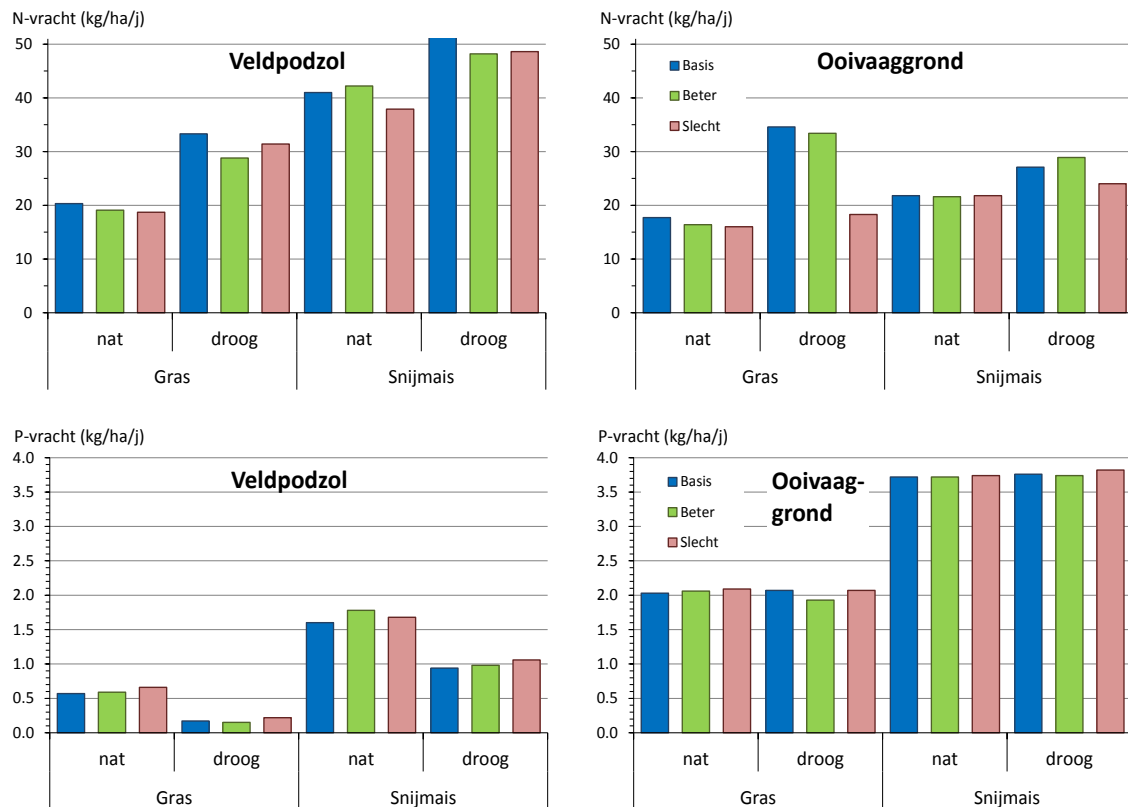
Berekend wordt dat de restauratie van een verdicht bodemprofiel zou leiden tot hogere nitraatconcentraties. Dit wordt verklaard door een verbeterde aeratie van de bodem waardoor de mineralisatie toeneemt en de denitrificatie afneemt en meer nitraat kan uitspoelen. De vraag is of dit realistisch is. De nutriëntenbenutting door het gewas is hierin cruciaal. Omdat de nutriëntenbenutting in het model niet gekoppeld is aan de gewasverdamping en de droge stofproductie is het op dit moment niet goed mogelijk om het effect van bodemverbetering op nutriëntenopname realistisch te simuleren.

De berekende effecten op de stikstofvracht en de fosforvracht naar het oppervlaktewater zijn weergegeven in figuur 3.6.

De berekende effecten van bodemverbetering en de restauratie van een verdichte bodem op N-vrachten naar het oppervlaktewater laten ongeveer hetzelfde patroon zien als berekend voor de nitraatuitspoeling, met als uitzondering het matig natte profiel met snijmais. Door bodemverbetering zou hier de N-vracht iets toenemen.

De berekende effecten voor de fosfor belasting van het oppervlaktewater zijn gering. Bodemverbetering zou in de matig natte podzolgrond met snijmais leiden tot een geringe toename van de P-vracht en in de droge ooivaaggrond met grasland tot een geringe afname van de P-vracht. Voor het opheffen van verdichting ('slecht' ten opzichte van 'basis') wordt een geringe afname van de P-vracht berekend.

FIGUUR 3.6 BEREKENDE STIKSTOF-EN FOSFOR AF- EN UITSPOELINGSVRACHTEN VAN DE REFERENTIEBODEM (BASIS), DE VERBETERDE BODEM (BETER) EN DE VERDICHTTE BODEM (SLECHT) ALS GEMIDDELDEN VAN DE 15-JARIGE SIMULATIEPERIODE 1986-2000. BASIS: REFERENTIE; BETER: VERBETERDE BODEM; SLECHT: BODEMVERDICHTING.



In parallellopend onderzoek 'Opties voor benutten van de bodemvoorschoon oppervlaktewater', is met landelijk modelinstrumentarium gekeken naar het effect van het opheffen van bodemverdichting op de fosfor belasting van het oppervlaktewater (Salm et al, 2015). Hierin is het effect op de uit- en afspoeling kwantitatief berekend met SWAP, op vergelijkbare wijze zoals in de voorliggende studie is gedaan. Vervolgens is op basis van modelmatige relaties van het PLEASE- en STONE-instrumentarium gekeken in hoeverre de extra afspoeling door de bovenste (teelt)laag (0-25 cm) leidt tot toe/afname van de P-belasting. Hieruit is naar voren gekomen dat het voor de meeste bodem-gewas-hydrologie combinaties een gering gunstig effect heeft maar in gebieden met een relatief hoge natuurlijke achtergrondbelasting door kwel juist een wat ongunstig effect.

De berekende effecten op de N- en de P-vracht zijn niet allemaal volgens de verwachting, maar zijn vanuit het rekenmodel wel te verklaren. Sommige terugkoppelingen tussen de hydrologie, gewastgroei en nutriëntenhuishouding zijn niet of onvoldoende verwerkt in het modelinstrumentarium (de modelketen van SWAP-WoFOST-ANIMO).

Voor het modelconcept zal vooral de oppervlakkige afstroming nog moeten worden verbeterd om effecten van bodemverbetering op de nutriëntenbelasting plausibel te kunnen berekenen.

Een betere infiltratie van water in de bodem kan leiden tot minder oppervlakkige afstroming en door een toename van de routes door de (ondiepe) bodem waarin zich hogere concentraties stikstof en fosfaat bevinden. In het rekenmodel komt oppervlakkige afvoer en interflow tot stand door de berekende waterflux voor oppervlakkige afstroming te verdelen over een

route over maaiveld en een route door de ondiepe bodem. Als geen mest op het maaiveld aanwezig is, heeft deze route de concentratie van regenwater en is daarmee schoon. Echter, wanneer hevige neerslag niet goed kan infiltreren waardoor neerslag oppervlakkig naar greppels en sloten wordt afgevoerd kan dit gepaard gaan met hoge piekbelasting van meststoffen, vooral als het perceel kort ervoor is bemest of beweid. Bovendien wordt in de praktijk in situaties waar piekbuien slecht door de bodem worden verwerkt soms geultjes door de agrariërs gegraven, vooral als in de periode het perceel bewerkt moet worden voor de oogst (zie foto's hieronder). Dit fenomeen is niet goed in de modelconcepten verwerkt, ook niet in de modelstudie naar de opties voor benutten van de bodem voor schoon oppervlaktewater. Hierbij moet worden bedacht dat om het modelconcept voor oppervlakkige afstroming te verbeteren er nog weinig geschikte veldexperimenten zijn waar ook adequate metingen zijn uitgevoerd om piekbelasting van nutriënten te kunnen afleiden.

FOTO'S VAN EEN PERCEEL MET AARDAPPELS VLAK NA DE HEVIGE NEERSLAG IN HET WEEKEND VAN 14-15 OKTOBER 2013. DE NEERSLAG WERD NIET GOED DOOR DE BODEM VERWERKT, WAAROP TEN BEHOEVE VAN HET (AFMAKEN VAN DE) OOGST KLEINE GREPPELS ZIJN GEGRAVEN NAAR DE BELENDEDE WATERGANG. (FOTO'S ANDRÉ VAN DE STRAAT, PROVINCIE ZEELAND).



3.3.5 RESULTATEN MAAIVELDLIGGING

Met het SWAP-model zijn piekafvoeren berekend voor de situatie dat het maaiveld betere condities heeft om water in de bodem te laten infiltreren. Hierbij kan gedacht worden aan:

- vertragen oppervlakteafstroming door de ruwheid en de lengte van het maaiveld vergroten en de helling te verminderen (betere ligging). Dit is in het model gesimuleerd ook een ongunstige variant voor oppervlakkige afstroming te berekenen en de referentie te vergelijken met deze ongunstige variant. In de ongunstige variant is de weerstand kleiner gemaakt van het denkbeeldige waterreservoir op het maaiveld, in het geval het water niet of onvoldoende in de bodem kan infiltreren. Een verbetering van het maaiveld leidt tot een hogere weerstand.
- het voorkomen dat zich een slempkorst kan vormen (slempkorst). Dit is in het model gesimuleerd door een ongunstige variant voor slemp te simuleren. Het verschil met de referentie geeft dan het effect van het voorkomen van een slempkorst. De slempkorst is in het model gebracht door voor de bovenste 2 cm van de bodem een veel lagere doorlatendheid aan te nemen. Deze maatregel wordt alleen voor snijmaïs relevant geacht.
- de combinatie van bovenstaande maatregelen.

De effecten op de piekafvoeren van de maatregelen zijn weergegeven in tabel 3.8.

TABEL 3.8 BEREKENDE REDUCTIE (%) VAN 24-UURSAFVOERPIEKEN IN DE WINTER EN 4-UURSAFVOERPIEKEN IN DE ZOMER DOOR VERBETERING VAN CONDITIES VOOR INFILTRATIE AAN MAAIVELD ALS VERWIJDEREN VAN EEN SLEMPKORST (SLEMPKORST) EN VERTRAGEN VAN OPPERVLAKTEAFSTROMING (BETERE LIGGING) EN DE COMBINATIE VAN BEIDE, BIJ HERHALINGSTIJDEN VAN 2 JAAR EN VAN 10 JAAR, VOOR DE VELDPDZOLGROND.

Bodem en Gewas slempkorst	Winter 24-uursafvoerpieken						Zomer 4-uursafvoerpieken					
	Betere ligging		beide		slempkorst		Betere ligging		beide			
	2 jr	10 jr	2 jr	10 jr	2 jr	10 jr	2 jr	10 jr	2 jr	10 jr	2 jr	10 jr
Veldpodzolgrond												
Gras nat			16	18					66	64		
Gras droog			10	13					66	64		
Snijmais nat	2	1	14	16	18	17	30	19	63	61	74	69
Snijmais droog	5	2	10	12	22	15	37	31	67	66	77	75
Ooivaaggrond												
Gras nat			16	17					63	63		
Gras droog			13	13					65	63		
Snijmais nat	0	0	14	17	15	17	15	5	61	60	67	64
Snijmais droog	3	0	13	13	19	13	20	12	64	63	70	68

De vermindering van de piekafvoeren door een betere ligging van het maaiveld bedraagt voor 24-uursafvoerpieken in de winter 12% tot 18% voor afvoerpieken met een herhalingsstijd van 10 jaar. De reductie voor de piekafvoeren met een herhalingsstijd van 2 jaar liggen enkele procenten lager. Het effect van het voorkomen van een slempkorst op de afvoerpieken in de winter is gering. Wanneer beide maatregelen worden gecombineerd is het effect op de winterafvoerpieken met een herhalingsstijd van 10 jaar iets groter dan het afzonderlijke effect van de betere maaiveldligging, maar is het effect op de winterafvoerpieken met een herhalingsstijd van 2 jaar op de droge gronden veel groter dan het afzonderlijke effect van de betere maaiveldligging.

Het effect van een betere maaiveldligging en het voorkomen van een slempkorst op de 4-uursafvoerpieken in de zomer is groter dan de effecten op de afvoerpieken in de winter. De vermindering van de piekafvoeren door een betere ligging van het maaiveld bedraagt voor 4-uursafvoerpieken in de zomer 60-67% voor afvoerpieken met een herhalingsstijd van 10 jaar. Voor afvoerpieken met een herhalingsstijd van 2 jaar zijn de reducties ongeveer even groot. De combinatie van beide maatregelen geeft een reductie van zomerafvoerpieken van ca 65-75%.

4

MODELVERKENNING EFFECTEN

STROOMGEBIED

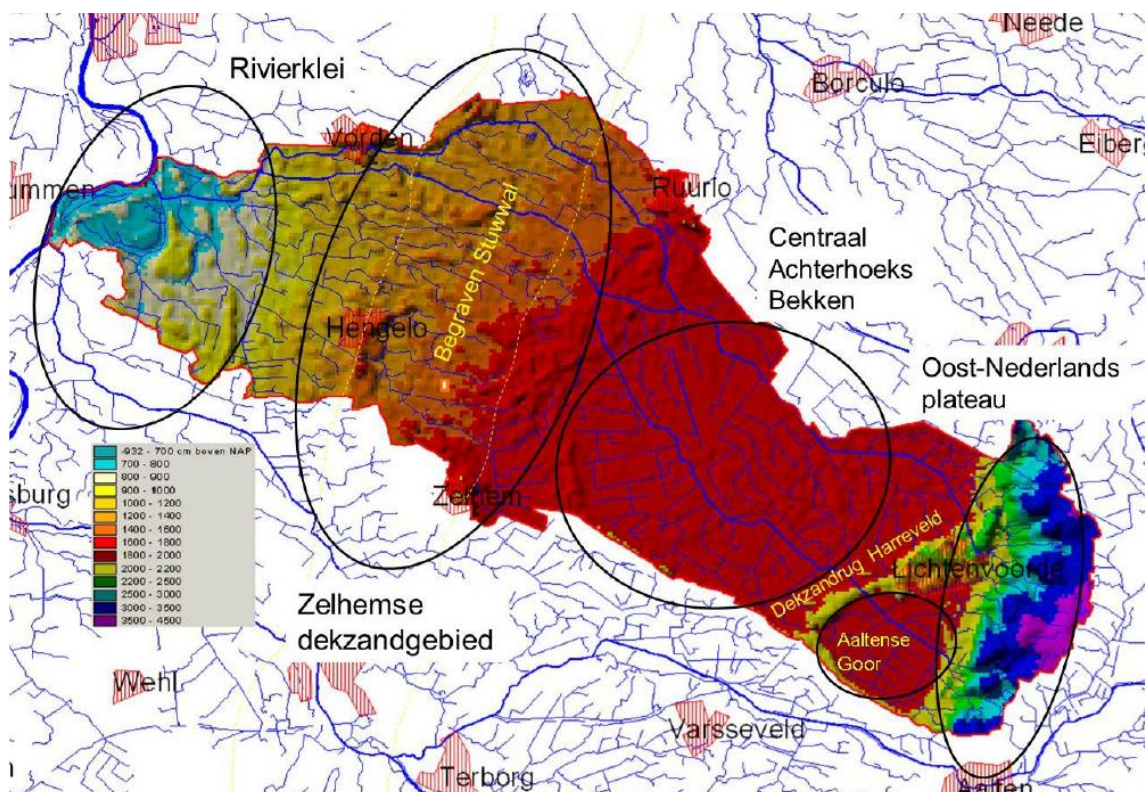
4.1 INLEIDING

Om inzicht te krijgen in de mogelijke implicaties van (grootschalige implementatie van) bodemverbeterende maatregelen op het regionale waterbeheer zijn naast de plotschaalberekeningen tevens verkennende berekeningen uitgevoerd met het regionale grondwaterstromingsmodel AMIGO (stroomgebied Baakse Beek). De modelberekeningen dienden vooral duidelijk te maken op welke balanstermen significante effecten te verwachten zijn en op welke niet. Daarnaast dienden de modelberekeningen als inspiratie voor richtinggeving aan verdere kennisontwikkeling; vaak pas bij de inzet van een model voor een bepaald doel realiseert men zich de tekortkomingen van het model voor dat doel.

4.2 GEBIEDSBESCHRIJVING

Het stroomgebied Baakse Beek-Veengoot is gelegen in de Gelderse Achterhoek, is ongeveer 30 kilometer lang en heeft een oppervlakte van 26760 hectare. De ligging van het gebied met het reliëf en enkele geohydrologische karakteristieken wordt weergegeven in figuur 4.1.

FIGUUR 4.1 RELIËFKAART STROOMGEBIED BAAKSE BEEK (BRON: VAN EK ET AL, 2013).



Het gebied ligt op de pleistocene zandgronden van Nederland en de hoogte neemt af van oost (~35 m boven NAP) naar west (7 m boven NAP). Dominante bodemtypen zijn haarpodzolen en duinvaaggronden ter plekke van de landduinen, veldpodzolen, enkeerdgronden dekzandruggen en meer humusrijke en leemrijke zanden (beekeerdgronden) in de natuurlijke laagten. Van de veengronden zijn nog enkele restanten terug te vinden (Aaltense Goor), maar het meeste is verloren gegaan door ontginning van het gebied. In het westelijk deel van het stroomgebied bestaat de bodem uit rivierklei. De begraven stuwwal ligt dwars op de stromingsrichting van het grondwater en zorgt ten oosten ervan voor stuwning van het grondwater.

Ongeveer twee derde deel van het stroomgebied is in agrarisch gebruik. Het aandeel (agrarisch) gras en mais is gezamenlijk nog ongeveer 60% van het stroomgebied. Een gedetailleerde beschrijving van het gebied wordt gegeven door Van Ek et al. (2013).

4.3 AANPAK

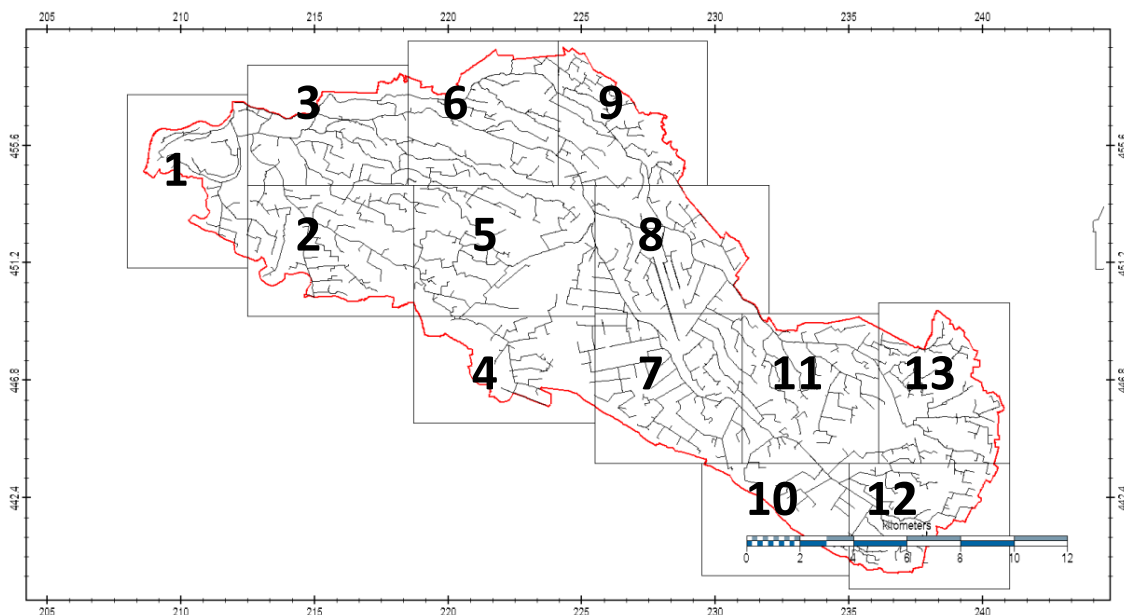
Het gebruikte modelinstrument is een uitsnede uit het AMIGO (Actueel Model Instrument Gelderland Oost)-model, het door Deltares, Alterra, TAUW en Royal Haskoning, in opdracht van de Provincie Gelderland, Waterschap Rijn en IJssel en Vitens ontwikkelde grondwatermodel voor het gebied tussen de IJssel en de Nederlands-Duitse grens. Voor een gedetailleerde beschrijving van AMIGO wordt verwezen naar Van der Linden et al. (2008).

Met de iMOD-functionaliteit van het AMIGO instrumentarium kan het model in principe op elke gewenste modelresolutie doorgerekend worden. Via verkennende berekeningen is een geschikte modelresolutie bepaald. Uit deze verkennende berekeningen is gebleken dat het weinig zinvol is het model fijner door te rekenen dan op een 100x100m gridcelresolutie. Verdere verfijning (getest op 50x50 en 25x25m) leverde namelijk modelresultaten die sterk vergelijkbaar waren met de resultaten van de 100x100m versie van het model, terwijl de rekentijden kwadratisch toenemen met hogere resolutie. AMIGO rekent met tijdsstappen van 1 dag.

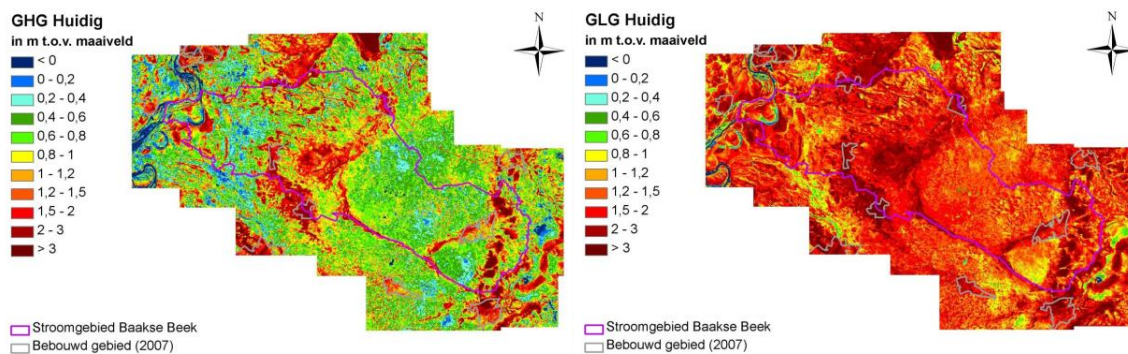
In tegenstelling tot de perceelschaalberekeningen, waarin een online koppeling tussen SWAP en WOFOST is gebruikt, is voor de berekeningen met AMIGO geen gebruik gemaakt van de equivalente online koppeling tussen MetaSWAP en WOFOST. Voor het berekenen van de gewasverdamping is “teruggегреpen” op de beproefde gewasfactormethode, omdat de koppeling tussen MetaSWAP en WOFOST nog onvoldoende is uitgetest en voor de huidige toepassing problemen opleverde.

Voor enkele berekeningen die in dit hoofdstuk beschreven worden is niet het gehele stroomgebied doorgerekend, maar alleen voor twee deelgebieden. Deze deelgebieden betreffen de in figuur 4.2 aangegeven deelgebieden 5 en 7. Deelgebied 5 is relatief droog en deelgebied 7 is relatief nat, zoals ook te zien is in de GHG- en GLG-figures van het Baakse Beekgebied van figuur 4.3. Ondanks dit contrast gaven beide deelgebieden vergelijkbare resultaten met het oog op conclusies die er in het huidige kader uit getrokken konden worden. Daarom worden in dit Hoofdstuk de resultaten van deelgebied 7 niet getoond of verder besproken.

FIGUUR 4.2 DE ONDERVERDELING VAN HET STROOMGEBIED VAN DE BAAKSE BEEK IN DEELGEBIEDEN



FIGUUR 4.3 BEREKENDE GXG STROOMGEBIED VAN DE BAAKSE BEEK. LINKS: GHG. RECHTS: GLG. BRON: VAN EK ET AL., (2013).



4.4 REKENVARIANTEN

Met het modelinstrument zijn de volgende varianten/scenario's doorgerekend;

REFERENTIE: dit betreft de referentiesituatie: de modelparameters zijn gelijk aan het door van Ek et al. (2013) opgeleverde model. Parametrisatie van de bodemfysica volgt hierin de BOFEK2012 schematisatie (Wösten et al., 2012). Uitzondering is de wortelzonedikte van gras en maisland: in de REFERENTIE variant zijn deze gesteld op de waarden gegeven in tabel 4.1.

TABEL 4.1 BEWORTELINGSDIEPTEN OP BASIS VAN EXPERTKENNIS VOOR DE MODELVARIANTEN REFERENTIE, VERBETERD EN VERDICT. NAT = GT III*, V; DROOG = GT VI, VII

Gewas	Bodem	Worteldiepte
	toestand	cm
Mais	VERDICT	35
	REFERENTIE	60
	VERBETERD	80 (nat) / 100 (droog)
gras	VERDICT	15
	REFERENTIE	25
	VERBETERD	35 (nat) / 40 (droog)

VERBETERD: in deze variant is gerekend met een modelparameterisatie die een verbeterde bodemtoestand weergeeft, waarbij de bodemverbetering op meerdere niveaus is geïmplementeerd:

- Verbeterde bodemfysica en dientengevolge “gunstigere” $K(h)$ en $\Theta(h)$ karakteristieken;
- Verbeterde infiltratiecapaciteit van de topgrond. In REFERENTIE bedraagt deze op landbouwgronden standaard 20 mm/dag, in VERBETERD is deze verdubbeld naar 40 mm/dag.

Diepere beworteling: de verbeterde bodem wordt geacht beter bewortelbaar te zijn waardoor de gewassen van grotere diepte water kunnen onttrekken. In de VERBETERD variant zijn de wortelzonediktes van gras en maisland aangepast volgens tabel 4.1. Voor de resulterende wortelzonediktes zie figuur 4.4.

VERDICHT: in deze variant is gerekend met een modelparameterisatie die een verlechtere bodemtoestand weergeeft, waarbij de bodemverbetering op meerdere niveaus is geïmplementeerd:

- Verslechterde bodemfysica en dientengevolge “ongunstigere” $K(h)$ en $\Theta(h)$ karakteristieken;
- Verslechterde infiltratiecapaciteit van de topgrond. In REFERENTIE bedraagt deze standaard 20 mm/dag, in VERDICHT is deze gehalveerd naar 10 mm/dag.

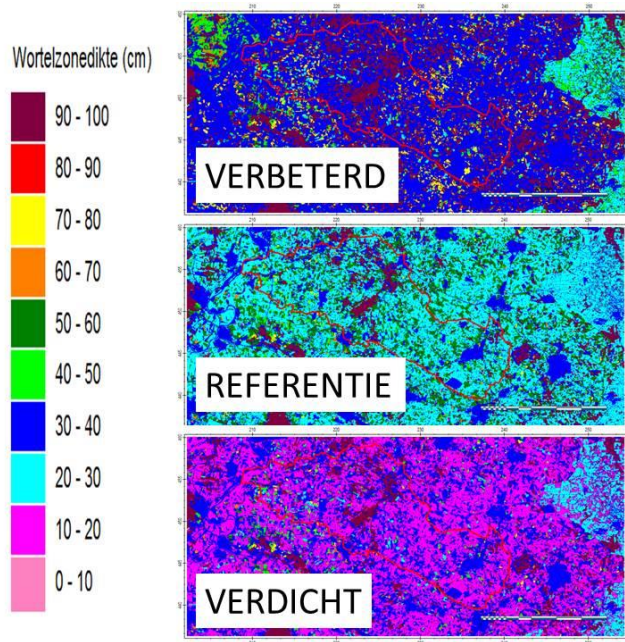
Ondiepere beworteling: de verslechterde bodem wordt geacht minder goed bewortelbaar te zijn waardoor de gewassen van grotere diepte water kunnen onttrekken. In de VERDICHT variant zijn de wortelzonediktes van gras en maisland aangepast volgens tabel 4.1. Voor de resulterende wortelzonediktes zie figuur 4.4.

M2G (kort voor MAIS → GRAS): in deze variant is alle grond die in BASIS als maisland is aangewezen, omgezet naar grasland. Deze (en de volgende) variant is meegenomen om het effect van bodemverbetering af te zetten tegen het effect van landgebruiksverandering. Deze keuze van landgebruiksverandering (omzetting van maïs naar grasland) is mede ingegeven door de regelgeving voor de melkveehouderij voor het verkrijgen van derogatie van mestnormen met ingang van 2014. Hierin wordt gesteld dat voor het verkrijgen van derogatie moet het betaalde bedrijfsareaal uit minimaal 80% (in plaats van 70%) grasland bestaan. De verwachting is dat hierdoor het areaal grasland zal groeien ten koste van areaal snijmaïs.

G2M (kort voor GRAS → MAIS): in deze variant is alle grond die in REFERENTIE als grasland is aangewezen, omgezet naar maïsland. Dit is het contrast met de voorgaande rekenvariant om de maximale effecten te kunnen bepalen.

FIGUUR 4.4

DE GEHANTEERDE WORTELZONEDIKTE IN DE MODELVARIANTEN VERBETERD, VERDICHT EN REFERENTIE.



Om de afzonderlijke effecten van de drie verschillende modelaanpassingen tussen de REFERENTIE, VERBETERD en VERDICHT varianten te kunnen onderscheiden, zijn voor de VERBETERD variant tevens de volgende subvarianten doorgerekend:

BETER1: als VERBETERD, maar bodemfysica/ $K(h)$ en $\Theta(h)$ karakteristieken gelijk aan VERDICHT;

BETER2: als VERBETERD, maar infiltratiecapaciteit gelijk aan VERDICHT;

BETER3: als VERBETERD, maar wortelzonedikte gelijk aan VERDICHT.

De modelberekeningen zijn uitgevoerd voor de periode 1-1-1996 t/m 31-12-2003 (met uitzondering van de grondwaterstanden, zie volgende paragraaf). Voor de evaluatie van de verschillen tussen de modelvarianten ligt echter de nadruk op twee karakteristieke perioden:

- 1 Juni 1998: de natste juni van de 20e eeuw, waarin vrijwel het gehele land te maken heeft gehad met wateroverlast. De zwaarste bui vond in het gebied plaats op 6 juni. De modelberekeningen verkennen de potentie van bodemverbetering in de reductie van wateroverlast in een dergelijke periode.
- 2 De periode oktober-november 1998. Deze periode is vooral gekozen vanwege de buien van 27-28 oktober, welke in het Baakse Beekgebied extreem waren. Met het inzoomen op deze periode wordt een “najaarsbui” tegenover de “voorjaarsbuien” van juni gezet, maar de berekening dient vooral om aanvullende zeggingskracht te genereren voor de voor juni 2008 verkregen modelresultaten.
- 3 Het zomerhalfjaar van 2003. 2003 kende een record droog voorjaar en ook de zomer was uitzonderlijk droog en warm. Het is interessant te bekijken of bodemverbetering kan bijdragen aan het beperken van droogteschade en het verminderen van de irrigatiebehoefte in een dergelijke extreme periode.

4.5 DOELVARIABLEN

De modelresultaten zijn in de volgende paragraaf toegespitst op de volgende doelvariabelen:

- 1 GxG: heeft bodemverbetering enig effect op de gemiddelde grondwaterstanden? De GxG wordt berekend over een 30-jarige simulatiereeks (1981-2010).
- 2 Grondwaterstandsextremen: worden de minimale en maximale grondwaterstanden beïnvloed door bodemverbetering? Over de 30-jarige simulatiereeks van 1981-2010 wordt per modelkolom de minimale en maximale gesimuleerde grondwaterstand uit de modelresultaten geëxtraheerd en tussen de modelvarianten vergeleken.
- 3 Afvoeren: zowel de afzonderlijke bijdragen vanuit drains en permanent drainerende waterlopen (de fluxen uit de MODFLOW-drain (DRN) module), overige waterlopen (de drainagefluxen uit de MODFLOW-river (RIV) package) en runoff (gesimuleerd door MetaSWAP) als de totale afvoer (som van alle hiervoor genoemde termen) worden vergeleken tussen de modelvarianten. De afvoer-doelvariabelen zijn alleen voor de met het oog op wateroverlast beschouwde perioden geëvalueerd (juni en oktober/november 1998)
- 4 Irrigatiebehoefte: kan bodemverbetering in significante mate bijdragen aan het verminderen van de irrigatiebehoefte in droge perioden? De irrigatiebehoefte is een uitvoerterm van MetaSWAP. De irrigatiebehoefte is alleen voor de met het oog op de droogteproblematiek beschouwde periode geëvalueerd (zomerhalfjaar 2003).
- 5 Gewasverdampingsreductie: gedefinieerd als het verschil tussen potentiële en actuele verdamping. In hoeverre kan bodemverbetering ervoor zorgen dat het verdampingspotentieel (en dus gewasgroei-potentieel, andere beperkende factoren daargelaten) beter wordt benut? Ook de gewasverdampingsreductie is een uitvoerterm van MetaSWAP. Ook de gewasverdampingsreductie is alleen voor de met het oog op de droogteproblematiek beschouwde periode geëvalueerd (zomerhalfjaar 2003).

4.6 MODELRESULTATEN STROOMGEBIED

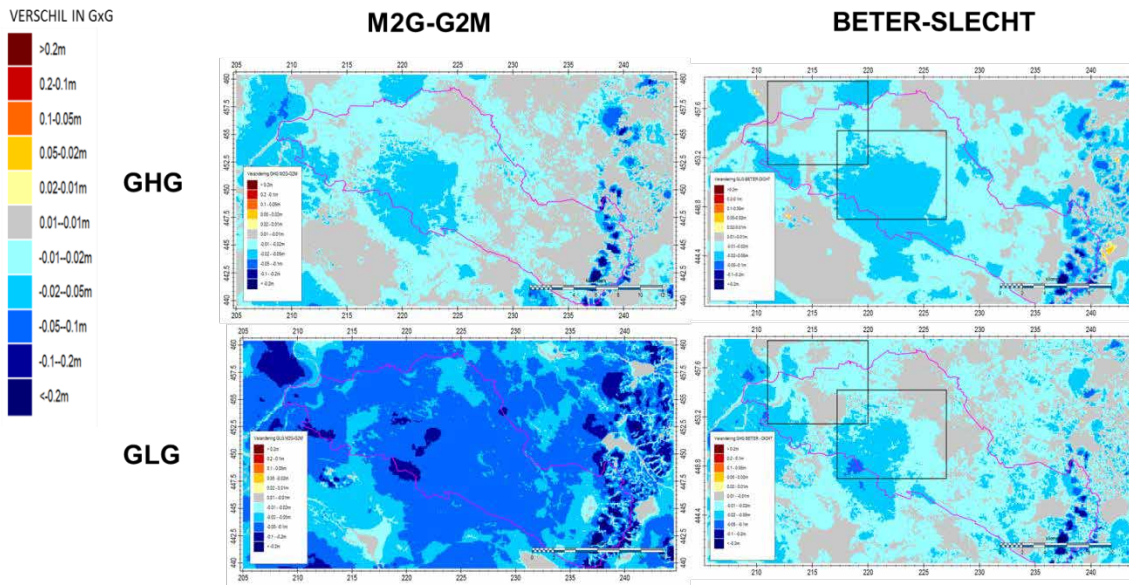
In deze paragraaf worden de resultaten voor de verschillende hierboven beschreven modelvarianten en aandachtsperioden kort en bondig vergeleken en bediscussieerd.

GxG

Figuur 4.5 geeft de resultaten weer van de vergelijking van GxG's voor twee variantenduo's: M2G versus G2M en VERBETERD versus VERDICHT. Dit zijn de twee variantenduo's waarbinnen de grootste effecten op de GxG te verwachten waren en ook berekend zijn. Te zien is echter dat zelfs voor deze variantenduo's de verschillen zeer beperkt zijn. De invloed op de GxG's ligt overwegend in de orde van grootte van enkele centimeters. Alleen de vergelijking van de landgebruiksveranderingen levert in grote gebieden een effect op dat groter is dan 5 cm, maar hierbij moet bedacht worden dat beide varianten extreem zijn.

Alle vergelijkingen resulteren in een beeld van "vernatting", ofwel kleinere GxG's (uitgedrukt in m-mv). VERBETERD is natter ('minder droog') dan VERDICHT vanwege, zoals later zal worden aangetoond, de hogere infiltratie en verminderde oppervlakkige afspoeling. M2G is natter dan G2M omdat mais tijdens bloei en kolfzetting meer verdampt dan gras (Hoving et al., 2013).

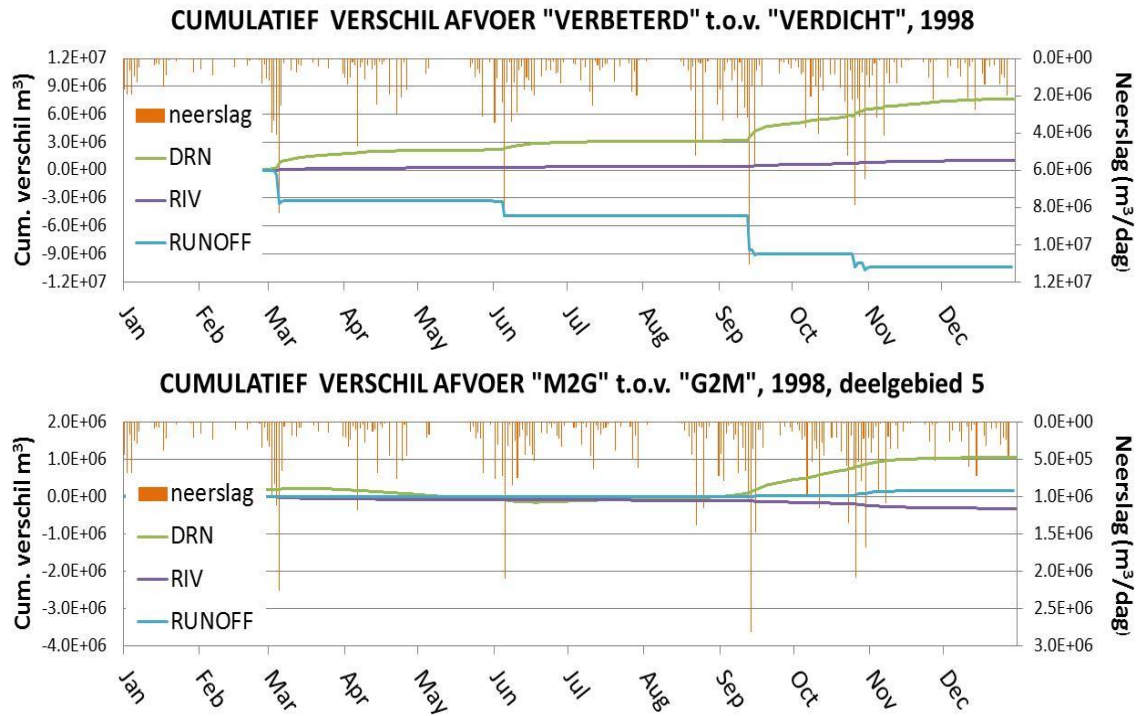
FIGUUR 4.5 RESULTATEN VAN DE GXG ANALYSE. DE BOVENSTE RIJ GEEFT DE RESULTATEN VOOR DE GHG, DE ONDERSTE VOOR DE GLG. DE LINKERKOLOM LAAT HET VERSCHIL ZIEN TUSSEN DE SCENARIO'S M2G EN G2M (M2G MINUS G2M), EN DE RECHTERKOLOM TUSSEN VERBETERD EN VERDICHT (VERBETERD MINUS VERDICHT). GHG EN GLG WORDEN UITGEDRUKT IN M-MV.



AFVOEREN

Figuur 4.6 geeft voor het jaar 1998 de cumulatieve verschillen weer tussen de afvoeren in de verschillende modelvarianten (VERBETERD versus VERDICHT en M2G versus G2M).

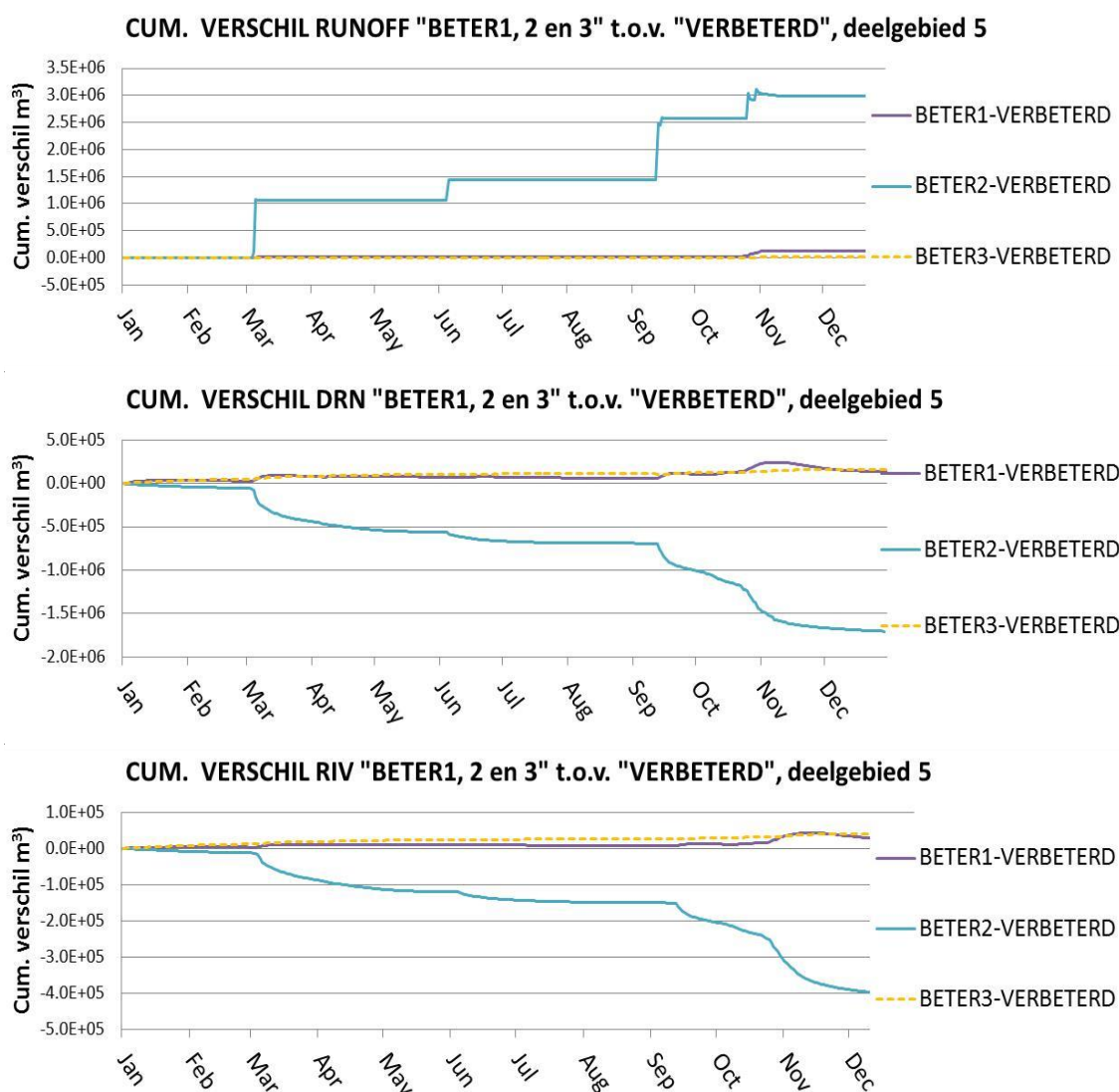
FIGUUR 4.6 CUMULATIEF VERSCHILLEN AFVOERTERMINEN OVER 1998 TUSSEN DE MODELVARIANTEN VERBETERD EN VERDICHT (BOVEN, GELDT VOOR HET GEHELE STROOMGEBIED) EN TUSSEN DE MODELVARIANTEN M2G EN G2M (ONDER, VOOR DEELGEBIED 5). DE AFVOEREN DIE IN HET MODEL ZIJN ONDERSCHIEDEN ZIJN DRN: DE AFVOER VIA DRAINS EN PERMANENT DRAINERENDE WATERLOPEN, RIV: DE AFVOER NAAR OVERIGE (GROTERE) WATERLOPEN EN RUNOFF: DE OPPERVLAKKIGE AFSTROMING.



Het meest opvallende modelresultaat is de sterk gereduceerde runoff in de VERBETERD variant t.o.v. de VERDICHT variant. Het valt ook op dat dit verschil in runoff alleen optreedt tijdens hele hevige buien, terwijl runoff op veel meer momenten optreedt, ook wanneer het veel minder heftig regent. Dit duidt erop dat de verbeterde bodemtoestand alleen effect heeft op runoff ten gevolge van een beperkte infiltratiecapaciteit (Hortoniaanse oppervlakteafvoer) en niet op runoff ten gevolge van grondwaterstanden boven maaiveld. Het laatstgenoemde type runoff effect werkt bovendien de andere kant op omdat een verbeterde bodem leidt tot licht verhoogde grondwaterstanden.

In figuur 4.7 zijn de effecten van de drie verschillende modelaanpassingen achter de VERBETERD-variant (verbeterde hydraulische parameterisering, verbeterde infiltratiecapaciteit en verhoogde bewortelingsdiepte) uit elkaar getrokken.

FIGUUR 4.7 CUMULATIEVE VERSCHILLEN OVER HET JAAR1998 (DEELGEBIED 5) TUSSEN DE MODELVARIANTEN BETER1, BETER2 EN BETER3 ENERZIJD EN VERBETERD ANDERZIJD. 3.



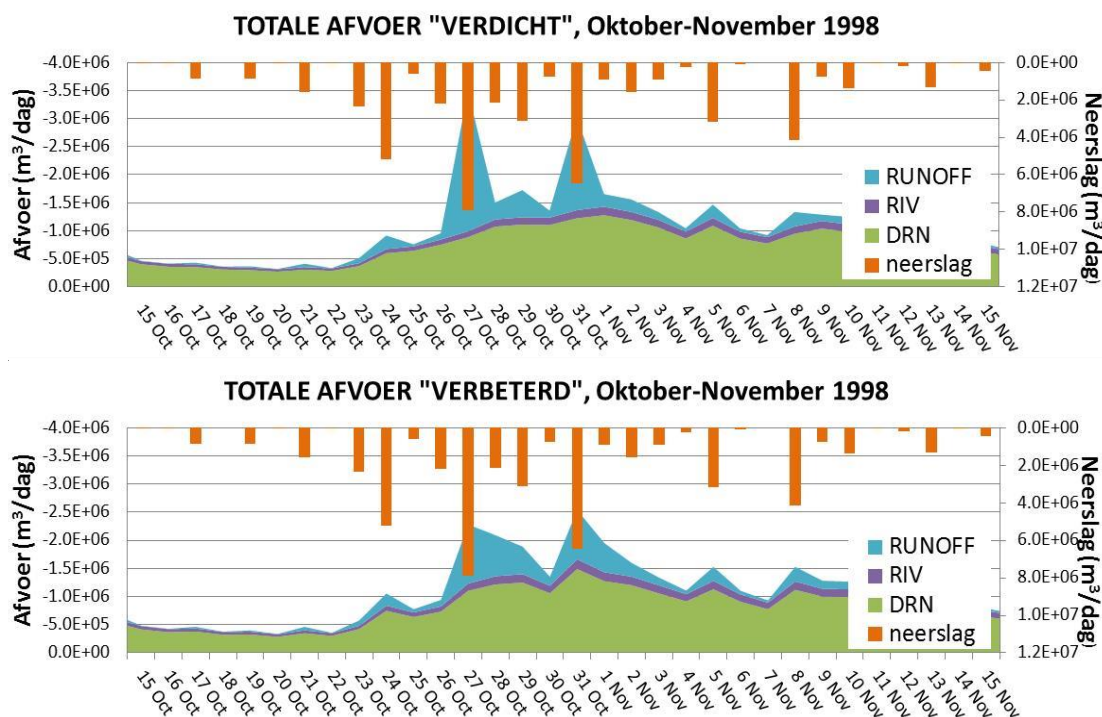
In de bovenste grafiek van figuur 4.7 is te zien dat variant BETER2 verreweg het grootste verschil geeft met het VERBETERD scenario. In variant BETER2 is alleen de infiltratiecapaciteit niet gelijk aan de VERBETERD variant, deze heeft dezelfde waarde als in het VERDICHT scenario. Doordat in BETER2 de infiltratiecapaciteit niet verbeterd is, worden de positieve

effecten van het VERBETERD scenario niet gehaald. Hierdoor blijkt dat de reductie in runoff in de VERBETERD-variant t.o.v. de VERDICHT-variant, en de hogere afvoeren via drains en overige waterlopen die daar het gevolg van zijn vrijwel volledig veroorzaakt door de hogere infiltratiecapaciteit.

Landgebruiksverandering ("M2G" t.o.v. "G2M" zie pagina 30) laat vrijwel geen verandering in de runoff zien (zie Figuur 13, onderste grafiek). De geringe extra runoff in de M2G-variant betreft hier wel runoff als gevolg van grondwaterstanden boven maaiveld. Uit Figuur 12 bleek al dat M2G hogere grondwaterstanden geeft dan G2M, waardoor de grondwaterstand in M2G ook wat vaker boven maaiveld uit zal komen dan in G2M en afvoer via drainage (DRN) toeneemt.

Figuur 4.8 zoomt ter illustratie in op de individuele heftige buien van eind oktober 1998. In de modelvariant VERDICHT resulteren de twee zwaarste buien in deze periode in een piekafvoer van respectievelijk 6,5 en 4,5 Mm³. In de modelvariant VERBETERD zijn deze piekafvoeren gereduceerd tot respectievelijk 3,1 en 3,2 Mm³, een reductie van respectievelijk 52% en 29%. De reductie is volledig te danken aan verminderde runoff, welke, zoals hierboven aangetoond, het resultaat is van de verhoogde infiltratiecapaciteit in de VERBETERD-variant.

FIGUUR 4.8 BEREKENDE DAGELIJKSE AFVOEREN IN DE PERIODE RONDOM DE EXTREME BIJEN VAN EIND OKTOBER 1998. BOVEN: MODELVARIANT VERDICHT. ONDER: MODELVARIANT VERBETERD.



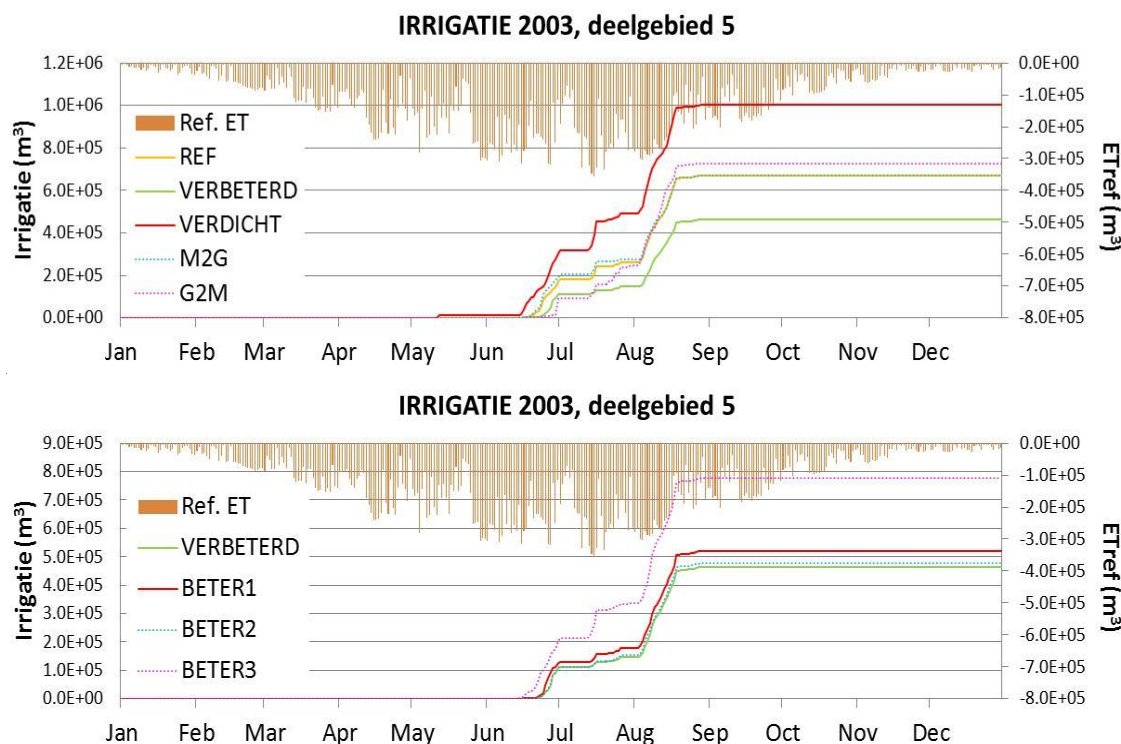
BEREGENINGSBEHOEFTE

Figuur 4.9 vergelijkt de ontwikkeling van de cumulatieve beregeningsbehoefte in 2003 tussen de verschillende modelvarianten. De variant VERDICHT geeft veruit de grootste irrigatiebehoefte, terwijl de variant VERBETERD de kleinste irrigatiebehoefte laat zien. De referentievariant geeft een intermediair resultaat. Het verschil tussen VERBETERD en VERDICHT is veel groter dan het verschil tussen de extreme varianten van landgebruiksverandering.

In figuur 4.9 worden in de onderste figuur tevens de verschillende modelaanpassingen achter de modelvariant VERBETERD uit elkaar getrokken. In deze onderste figuur is te zien dat voor-

al de BETER3 variant een groot verschil geeft met de VERBETERD variant, en dat dus vooral de verhoogde wortelzonedikte verantwoordelijk is voor de verminderde irrigatiebehoefte in de VERBETERD variant van de bovenste figuur. De twee andere modelaanpassingen (verbeterde hydraulische eigenschappen van de bodem en vergrote infiltratiecapaciteit) dragen daar in veel mindere mate aan bij.

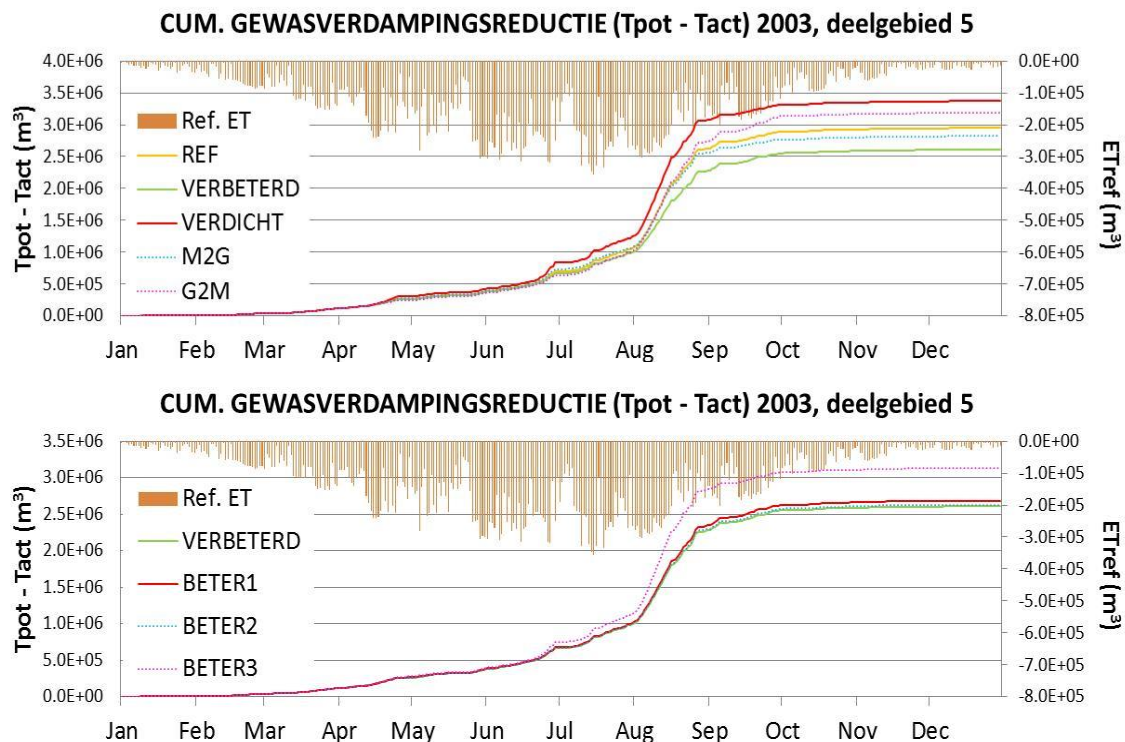
FIGUUR 4.9 CUMULATIEVE IRRIGATIEBEHOEFTE OVER HET JAAR 2003 VOOR DE VERSCHILLENDE MODELVARIANTEN. DIT MODELRESULTAAT BETREFT ALLEEN DEELGEBIED 5. VOOR HET GEHELE STROOMGEBIED IS HET BEELD ECHTER HETZELFDE.



GEWASVERDAMPINGSREDUCTIE

Figuur 4.10 vergelijkt de ontwikkeling van de cumulatieve gewasverdampingsreductie in 2003 tussen de verschillende modelvarianten. Ten opzichte van de variant VERDICHT geeft de variant VERBETERD een afname van de gewasverdampingsreductie van 23 %. Uit de onderste figuur van figuur 4.10, waarin varianten BETER1, BETER2 en BETER3 worden vergeleken met VERBETERD, wordt duidelijk dat ook hier de bewortelingsdiepte de allesbepalende factor is. Aanpassing van de overige onderscheiden componenten van bodemverbetering (bodemp fysica, infiltratiecapaciteit) beïnvloeden de gewasverdampingsreductie nauwelijks.

FIGUUR 4.10 CUMULATIEVE GEWASVERDAMPINGSREDUCTIE OVER HET JAAR 2003 VOOR DE VERSCHILLENDE MODEVARIANTEN. DIT MODELRESULTAAT BETREFT ALLEEN DEELGEBIED 5. VOOR HET GEHELE STROOMGEBIED IS HET BEELD ECHTER HETZELFDE.



4.7 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN MODELLERING STROOMGEBIED

Piekafvoeren: Met de uitgevoerde modelberekeningen is aangetoond dat van de drie gehanteerde pijlers onder bodemverbetering, alleen de verhoging van de infiltratiecapaciteit een groot effect heeft op piekafvoeren, via reductie van de runoff. Dit hangt uiteraard samen met het feit dat deze piekafvoeren voor het grootste gedeelte uit runoff bestaan.

De infiltratiecapaciteit is in de VERBETERD-variant twee keer hoger gekozen dan in de REFERENTIE-variant, en in de VERDICHT-variant twee keer lager. In het licht van de grote onzekerheid die samenhangt met deze modelparameter zijn dit geen extreme aanpassingen. Desondanks sorteren zij een groot effect. Dit leidt tot de aanbeveling bij verdere modelontwikkeling de aandacht vooral te richten op het controleren/verbeteren van het concept van oppervlakkige afvoer (en daarmee samenhangende parameters, zoals infiltratiecapaciteit maar bijvoorbeeld ook maaiveldbergings- en -ruwheid), om aldus de onzekerheden in de kwantificering van runoff te verkleinen. Voorts is het dan zaak om vanuit metingen/observaties de kennis te vergroten over de effecten van bodem- en maaiveldbeheer op de met oppervlakkige afstroming samenhangende modelparameters.

Droogte/irrigatiebehoefte/gewasverdampingsreductie: Met de uitgevoerde modelberekeningen is aangetoond dat van de drie gehanteerde pijlers onder bodemverbetering, alleen de bewortelingsdiepte een groot effect heeft op de irrigatiebehoefte en de gewasverdampingsreductie. Diepere wortels krijgen pas later last van een uitdrogende onverzadigde zone. Deze bevinding pleit ervoor veldonderzoek en modelontwikkeling te richten op het verkrijgen van informatie over de relatie tussen bodemverbetering en bewortelingsdiepte.

Een opvallende uitkomst van de modelverkenning is dat de aangenomen veranderingen van de hydraulische eigenschappen van de bodem in de verschillende modelvarianten slechts een geringe invloed hebben op zowel wateroverlast als droogteproblematiek, zeker wanneer

vergeleken met de effecten van bewortelingsdiepte en infiltratiecapaciteit. Hieruit kan de aanbeveling volgen om, wanneer het gaat om het vaststellen van het effect van bodemverbeterende maatregelen op de bodemtoestand, vooral de bewortelbaarheid van de bodem een maatgevende fysische karakterisering van die bodemtoestand is; veel meer dan de hydraulische eigenschappen (i.e. de $K(h)$ en $\Theta(h)$ relaties).

4.8 KENNISHIATEN IN MODELLEN PERCEEL EN STROOMGEBIED

Uit de modelstudies komen een aantal kennishiaten naar voren. De indruk bestaat dat de hydrologische modellen voldoende aanknopingspunten bevatten om bodemverbeteringseffecten te simuleren. Van een aantal processen is het dan alleen de vraag hoe de parameters vastgesteld dienen te worden. Als voorbeeld dient de maximum infiltratiesnelheid in het AMIGO-model. Deze parameter is duidelijk sturend voor het simuleren van piekafvoeren. Voor andere processen geldt dat de huidige procesformuleringen in de gebruikte state-of-the-art modellen wel ontoereikend zijn. Een voorbeeld hiervan is de relatie tussen gewasproductie en nutriëntenbenutting bij bodemverbeterende maatregelen. De volgende hiaten zijn geïdentificeerd:

a Infiltratiesnelheid en -capaciteit beïnvloed door bodemverbetering.

In het regionale AMIGO model is dit een concrete parameter in de modelinvoer. In het perceelsmodel SWAP is dit een indirecte parameter die wordt beschreven met de doorlatendheid van het toplaagje van de bodem en de weerstand van oppervlakkige afstroming bij plassen op het maaiveld.

Invloed bodemverbetering en vruchtwisseling op diepte en verloop beworteling.

In zowel het regionale AMIGO model als het perceelsmodel SWAP bleek de diepte van beworteling een duidelijk effect te hebben op droogtegevoeligheid van de bodem.

b Relatie nutriëntenbenutting – gewasproductie.

In de perceelstudie met ANIMO werden soms onlogische effecten van bodemverbetering en de restauratie van bodemverdichting berekend. In ANIMO wordt nutriëntenopname gespecificeerd in invoerbestanden, maar wordt de informatie niet teruggekoppeld naar een eventueel effect van bodemverbetering op de droge stofproductie zoals berekend in SWAP. Deze terugkoppeling in de vorm van een gecombineerde berekening van droge stofproductie en hieraan gerelateerde nutriëntenopname is cruciaal voor scenario's waarin het effect van bodemverbetering wordt gesimuleerd.

c Effect van natschade bij bodemverbetering.

In de resultaten van het SWAP-model werd geconstateerd dat het effect van bodemverbetering op een eventuele vermindering van natschade niet adequaat wordt beschreven. In SWAP wordt het vochtopname patron met de diepte opgelegd. Bodemverbetering ging in de berekeningen gepaard met een grotere bewortelingsdiepte. Onder natte omstandigheden komen de diepere wortels dan soms onder water te staan en wordt een natschade berekend. In werkelijkheid zal compensatie door ondiepere wortels plaatsvinden. Deze compensatie wordt nog niet op adequate beschreven in de modellen.

d Onderscheid tussen transportroutes oppervlakkige afstroming en interflow en het effect van bodemverbetering.

Oppervlakkig water- en stoftransport en transport door interflow tot stand komt door de berekende waterflux voor oppervlakkige afstroming te verdelen over een route over maaiveld en een route door de ondiepe bodem (Uunk, 1987, pers. meded.). Als geen mest op het maaiveld aanwezig is, heeft het water dat deelneemt aan deze route de concentratie van regenwater en is daarmee schoon. Een betere infiltratie van water in de bodem kan leiden tot minder oppervlakkige afstroming en kan leiden tot een toename van de routes door de (ondiepe) bodem

waarin zich hogere concentraties stikstof en fosfaat bevinden. Voor het berekenen van effecten van bodemverbetering is een nadere onderbouwing van van het concept en de parameters nodig, en zonodig een aanpassing van het modelconcept

Van belang, maar minder duidelijk, is de invloed van de opbouw van organische stof in de bodem op:

- De bodemfysische relaties zoals ze worden uitgedrukt in een pF-curve en een $K(\theta)$ -relatie.
- De mineralisatie en denitrificatiesnelheid in de bodem en daarmee de uitspoeling naar grond- en oppervlaktewater. Deze processen worden mede beïnvloed door de kwaliteit van de organische stof. Aan kwaliteitsaspecten van de extra aan te voeren organische stof, zoals afbreekbaarheid en de C/N-ratio, is in de modelstudie geen aandacht geschonken.

In de modelsimulaties is het effect van een toename van het organische stofgehalte op de piekafvoeren en de nutriëntenuitspoeling relatief klein, terwijl er in de praktijk wel veel van wordt verwacht. Vanwege discrepantie is het van belang om de invloed van de opbouw van organische stof in de bodem op de bodemfysische relaties nauwkeuriger te onderzoeken dan binnen het bestek van deze studie mogelijk was.

Wanneer de modelconcepten op perceelniveau geschikt zijn gemaakt om effecten van bodemverbeterende maatregelen op het watersysteem adequaat te kunnen berekenen, kan ook het modelinstrumentarium voor het stroomgebiedsniveau worden aangepast. Pas dan kan voor de waterbeheerders duidelijk worden gemaakt hoe maatregelen voor de bodemconditie zich verhouden tot andere maatregelen zoals het aanleggen van retentie bekkens of aanleggen van kleine stuwtjes is detail ontwateringsmiddelen.

5

INVENTARISATIE PROJECTEN EN VELDONDERZOEK

5.1 LOPENDE PROJECTEN

Als onderdeel van werkpakket 1, 'oogsten en zaaien' is een groslijst samengesteld van relevante en recent uitgevoerde en nog lopende projecten met als focus bodemverbeterende maatregelen gerelateerd aan het watersysteem. De projecten zijn gescreend op bruikbaarheid voor nader onderzoek in "Goede grond voor een duurzaam watersysteem". Daartoe is van alle projecten informatie verzameld over onder andere de doelstelling, de doorlooptijd en de verzamelde en/of te verzamelen data. De groslijst bestond uit veertig projecten. Een eerste selectie vond plaats aan de hand van doorlooptijd en verzamelde data. Reeds afgeronde projecten en projecten die niet zelf data hebben opgeleverd zijn afgefallen tenzij er toch perspectieven zijn voor voorzetting of aanvullende metingen.

In tabel 5.1 zijn alleen de projecten opgenomen die perspectief bieden voor het project "Goede grond voor een duurzaam watersysteem". Meer informatie over de screening (methode en deelresultaten) is opgenomen in bijlage 5.

TABEL 5.1 INVENTARISATIE VAN PROJECTEN MET BODEMKWALITEITS- EN WATERSYSTEEMASPECTEN

Titel project	Beoordeling geschiktheid voor aansluiting met Goede grond
Bufferboeren	Project loopt nog 1 jaar; er zijn onder andere proeven in 5 herhalingen met maatregel compost; er wordt veel aan bodemstructuur gemeten; de relatie met water is nog onderbelicht.
Niet kerende grondbewerking (project BASIS)	Project loopt nog meerdere jaren door. Er is een onderzoeksprogramma dat zich evenwel vooral richt op de praktijk en de landbouwkundige/bodemkundige effecten. De relatie met water is nog onderbelicht. http://edepot.wur.nl/216118 .
Vruchtbare kringloop	Wordt nu opgestart en loopt twee jaar. Groep van 280 boeren in beheersgebied Rijn&IJssel. Bewustwording van belang kringloopwijzer en bodemkwaliteit is belangrijk doel. Bij ca. 15 koplopers worden maatregelen uitgeprobeerd. Vanuit Vruchtbare Kringloop (nog) geen metingen aan water gerelateerde variabelen.
SKB Showcase: De bodem als basis voor duurzame landbouw en schoon water	Begonnen in 2012 en loopt in 2014 af. Praktijkdemo's akkerbouw (8-10 bedrijven) en praktijkdemo's tuinbouw (8-10 bedrijven) op Brabantse zandgronden. Maatregelen op gebied van bemesting, vruchtwisseling en grondbewerking. Inbreng vanuit LIFE+ project DEMETER. Geen metingen aan water en uitspoeling.
SKB Showcase: Duurzaam bodemgebruik en waterbeheer door agrariërs	Afgesloten, maar meetopstellingen op percelen in de Schermer zijn nog aanwezig. Uitgevoerde maatregelen hadden betrekking op waterbeheer (peilgestuurde drainage en ondergrondse druppelirrigatie). Bodemkwaliteit speelde nauwelijks een rol.
Beter Boeren met Biodiversiteit	Afgesloten. Maar er is een goede basis voor een eventuele doorstart waarbij met name de relatie met water nader kan worden onderzocht. De verzamelde gegevens kunnen wel in onze modellering worden gebruikt.
PNW Sturen met organische stof in de veenkoloniën	Project loopt nog even door maar er vindt geen echt onderzoek plaats. Een extra monitoringsprogramma zou er wel aan kunnen worden gehangen.
Peilgestuurde drainage/ Klimaat adaptieve drainage	Hoewel het project is afgerond zou het interessant kunnen zijn op de pilotpercelen aanvullend onderzoek te doen naar de bodemparameters eventueel in combinatie met beheermaatregelen. Het voordeel is dat hier in ieder geval goed aan de whh kan worden gemeten.

Titel project	Beoordeling geschiktheid voor aansluiting met Goede grond
Bodem kwaliteit op zandgrond (Vredepeel)	Project loopt van 2011 – 2017, op PPO-locatie Vredepeel. Onderzoeksprogramma dat zich vooral richt op de praktijk en de landbouwkundige/bodemkundige effecten van bedrijfssystemen, organische stofstrategieën en grondbewerking. Effecten op nitraat in grondwater en broeikasgasemissies worden gemeten, maar de relatie met water is nog onderbelicht. http://edepot.wur.nl/288706 .
Boeren op goede gronden	Demoproject, maar loopt nog meerdere jaren door. Vooral gericht op de praktijk en de landbouwkundige/bodemkundige en water effecten. Monitoringsprogramma en opzet zou uitgebreid moeten worden.
Bodemverbetersaars	Project loopt nog meerdere jaren door. Meerjarige experimenten op meerdere locaties. Er is een onderzoeksprogramma dat zich evenwel vooral richt op de praktijk en de landbouwkundige/bodemkundige. Water effecten zijn nog onderbelicht.
Biochar	Project loopt nog meerdere jaren door. Er is een onderzoeksprogramma dat zich evenwel vooral richt op de praktijk en de landbouwkundige/bodemkundige. Water effecten zijn nog onderbelicht.
Goud van oud	Project richt zich op (oud) grasland, bemesting, ook bodemparameters gelinked aan water worden meegenomen.
Duurzaam bodemgebruik veenweide	Er worden veel metingen verricht. Het project loopt nog even door. De koppeling naar maatregelen is minder sterk maar de relatie bodem - water wordt uitgebreid onderzocht.
Dwarsdiep	Er wordt veel aan het watersysteem gemeten. Het project loopt nog even door. Aanvullende monitoring kan goed worden ingepast.
Mest als Kans	Een langjarige blokkenproef (sinds 1999), met 13 bemestingsvarianten waaraan regelmatig gemonitord wordt. Mogelijkheid om monitoring uit te breiden met water gerelateerde parameters.
Gouden Gronden	Het project moet nog worden opgestart. Door de grote schaal zou dit gebied vooral ook als ijking voor het op te stellen model kunnen dienen.
Gezond zand	Gebied tussen Haarlo – Berkel – Eibergen – Leerinkbeek. Op meerdere percelen worden bemestings- gewas en bodem maatregelen beproefd. Vooral demonstratie en weinig kwantificering. Droogte en wateroverlast worden als probleem ervaren, maar er wordt nog geen onderzoek aan gedaan. Project dient ook als case study in vierjarig EU-project RECARE.
Boeren in het Vechtdal	Het project "Toekomstgericht boeren met bodem en water in het Vechtdal" stimuleert boeren in het Vechtdal om bodem- en watermaatregelen te nemen die inspelen op de klimaatsveranderingen en toewerken naar verbetering van de waterkwaliteit. Vooral gericht op kennisdeling, bewustwording. Geen experimenten.

Ten aanzien van de overblijvende projecten is de bruikbaarheid op verschillende manieren beoordeeld. Projecten kunnen op meerdere manieren voor het project "Goede grond ... " van belang zijn:

- Er kunnen ten aanzien van een techniek / thema zoals grondbewerking of organische stofaanvoer waardevolle data zijn verzameld. Het kan bijvoorbeeld gaan om percelen van een proefbedrijf waarop onder geconditioneerde omstandigheden en/of langjarig experimenten zijn uitgevoerd. Deze informatie biedt de mogelijkheid om proceskennis ten aanzien van bodemverbeterende maatregelen in rekenmodellen in te bouwen en de modellen te valideren.
- Er kunnen in een bepaald gebied langjarig en bij voorkeur in meerdere herhalingen data zijn verzameld. Bijvoorbeeld op percelen en bedrijven die deel uitmaken van een lopend of binnenkort te starten project/ pilot waarvan informatie verzameld wordt over de relatie tussen bedrijfsvoering / bodem / gewas / opbrengst en waterhuishoudkundige / milieukundige kenmerken.
- Er kunnen bodemkundige en hydrologische metingen zijn verricht in een groter aaneengesloten gebied. In dit soort (deel-)stroomgebieden kunnen de consequenties van bodemverbeterende maatregelen worden vertaald naar de wateropgaven van waterbeheerders (wateroverlast, droogte, waterkwaliteit).

Daarnaast was het van belang ook een regionale spreiding aan te brengen. Er van uitgaande dat bodemverbetering in veengebieden minder opportuun is hebben we gezocht naar een regionale spreiding in zuidelijke zandgebieden, oostelijke zandgebieden en zavel/zeeklei gebieden.

Uit de inventarisatie van de pilots en projecten waarin aandacht wordt geschonken aan bodemkwaliteit blijkt dat het merendeel van de projecten een korte looptijd hebben, meestal gericht zijn op de relatie tussen vruchtwisseling, grondbewerking en gewasopbrengst en fragmentarisch kwantitatieve informatie opleveren.

Op basis van de verzamelde informatie is in de projectgroepvergadering van 18 februari 2014 vastgesteld dat het verstandig is de selectie niet terug te brengen tot drie projecten maar te kiezen voor drie projectgebieden en daarbij zoveel mogelijk gebruik te maken van de beschikbare data uit alle projecten. Daarbij zo mogelijk er op aan sturen dat binnen of nabij de projectgebieden zoveel mogelijk gebruik wordt gemaakt van de bestaande langlopende onderzoeksprojecten zoals de proefboerderijen en veldproeven en na te gaan of deze onderzoeken kunnen worden uitgebreid.

Het aantal (grotere) regionale projecten waar bovendien ook wordt gemeten is helaas erg beperkt daardoor was de keuze zeer beperkt. Voor het opstellen van de monitoringsprogramma's gaat de voorkeur uit naar:

- Het Baakse Beek gebied (gekoppeld aan het project vruchtbare kringloop)
- Noord - Oost Brabant (gekoppeld aan het project bufferboeren en de SKB- showcase)
- Het noordelijk zeekleigebied (gekoppeld aan het project Gouden Gronden)

5.2 BEDRIJFS- EN PROEFVELDONDERZOEK

Vanuit het afgeronde projecten en experimenten zijn er diverse data(bases) beschikbaar met relevante data voor een volgende fase van het project "Goede grond voor een duurzaam watersysteem". Het Louis Bolk Instituut beschikt over databases voor melkveehouderij en akkerbouw. De databases zijn gebaseerd op experimenten en pilots waarbij het effect van diverse maatregelen op bodem en, vaak in mindere mate, water gerelateerde parameters is bepaald. Tabel XX geeft een overzicht van de maatregelen en de locaties waar potentieel interessante bodem- en/of waterparameters zijn verzameld.

TABEL 5.2 OVERZICHT VAN MAATREGELDOMEINEN (LINKS) EN LOCATIES WAAR EXPERIMENTEN HEBBEN PLAATSGEVONDEN MET BETREKKING TOT DEZE DOMEINEN (RECHTS).

Maatregelen veehouderij	Locaties met potentieel interessante onderzoeksgegevens
Gras versus klaver	Aver Heino 2003, COST Wag, Gent
Mesttype (kwaliteit, toevoegmiddelen)	Bakel 2004, AH 2003, VelVanla 2004, de Marke JS, Verhoeven
Bovengronds - ondergronds	VelVanla (2003)
Mestniveau	Gent, Aver Heino (2003), Bakel (2004 één niveau), SSEO
Vruchtwisseling/scheuren/mais	Gent (2004), Aver Heino (2005), Aver Heino vruchtwisseling
Verdichting	
Maaitijdstippen/vegetatie	BoBi project
Bekalken	Ossenkampen, Aver Heino (2003), Nederweert, Hengstven
Maatregelen Akkerbouw	Locaties met potentiële onderzoeksgegevens
Mesttype	MAK (2014), Rusthoeve (2005)
Mestniveau	Biotrio (2008), Lovinkhoeve
Groenbemesters	Stegeman Lelystad (2014)
Bestrijdingsmiddelen	OBS, Bloeiend Bedrijf (2013)
Vruchtwisseling/gewastype	Bovenbuurt/Droevendaal, Meterik, Vredepeel (2014), Lovinkhoeve
Verdichting, vaste rijpaden, grondbewerking	Biotrio (2008), Wieringermeer Broekemahoeve (2014), Vredepeel (2014), Hoeksche Waard (2011), Vlaanderen Interreg (2011)
Bekalken	Bovenbuurt
Mengteelt	Diverse bedrijven Partnergewas

6

MONITORING

6.1 VOORSTEL VOOR MONITORING IN REGIONALE PROJECTEN

In december 2013 en de eerste maanden van 2014 is een inventarisatie uitgevoerd van lopende en nog nieuw te starten projecten op het gebied van agrarisch bodem- en waterbeheer. Uit deze inventarisatie (Hoofdstuk 4) kwamen 3 gebieden als het meest kansrijk naar voren om er een monitoringsplan voor op te stellen dat kan worden uitgevoerd in het kader van een pilot. Uit deze inventarisatie bleek ook ondanks het grote aantal projecten waarin maatregelen worden getest er weinig projecten zijn waarin op systematische wijze effecten van nieuwe vormen van agrarisch bodembeheer op het watersysteem worden gemonitord. Voor het trekken van conclusies over de effecten van maatregelen voor het watersysteem is een kwantificering noodzakelijk. Een koppeling van monitoring in een pilot met metingen op proefbedrijven voor landbouwkundig onderzoek lijkt hiervoor de aangewezen weg.

Voor de monitoring worden de volgende drie meetdoelen onderscheiden:

- 1 Monitoring om meetgegevens te verschaffen waarmee effecten op de vochthuishouding en waterhuishouding kunnen worden aangetoond.. Hiervoor zijn langjarige veldproeven nodig met voldoende herhalingen.
- 2 Monitoring om meetgegevens te verzamelen om rekenmodellen te kunnen parameteriseren, calibreren en indien nodig modelconcepten aan te kunnen passen zodat de invloed van bodemkwaliteit tot uitdrukking worden gebracht in de procesbeschrijvingen en de modelresultaten op waarde kunnen worden beoordeeld en gevalideerd. Hiervoor zijn gedetailleerde metingen in de bodem en detailontwatering op perceelschaal nodig.
- 3 Monitoring om eigenschappen van de bodemkwaliteit die op perceelsniveau met gedetailleerde metingen zijn bepaald, te kunnen extrapoleren op regionale schaal. Voor deze extrapolatie wordt in de bodemkundig onderzoek gewerkt met zogenaamde pedotransfer functies. Dit zijn functies waarmee de eigenschappen die bepalend zijn voor de vochthuishouding (en die dus gemeten worden onder A) op basis van karteerbare kenmerken gebiedsdekkend kunnen worden afgeleid. Ook voor de eigenschappen die bepalend zijn voor de waterkwaliteit van de uit- en afspoeling kunnen zulke functies worden afgeleid.

In de volgende paragrafen wordt ingegaan op de 3 projecten die kansrijk worden geacht om aanvullende op de lopende initiatieven metingen uit te voeren die inzicht geven in effecten van het werken aan de conditie van landbouwbodems op het watersysteem.

6.2 VRUCHTBARE KRINGLOOP, OOST GELDERLAND

De Vruchtbare Kringloop in Oost Gelderland is een innovatief praktijkproject dat bestaat uit vier samenhangende onderdelen (zie www.vruchtbarekringloop.nl):

- 1 de introductie van de Kringloopwijzer bij deelnemende agrarische bedrijven,
- 2 Mestverwerking
- 3 Cross sectorale verbanden

- 4 Het verbeteren van de bodemkwaliteit. Waterschap Rijn en IJssel verzorgt in samenwerking met de projectpartners de invulling van het projectonderdeel ' bodemkwaliteit'. Uit verkennende studies is gebleken dat een verbeterde bodemkwaliteit bijdraagt aan de infiltratie- en waterbergingscapaciteit en vermindering van de oppervlakkige afvoer. De kwaliteit van de bodem heeft daarmee invloed op de gevoeligheid voor droogte, het risico op wateroverlast en de kwaliteit van het grond- en oppervlaktewater. Het verbeteren van de bodemkwaliteit kan ook een bijdrage leveren aan de klimaatadaptatie vanuit de landbouw.

Op alle 260 deelnemende bedrijven in de Achterhoek en de Liemers van het project Vruchtbare Kringloop krijgt zal bodemkwaliteit aandacht, o.a. in de bijeenkomsten van de studiegroepen waarin de deelnemers zijn ingedeeld. krijgen. Een 15-tal bedrijven daarvan maakt deel uit van 'kennisgroep bodem', die intensiever begeleid worden op het vlak van bodemkwaliteit en waar ook demo's plaatsvinden. De bedoeling is om bij deelnemende bedrijven, waaronder deze kennisgroep, aanvullend te monitoren, zodanig dat met die monitoringsresultaten (en toepassing van daarop te ontwikkelen modellen) later gekwantificeerd kan worden wat de relatie is tussen de kwaliteit van de landbouwbodems en het regionale watersysteem.

Doel van de samenwerking tussen het project Goede grond voor een duurzaam watersysteem en het project Vruchtbare Kringloop is de kwantitatieve onderbouwing van het effect van een verbetering van agrarisch bodembeheer op:

- vermindering van droogte, wateroverlast en nitraatuitspoeling van landbouwpercelen;
- de wateropgaven van waterbeheerders (NBW, GGOR, Zoetwatervoorziening, KRW);
- de gewasopbrengst

Om de doelstellingen van Goede grond voor een duurzaam watersysteem te kunnen realiseren is een langjarige onderzoeks- en monitoringsstrategie nodig. Hiervoor is een project als de Vruchtbare Kringloop minder geschikt. Daarom wordt ook naar mogelijkheden gezocht aan te sluiten bij langdurige onderzoeken die onder goed geconditioneerde omstandigheden worden uitgevoerd. In het betreffende gebied (Oost-Gelderland) ligt proefboerderij De Marke, waar dergelijke langdurige onderzoeken worden uitgevoerd. We stellen daarom voor om dataverzameling op De Marke op te nemen in het onderzoeksplan. De Marke ligt centraal in het gebied van de Baakse beek.

Voorgesteld wordt te verkennen in hoeverre er in samenwerking met dit project voor bepaalde onderzoeksvragen afspraken gemaakt kunnen worden om maatregelen bij agrariërs op herhaling uit te kunnen voeren en over een lange periode te kunnen monitoren. Het toepassen van maaisel als bodemverbeteraar is daar een voorbeeld voor. Hier wordt in 2015 mee gestart. Maar het project leent zich ook om andere maatregelen waar mee getest wordt langduriger te gaan monitoren. Dit om naast het voorstel bij De Marke ook op andere bodems het effect van maatregelen te kunnen monitoren. Anderzijds kan er ook veldwerk worden verricht op diverse percelen die in bodemkwaliteit verschillen met inzet van studenten . Deze worden door het waterschap Rijn en IJssel en het Louis Bolk Instituut begeleid.

FIGUUR 6.1 WEBSITE PROJECT VRUCHTBARE KRINGLOOP. INZET RECHTS ONDERIN DE LIGGING VAN PROEFBOERDERIJ DE MARKE.



Vruchtbare Kringloop

Doelstelling
Aanleiding
Resultaten
Deelnemers
Projectpartners

Nieuws
Nieuwsbrieven
KringloopWijzer (deelproject 1)
Mestverwerkingsproducten (deelproject 2)
Samenwerking sectoren (deelproject 3)
Verbeteren bodem- en grondwaterkwaliteit (deelproject 4)
Wat is de KringloopWijzer?
Agenda
Links

Vruchtbare Kringloop

De landbouwsector in de Achterhoek en de Liemers werken hard aan het realiseren van een kringlooplandbouw.

LTO Noord, Waterschap Rijn en IJssel en ForFarmers Hendrix zijn in het najaar van 2013 gestart met het twee jaar durende project Vruchtbare Kringloop; een project rondom efficiënte benutting van mineralen en het reduceren van mineralen verliezen (nitraat en fosfaat) in de agrarische sector in de Achterhoek en Liemers. In 2014 zijn Vitens en Rabobank ook partners geworden in het project.

Vruchtbare Kringloop wil agrarische ondernemers inspireren en faciliteren in het creëren en benutten van kansen om hun bedrijven verder te verduurzamen en 'toekomstproof' te maken wat betreft bedrijfsresultaten, milieukwaliteit, waterbeheer en bodemvruchtbaarheid.

Klik op de foto voor een korte filmimpresie.

Aan het project werken meer dan 250 melkveehouders mee. Samen met hun KringloopWijzer in. Vervolgens gaan zij aan de slag in studieclubs en in de de Kringloop. Met collega akkerbouwers, varkenshouders en pluimveehouders z agrosector in een fraai, en schoon Achterhoeks en Liemers landschap dat aan functies. Ook mestverwerkers werken aan een efficiënte mineralenbenutting, en bodembeheer een belangrijk element.

Gebied Baakse Beek | Veengooi

Monitoringplan Vruchtbare Kringloop - Goede grond voor een duurzaam watersysteem:

Voor de samenwerking met Vruchtbare Kringloop stellen we voor om op drie niveaus onderzoek uit te voeren:

- 1 Verdiepen van kennis door metingen en experimenten op proefbedrijf De Marke. In het systeemonderzoek van De Marke kan o.a. onderzocht worden wat het effect van een grasland / snijmaïs rotatie is op de organische stofopbouw, waterretentie en infiltratie-eigenschappen van de bodem. Deze gegevens zijn nodig voor de aanpassing van rekenmodellen op perceel-schaal.
 - 2 Verzamelen van informatie over hydrologische eigenschappen³ van bodems en percelen in het Baakse beekgebied. Uit te voeren op enkele koploperbedrijven gelegen in het stroomgebied van de Baakse beek. Deze gegevens zijn aanvullend aan de gegevens van De Marke en dienen voor de onderbouwing van een rekenmodel op stroomgebiedsschaal.
 - 3 Verzamelen van informatie over bodem, vruchtwisseling, nutriëntenmanagement en bodembeheer bij een grote groep bedrijven die deelnemen aan het project Vruchtbare Kringlopen. Binnen Vruchtbare Kringlopen worden grondmonsters geanalyseerd op org. stofgehalte, silt- en lutumgehalte en fosfaatbeschikbaarheidsparameters (bijv. P-AI). De agrariërs worden begeleid bij het werken met <http://www.mijnbodemconditie.nl/> In dat kader zullen waarnemingen worden gedaan aan conditie van de landbouwbodems. Tijdens de veldbezoeken en waarnemingen die hiervoor zullen worden uitgevoerd, kunnen ook efficiënt metingen worden verricht die de nodige informatie biedt om met modellen het effect op het watersysteem te kunnen berekenen. Deze inzichten zijn waardevol voor het project en waardevol voor het verder ontwikkelen van het modelinstrumentarium.
- 3 Effeten die samenhangen met effecten van bodemverbetering

Deze aanpak leidt ertoe dat 1) de benodigde kennis over bodemprocessen wordt verzameld om de effecten van bodemverbeterende maatregelen te kunnen kwantificeren; 2) deze kennis breder is toe te passen en 3) betrokkenheid en belangstelling door agrariërs wordt verstevigd.

In het lopende project Vruchtbare Kringloop is geen mogelijkheid om de monitoring zo op te zetten dat referentie-percelen en percelen waar een bodemverbeterende maatregel wordt uitgevoerd met elkaar kunnen worden vergeleken, want er worden in het project geen maatregelen met herhalingen / referentie percelen uitgevoerd. Anderszijds kan er wel veldwerk worden verricht op diverse percelen die in bodemkwaliteit verschillen met inzet van studenten. Deze worden door waterschap Rijn en IJssel en LBI begeleid. Om in dit monitoring traject ook informatie over effecten van de bodemkwaliteit op het watersysteem te kunnen kwantificeren is het volgende monitoringplan opgesteld:

Om effecten van een verbeterde bodemstructuur op de vochtuishouding van landbouwpercelen te kunnen kwantificeren dient de monitoring vooral gericht te worden op de infiltratie- en bewortelingseigenschappen van de bodem. Voor praktijkprojecten waar door waterbeheerders en agrariërs wordt gewerkt aan verbetering van de kwaliteit van landbouwbodems, wordt daarom geadviseerd het volgende in de monitoring op te nemen:

Voorstel Monitoring gericht op mogelijke kwantificering effecten bodemkwaliteit op het watersysteem

- Visueel: Perceelkenmerken, afstand waterlopen, hol/bol maaiveldverloop, rijpaden, aanwezigheid buisdrainage, greppels, eventuele probleemzones binnen het perceel (foto's of andere informatie over plassen, slechte gewasgroei ed.).
- Registratie van groundbewerkingen, gewasopbrengsten en bemesting.
- Ondiepe boringen tot onder de GLG, met in de boorbeschrijving korrelgrootte, lutum- en organisch stofgehalte, GHG, GLG en actuele grondwaterstand. Daarbij zoveel mogelijk ook (dunne) storende lagen vermelden. Bij voorkeur uitvoering met profielkuil om ondiepe dunne storende lagen te kunnen karteren.
- Visueel na het maken van een profielkuil: structuurbeschrijving, bewortelbaarheid en bewortelingsdiepte, tellen aantal levende wortels per dm², aangeven diepte en dikte eventuele verstoringen en/of verdichte lagen, scheuren, doorgaande poriën, wormactiviteit.
- Indringingsweerstand, zoveel mogelijk bij veldcapaciteit en het vochtgehalte meten.
- Infiltratieproeven (bij voorkeur dubbelrings), op het niveau van de ploegzool dus eerst de bouwvoor wegschuiven. Zoveel mogelijk bij veldcapaciteit.
- Voor profielkuilen, het nemen van bodemmonsters, bepalen van indringingsweerstand en infiltratie snelheden dient specifiek te worden gekeken naar verschillen tussen de kopakker en het midden van het perceel.

Naar aanleiding van deze studie is deze monitoring, aanvullend op de al lopende monitoring, grotendeels opgenomen in het veldwerk. De bodemmonsters zijn afgeleverd bij het laboratorium van de WUR.

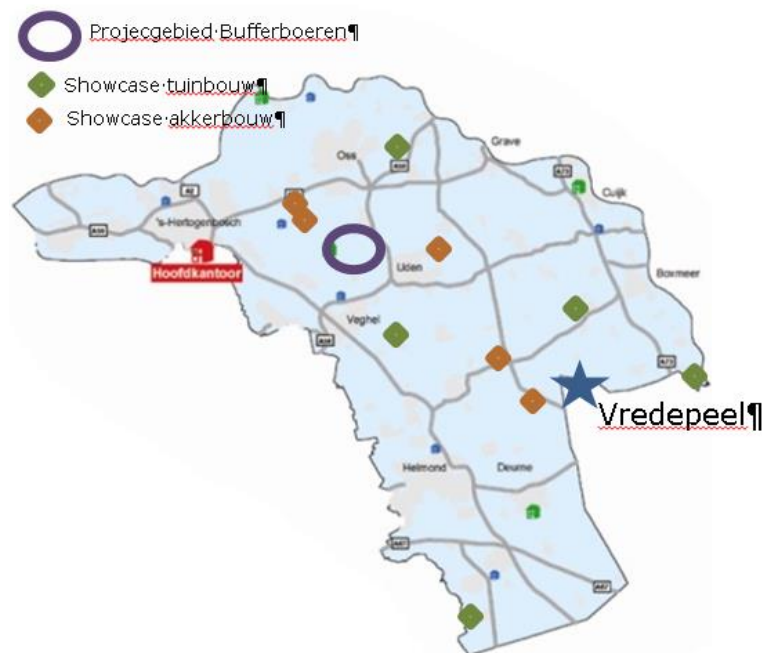
Voor de effecten op de nutriënten dient ook aandacht te worden besteed aan het monitoren van de chemische kwaliteit van de bodem, grondwater, drainagewater en het monitoren van de oppervlakte-waterkwaliteit in de haarvaten en op punten die kenmerkend zijn om vruchten te kunnen berekenen.

6.3 OOST BRABANT

Gebied van Bufferboeren en omstreken in Oost Brabant (figuur 6.2). In dit gebied zijn 2 projecten die in 2014 aflopen en waarvan verwacht wordt dat een gezamenlijke voortzetting nuttige informatie kan opleveren over de effecten van agrarisch bodembeheer op het watersysteem Deelstroomgebied van waterschap Aa en Maas in het Zuidelijk zandgebied, gekoppeld aan project Bufferboeren (grasland) en SKB-Showcase (akkerbouw en volle grondsgroente teelt). Bufferboeren en SKB-Showcase lopen in 2014 af. Resultaten laten zien dat een voortzetting van monitoring waardevol is, waarbij meer gerichte metingen op hydrologische effecten en metingen van nitraatuitspoeling voor de hand liggen. Het projectgebied van Bufferboeren ligt in de gemeente Bernheze rondom de drinkwaterwinning Loosbroek van Brabant Water. De proefboerderij Vredepeel op de grens tussen waterschap Peel- en Maasvallei en waterschap Aa- en Maas is geschikt voor metingen/experimenten ter verbetering en toetsing rekenmodellen op perceelsniveau.

FIGUUR 6.2

LIGGING VAN HET PROJECTGEBIED BUFFERBOEREN EN SKB-SHOWCASE BEDRIJVEN IN OOST-BRABANT



Voor metingen op de PPO-locatie Vredepeel is er een plan om te meten in 3 behandelingen met voldoende herhaling. In de volgende jaren worden in overleg met de projectleiders en programmaleiding de metingen uitgebreid naar andere lange termijn proeven (o.a. BASIS in Lelystad). De aanvullende metingen vanuit dit project betreffen:

- Grondwaterstanden (met drukopnemers)
- Bewortelingspatroon en worteldiepte
- Bodemfysische bepalingen en structuurkenmerken (waterretentie-relatie, hydraulische doorlatendheid); op 3 diepten
- Grondbemonstering en analyse bodemvruchtbaarheidsparameters (org. stof, Pw, etc.)
- Indringingsweerstand als functie van de diepte
- Waterinfiltratiesnelheid met ring infiltrometers
- EC en nitraat in het bovenste grondwater en (indien aanwezig) drainage water

De metingen zijn gericht op de nadere onderbouwing van effecten op het watersysteem van maatregelen. Hiervoor is budget aangevraagd bij de PPS Bodem (Min van EZ). Naar aanvullende financiering wordt nog gezocht.

Met de metingen zullen in de toekomst simulatiemodellen op perceelniveau beter onderbouwd kunnen worden en daarmee ook voor de simulatiemodellen op stroomgebiedsniveau. De aanpassing en onderbouwing van modellen in gebruik bij het waterschap vragen een aanvullende actie.

6.4 GOUDEN GRONDEN

Gouden Gronden in het noordelijk zeeleigebied is een onderdeel van het icoonprogramma bodem zoals dat is opgenomen in de AgroAgenda Noord Nederland. Gouden Gronden is een gebiedsgericht programma waarbinnen tal van projecten zullen worden uitgevoerd die er gezamenlijk op gericht zullen zijn de kwaliteit van de bodem het noordelijk zeeleigebied zodanig te verbeteren dat enerzijds de landbouw veel minder afhankelijk wordt van de aanvoer van zoetwater en anderzijds het watersysteem wordt versterkt door minder directe afspoeling en vergroting van de berging en een vermindering van de uit en afspoeling van nutriënten en microverontreinigingen.

Het programma bevat drie belangrijke pijlers:

- 1 het effectief verbreiden van kennis,
- 2 het bieden van een kader voor onderzoeks- en pilotprojecten
- 3 het faciliteren van de gewenste ontwikkelingen door belemmeringen in wet en regelgeving weg te nemen.

In het gebied liggen twee proefboerderijen van de Stichting Proefboerderijen Noordelijke Akkerbouw (SPNA), de onderzoeksinstelling voor de akkerbouw op de Noordelijke klei. SPNA beschikt over twee proefboerderijen. Proefboerderij Kollumerwaard te Munnekezijl is vooral gericht op praktijkonderzoek op het gebied van (poot)aardappelen en suikerbieten. Op deze proefboerderij vindt zowel gangbare als biologische teelt plaats. Ook het biologische praktijkonderzoek van SPNA is hier geconcentreerd. Proefboerderij Ebelsheerd te Nieuw Beerta ligt in het Oldambt. Het praktijkonderzoek op dit bedrijf is vooral gericht op granen, koolzaad en suikerbieten.

Waterschap Noorderzijlvest bereidt, in samenwerking met de projectpartners de invulling van het programma Gouden gronden voor. Op alle bedrijven van het project Gouden Gronden zal de conditie van de bodem aandacht krijgen. Doel van de samenwerking tussen het project Gouden Gronden en Goede grond voor een duurzaam watersysteem is een kwantitatieve onderbouwing van het effect van verbetering van agrarisch bodembeheer op het watersysteem. Dit door middel van:

- a een deugdelijke analyse van de effecten van maatregelen op droogte, wateroverlast, waterkwaliteit en gewasopbrengst. Hiervoor zijn langjarige veldproeven nodig met voldoende herhalingen.
- b Het verzamelen van gegevens om rekenmodellen aan te kunnen passen zodat de invloed van bodemkwaliteit tot uitdrukking worden gebracht in de procesbeschrijvingen, de ijking en toetsing van de aangepaste modellen.

Om deze doelstellingen te realiseren heeft een programma als Gouden Gronden niet de juiste structuur. De uitvoering van maatregelen is ongewis en divers. Daarom wordt naar mogelijkheden gezocht aan te sluiten bij langdurige onderzoeken die onder goed geconditioneerde omstandigheden worden uitgevoerd. Voor de Gouden Gronden stellen we voor om op drie niveaus onderzoek uit te voeren:

- 1 Verdiepen van kennis door metingen en experimenten op de proefbedrijven Kollummerwaard in Munnikezijl en Ebelsheerd in Nieuw Beerta. Langjarige proeven in de Kollummerwaard waarin in meervoud bemonsterd kan worden die er liggen zijn:
 - Planty organic – gericht op volledige eigen stikstofvoorziening, start in 2012 en looptijd 6 jaar
 - Bodemverbeteraars (proef die op meerdere PPO locaties in Nederland ligt)
 - Bemestingsystemen (vorig jaar afgerond, maar zou nog wat mee kunnen en heeft 4 jr gelopen)
 Op Ebelsheerd ligt een proef met vergelijking tussen ploegen versus no-till. Deze gegevens zijn nodig voor de aanpassing van rekenmodellen op perceelschaal.
- 2 Kennisverdieping en verzamelen informatie over hydrologische eigenschappen van bodems en percelen in een beperkt aantal gebieden die als hydrologische eenheid kunnen worden aangemerkt (polders) waar een groot aantal boeren aan het project deelneemt. Deze gegevens dienen voor de onderbouwing van een rekenmodel op stroomgebiedsschaal.
- 3 Verzamelen van informatie over bodem, vruchtwisseling, nutriëntenmanagement en bodembeheer praktijk bij de bedrijven die deelnemen aan het programma Gouden Gronden.

Deze aanpak leidt ertoe dat 1) de benodigde kennis over bodemprocessen wordt verzameld om de effecten van bodemverbeterende maatregelen te kunnen kwantificeren; 2) deze kennis breder is toe te passen en 3) betrokkenheid en belangstelling door agrariërs wordt verstevigd

6.6 VOORBEELD MONITORINGSPLAN PROEFBEDRIJF EN REGIO

Als voorbeeld voor een monitoringsplan wordt in het navolgende een mogelijke aanpak gegeven van veldonderzoek op De Marke en de bedrijven in het projectgebied van de Vruchtbare Kringlopen. Het is een globaal concept om een idee te geven van het type metingen en onderzoeksinspanningen die gepaard zullen gaan met monitoring.

In tabel 6.1 wordt een mogelijke aanpak gegeven met activiteiten voor veldonderzoek en monitoring op het proefboerderij De Marke. Een indicatie voor de planning daarvan is opgenomen in tabel 6.2.

Tabel 6.3 geeft een mogelijke aanpak voor de aanpak van veldonderzoek en monitoring op koploperbedrijven van het project Vruchtbare Kringloop.

Voor de vertaling naar het stroomgebiedsniveau wordt ervan uitgegaan dat modellen voor de waterhuishouding van het Baakse beekgebied voorhanden zijn. Met deze modellen (AMIGO, MetaSwap, WOFOST) is het effect van bodemverbeterende maatregelen op de droge stofproductie, op de beregeningsbehoefte en op de waterafvoer vanuit de bodem naar waterlopen te voorspellen. In fase 1 van het project Goede grond voor een duurzaam watersysteem zijn globaal de effecten verkend van enkele bodemverbeterende maatregelen. In het voorliggende voorstel voor fase 2 worden de effecten gekwantificeerd met geactualiseerde en betere kennis van de bodemprocessen en een beter begrip van het bereik van de parameters, en met een daarop aangepast modelinstrumentarium.

De mogelijke gevolgen voor de piekafvoeren van het beekstelsel en de normering vergen een benadering waarin de hydraulische processen op adequate wijze zijn beschreven. Het ligt voor de hand om hiervoor het SOBEK-RR model te gebruiken en de bodemmodule van dit model aan te passen door:

- 1 Aanpassing van de CAPSIM module zodat effecten van bodemverbetering op de vochtberingsrelaties tot uitdrukking komen. Een nadeel is dat CAPSIM alleen de vochtbalans van de wortelzone / bouwvoor beschrijft
- 2 De koppeling van Modflow/MetaSwap aan SOBEK. In enkele projecten is met de koppeling Modflow – MetaSwap – SOBEK ervaring opgedaan, maar deze koppeling behoort nog niet tot de productielijn. Met Modflow/MetaSwap is nog weinig ervaring om processen die leiden tot piekafvoeren op adequate wijze te beschrijven (neerslag op kwartierbasis, oppervlakkige afstroming, sneeuwsmelt op bevroren grond).

De activiteiten voor deze aanpak op stroomgebiedsniveau wordt gegeven in tabel 6.4.

TABEL 6.1 MOGELIJKE AANPAK VELDONDERZOEK EN MONITORING VOOR DE MARKE.

No	Activiteit	Opmerking
1	Op proefbedrijf de Marke liggen 10 observationele percelen in blijvend grasland en 35 observationele percelen in de vruchtwisseling gras en mais waarvan langjarig al organische stofgehalten zijn gemeten (Verloop, 2014) en aanvullende bodemmetingen kunnen worden gedaan. Selectie van observationele percelen in: <ul style="list-style-type: none"> • Blijvend grasland • Gras in rotatie met mais • Mais in rotatie met gras 	
2	Voor de geselecteerde percelen wordt een gedetailleerde bodemkartering uitgevoerd en worden perceelskaarten opgevraagd bij De Marke.	
3	Meting indringingsweerstand met een penetrometer, in de directe nabijheid van de boorgaten voor de bodemkartering. Resultaten worden weergegeven in perceelskaarten	Begin en eind van project
4	Boekhouding en registratie van handelingen (grondbewerking, bemesting, zaaien, onkruidbestrijding en gewasbescherming, oogsten, maaien, beweiden, beregenen, regeling van drains, etc.)	Doorlopend Via De Marke
5	Installatie regenmeter en registratie van neerslag	Via De Marke
6	Frequente waarneming van eventuele plassen op het maaiveld in natte perioden met behulp van een aantal outdoor battery powered IP-cameras met infra-rood.	doorlopend, nagaan of deze waarneming al via De Marke plaatsvinden
7	Bodembeschrijving en profielkuilen	
8	Bodembemonstering voor de meting van dichtheid, porositeit, organische stofgehalte, lutumgehalte, kalkgehalte, Pox-gehalte, oxalaat extraheerbaar ijzer en aluminium gehalte	1 maal, nagaan welke gegevens reeds beschikbaar zijn van de geselecteerde percelen
9	Bepaling en beschrijving regenwormaantallen en soorten	
10	Steken van ongestoorde ringmonsters voor de meting van waterretentie- en hydraulische doorlatendheidsrelaties en verzadigde doorlatendheid..	3 diepten, duplo
11	Meting van waterretentie- en hydraulische doorlatendheidsrelaties en verzadigde doorlatendheid	Een besluit over deze metingen volgt nadat verkennend modelonderzoek in fase 1 van Goede grond is afgerond
12	Vaststellen van infiltratiesnelheid met dubbele ringinfiltrometers bij snijmaïs 3 maal aan het begin van de proef: voorafgaand aan groundbewerking, direct na het zaaien en een maand na het zaaien bij grasland 1 maal	5 plekken per perceel
13	Metten van doorlatendheid van bovenste grondwaterzone met de Hooghoudt boorgat methode	Alleen als grondwater ondiep is: 5 plekken / perceel
14	Installatie van grondwaterstandsbuizen ⁴	4 plekken / perceel Nagaan wat al gemeten wordt
15	Registratie van grondwaterstanden met divers (uurbasis). Controle en uitlezen data-loggers	wekelijks
16	Installatie van piëzometeropstellingen indien op grond van de ervaring van de agrariër, de bodemkartering en de profielbeschrijving het vermoeden bestaat van schijngrondwaterspiegels wordt per behandeling een opstelling van piëzometerbuizen ⁵ geïnstalleerd.	Alleen als er vermoeden is van schijngrondwaterstanden

4 Buizen geperforeerd tot aan maaiveld

5 Peilbuizen met een filter van 20 cm worden aangebracht op 30 cm (boven een eventuele ploegzool of verdichte laag), 50, 80, 120 en 200 cm. Deze diepten zijn indicatief en worden definitief vastgesteld aan de hand van het aanwezige bodemprofiel

No	Activiteit	Opmerking
17	Registratie van waterstanden in piëzometers met divers (urbasis). Controle en uitlezen data-loggers	Wekelijks, moet blijken uit voorgaande
18	Vaststellen van bewortelingsdiepte, bij gras per snede en bij mais op 3 tijdstippen in het groeiseizoen	
19	“Proefoogsten” en bepaling van droge stofopbrengst. Bij grasland op tijdstippen voorafgaand aan het maaien/beweiden en bij snijmais voorafgaand aan de oogst.	Mogelijk via De Marke
20	Bodembemonstering en bepaling N-mineraal gehalte	3 diepten; Begin en einde groeiseizoen
21	Bemonstering grondwater en analyse op chloride en nitraat	Maart/april en oktober/ november; nagaan wat en waar al gemeten wordt
22	Controle en verwerken onderzoeksgegevens en resultaten in spreadsheets / database, toegankelijk voor alle projectdeelnemers	doorlopend
23	Statistische analyse van effecten van maatregelen	Eind fase onderzoek
24	Modellering van bodemwaterhuishouding, gewasproductie en bodemnutriëntenhuishouding van effecten van maatregelen	Eind fase onderzoek
25	Rapportage van resultaten	Eind fase onderzoek
26	Inbreng in studie- en discussiebijeenkomsten Vruchtbare kringloop	doorlopend
27	Overleg en projectleiding	doorlopend

TABEL 6.2 VOORBEELD VOOR TIJDSPLANNING VAN VELDONDERZOEK EN MONITORING OP EEN PROEFBEDRIJF

		2014				2015				2016			
		I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
1	Selectie percelen	X											
2	Perceelskartering	X	X										
3	Meting indringingsweerstand	X	X										
4	Boekhouding / registratie	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
5	Installatie regenmeter en registratie van neerslag		X										
6	Camerawaarneming plassen		X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
7	Bodembeschrijving en profielkuilen		X										
8	Analyse bodemmonsters		X										
9	Regenwormen		X				X				X		
10	Steken van ongestoorde ringmonsters		X										
11	Meting bodemfysische parameters			X									
12	Meting infiltratiesnelheid	X	X										
13	Doorlatendheid Hooghoudt boorgat methode		X										
14	Installatie van grondwaterstandsbuizen		X										
15	Grondwaterstand controle, uitlezen data-loggers		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
16	Installatie van piëzometeropstellingen		X				X				X		
17	Registratie van waterstanden in piëzometers		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
18	Vaststellen van bewortelingsdiepte		X	X			X	X			X	X	
19a	“Proefoogsten”, bepaling ds Mais			X				X				X	
19b	“Proefoogsten”, bepaling ds Gras		X	X			X	X			X	X	
20	Bodembemonstering N-min		X		X		X		X		X		X
21	Bemonstering grondwater op Cl en NO3		X		X		X		X		X		X
22	verwerken onderzoeksgegevens / database												
23	statistische analyse verschillen										X	X	
24	Perceelsmodellering										X	X	X
25	Rapportage				X			X					X
26	Inbreng in bijeenkomste Vruchtbare Kringlopen		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
27	Overleg en projectleiding		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

TABEL 6.3 MOGELIJKE AANPAK VAN VELDONDERZOEK EN MONITORING VOOR KOPLOPERBEDRIJVEN VRUCHTBARE KRINGLOOP

No	Activiteit	Opmerkingen
1	Selectie van 2 bedrijven uit de groep van koploperbedrijven van Vruchtbare Kringlopen met percelen waar zich problemen voordoen met de bodemstructuur.	
2	Voor de geselecteerde percelen wordt een gedetailleerde bodemkartering uitgevoerd en worden perceelskaarten gemaakt	
3	Meting indringingsweerstand met een penetrometer, in de direct nabijheid van de boorgaten voor de bodemkartering. Resultaten worden weergegeven in perceelskaarten	
4	Op basis van 2) en 3) worden monitoringsplekken geselecteerd, Bijv. een plek op een kop/wend akker en een plek midden op het perceel en een plek onder een afrastering	
5	Bemonstering en analyse organische stofgehalte en droge bulkdichtheid	Drie diepten per plek, 1 maal
6	Installatie regenmeter en registratie van neerslag	
7	Frequente waarneming van eventuele plassen op het maaiveld in natte perioden met behulp van een aantal outdoor battery powered IP-cameras met infra-rood	doorlopend
8	Vaststellen van infiltratiesnelheid met dubbele ringinfiltrometers bij snijmaïs 3 maal aan het begin van de proef: voorafgaand aan grondbewerking, direct na het zaaien en een maand na het zaaien; bij grasland 1 maal	5 plekken / perceel
9	Metten van doorlatendheid van bovenste grondwaterzone met de Hooghoudt boorgat methode	5 plekken / perceel
10	Installatie van grondwaterstandsbuizen	4 plekken / perceel
11	Registratie van grondwaterstanden met divers (uurbasis). Controle en uitlezen data-loggers	wekelijks
12	Installatie van piëzometeropstellingen.	Alleen als op grond van ervaring, bodemkartering en profielbeschrijving het vermoeden bestaat van schijngrondwaterspiegels
13	Registratie van waterstanden in piëzometers met divers (uurbasis). Controle en uitlezen data-loggers	wekelijks
14	Vaststellen van bewortelingsdiepte bij gras per snede en bij maïs op 3 tijdstippen in het groeiseizoen	
15	“Proefoogsten” en bepaling van droge stofopbrengst. Bij grasland per snede en bij snijmaïs voorafgaand aan de oogst	Per plek
16	Bodembemonstering en bepaling N-mineraal gehalte	3 diepten; Begin en einde groei-seizoen
17	Bemonstering grondwater en analyse op chloride en nitraat	Maart/april en oktober/ november
18	Controle en verwerken onderzoeksgegevens en resultaten in spreadsheets / database, toegankelijk voor alle projectdeelnemers	doorlopend
19	Rapportage van resultaten	Eind fase onderzoek
20	Inbreng in studie- en discussiebijeenkomsten Vruchtbare kringloop	doorlopend
21	Overleg en projectleiding	doorlopend

TABEL 6.4 MOGELIJK AANPAK (ACTIVITEITEN) VOOR OPSCHALING NAAR STROOMGEBIEDSNIVEAU

No	Activiteit
1	Prognose van het organische stofverloop bij enkele maatregelen voor de gangbare combinaties van eenheden van de bodemkaart en de grondgebruikkaart
2	Vertaling van de prognose (actie 1) naar bodemfysische relaties en bewortelingsdiepte, gebruikmakend van het veldonderzoek
3	Aanpassing parameters in MetaSwap voor effecten bodem maatregelen: <ol style="list-style-type: none"> 1. verloop van de bewortelingsdiepte in de tijd; 2. aanpassing van bodemfysische relaties
4	Aanpassing beschrijving weerstand van topsysteem in MODFLOW waarbij de weerstand afhankelijk is van de grondwaterstand en de bodemvochtconditie
5	Selectie van typische perioden en gebeurtenissen in meteo-reeksen die droogte en wateroverlast karakteriseren
6	Uitvoeren modelruns met enkelvoudige maatregelen t.a.v. bodemverbetering en detail ontwatering (bijv. klimaatadaptieve drainage)
7	Samenstellen van scenario's (pakketten van maatregelen) waarin gewaskeuze, vruchtwisseling, bodemverbetering, en detailontwatering gecombineerd worden
8	rapportage
9	Projectleiding en overleg

7

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

7.1 CONCLUSIES

Uit het onderzoek van fase 1 van “Goede grond voor een duurzaam watersysteem” blijkt dat de positieve verwachtingen t.a.v. het effect van bodem verbeterende maatregelen op piekafvoeren en vermindering van droogte-effecten worden bevestigd door resultaten van de modelstudies.

De belangrijkste conclusie is daarom dat het voor de waterbeheerders zinvol is om mee te werken aan bodem verbeterende maatregelen, te meer daar er diverse signalen zijn dat de kwaliteit van landbouwbodems onder druk staat. Een goede bodemkwaliteit (ofwel goede bodem conditie) is gunstig voor zowel de agrarische productie en -bedrijfsvoering als het watersysteem, waardoor bodem verbeterende maatregelen voor zowel waterschap als agrariër perspectief bieden. Een verdere kennis uitwisseling op het gebied van bodem, water en agrarische bedrijfsvoering is daarom wenselijk.

Verdere conclusies zijn:

- Agrariërs hebben tal van mogelijkheden om te sturen op verbetering van de bodemkwaliteit en hebben daar ook goede perspectieven voor. Studies naar bodemverdichting tonen bijvoorbeeld dat het voorkomen en verhelpen voor de agrariër snel baten oplevert (op zandgrond 12% opbrengst voor gras en 15% voor mais). Een studie naar organische stof toont dat verhoging van het organisch stofgehalte op zandgrond met 1% in de bovengrond (0-10 cm) leidt tot een extra opbrengst van 1320 kg droge stof gras per hectare ofwel ($x \in 0,11 / \text{kg ds}$) € 145 per ha per jaar.
- Gevonden is dat het infiltratiegedrag van de bodem en diepte van beworteling in belangrijke mate de berekende effecten op het watersysteem bepalen. Voor oppervlakkige afstroming (en dus ook de piekafvoeren) is ook de maaiveldligging (reliëf en helling) van percelen een bepalende factor.
- Het modelinstrumentarium voor de kwantiteit is redelijk geschikt om de beschouwde maatregelen globaal te kwantificeren. Wel zijn aandachtspunten naar voren gekomen die aanleiding geven om de modelconcepten nog te verbeteren. Voor SWAP is beïnvloeding van de diepte van de beworteling in relatie tot het berekenen van natschade een aandachtspunt, voor MetaSWAP de wijze waarop de infiltratiecapaciteit wordt opgelegd.
- Het modelinstrumentarium voor de kwaliteit (nutriënten) is nog niet geschikt om effecten te kwantificeren. Het instrumentarium omvat wel de belangrijke processen voor het gedrag van de nutriënten in de bodem en gewasopname, maar schiet nog tekort in het beschrijven van de terugkoppelingen tussen processen en de factoren van de bodemkwaliteit die door maatregelen worden beïnvloed. Dit zegt in feite ook iets over de huidige kennis van bodems, namelijk dat de factoren die bodemkwaliteit bepalen (organische stof, bodemchemie, bodemleven, bodemstructuur, waterhuishouding en beworteling) niet los van elkaar kunnen worden gezien maar sterk met elkaar samenhangen.
- De laatste jaren zijn tal van projecten uitgevoerd en gestart waar waterbeheerders met agrariërs samenwerken om bodemverbeterende maatregelen in de praktijk uit te voeren.

Kwantitatieve informatie over de effecten op het watersysteem en over de factoren die door maatregelen worden beïnvloed is relatief schaars. De huidige monitoring is meestal hierop niet ingericht. Om de hydrologische modellen te voeden met informatie over bodemverbetering zijn langjarige systematische veldexperimenten nodig waar bodemverbeterende maatregelen worden uitgevoerd.

- In diverse bijeenkomsten zijn de opzet en deelresultaten van het project gecommuniceerd. In al deze bijeenkomsten werd het belang van het onderzoek en het onderwerp onderkend. Mede hierdoor is de aandacht voor het onderwerp - de relatie tussen bodemkwaliteit en het watersysteem- toegenomen.

7.2 AANBEVELINGEN

7.2.1 AANBEVELINGEN OM KENNISLEEMTEN OP TE VULLEN:

Om effecten op het watersysteem te kunnen kwantificeren, wordt aanbevolen om:

- Gerichte monitoring op te zetten en uit te voeren zoals hiervoor aangegeven in projecten waar samen met agrariërs wordt gewerkt aan bodemverbeterende maatregelen en gemeenten wordt aan de bodemkwaliteit, waterhuishouding en gewasproductie;
- Een database op te zetten waarin metingen en inzichten in effecten van bodemverbeterende maatregelen worden gebundeld;
- Het modelinstrumentarium voor de waterkwantiteit te verbeteren (met name voor de hier gesignaleerde tekortkomingen);
- Voor het traject van waterwijzer aandacht te besteden aan de berekening van natschade van landbouwgewassen, wanneer door maatregelen de diepte van beworteling toeneemt;
- Het bestaande modelinstrumentarium voor de kwaliteit (emissies nutriënten naar water) te verbeteren en verder te ontwikkelen, gericht op het inbouwen en verbeteren van terugkoppelingen tussen de processen die bepalend zijn voor het stofgedrag en de bodemfactoren die door maatregelen worden beïnvloed.
- De gedane berekeningen uit te breiden voor andere gewassen en andere bodems, in samenwerking met waterschappen e.a. actoren.

7.2.2 AANBEVELINGEN VOOR MONITORING IN LOPENDE PROJECTEN:

In fase 1 zijn de talrijke lopende projecten nagelopen en is bekeken in hoeverre ze zich lenen voor aanvullende monitoring, gericht op het kunnen kwantificeren van effecten op het watersysteem. Uit deze inventarisatie is vanuit pragmatische overwegingen een keuze gemaakt voor de volgende drie projecten:

- 1 Vruchtbare Kringloop (Oost-Gelderland). Hier wordt de Kringloopwijzer breed ingevoerd en is een studiegroep gevormd. Op een aantal percelen wordt door het Waterschap Rijn en IJssel aanvullend veldonderzoek uitgevoerd. Het Knowledge Transfer Centrum De Marke ligt centraal in dit gebied. Voor dit project is een monitoringsplan opgesteld waarmee in het najaar 2014 is aangevangen met veldonderzoek.
- 2 Bufferboeren rondom de drinkwaterwinning Loosbroek van Brabant Water en SKB-Showcase "De bodem als basis voor duurzame landbouw en schoon water" in Oost-Brabant. Bufferboeren en SKB-Showcase lopen in 2014 af. Resultaten laten zien dat een voortzetting van monitoring waardevol is, waarbij meer gerichte metingen op hydrologische effecten en metingen van nitraatuitspoeling voor de hand liggen. Een deelvoorstel is ontwikkeld voor watersysteem gerelateerde metingen op de PPO locatie Vredepeel, aansluitend aan het systeemonderzoek waarin het effect van de aanvoer van compost op de bodemkwaliteit en gewasopbrengsten wordt onderzocht

- 3 'Gouden Gronden' (het noordelijk zeeleigebied). In dit gebiedsgerichte project zal een analyse van de effecten van maatregelen op droogte, wateroverlast, waterkwaliteit en gewasopbrengst plaatsvinden en worden gegevens verzameld om rekenmodellen aan te kunnen passen zodat de invloed van bodemkwaliteit tot uitdrukking worden gebracht in de procesbeschrijvingen, de ijking en de toetsing. Metingen en experimenten zijn mogelijk op de proefbedrijven Kollummerwaard in Munnikezijl en Ebelsheerd in Nieuw Beerta. Aanbevolen wordt om met deze projecten aan de slag te gaan in een vervolgtraject op fase 1.

8

LITERATUUR

De Wit, J. 2013. *Bedrijfseconomische effecten van verhoging van het bodemorganische stofgehalte: compostgebruik in de akkerbouw*. Louis Bolk Instituut, Publicatienummer 2013-005.

Faber et al., 2012 *“Droogteresistentie van grasland in de Gelderse Vallei. Kijk eens wat vaker onder de graszode”*

P. Groenendijk, H.M. Mulder, R.F.A. Hendriks en F.J.E. van der Bolt 2014. *Bronnen van diffuse nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater ; Evaluatie Meststoffenwet 2012: deelrapport ex post*. WUR-Alterra, rapport 2328.

Haan, J. de, H. Verstegen, J. Visser en J.R. van der Schoot (2013) *Bodemkwaliteit op zandgrond 2012*. Informatieblad Bodemkwaliteit op zandgrond 2. Samenvatting resultaten 2012. <http://edepot.wur.nl/288706>

Hendriks, R.F.A., J.J.H. van den Akker en P. Groenendijk (in voorbereiding). *Perceelsberekeningen met het model SWAP-WOFOST-ANIMO voor het project Goede Grond*. Alterra-rapport.

Hoving, I.E., H. van Schooten en M. Pleijter. *Snijmaisteelt op veengrond bij dynamisch slootpeilbeheer*. Wageningen UR Livestock Research Rapport 720.

Massop, H.Th.L., J. Clement en C. Schuiling 2014. *Plassen op het land, een landsdekkende kaart van potentiële risicolocaties voor oppervlakkige afspoeling*. WUR-Alterra rapport 2546.

Reubens B., D’Haene K., D’Hose T., Ruyschaert G. 2010. *Bodemkwaliteit en landbouw: een literatuurstudie*. Activiteit 1 van het Interregproject BodemBreed. Instituut voor Landbouw- en Visserijonderzoek (ILVO), Merelbeke-Lemberge, België. 203 p.

Rougoor, C en van der Schans, F. 2013. *Grondgebonden melkveehouderij: beleidsopties en hun gevolgen*. CLM rapport 835-2013.

Schils, R. (2012) *30 vragen en antwoorden over bodemvruchtbaarheid*. Alterra, Wageningen UR. <http://www.rijksoverheid.nl/bestanden/documenten-en-publicaties/brochures/2012/10/15/brochure-bodemvruchtbaarheid/brochure-bodemvruchtbaarheid.pdf>

Swart, B. en M. Broos (2013) *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*. Amersfoort, Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer. STOWA-rapport 2013-13B.

Talsma, M. en S. Kooiman (2012) *Klimaatadaptief waterbeheer: wat biedt de bodem?* Kennismaking, kennisvragen en lopende projecten. Amersfoort, Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer. STOWA-rapport 2012-24.

Van den Akker, J.J.H., F. de Vries, G.D Vermeulen, M.J.D. Hack-ten Broeke en T. Schouten. 2014. *Risico op ondergrondverdichting in het landelijk gebied in kaart*. WUR-Alterra, rapport 2409.

Van der Linden, W., W. Berendrecht, A. Veldhuizen, H. Massop, A. Blonk, A. Heuven & W.J. Zaadnoordijk. 2008. *AMIGO Actueel Model Instrument Gelderland Oost*. Deltares/TNO rapport, 2008-U-R0749/A

Van Dijk, M. en S. van Miltenburg (2013). *De invloed van bodemstructuur op het watersysteem. Een verkenning*. Amersfoort, Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer. STOWA-rapport 2013-13A.

Van der Salm, C., P.Groenendijk, R. F. A. Hendriks,, L. Renaud en H. Massop (2015). *Opties voor benutten van de bodem voor schoon oppervlaktewater*. WUR-Alterra rapport 2588.

Van Eekeren, N., Zaneveld-Reijnders, J., 2011. *Bewust herstel van de natuurlijke buffercapaciteit van de bodem; Inhoudelijk rapportage*. ZLTO/LBI.

Van Ek, R. (ed.), G. Janssen, M. Kuijper, A. Veldhuizen, W. Wamelink, J. Mol, A. Groot, P. Schipper, J. Kroes, I. Supit, E. Simmelink, F. van Geer, P. Janssen, J. van der Sluijs & J. Bessembinder. 2012. *NMDC-Innovatieproject: van Kritische Zone tot Kritische Onzekerheden: case studie Baakse Beek*. NMDC rapport 1205952 in het kader van Innovatieproject Integraal Waterbeheer – kritische zone & onzekerheden.

Van Geel, W.C.A., P.H.M. Dekker, W.J.M. de Groot, J.J.H. van den Akker, H.W.G. Froot (2007). *Structuur herstellend vermogen van groenbemesters*. Verslag van veldproeven in 2005-2006 te Lelystad en Kollumerwaard. Wageningen, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V., PPO-projectrapport nr. 510492.

Wösten, H., F. de Vries, T. Hoogland, H. Massop, A. Veldhuizen, H. Vroon, J. Wesseling, J. Heijkers en A. Bolman. 2012. *BOFEK2012, de nieuwe, bodemfysische schematisatie van Nederland*. WUR- Alterra, rapport 2387.

BIJLAGE 1

MODELINVOER PERCEELNIVEAU

In deze bijlage wordt behandeld hoe voor de verschillende rekenvarianten de modelparameters voor het model SWAP zijn gekozen en vastgesteld. Voor meer detail hierover wordt verwezen naar Hendriks et al. (in voorbereiding).

Voor de modelberekeningen was het nodig dat de verschillende bodemkwaliteitparameters werden vertaald naar (veranderingen van) waarden van modelparameters, de grootheden die in het model de verschillende relevante eigenschappen bepalen en processen sturen. Deze eigenschappen en processen zijn:

- 1 de infiltratie van water aan het maaiveld de bodem in;
- 2 de snelheid waarmee neerslagwater dat binnen een bepaald tijdsbestek niet kan infiltreren kan afstromen over het maaiveld naar greppels en sloten;
- 3 de snelheid waarmee water dat ondiep stagneert op een slechtdoorlatende laag (bijv. ploeg-zool) eventueel lateraal kan afstromen naar greppel of sloot;
- 4 de verticale neerwaartse stroming van water door de bodem naar het diepere grondwater;
- 5 de verticale opwaartse stroming van bodemvocht vanaf het grondwater naar de doorwortelde zone door capillaire opstijging;
- 6 het waterbergend vermogen van de bodem;
- 7 de doorluchting van de bodem in relatie tot het vochtgehalte;
- 8 de doordringbaarheid van de bodem voor plantenwortels.

Het gaat hierbij om de modelparameters (zie ook tabel A1.2):

- 1 de verzadigde doorlatendheid (K_{sat}) van de verschillende bodemlagen. (proces 1, 4 en 5);
- 2 de drempelhoogte voor plasmvorming en de afstroomweerstand; (eigenschap/proces 2);
- 3 de weerstand voor laterale doorstroming van de toplaag van de bodem; eigenschap/proces 3;
- 4 de parameter (λ) die de mate van afname van het capillaire geleidingsvermogen bij afnemende drukhoogte (toenemende zuigspanning) beschrijft; (proces 5);
- 5 het vochtgehalte bij verzadiging (θ_{sat}); (eigenschap 6);
- 6 de parameters die de relatie beschrijven tussen vochtgehalte (waterretentie) en drukhoogte; (eigenschap/processen 6 en 7);
- 7 de maximale bewortelingsdiepte en de snelheid van wortelgroei in de diepte; (eigenschap 8).

In tabel A1.1 zijn de bewortelingsdiepten en de relevante dieptetrajecten waarover modelparameters zijn aangepast opgenomen voor de verschillende rekenvarianten en de twee gewassen.

TABEL A1.1 AANGENOMEN DIEPTEN VAN BEWORTELING EN DIEPTEN VOOR DE AANPASSING VAN MODEL PARAMETERS IN HET SWAP MODEL VOOR DE SIMULATIE VAN EFFECTEN VAN BODEMVERDICHTING EN BODEMVERBETERING

Gewas	Rekenvariant	Diepte beworteling (cm)	Diepte verbeterde, verdichte laag of slempkorst (cm)
Gras	Referentie	25	-
	Verbeterde bodem (matig nat)	35	0-35
	Verbeterde bodem (droog)	40	0-35
	Verdichte bodem	15	15-35
Snijmais	Referentie	60	-
	Verbeterde bodem (matig nat)	80	0-50
	Verbeterde bodem (droog)	100	0-50
	Verdichte bodem	35	35-50
	Slempkorst	60	0-2

In tabel A1.2 zijn de veranderingen van de waarden van de VanGenuchten-parameters gegeven voor de verschillende rekenvarianten. De parameters zijn invoerwaarden van het model SWAP en zij beschrijven in het model de twee basiskarakteristieken vochtretentie- en doorlatendheidskarakteristiek. Omdat de waarden van deze parameters sterk afhankelijk zijn van de bodemtoestand, zijn zij de modelparameters die in modelsimulaties verschillen in bodemtoestand tot uitdrukking brengen.

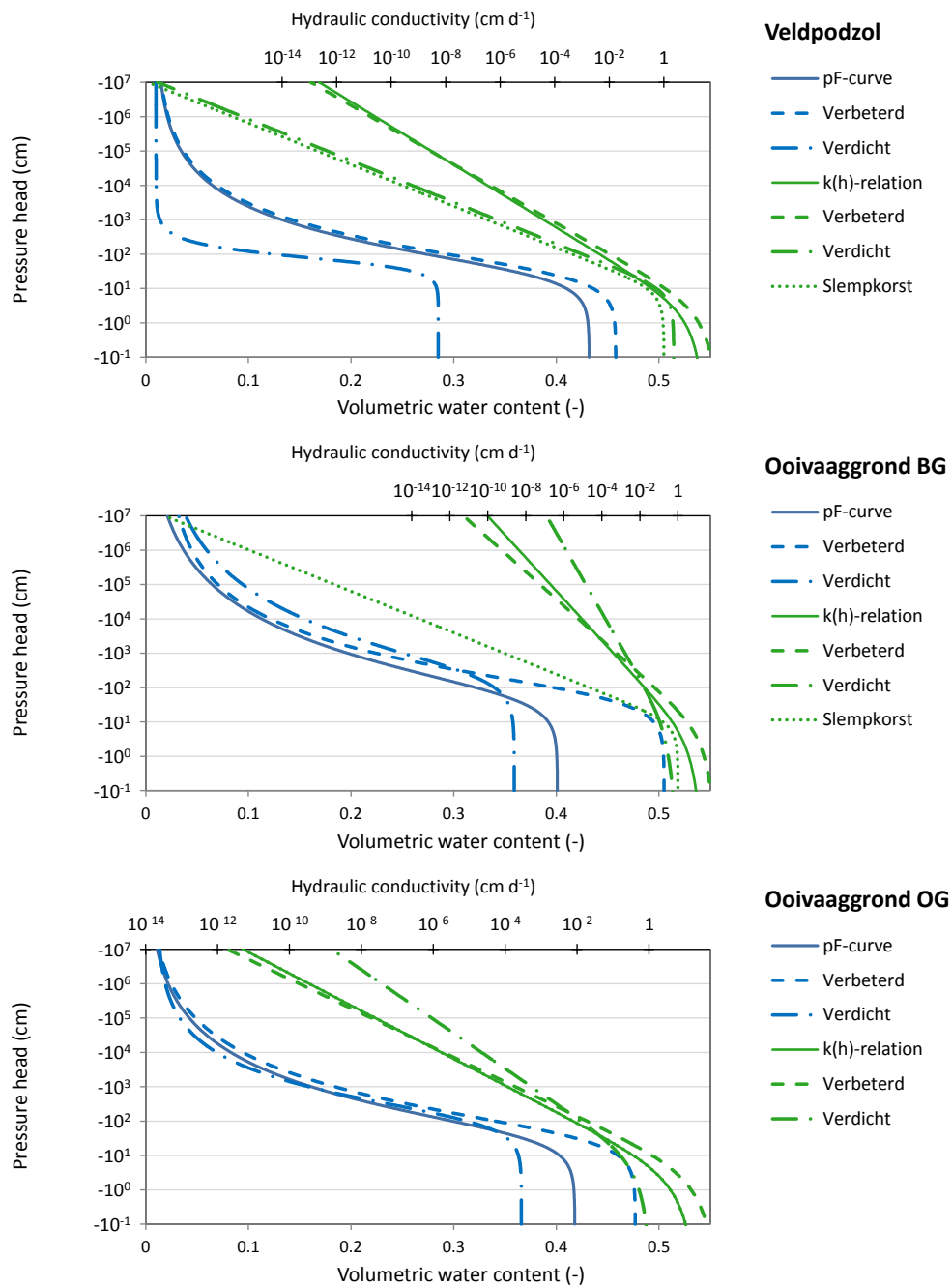
TABEL A1.2 AANPASSING VAN BODEMFYSISCHE PARAMETERS IN HET SWAP MODEL VOOR DE SIMULATIE VAN EFFECTEN VAN BODEMVERDICHTING EN BODEMVERBETERING

	diepte (cm)	θ_r (cm ³ /cm ³)	θ_s (cm ³ /cm ³)	α (-)	n (-)	ksat (cm/d)	λ (-)
Veldpodzol							
Referentie	0-50	0,01	0,432	0,034	1,35	34	-0,999
Verbeterde bodem; gras	0-35	0,01	0,458	0,0323	1,35	109	-0,550
Verbeterde bodem; snijmais	0-50	0,01	0,458	0,0323	1,35	109	-0,550
Verdichte bodem; gras	15-35	0,01	0,285	0,0159	2,556	2,3	-1,000
Verdichte bodem; snijmais	35-50	0,01	0,285	0,0159	2,556	2,3	-1,000
Slempkorst	0-2	0,01	0,285	0,0159	2,556	1	-1,000
Ooivaaggrond 0-25							
Referentie	0-25	0,0	0,401	0,0182	1,2434	22,9	-2,430
Verbeterde bodem; gras, snijmais	0-25	0,02	0,505	0,0165	1,306	100	-1,000
Verdichte bodem; gras	15-25	0,01	0,359	0,0043	1,234	1,0	-5,500
Slempkorst	0-2	0,0	0,285	0,0159	2,556	1,0	0,000
Ooivaaggrond 25-75							
Referentie	25-75	0,0	0,418	0,026	1,291	23,9	-1,650
Verbeterde bodem; gras	25-35	0,0	0,477	0,026	1,291	92	-1,000
Verbeterde bodem; snijmais	25-50	0,0	0,477	0,026	1,291	92	-1,000
Verdichte bodem; gras	25-35	0,01	0,366	0,0081	1,409	1,1	-3,005
Verdichte bodem; snijmais	35-50	0,01	0,366	0,0081	1,409	1,1	-3,005

In de volgende figuren A1.1 zijn de VanGenuchten-parameters uit tabel A1.2 weergegeven in grafiekvorm als de vochtretentie- en doorlatendheidskarakteristieken.

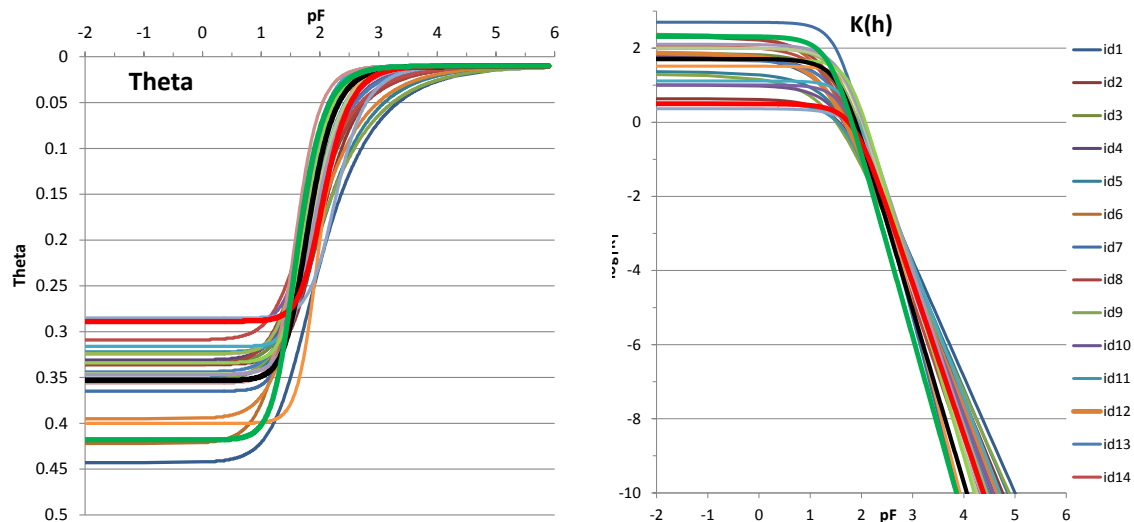
FIGUUR A1.1

AANPASSING VAN PF-CURVEN EN $k(h)$ -RELATIES IN HET SWAP MODEL VOOR DE SIMULATIE VAN EFFECTEN VAN BODEMVERDICHTING EN BODEMVERBETERING



De vochtretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van de verbeterde en verdichte bodemlagen zoals aangegeven in tabel A1.2 zijn verkregen door vanuit alle beschikbare karakteristieken van een Staringreeks Bouwsteen, zoals die zijn gemeten aan bodemonsters die vallen onder deze Bouwsteen, de twee extreme curven aan beide zijden van het gemiddelde te kiezen: een extreem 'slechte' en een extreem 'goede'. Hierbij is naar een monster aan de extreme kant gezocht waarvoor beide karakteristieken voldeden, dus zowel retentie- als doorlatendheidskarakteristiek. Een voorbeeld geeft onderstaand figuur voor Bouwsteen Voor meer details wordt verwezen naar Hendriks et al. (in voorbereiding).

FIGUUR A.1.2 VOORBEELDEN VAN DE BUNDEL VAN VOCHTRETENTIEKARAKTERISTIEKEN (LINKS) EN DOORLATENDHEIDSKARAKTERISTIEKEN (RECHTS) VAN STARINGREEKS BOUWSTEEN 01, MET DAARIN DE GEMIDDELDE CURVEN (DIK ZWART), DE 'SLECHTE' CURVEN VOOR DE VERDICHTE TOESTAND (DIK ROOD) EN DE 'GOEDE' CURVEN VOOR DE VERBETERDE TOESTAND (DIK GROEN). $PF = \log|H|$ MET $H =$ DRUKHOOGTE IN CM. θ = VOLUMIEK VOCHTGEHALTE ($cm^3 cm^{-3}$) EN $K =$ DOORLATENDHEID IN cm/d .

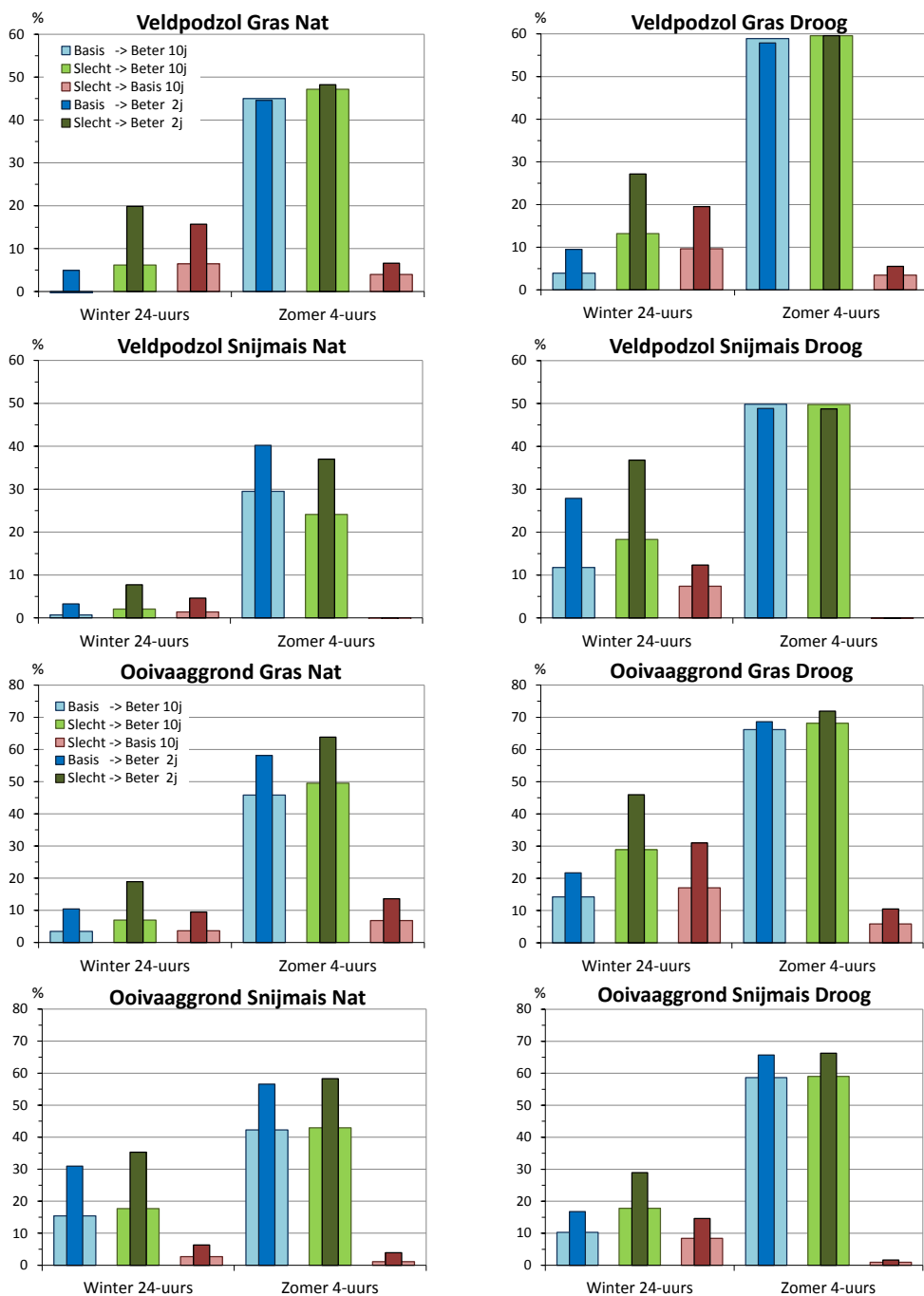


Voor de rekenvariant "Verbetering maaiveld" is de parameter RSRO van $0.5 d^{-1}$ bijgesteld naar $0.1 d^{-1}$. Dit is een forse bijstelling om het effect van deze parameters te illustreren. Voor bijstellen met een factor 5 is een redenering gevolgd dat bij de Manningformule voor de stroming over een veld de coëfficiënt die de afhankelijkheid van de ruwheid van het landoppervlak uitdrukt varieert met een factor 2 als gevolg van het verschil tussen kort gras en lang gras. Behalve het effect van een gewas is er ook een effect van lokale depressies en micro-relief. Borselli & Torri (2014) onderzocht relaties tussen ruwheid, helling en oppervlakkige berging en varieerden in hun analyse de random ruwheid van een oppervlak met een factor 20 en de micro-relief index met een factor 3,5.

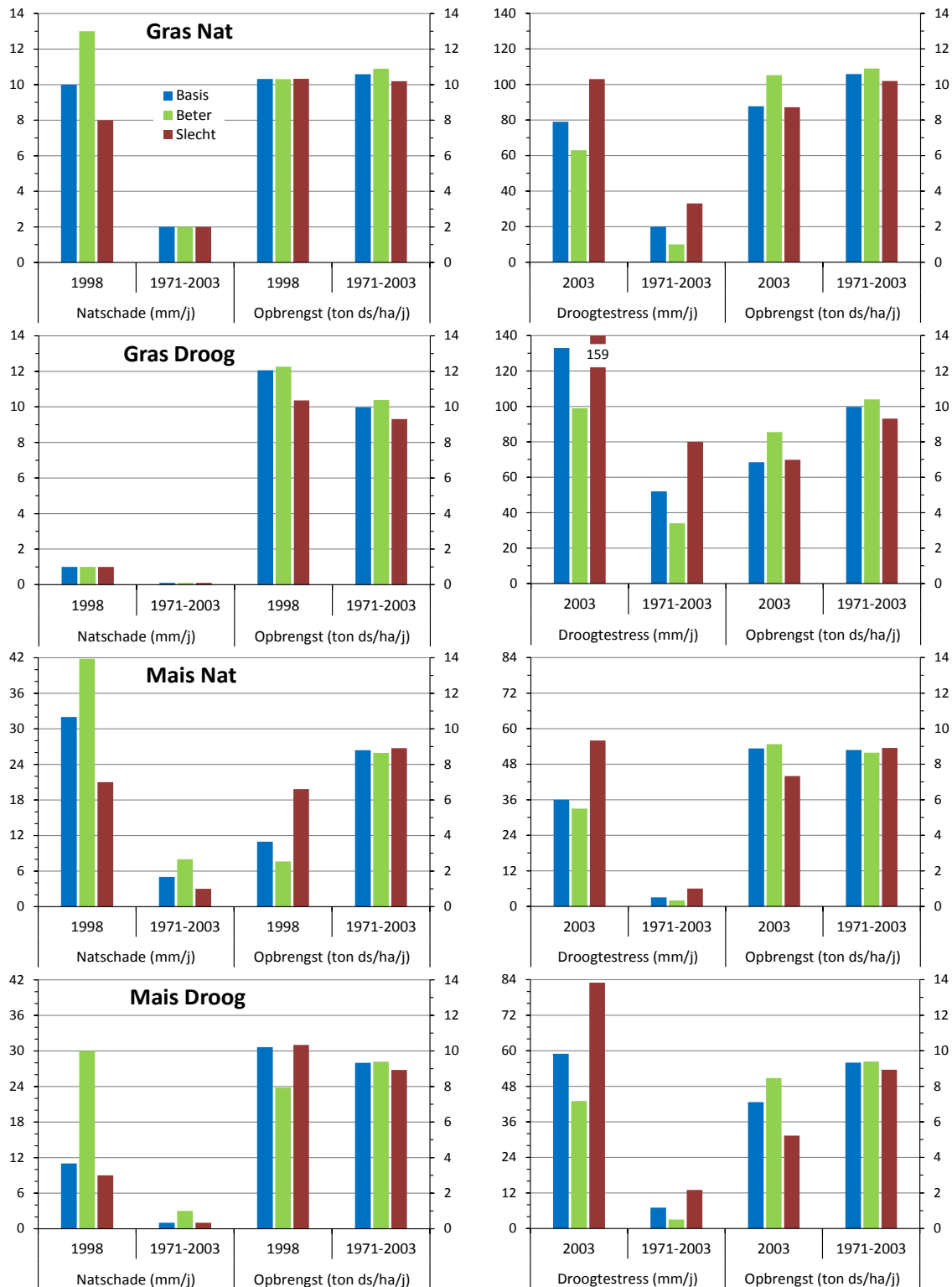
BIJLAGE 2

MODELRESULTATEN PERCEELNIVEAU

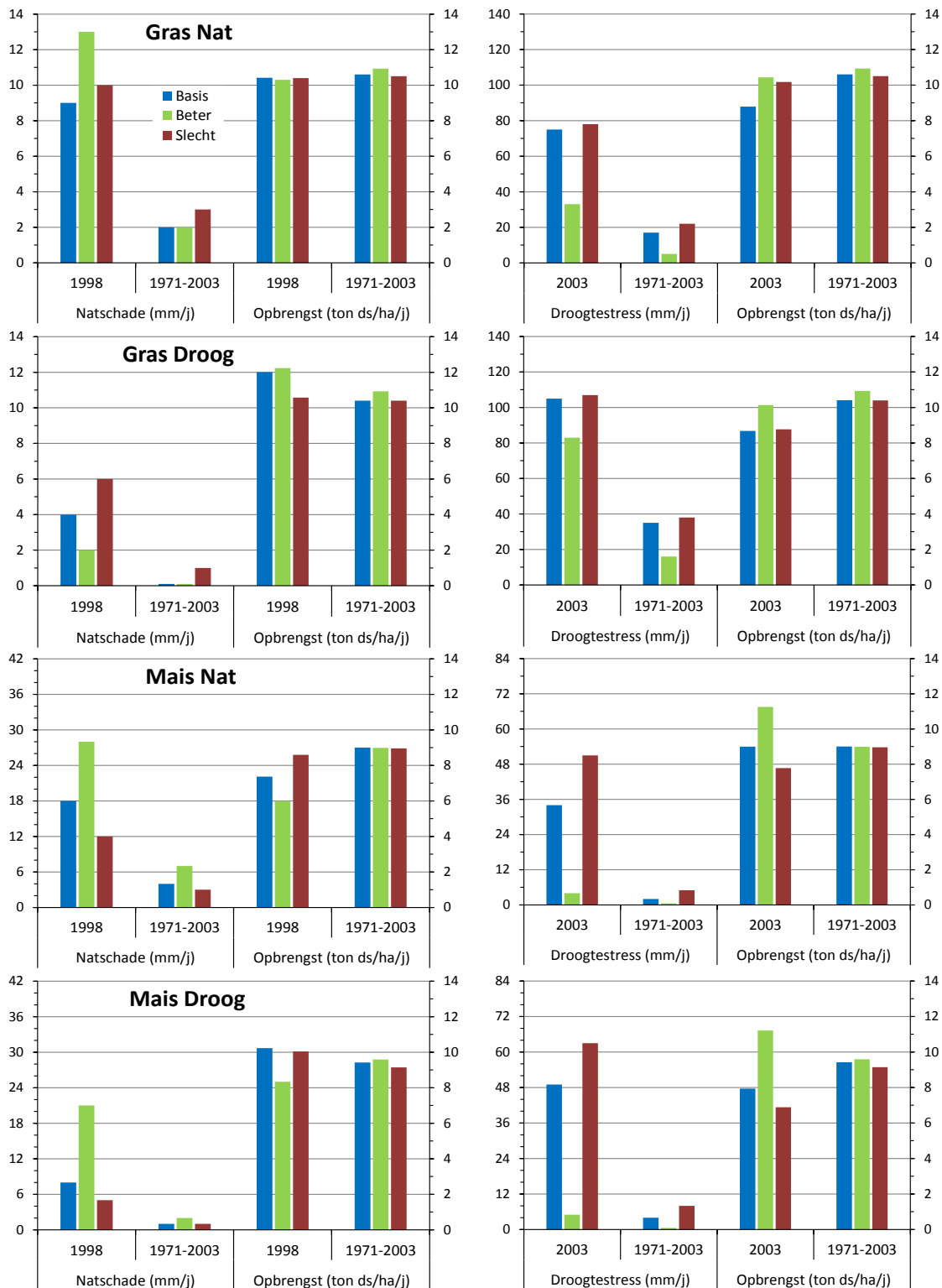
FIGUUR 3.2 BEREKENDE REDUCTIE (%) VAN 24-UURSAFVOERPIEKEN IN WINTER EN 4-UURSAFVOERPIEKEN IN ZOMER DOOR BODEMVERBETERING VAN DE REFERENTIE TOESTAND (BASIS) EN DE VERDICHTE TOESTAND (SLECHT) NAAR DE VERBETERDE TOESTAND, EN ALS VERGELIJKING TUSSEN VERDICHTE EN REFERENTIEBODEM, BIJ HERHALINGSTIJDEN VAN 2 JAAR EN VAN 10 JAAR, VOOR DE VELDPDZOLGROND. BASIS: REFERENTIE; BETER: VERBETERDE BODEM; SLECHT: BODEMVERDICHTING.



FIGUUR 3.3 VOOR DE *VELDPODZOL* BEREKENDE NATSCHADE (LINKS) EN DROOGTESCHADE (RECHTS) ALS VERDAMPINGSTEKORT EN BIJBEHORENDE GEWASOPBRENGST ALS DROGESTOFPRODUCTIE (DS) VOOR EEN UITGESPROKEN NAT JAAR (1998) EEN UITGESPROKEN DROOG JAAR (2003) EN GEMIDDELD OVER DE 33-JARIGE SIMULATIEPERIODE 1971-2003. RESULTATEN ZIJN GEGEVEN VOOR DE REFERENTIEBODEM (BASIS), DE VERBETERDE BODEM (BETER) EN DE VERDICHTTE BODEM (SLECHT).



FIGUUR 3.4 VOOR DE OOIWAAGGROND BEREKENDE NATSCHADE (LINKS) EN DROOGTESCHADE (RECHTS) ALS VERDAMPINGSTEKORT EN BIJBEHORENDE GEWASOPBRENGST ALS DROGESTOFPRODUCTIE (DS) VOOR EEN UITGESPROKEN NAT JAAR (1998) EEN UITGESPROKEN DROOG JAAR (2003) EN GEMIDDELD OVER DE 33-JARIGE SIMULATIEPERIODE 1971-2003. RESULTATEN ZIJN GEGEVEN VOOR DE REFERENTIEBODEM (BASIS), DE VERBETERDE BODEM (BETER) EN DE VERDICHTTE BODEM (SLECHT).



BIJLAGE 3

ADVIES METINGEN EN MONITORING

Algemene checklist voor metingen en waarnemingen t.b.v. vertaling bodemstructuur naar effecten op vochthuishouding

INLEIDING

Om effecten van bodemstructuur verandering op de vochthuishouding van landbouwpercelen en waterhuishouding op een groter schaalniveau te kunnen kwantificeren, zijn waarnemingen en metingen nodig van de doorlatendheid- en vocht karakteristieken van de bovenste meters. Deze checklist is bedoeld om in projecten, waar geëxperimenteerd wordt met bodemstructuurverbetering, waarnemingen en metingen te verrichten die nodig zijn om effecten op de vochthuishouding te kunnen modelleren en kwantificeren. Onderscheid is gemaakt in een minimale set, die zonder (dure) laboratorium analyses uitgevoerd kan worden, en een uitgebreide set die de meest betrouwbare gegevens levert voor kwantificering.

1. MINIMALE SET:

Te bepalen in het veld:

- 1.1 Visueel: Perceelkenmerken (landgebruik (gewas), ligging, afstand waterlopen, hol/bol profiel mv, rijpaden, aanwezigheid buisdrainage, greppels (bij grasland), eventuele probleemzones binnen het perceel (plassen, slechte gewasgroei ed.)
- 1.2 Ondiepe boringen tot onder de GLG, met in de boorbeschrijving korrelgrootte, lutum- en org stofgehalte, GHG, GLG en actuele grondwaterstand. Daarbij zoveel mogelijk ook (dunne) storende lagen vermelden. Bij voorkeur uitvoering met profielkuil om ondiepe dunne storende lagen te kunnen karteren
- 1.3 Visueel na het maken van een profielkuil: structuurbeschrijving, bewortelbaarheid en bewortelingsdiepte, tellen aantal levende wortels per dm², aangeven diepte en dikte eventuele verstoringen en/of verdichte lagen, scheuren, doorgaande poriën, wormactiviteit.
- 1.4 Indringingsweerstand (penetrometer), zoveel mogelijk bij veldcapaciteit en het vochtgehalte meten. Vergelijk ook kopakker met veldmidden.
- 1.5 Infiltratie proef (bij voorkeur dubbelrings), op het niveau van de ploegzool dus eerst de bouwvoor wegschuiven. Zoveel mogelijk bij veldcapaciteit.
- 1.6 Vergelijk zo mogelijk ook kopakker met veldmidden.

2. OPTIMALE SET:

Basis is de minimale set, die wordt uitgebreid met de volgende laboratorium metingen:

Algemene lab-metingen bodemmonsters:

- 2.1 Bulkdichtheid
- 2.2 Textuur (korrelgrootte verdeling)
- 2.3 Organisch stofgehalte
- 2.4 Verzadigde doorlatendheid (standaard methode met bv 100 cc ringen)
- 2.5 Luchtgevulde poriën bij 50 en 100 cm vochtspanning

Specifieke lab-metingen:

- 2.6 Verzadigde doorlatendheid (verbeterde Alterra-methode met ringen hoog 10 cm en diameter 19 cm)
- 2.7 Vochtgehalte en doorlatendheid bij verschillende zuigspanningen (m.b.v. verdampingsmethode)

Aandachtspunt is dat niet alleen de bouwvoor wordt bemeten, maar juist ook net onder de ploegdiepte tot ca. 1 à 1,5 m-mv. Bijvoorbeeld bemonsteren op vier dieptes: 1) bouwvoor, 2) ploegzool, 3) ondergrond (40 cm) en 4) diepere ondergrond (70 cm diepte). Essentieel is bemonstering van de ploegzool, omdat dit typisch de bottleneck is voor infiltratie en beworteling naar de diepte.

NB. als in het veld indicaties zijn voor het optreden van bodemverdichting of ander structuur bederft, wordt aanbevolen om daar minstens de 'minimale set' en liefst ook de algemene lab-metingen uit te voeren en bij voorkeur ook de specifieke lab-proeven voor de vocht- en doorlatendheidskarakteristiek van de onverzadigde zone.

METINGEN VOOR MONITORING MAATREGELEN

Bij de monitoring van de effecten maatregelen in het veld gaat het om parameters die droogte, wateroverlast of af- en uitspoeling karakteriseren. Dit is veelal maatwerk en afhankelijk van de lokale omstandigheden. In het algemeen kan gedacht worden aan:

- Meting van de indringingsweerstand (jaarlijks of met interval van enkele jaren) op een aantal plaatsen in een perceel
- Meting van de grondwaterstand (op uur- of dagbasis bij gebruik van een drukopnemer), wekelijks indien handmatig wordt gemeten
- Meting van de infiltratiesnelheid met ring-infiltrometers, voor de maatregel en enkele jaren naar de maatregel.
- Meting van de zuigspanning in de wortelzone (op uur basis door gebruik van tensiometer)
- Registratie van het gebruik van meststoffen en overige aangevoerde stoffen
- Registratie van de groundbewerking, tijdstip, methode, diepte en de route over een perceel
- Registratie van de gewasopbrengst en de verdeling ervan over het perceel, waarbij aandacht wordt gegeven aan kop- en wendakkers
- Registratie van regenval (regenmeter) en berekening (tijdstip, duur en effectieve pompcapaciteit)
- Inventarisatie van de afstanden tussen sloten, greppels en eventuele drainbuizen (eenmalig voor nadere interpretatie van mogelijke invloed regionale grondwaterstroming)
- Inventarisatie van het (micro-) reliëf van het onderzoeksperceel voor het schatten van het risico van oppervlakkige afstroming
- Registratie van tijdstippen en plaatsen waarop waterplassen op het maaiveld staan
- Tijdstippen waarop greppels en kavelsloten droogvallen en watervoerend zijn
- Tijdstippen waarop drainbuizen waterafvoeren

BEMONSTERING EN VOORBEELDEN PLOEGZOO / BEGIN ONDERGROND

Jan van den Akker, Alterra Wageningen UR, Postbus 47, 6700 AA Wageningen, tel.: 0317-486519; e-mail: janjh.vandenakker@wur.nl

Voor infiltratie van water en beworteling is de overgang van de bovengrond naar ondergrond vaak een bottleneck. Daar is vaak de dichtheid hoog, de structuur slecht en het aantal macroporiën gering. Door een slechte aëratie ontstaat in deze laag vaak zuurstofproblemen, waardoor vooral kleigronden een blauwige vlekken krijgen. Deze bovenste laag wordt vaak de

ploegzool genoemd. De onderkant van de ploeg “glijdt” over deze laag en de banden van de trekker in de open voor rijdt direct op deze laag. Omdat de bouwvoor jaarlijks los wordt gemaakt en omdat het organischestofgehalte van de bouwvoor in het algemeen duidelijk hoger is, is de overgang van de bouwvoor naar de ploegzool vaak duidelijk voelbaar bij het graven of met een penetrometer. Vooral bij zandgrond is het verschil in het organischestofgehalte tussen bouwvoor (zwart) en ondergrond (veel lichter) ook goed zichtbaar. Wel kan door op verschillende diepten te ploegen en/of een woeler aan de ploeg een menglaag ontstaan van 5 – 10 cm dikte. Deze menglaag heeft vaak slechte bodemfysische eigenschappen.

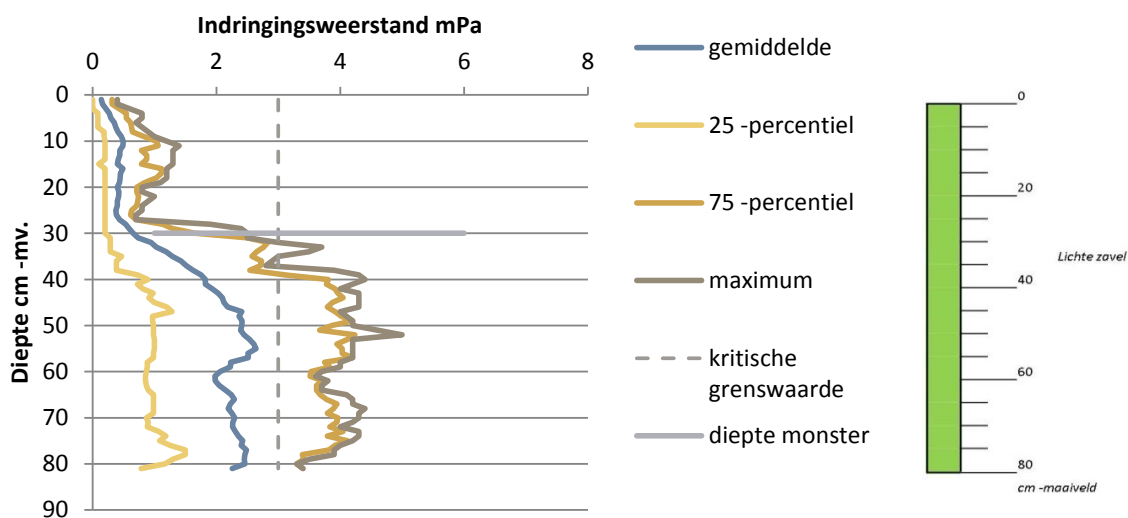
Bij grasland is de overgang van bovengrond naar ondergrond vaak wat onduidelijker. Wel geeft dan het verschil in organischestofgehalte tussen onder- en bovengrond nog houvast. Ook is de bovengrond vaak veel dichter beworteld en geeft de dikte/diepte van de beworteling een aanwijzing voor de diepte waarop de “ploegzool” begint. Bij wisselbouw van gras en maïs wordt de situatie duidelijk anders. Vooral op zandgrond en lichte zavel wordt tot wel 35 cm diepte geploegd. De ploegzool komt dan op ongeveer 30/35 cm te liggen. Bij zand is vaak de overgang duidelijk te zien door het verschil in organischestofgehalte. Bij enkeerdgronden met een dikke eerdlaag is dit echter veel onduidelijker.

Al met al is de ploegzool door voelen van de hardheid van de grond, het kleurverschil en hoe goed de beworteling is en de aanwezigheid van macroporiën en bodemfauna toch redelijk goed te vinden.

Bij twijfel stel ik bemonsteringsdiepten van (bovenkant monsterring) 5, 15, 25, 35 en 45 cm voor. De diepten van 5 en 15 zijn dan in het algemeen van de bovengrond. Die van 45 cm diepte van de ondergrond. De diepten van 25 en 35 van de overgang/ploegzool, waarbij die van 25 toch nog bovengrond kan zijn (bij lichtere gronden).

Indien de ploegzool wel duidelijk te vinden is dan deze nemen en de dichtstbijzijnde diepte uit de vorige reeks weglaten. De diepte uiteraard goed noteren! Indien er een “menglaag” is deze bemonsteren en de ongemengde laag daar direct onder ook. Op de volgende bladzijden staan een reeks bemonsteringen van ploegzolen.

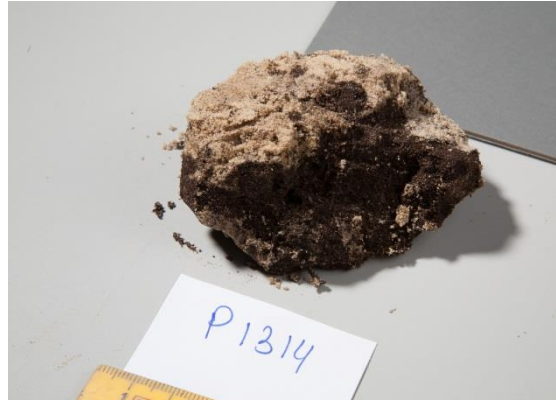
INDRINGINGSWEERSTAND IN RELATIE MET HET BODEMPROFIEL



RINGMONSTER



STRUCTUUR IN RINGMONSTER



BODEMPROFIEL



PROFIELKUIL



BIJLAGE 4

OVERZICHT PROJECTEN DUURZAAM BODEMGEBRUIK

INLEIDING

Deze bijlage geeft het resultaat van een eerste grofmazige screening recente pilots en projecten. De volgende werkzaamheden zijn hiervoor uitgevoerd

- Presentaties 2013 (bodembreed, DAW, Deltaplan Hoge zandgronden)
- Grofmazige screening recente pilots, projecten, datasets, incl. rapportage
- Voorbereiding, keuze, en vooroverleg met trekkers (actoren) pilotprojecten

Het onderzoeksprogramma is gepresenteerd op de 3 genoemde bijeenkomsten. Aan de deelnemers is gevraagd of zij geschikte pilots voor het onderzoeksprogramma aan kunnen dragen en daar actief aan mee willen werken. Ter voorbereiding is een groslijst van relevante recent uitgevoerde en nog lopende pilots en projecten samengesteld waar praktijk onderzoek is gedaan naar de huidige bodemkwaliteit en bodemverbeterende maatregelen. Of deze geschikt zijn is gekeken naar wat er is gemeten, welke informatie is verzameld, welke maatregelen zijn uitgevoerd en welke geohydrologische en/of agrohydrologische modellen op het geschikte detailniveau operationeel zijn. Ook is bekeken wat de argumenten zijn van de genomen maatregelen en monitoring en wat de veronderstelde of reeds bekende effecten zijn.

Voor de inventarisatie van projecten is de volgende werkwijze gehanteerd:

- In het STOWA-rapport “Klimaat adaptief waterbeheer: wat biedt de bodem?” (Stowarapport 2012/24) is een overzicht opgenomen van uitgevoerde en lopende projecten. In totaal zijn daarin 32 projecten benoemd. Dit waren projecten die zeer verschillend van aard en opzet waren. Deels bestaand uit beleidsvoorbereidende onderzoeken, deels uit product onderzoeken, netwerken en voor een deel ook gebiedsgerichte praktijkonderzoeken. Alleen deze laatste zijn in de huidige inventarisatie meegenomen.
- Tijdens de verschillende bijeenkomsten in het kader van Bodembreed, het DAW en het Deltaplan Hoge Zandgronden zijn presentaties gegeven over het STOWA-onderzoek “Goede grond ...”, daarbij is de oproep gedaan om projecten aan te dragen waar we in het vervolg van het project gebruik van zouden kunnen maken. Deze oproepen hebben tot enkele aanvullende projecten geleid.
- De leden van het consortium hebben daarnaast vanuit hun eigen werkcontacten de projectenlijst verder aangevuld.

Uiteindelijk is een groslijst samengesteld van 40 potentiële gebiedsprojecten. Uit deze lijst zijn 3 projecten gekozen om bij voorkeur op te pakken in het onderzoeksprogramma.

De lijst van projecten is opgenomen in de tabel op de volgende bladzijdes.

No	Titel project	Beoordeling geschiktheid voor verzamelen gegevens
1	Landbouw op peil	Lijkt op zich niet zo geschikt: het project loopt in 2014 af, er zijn relatief ad random maatregel uitgevoerd, project was gericht op praktische haalbaarheid, meer dan op verdiepen van inzicht in bodemprocessen
2	Kijk eens wat vaker onder de graszode	Niet geschikt omdat het project inmiddels is afgesloten. Het project heeft wel waardevolle informatie opgeleverd ten aanzien van de relatie bodem - vochtvoorziening, die info is goed bruikbaar in ons project)
3	Beter Waterbeheer en waterkwaliteitsmanagement begint op de akker	Niet geschikt. Het project is al in 2008 afgesloten. De gegevens kunnen wel in ons project worden gebruikt.
4	Bufferboeren	Hier liggen kansen: het project loopt nog 1 jaar; er zijn onder andere proeven in 5 herhalingen met maatregel compost; er wordt veel aan bodemstructuur gemeten; de relatie met water is nog onderbelicht.
5	Invloed bodemstructuur op watersysteem	Geen kansen. Project was een theoretische exercitie; is inmiddels afgesloten. Project geeft wel goed de relatie aan tussen bodem en waterbeheer, die info is goed bruikbaar in ons project.
6	Bodem en water, aanbevelingen voor vervolgstappen	Geen kansen.
7	Niet kerende grondbewerking (project BASIS)	Hier liggen kansen: het project loopt nog meerdere jaren door. Er is een onderzoeksprogramma dat zich evenwel vooral richt op de praktijk en de landbouwkundige/bodemkundige effecten. De relatie met water is nog onderbelicht.
8	De Vruchtbare kringloop	Onduidelijk of dit project een rol kan spelen. Het moet nog worden opgestart. Het gaat lopen tot 2015. Gaat vooral over bewustwording en minder over bodem projecten. Periode wel erg kort.
9	optimale gewasproductie, goede bodemkwaliteit én schoon water	Geen kansen. Het is een praktijk netwerk waarin kennis verbreed wordt er wordt geen veldonderzoek gedaan.
10	SKB Showcase: De bodem als basis voor duurzame landbouw en schoon water	??
11	De relatie tussen kringlooplandbouw, bodemkwaliteit en ecosysteemdiensten: de Noardelike Fryske Wâlden als inspirerend voorbeeld	Geen kansen. Het project is al afgesloten. De verzamelde gegevens kunnen worden gebruikt bij ons project.
12	Risico op ondergrondverdichting in het landelijk gebied	Geen kansen: het project is afgerond, er zijn geen veldproeven gedaan. Er is gebruik gemaakt van bestaande gegevens (o.a. uit Duitsland) Aanbevolen wordt om praktijkproeven te doen.
13	Sturen van de N-mineralisatie met kennis over organische stof	Geen kansen. Het project is afgerond. De gegevens uit het onderzoek kunnen wel worden gebruikt bij onze modellering.

No	Titel project	Beoordeling geschiktheid voor verzamelen gegevens
14	Beter Boeren met Biodiversiteit	Mogelijk wel kansen. Het project verkeert in een afrondende fase maar er is een goede basis voor een eventuele doorstart waarbij met name de relatie met water nader kan worden onderzocht. De verzamelde gegevens kunnen wel in onze modellering worden gebruikt.
15	PNW Sturen met organische stof in de veenkoloniën	Mogelijk wel kansen. Het project loopt nog even door maar er vindt geen echt onderzoek plaats. Een extra monitoringsprogramma zou er wel aan kunnen worden gehangen
16	Watersense	Geen kansen. Het project is afgerond.
17	Integraal gebiedsgericht grondwaterbeheer gemeente Coevorden	Geen kansen. Het project is afgerond. Er is geen onderzoek verricht
18	Bewust herstel buffercapaciteit bodem	Geen kansen. Het project is afgerond. Het was de voorloper van Bufferboeren
19	Klimaat Bestendig Akkerland	Geen kansen. Het project is afgerond. Was vooral gericht op erosiebestrijding.
20	Peilgestuurde drainage/ Klimaat adaptieve drainage	Mogelijk wel kansen. Hoewel het project is afgerond zou het interessant kunnen zijn op de pilotpercelen aanvullend onderzoek te doen naar de bodemparameters eventueel in combinatie met beheermaatregelen. Het voordeel is dat hier in ieder geval goed aan de whh kan worden gemeten.
21	Duurzaam bodemgebruik en waterbeheer door agrariers	???
22	Aquarius	Geen kansen. Het project is afgerond. Was vooral gericht op sensortechnologie
23	Bouwen aan een vitale bodem	Waarschijnlijk geen kansen. Het is vooral een praktijknetwerk (loopt sinds 2011), en loopt waarschijnlijk in 2014 af. In 4 regio's worden bodemverbeteringsmaatregelen genomen maar er vindt geen monitoring plaats.
24	Bodem kwaliteit op zandgrond	Hier liggen kansen: het project loopt nog meerdere jaren door. Er is een onderzoeksprogramma dat zich evenwel vooral richt op de praktijk en de landbouwkundige/bodemkundige effecten. De relatie met water is nog onderbelicht.
25	Boeren op goede gronden	Hier liggen kansen: het project loopt nog meerdere jaren door. Er is een onderzoeksprogramma dat zich evenwel vooral richt op de praktijk en de landbouwkundige/bodemkundige en waterhh effecten. Het is geen wetenschappelijk project+ monitoringsprogramma zou uitgebreid moeten worden.
26	Bodemverbeteraars	Hier liggen kansen: het project loopt nog meerdere jaren door. Er is een onderzoeksprogramma dat zich evenwel vooral richt op de praktijk en de landbouwkundige/bodemkundige. Waterhh effecten zijn nog onderbelicht.
27	Biochar	Hier liggen kansen: het project loopt nog meerdere jaren door. Er is een onderzoeksprogramma dat zich evenwel vooral richt op de praktijk en de landbouwkundige/bodemkundige. Waterhh effecten zijn nog onderbelicht.

No	Titel project	Beoordeling geschiktheid voor verzamelen gegevens
28	Bodemstructuur in relatie tot watervraagstukken	Geen kansen. Project afgesloten. Was geen veld studie.
29	Onderzoek bodemstructuur op whh beleid	Geen kansen. Project afgesloten. Was geen veld studie.
30	Salland Waterproof	Geen kansen. Project afgesloten. Geen bodemparameters verzameld
31	Onderwater Drainage	Geen kansen. Project afgesloten. Geen bodemparameters verzameld
32	Gebiedsproject Noordoostpolder	Geen kansen. Geen bodemparameters verzameld
33	Duurzaam Bodembeheer Gelderse Vallei	is praat project, kringlopensluiten in melkveehouderij gaat vooral over stikstofkringlopen op melkveehouderij bedrijf, geen metingen in bodem.
34	Goud van oud	Zeer goede kansen. Project richt zich op (oud) grasland, bemesting, ook bodemparameters gelinked aan water worden meegenomen.
35	Duurzaam bodemgebruik veenweide	Hier liggen kansen. Er worden veel metingen verricht. Het project loopt nog even door. De koppeling naar maatregelen is minder sterk maar de relatie bodem - water wordt uitgebreid onderzocht.
36	Groenbemesters Flevoland	Hier liggen kansen. Er worden veel metingen verricht. Het project loopt nog even door. Aanvullende monitoring kan goed worden ingepast.
37	Dwarsdiep	Hier liggen kansen. Er worden veel aanhet watersysteem gemeten. Het project loopt nog even door. Aanvullende monitoring kan goed worden ingepast.
38	Mest als Kans	Hier liggen kansen. Het is een langjarige blokkenproef, waaraan regelmatig gemonitord wordt. Er is mogelijkheid om monitoring uit te breiden met watergerelateerde dingen.
39	Gouden Gronden	Hier liggen zeer goede kansen. Het project moet nog worden opgestart. Door de grote schaal zou dit gebied vooral ook als ijking voor het op te stellen model kunnen dienen.
40	Gezond zand	Hier liggen kansen. Het project wordt nu voorbereid. Er kan worden aangehaakt.