



KWR 2018.029 | Maart 2018

Subirrigatie met grondwater

Monitoring veldproef America

Waterschap Limburg



Subirrigatie met grondwater

Monitoring veldproef America, Waterschap Limburg

KWR 2018.029 | Maart 2018

Opdrachtnummer

401185

Projectmanager

dr.ir. Arnaut van Loon

Opdrachtgever

Waterschap Limburg, i.s.m.:

- Provincie Limburg
- NMF Limburg
- Iltb
- Programma Lumbricus
Het kennisprogramma Lumbricus (www.programmalumbricus.nl) is een consortium bestaande uit STOWA, Deltares, KnowH2O, KWR Watercycle Research Institute, FutureWater, Radboud Universiteit, Louis Bolk Instituut, Universiteit Twente, Wageningen Universiteit en Wageningen Environmental Research, waterschap Limburg, waterschap Aa en Maas, en waterschap Vechtstromen.

Kwaliteitsborger

prof.dr.ir. Jan-Philip Witte

Auteurs

dr.ir. Ruud Bartholomeus, dr.ir. Gé van den Eertwegh (KnowH2O), dr.ir. Marjolein van Huijgevoort

Verzonden aan

Dit rapport is verzonden aan de opdrachtgever en is openbaar.



Jaar van publicatie
2018

Meer informatie

dr.ir. Ruud P. Bartholomeus
T 030-6069530
E ruud.bartholomeus@kwrwater.nl

Postbus 1072
3430 BB Nieuwegein
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511
F +31 (0)30 60 61 165
E info@kwrwater.nl
I www.kwrwater.nl



KWR 2018.029 | Maart 2018 © KWR

Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Samenvatting

Gewasopbrengsten in de landbouw zijn in belangrijke mate afhankelijk van de hoeveelheid vocht in de wortelzone. 's Zomers is er door een neerslagtekort vaak een gebrek aan bodemvocht waardoor opbrengsten terug kunnen lopen, als er niet beregend wordt. Zonder adaptieve maatregelen om schaderisico's door droogte te beperken zullen watertekorten als gevolg van het veranderende klimaat verder toenemen.

Waterschap Limburg wil inzicht in de haalbaarheid en effectiviteit van toepassing van subirrigatie als adaptieve maatregel, waarbij het lokale ondiepe grondwater op bijv. 10 m-mv een bron van water kan zijn voor agrariërs. Subirrigatie kan dan een alternatief zijn voor beregening. Hiertoe is nabij de Mariapeel ('Hoeve de Hei' melkveebedrijf Nabben te America) een veldproef ingericht waarbij ondiep grondwater wordt onttrokken en vervolgens via subirrigatie met behulp van bestaande samengestelde, regelbare drainage wordt toegediend. Het doel van de veldproef en verkennende hydrologische modellering is inzicht krijgen in het effect van subirrigatie op waterverbruik, bodemvocht en grondwaterstanden, met het lokale ondiepe grondwater als bron van zoetwater.

Dit rapport beschrijft de bevindingen van een éénjarige veldproef met subirrigatie, geldig voor de specifieke omstandigheden waarin de proef is uitgevoerd. Door subirrigatie is de grondwaterstand in het proefperceel aan het begin van het groeiseizoen van 2017 met 0,5 tot 0,7 m verhoogd en in het groeiseizoen langdurig op dit niveau gehouden. Vergeleken met een situatie zonder subirrigatie is de vochttoestand in de wortelzone tijdens de veldproef op peil gebleven en kon het gewas in 2017 optimaal verdampen. Er is ruim 40.000 m³ water aan het proefveld toegediend voor subirrigatie, waarvan naar schatting bijna 2.300 m³ (60 mm) ten goede is gekomen aan de transpiratie van het gewas. De rest van het water is grotendeels teruggevloeid naar het grondwater en voor een kleiner deel tot afvoer gekomen in de kavelsloot. De gebruikte hydrologische modellen bieden een goede basis om scenario's door te rekenen en geven reeds een plausibele waterbalans te zien. Met deze modellen kunnen verschillen met beregening bepaald worden en effecten van slootpeilen meegenomen worden. Deze berekeningen kunnen in een vervolgstudie meerwaarde hebben voor zowel de interpretatie van veldmetingen, als de optimalisatie van het subirrigatieregime. Dit mede ter ondersteuning van een extrapolatie van subirrigatie naar andere percelen en regio's in het beheergebied van Waterschap Limburg.

Inhoud

1	Inleiding	7
1.1	Aanleiding	7
1.2	Doelstelling	7
1.3	Onderzoeksvragen	8
2	Veldproef	9
2.1	Proefperceel en opzet subirrigatie	9
2.2	Metingen	11
3	Verkennde modellering	15
3.1	SWAP model	15
3.2	Hydrus_2D model	15
4	Resultaten	17
4.1	Veldproef	17
4.2	Modellering	22
5	Conclusies en aanbevelingen	27
6	Referenties	29

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Het klimaat verandert. We krijgen niet alleen te maken met extremere zomerse buien, vanaf de jaren 1950 is het in de zomer per saldo ook beduidend droger geworden en die trend zet zich de komende jaren voort. Landbouwgewassen hebben te leiden onder droogte en ook natuurgebieden kampen met verdroging.

Landbouwopbrengsten zijn in belangrijke mate afhankelijk van de hoeveelheid vocht in de wortelzone. 's Zomers is er vaak een gebrek aan bodemvocht waardoor landbouwopbrengsten teruglopen. Gemiddeld gaat het om een jaarlijkse schadepost van €50 miljoen voor het zuidelijk zandgebied in Nederland. Als het waterbeheer niet verandert, zullen watertekorten nog verder toenemen. De droogteschade kan daarmee oplopen tot €140 miljoen per jaar (Klijn et al., 2011). Adaptieve maatregelen om schaderisico's door droogte te beperken zijn dus van groot economisch belang.

Waterschap Limburg heeft via modelberekeningen op lokale en regionale schaal onderzocht of het haalbaar en effectief is om subirrigatie op significante schaal te gaan toepassen via bestaande regelbare drainagesystemen. Hierbij zou het lokale ondiepe grondwater op bijv. 10 m-mv een bron van water kunnen zijn voor agrariërs, op te pompen vanuit een eigen put. De door het waterschap in 2016 uitgevoerde modelberekeningen op lokale en regionale schaal laten geen duidelijk beeld zien van de geschiktheid en haalbaarheid van subirrigatie op een schaal van voldoende omvang. Om hier meer inzicht in te krijgen, is een analyse uitgevoerd van beschikbare informatie uit karteringen en modelberekeningen bij het toenmalige Waterschap Peel en Maasvallei (WPM), thans Waterschap Limburg (WL), aangevuld met expertkennis (Van den Eertwegh et al., 2016).

Voor beter inzicht in de geschiktheid en haalbaarheid van subirrigatie op grotere schaal zijn data uit de praktijk belangrijk. Het toenmalige Waterschap Peel en Maasvallei (WPM) heeft daarom in 2016 het initiatief genomen een proef met subirrigatie te starten. In deze proef wordt grondwater onttrokken op 8 à 10 m-mv en vervolgens via subirrigatie met behulp van samengestelde, regelbare drainage toegediend. Begin februari 2017 is nabij de Mariapeel ('Hoeve de Hei' melkveebedrijf Nabben te America) een proefperceel ingericht, waar metingen zijn uitgevoerd door KWR en KnowH₂O. Deze locatie is aangedragen door de Stichting Agrarische Belangengroep Mariapeel.

Eén van de vragen die spelen bij deze veldproef is in welke mate het toegediende water zich lateraal tussen de drains en verticaal opwaarts naar de wortelzone verspreidt. Indien er een positief effect is van subirrigatie op de waterhuishouding van de wortelzone, zal de gewasgroei en -opbrengst hoger worden door een toename van de transpiratie.

Om de resultaten van de veldproef verder te onderbouwen en op termijn scenario's door te rekenen, zijn verkennende modelberekeningen uitgevoerd met SWAP en Hydrus_2D.

1.2 Doelstelling

Het doel van de veldproef en verkennende modellering is inzicht krijgen in het effect van subirrigatie, met het lokale ondiepe grondwater als bron, op waterverbruik, bodemvocht en grondwaterstanden.

1.3 Onderzoeksvragen

Met de veldproef proberen we de volgende vragen te beantwoorden:

- Werkt het voor de proef aangepaste drainagesysteem technisch naar behoren?
- Zijn we in staat om met grondwater via het drainagesysteem de grondwaterstand ter plekke significant omhoog te krijgen en te houden in het groeiseizoen?
- Kan het gewas (gras) via capillaire opstijging van een verhoogde grondwaterstand profiteren door een betere vochtvoorziening van de wortelzone en kunnen we daarmee een hogere gewasverdamping realiseren? In de analyse in Hoofdstuk 3 gaan we daarom in op de gewasverdamping met en zonder subirrigatie.
- Hebben we tijdens de proef last van de lokale onttrekking van grondwater, d.w.z. zijn er minder positieve effecten van subirrigatie?
- Hoeveel water kunnen we via subirrigatie toevoegen aan het bodemsysteem?
- Welk deel van het toegevoegde water komt ten goede aan de verdamping (transpiratie) van het gewas en welk deel zal naar het grondwater of oppervlaktewater stromen?

2 Veldproef

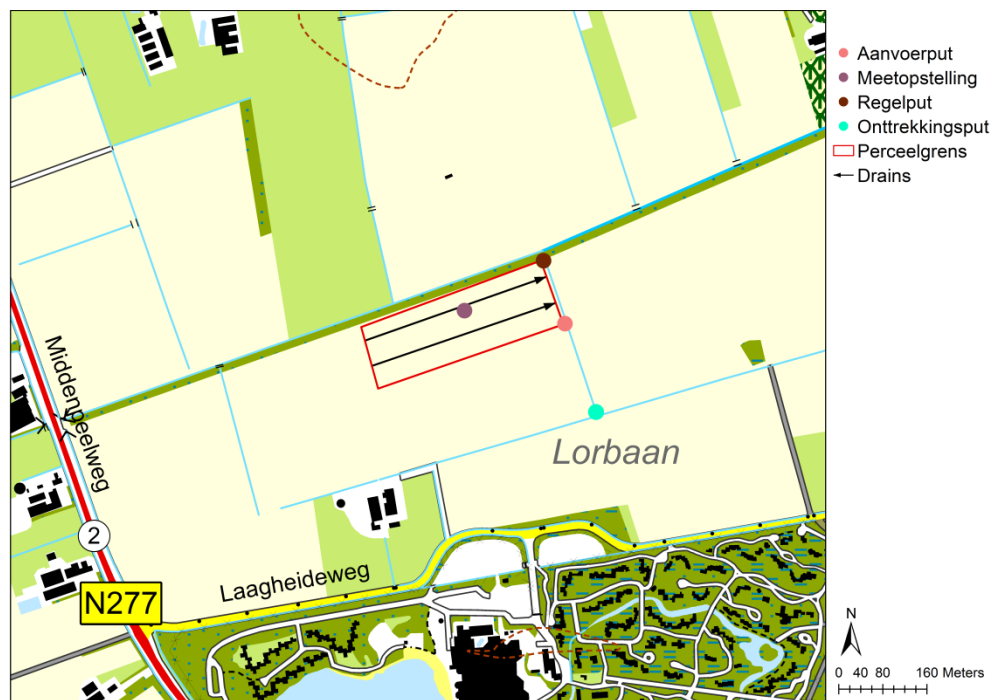
2.1 Proefperceel en opzet subirrigatie

Het proefperceel is gelegen op 'Hoeve de Hei' aan de Laagheideweg 20 te America op het Melkveebedrijf Nabben. De oppervlakte is 3,77 ha (Figuur 1). Het perceel is deels samengesteld peilgestuurd gedraineerd. De keuze is op dit perceel gevallen vanwege:

- ligging buiten de bufferzone van de Mariapeel;
- veel voorkomende bodemgesteldheid: zwak lemig zand met leemlaagjes op 2 à 3 m-mv;
- veel voorkomend gewas: grasland (maaibeheer, geen beweiding);
- perceel geschikt volgens 'Kansenkaart Subirrigatie' (Van den Eertwegh et al., 2016) en na modelverkenning door WPM in 2016;
- betrokken agrariër is enthousiast en bereid medewerking te verlenen.

De veldproef is uitgevoerd binnen:

- de algemene regels van het waterschap t.a.v. de onttrekking voor beregening en bevloeiing voor landbouwkundige doeleinden;
- de regels van het stand-still beleid van de provincie;
- de regels vanuit de Boswet t.a.v. natuurbescherming: de locatie van de veldproef mag niet leiden tot een afname van bosareaal of lengte van laanbomen (nu nog Boswet).
- de regels vanuit de Wet Natuurbescherming. Er dient zorgvuldig te worden omgegaan met aanwezige (beschermde) soorten.



FIGUUR 1: LOCATIE PROEFPERCEEL (ROOD OMRAND) EN LOCATIES METINGEN.

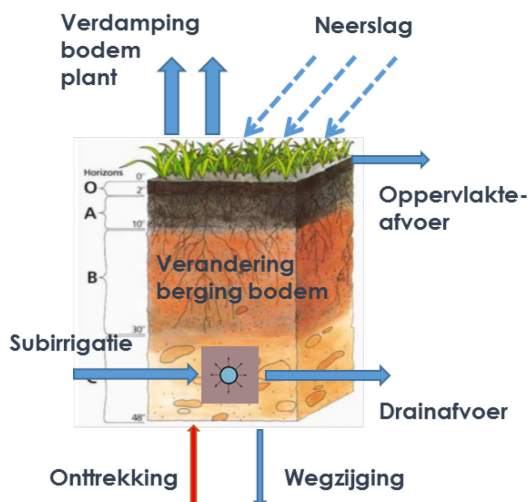
Binnen het proefperceel is een nieuw systeem aangelegd voor subirrigatie (Figuur 2). De doelstelling is om vanaf eind winter richting het voorjaar het grondwaterpeil zo lang als mogelijk op peil te houden gedurende het voorjaar en zomer van 2017, ten behoeve van de vochtvoorraad van de bodem en de verdamping van het gras. De aanvoer van water via subirrigatie vond plaats vanaf 23 maart tot en met 28 september 2017.

Het subirrigatie systeem bestaat uit een nieuwe grondwaterput, pomp, wateraanvoerput en leidingnetwerk, en is aangesloten op het bestaande drainagesysteem, bestaande uit een samengesteld peilgestuurd drainagesysteem met een regelput (Figuur 1). Er is een vlottersysteem aangelegd dat de aansturing van de pomp verzorgt als functie van de waterstand in de regelput. Indien de waterstand in deze put boven het ingestelde peil bij subirrigatie komt, dan stopt de pomp. Indien de waterstand in deze put ± 15 cm onder het ingestelde peil komt, dan slaat de pomp aan. In de praktijk stond de pomp $>90\%$ van de tijd aan. Het ingestelde peil is 0,5 m-m.v. (30,44 m+NAP) ter hoogte van meetopstelling in het perceel (Figuur 1).

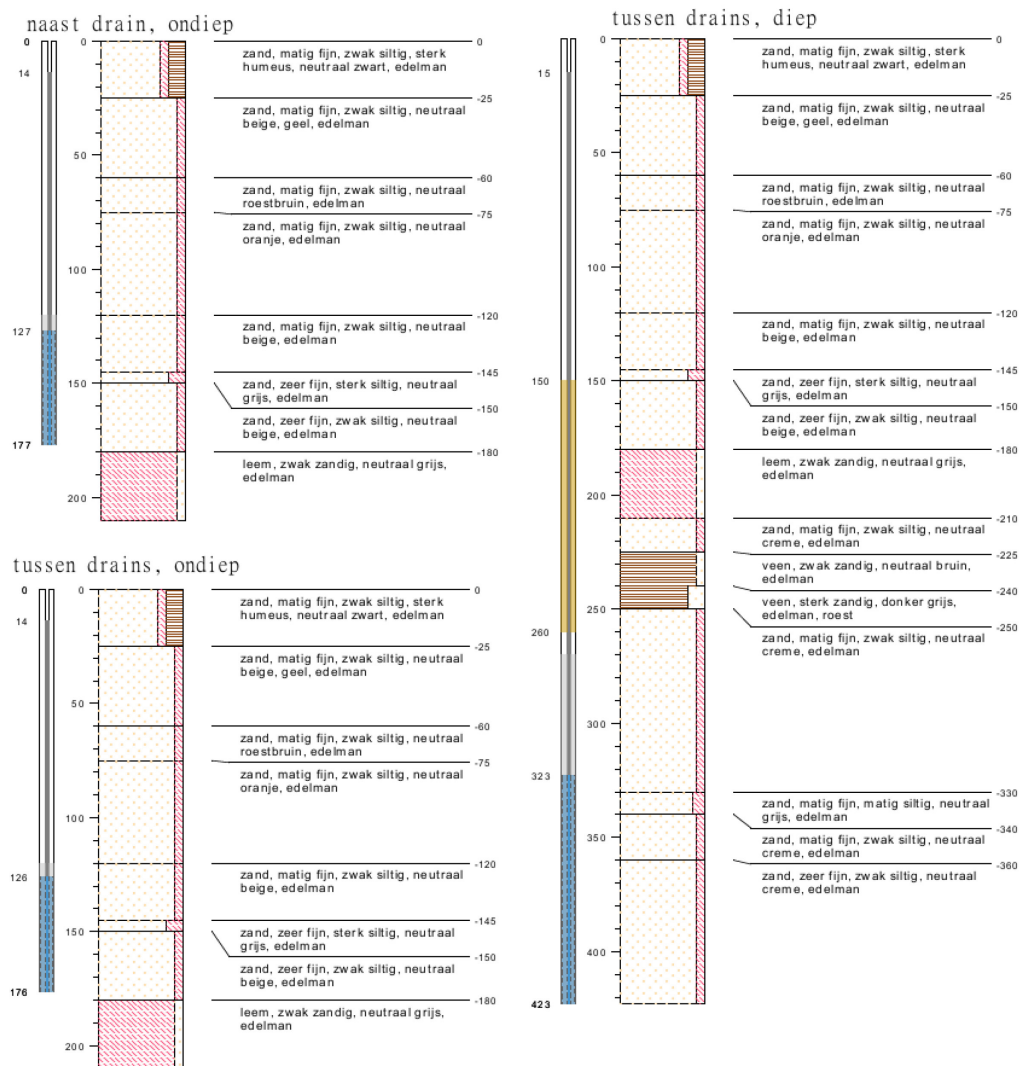
Binnen het perceel liggen van noord naar zuid 12 drains op een afstand van 5 m, gevolgd door 6 drains op een afstand van 6 m. De draandiepte is gemiddeld 1,1 m-mv (1 à 1,2 m-mv), de lengte ongeveer 400 m.

Onttrekking van grondwater vindt plaats uit de nieuwe put met een filter op $\pm 11-16$ m-mv. De bodem in/om de put is zandig, met lemig fijn zand (bruin) tussen 0-6 m-mv, gevolgd door lemig fijn zand (grijs) op 6-10 m-mv en middel grof zand op 10-16 m-mv. De pompcapaciteit is maximaal 10 m³/u. De huidige registratie van de reeds bestaande grondwateronttrekking is bekend onder code CE431 met twee pompen (48 en 30 m³/u) en zes putten (filterdiepte 22-23 m-mv). Toevoeging van onttekkings kleiner dan 10 m³/u aan het grondwaterregister zijn niet vergunnings- en/of meldingsplichtig.

De bodemopbouw in het midden van het perceel is gegeven in Figuur 3. Er is sprake van een goed doorlatende zandige bovengrond, een leemlaag van ± 0.3 m dik op ongeveer 2 m-mv en daaronder weer zand.



FIGUUR 2: SCHEMATISCHE BODEMKOLOM MET DRAINAGEBUIS EN SITUATIE BIJ SUBIRRIGATIE; BLAUWE PIJLEN GEVEN DE COMPONENTEN VAN DE WATERBALANS WEER; RODE PIJL GEEFT DE ONTTREKKING WEER UIT HET LOKALE GRONDWATER.



FIGUUR 3: BODEMOPBOUW BIJ DE PEILBUIZEN IN HET MIDDEN VAN HET PERCEEL. 'ONDIEP' BETEKENT BOVEN DE LEEMLAGEN, 'DIEP' BETEKENT ONDER DE LEEMLAGEN.

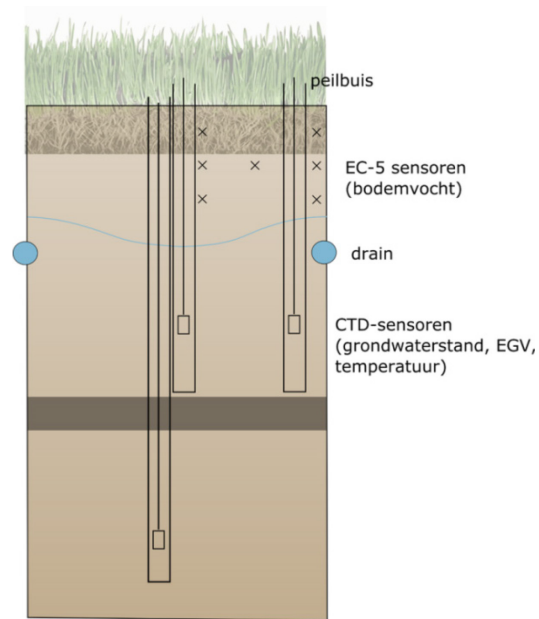
2.2 Metingen

De volgende meetopstelling is ingericht:

- Bodemvochtsensoren (EC-5) zijn geplaatst in het midden van het perceel in een raai tussen twee drains en drukopnemers zowel boven als onder de leemlaag (10 à 20 cm dik op een diepte van 2 m-mv) (Figuur 1 en Figuur 4). Elke 15 minuten wordt een waarneming geregistreerd en via telemetrie ontsloten. Metingen met deze sensoren geven aan of, en zo ja, in welke mate het bodemvocht verhoogd wordt als gevolg van toepassing van subirrigatie. Het voorkómen van een vochttekort in de wortelzone door een tijdige, eigenlijk permanente aanvulling van het bodemvochtgehalte, leidt tot een verhoogde opname van water door het gras en een optimale gewasverdamping, ergo een verhoogde gewasopbrengst.
- CTD-sensoren (Conductivity, Temperature, Depth) zijn geplaatst in de peilbuizen. Elke 15 minuten worden de stijghoogte, elektrisch geleidingsvermogen (EGV) en temperatuur geregistreerd en via telemetrie ontsloten. Metingen met deze sensoren geven een indicatie van het soort water dat ter plekke in de bodem aanwezig is (neerslagoverschot, opgepompt grondwater voor subirrigatie, mengvorm).

- Keller-druksensoren geplaatst in de aanvoerput, in de drainageput en direct bovenstrooms van de duiker in de kavelsloot die in verbinding staat met de Grenssloot (Figuur 5). Deze druksensoren registreren elke 60 minuten de waterniveaus.
- Pompdebieten worden geregistreerd via een analoge debietmeter. Om regelmatige waarnemingen vast te leggen is geautomatiseerd elke dag een foto gemaakt van de debietstand. Debietmetingen zijn dus op dagbasis beschikbaar.
- Bij veldbezoeken zijn handmetingen verricht van de waterstanden in de waarnemingspunten ter controle van de gemeten reeksen.
- De in de figuren en modellering gebruikte meteo-gegevens komen van KNMI automatisch weerstation (AWS) Arcen (nr. 391). Dit weerstation ligt op ongeveer 15 km afstand van het proefperceel.
- Om een beeld te krijgen van de stijghoogtes van het diepe grondwater in voorgaande jaren zijn data gebruikt van peilbuis B52D0110, onder beheer bij Waterleidingmaatschappij Limburg WML ('Breehei'). Deze locatie ligt hemelsbreed ongeveer 3 km verwijderd van het proefperceel.

Coördinaten en hoogtegegevens van de meetopstelling en het subirrigatiesysteem zijn gegeven in Tabel 1.



FIGUUR 4: SCHEMATISCHE OPSTELLING VAN SENSOREN IN 2D VLAK (XZ), TUSSEN TWEE DRAINBUIZEN, OP 20, 40 EN 60 CM-MV. DEZE OPSTELLING IS INGERICHT BIJ 'MEETOPSTELLING' IN FIGUUR 1. GEMETEN GRONDWATERSTANDEN: ONDIEP IS BOVEN DE LEEMLAAG (DONKERE ZONE IN FIGUUR), DIEP IS BENEDEN DE LEEMLAAG.



FIGUUR 5: LOCATIES VAN NIVEAUWAARNEMINGEN WATERSTANDEN IN AANVOERPUT (RECHTS), REGELPUT (LINKS) EN BIJ DUIKER IN KAVELSLOOT (MIDDEN).

TABEL 1: COÖRDINATEN EN PEILBUISGEGEVENS (MEET)OPSTELLING

omschrijving	omschrijving device	x	y	z	lengte buis	onderkant peilbuis	
						t.o.v. maaiveld	filterstelling t.o.v. maaiveld
maaiveld bij drain	DRAIN_MV	194175.81	386097.00	30.94			
maaiveld bij EC5 (bodenvocht) bij drain	EC5_DR_MV	194175.49	386096.85	30.93			
maaiveld bij EC5 tussen drains	EC5_MID_M	194176.24	386094.43	30.97			
maaiveld bij EC5 1/4 drain	EC_1/4_MV	194175.91	386095.59	30.97			
maaiveld dataloggers (ingegraven)	EM50G	194174.85	386096.72	30.88			
bovenkant buis peilbuis ondiep, tussen drains	PB1_TDR_B	194178.43	386095.09	30.81	1.62	1.76	1.26 - 1.76
maaiveld peilbuis ondiep, tussen drains	PB1_TDR_M	194178.24	386095.04	30.91			
bovenkant buis peilbuis diep, tussen drains	PB2_TDR_B	194177.44	386094.83	30.78	4.08	4.23	3.23 - 4.23
maaiveld peilbuis diep, tussen drains	PB2_TDR_M	194177.59	386094.83	30.93			
bovenkant buis peilbuis ondiep, bij drain	PD_DR_BKB	194176.79	386096.75	30.79	1.63	1.77	1.27 - 1.77
maaiveld peilbuis ondiep, bij drain	PD_DR_MV	194176.45	386096.67	30.92			
locatie apparatuur in sleuf	SLEUF_1	194175.66	386096.92	30.92			
locatie apparatuur in sleuf	SLEUF_2	194175.79	386096.51	30.91			
locatie apparatuur in sleuf	SLEUF_3	194176.09	386095.63	30.92			
locatie apparatuur in sleuf	SLEUF_4	194176.48	386094.29	30.88			
ligging drain	WPM_DRAIN	194175.67	386096.89	29.82			
niveau beek	WPM_BEEK	194320.77	386204.24	29.22			
aanvoerput bovenkant	WPM_PINBK	194358.28	386073.09	31.15			
aanvoerput onderkant	WPM_PINBL	194358.15	386073.22	29.66			
aanvoerput maaiveld	PINMV	194357.88	386073.24	30.69			
regelput bovenkant	WPM_PUIBK	194319.18	386187.54	30.93			
regelput maaiveld	WPM_PUIMV	194318.88	386187.69	30.59			
niveau sloot	WPM_SLOOT	194324.22	386184.81	29.46			

3 Verkennende modellering

Verkennende modelberekeningen zijn uitgevoerd met SWAP (1D) en Hydrus_2D (2D) om nader inzicht te krijgen in de werking van het systeem en met name de invloed van grondwateronttrekking en subirrigatie op de waterbalans en de vochtvoorziening voor het gewas. De subirrigatie heeft een verhoogde grondwaterstand tot gevolg, die via capillaire opstijging leidt tot verhoogde of op peil blijvende bodemvochtgehalten in de wortelzone.

3.1 SWAP model

Met het model SWAP (Soil Water Atmosphere Plant, (Kroes et al., 2017)) is getracht de hydrologische situatie in het proefperceel na te bootsen. De volgende aannames/uitgangspunten zijn gehanteerd:

- Bodemeenheid Staringreeks B1-O1 (leemarm, zeer fijn tot matig fijn zand) (Wösten et al., 2001). We gaan voor de verkennende berekeningen uit van een isotroop medium met gelijke doorlaatfactoren in horizontale en verticale richting (idem Hydrus_2D).
- Leemlaag is onderrand systeem.
- Hydrologische onderrand is gegeven met stijghoogte (gemiddelde stijghoogte = $-175\text{cm} + mv$, amplitude 'sinus' = 50cm) onder leemlaag en weerstand scheidende laag (RIMLAY). De in het model gebruikte weerstand is afhankelijk van het gekozen scenario.
- Wateraanvoer in periode met subirrigatie van 6 mm/d . Om de grondwaterstand in het begin van de wateraanvoerperiode net zo snel te laten stijgen als in het veld, is in de eerste week 20 mm/d aangevoerd. Op een andere manier lukte het binnen dit project niet de gemeten grondwaterstand modelmatig te reproduceren; nadere analyse is nodig. Mogelijk zijn de vochtgehalten in het model voor de start van subirrigatie lager dan in werkelijkheid.
- Meteogegevens komen van het KNMI AWS Arcen, op 15 km afstand gelegen van de proeflocatie. In werkelijkheid kunnen de meteo-waarnemingen te Arcen anders zijn dan te America. Dit geldt met name voor de neerslag, en meer specifiek voor plaatselijke buien. In deze verkennende berekeningen gaan we echter uit van de meteo te AWS Arcen. In een volgende fase van modelberekeningen (nader te omschrijven opdracht) kunnen meer lokale meteodata afgeleid en gebruikt worden.
- Slooppeil dwarssloot = $-150\text{ cm} + mv$, drainageweerstand (DRARES) is afhankelijk van het gekozen scenario. DRARES wordt berekend uit $\text{factorL} * \text{slootafstand}$. Slootafstand = 400m , factorL ligt tussen 1.5 en 2 d/m (Van der Gaast et al., 2006).
- Drie scenario's:
 1. geen subirrigatie, RIMLAY = 300d en drainageweerstand sloot = 600d ($\text{factorL} * \text{slootafstand} = 1.5 * 400 = 600\text{d}$)
 2. als scenario 1, maar met subirrigatie, wateraanvoer = 6 mm/d
 3. als scenario 2, maar met RIMLAY = 275d en drainageweerstand sloot = 800d ($\text{factorL} * \text{slootafstand} = 2.0 * 400 = 800\text{d}$)

3.2 Hydrus_2D model

Met het model Hydrus_2D (Šimůnek et al., 2016) zijn verkennende simulaties uitgevoerd, teneinde variaties in hydrologie en stoftransport (weerslag in EGV-patronen) in het 2D (XZ) - vlak bij de meetopstelling op het proefveld te kunnen uitrekenen. Meteorologische data komen van het KNMI AWS Arcen en zijn identiek aan de invoergegevens voor het SWAP model. De simulatieperiode loopt van 1 januari tot 16 oktober 2017.

De meerwaarde van het inzetten van het Hydrus_2D model zit hem in de twee dimensies. Er kan in het XZ-vlak gerekend worden en effecten van laterale stroming van subirrigatiewater kunnen expliciet geanalyseerd worden. Zo sluiten we 1:1 aan op data van onze meetlocatie in het veld midden op het perceel (Figuren 1 en 4). Ook kunnen we de stroming van water naar de drainagebuizen toe meer realistisch simuleren. Dit alles in combinatie met het 2D-transport van opgeloste stoffen in het bodemwater, dat we via de EGV-sensoren in het veld kwalitatief in kaart kunnen brengen en kunnen simuleren. Op dit laatste aspect ligt momenteel in deze rapportage minder nadruk.

De bodemfysica is identiek aan de SWAP berekeningen, waarbij anisotropie in de doorlatendheid (K_{hor}/K_{vert}) kan worden meegenomen. In deze verkennende modelfase is dat niet gedaan. De zone met leemlagen is onderdeel van het ruim 6 m diepe bodemprofiel (30 cm dikte op ca. 2 m-m.v.), gevolgd door een leemarme matig- tot fijnzandige ondergrond. In deze onderste modellaag bevindt zich de diepe peilbuis naast de drain, met een 1 m lang filter op 3,25-4,25 m-mv diepte. De onderrand van het model krijgt de stijghoogte gemeten in de diepe peilbuis. Het effect van de subirrigatie zit in deze stijghoogte verwerkt.

De aanvoer via subirrigatie wordt berekend via een vaste stijghoogte-randvoorwaarde, waarbij een vaste overdruk van +0,5 m wordt ingesteld op de drainagebuis tijdens de periode van subirrigatie. Deze hoogte komt vrijwel overeen met de instelling van de hoogte van de vlotter in de drainageput. Als resultaat van deze overdruk zal het model de hoeveelheid water uitrekenen die via subirrigatie in de bodem terecht komt, afhankelijk van de condities in de bodem. Er zal zich hierdoor een bepaalde stijghoogte in het model nabij de drainagebuis instellen, die zich 'voortplant' in laterale stijghoogtes in de X-richting en het bodemvocht daarboven (XZ-vlak). De resultaten van deze berekening kunnen vervolgens vergeleken worden met de gemeten aanvoerhoeveelheden.

Water kan het profiel verlaten via drainafvoer en wegzijging. In deze fase is de ponding layer op nul gesteld, waardoor geen oppervlakte-afvoer optreedt. Het 2D-bodemprofiel omvat geen kavelsloot. Dit betekent dat we in dit huidige model ervan uitgaan dat het perceel gelegen is op een locatie waar geen ontwaterende sloten voorkomen direct naast het perceel. Het model is daarmee geldig voor de situatie midden op het perceel, waar de (XZ)meetopstellingen zich bevinden in bodem- en grondwater. De grondwaterput waar water onttrokken wordt voor subirrigatie is geen onderdeel van het bodemprofiel.

Het is relevant voor de interpretatie van de hydrologie ter plekke en voor de samenstelling van het bodem- en grondwater om aspecten van stoftransport mee te nemen in de berekeningen. Zo kan de verspreiding van stoffen in het aangevoerde subirrigatiewater gevolgd worden in de bodem. In het veld is als kwalitatieve indicator hiervoor het EGV in het grondwater op diverse plekken gemeten. Dit geeft bij de hydrologische analyses inzicht in het type water: infiltrerend neerslagoverschot of water dat via subirrigatie de bodem instroomt.

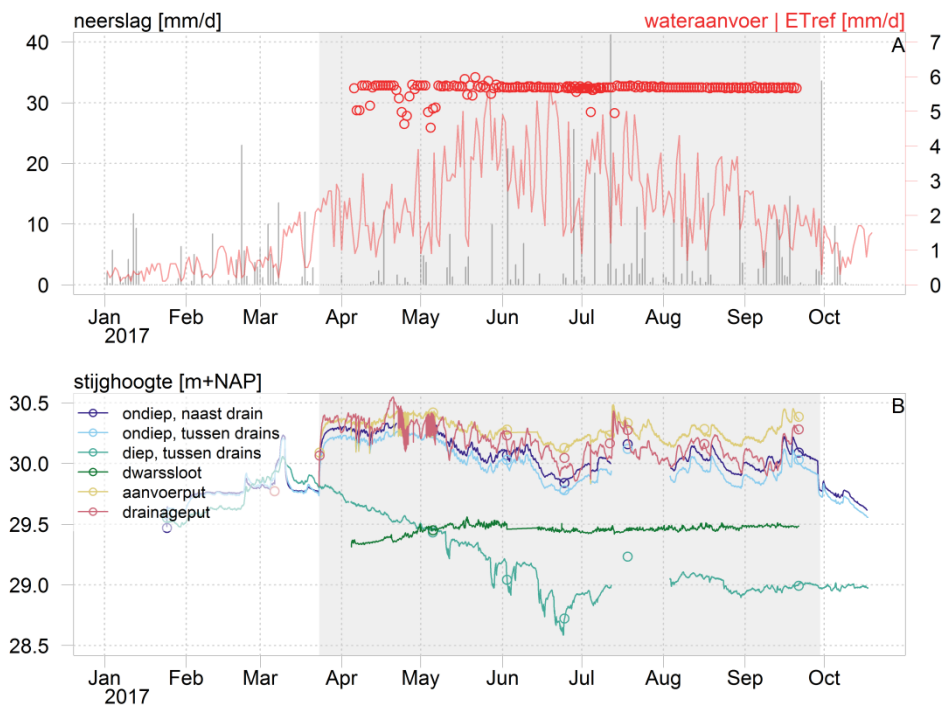
De laterale en verticale verspreiding van subirrigatiewater wordt in deze verkennende simulaties berekend door een fictieve, niet-reactieve stof als conservatieve tracer mee te laten lopen met het subirrigatiewater, dat via de drainbuis het bodemprofiel indringt. Zo kunnen we de weg van het subirrigatiewater volgen in de bodem in de tijd. Hierdoor kunnen stoffen (bijv. nitraat, ammonium) die in het ondiepe grondwater zitten, het water dat als waterbron wordt gebruikt, bij toepassing van subirrigatie gevolgd worden.

4 Resultaten

4.1 Veldproef

2017 was een interessant jaar voor een 'droogteproef'. Het potentiële neerslagtekort in de maanden april, mei en juni 2017 was respectievelijk 37, 55 en 38 mm (som 149 mm van 1-4-2017 t/m 27-6-2017) (Figuur 6A) en de grondwaterstanden in zuidoost Nederland waren erg laag (<http://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/achtergrond/grote-droogte-in-zuid-en-west-europa>).

De grondwaterstand in het perceel (Figuur 6B) stijgt direct als gevolg van subirrigatie: binnen 5 dagen is een grondwaterstandsverhoging van ongeveer 50 cm gecreëerd. Het drainage/infiltratiesysteem wordt gevuld tot aan de gewenste stand via de instelling van de hoogte van de vlotter in de drainageput. Zodra deze bereikt is, stopt de wateraanvoer automatisch door middel van het vlottersysteem. Tot begin mei is te zien dat de wateraanvoer af en toe stopt. Later in het seizoen draait de pomp vrijwel continu met een debiet van 212,5 m³/d (5,6 mm/d bij 3,77 ha proefperceel). In totaal is 40.211 m³ water toegediend.



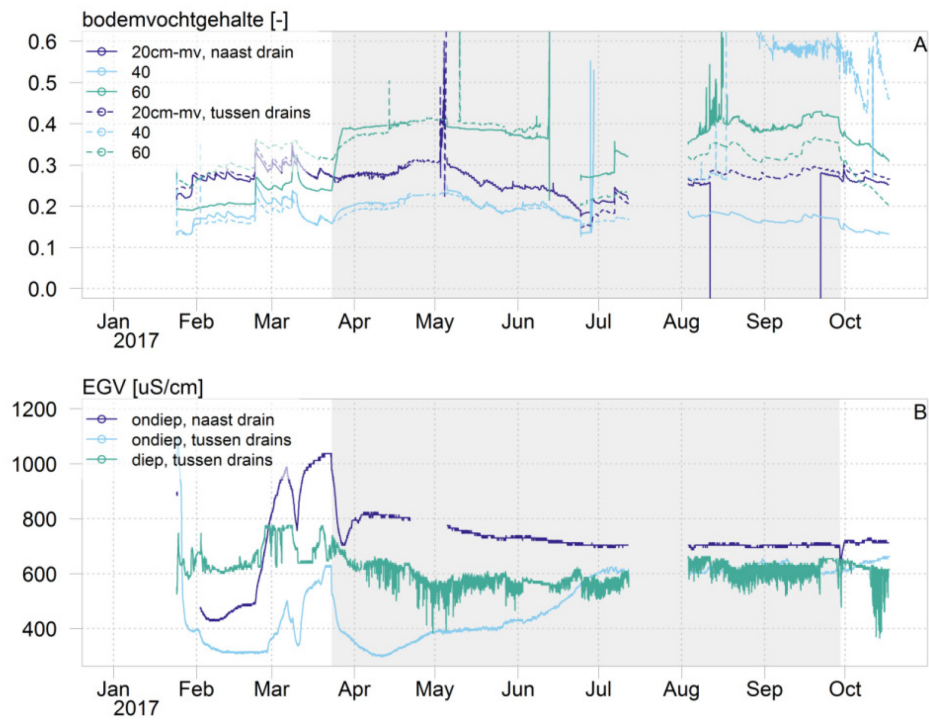
FIGUUR 6: A: TIJDREEKS VAN NEERSLAG (GRIJZE LIJN, LINKER AS) , REFERENTIEGEWAS-VERDAMPING VOLGENS MAKKINK (ET_{REF} MAKKINK, RODE LIJN, RECHTER AS) VOOR KNMI AWS ARCEN (NR. 391) EN WATERAANVOER NAAR HET PERCEEL (RODE BOLLETJES, RECHTER AS). B: GEMETEN STIJGHOOGTES IN HET DRAINAGE/INFILTRATIESYSTEEM, GRONDWATER EN OPPERVLAKTEWATER. HET GRIJZE VLAK GEEFT DE PERIODE MET WATERAANVOER VAN 23-3-2017 T/M 28-9-2017.

De gemeten stijghoogtes (Figuur 6B) bij wateraanvoer zijn verklaarbaar:

- de stijghoogte in de wateraanvoer put is hoger dan die in de drainageput (licht verhang);
- de stijghoogte in de drainageput is hoger dan die in het freatisch grondwater direct naast de drain midden op het perceel;
- de stijghoogte direct naast de drain is iets hoger dan die tussen de drains;
- de stijghoogte in de peilbuis onder de leemlaag is lager dan die boven de leemlaag (er treedt wegzijging op).

De hoge grondwaterstand die zich heeft gesteld direct na de start van subirrigatie kan vanaf mei 2017 niet worden vastgehouden. De freatische grondwaterstand daalt van $\pm 30,3$ m+NAP (0,6 m-mv) begin mei tot 29,8 m+NAP (1,1 m-mv) eind juni. Het neerslagtekort (referentieverdamping-neerslag; niet geplot), is groot in deze periode. Gedurende de rest van het groeiseizoen schommelt de freatische grondwaterstand rond 30,0 m+NAP (0,9 m-mv) en zakt niet dieper weg. Direct na de start van subirrigatie stijgt het bodemvochtgehalte als gevolg van de stijging van de freatische grondwaterstand en daalt, net zoals de grondwaterstand, vanaf mei tot eind juni (Figuur 7). Direct na het stoppen van subirrigatie daalt het bodemvochtgehalte. Geconcludeerd mag worden dat de subirrigatie de freatische grondwaterstand dusdanig heeft verhoogd dat het bodemvochtgehalte in de wortelzone ook gestegen is. Capillaire opstijging van water in de bodem vanaf de grondwaterspiegel richting de wortelzone is hier de drijvende kracht achter.

Eind februari stijgt het EGV van het freatisch grondwater, waarschijnlijk als gevolg van de eerste bemesting van het vroege voorjaar van 2017. Tussen de drains is het EGV lager dan direct naast de drains, hetgeen duidt op meer regenwaterinvloed tussen de drains door het aanwezige (2D, 3D) stromingspatroon van bodemwater. In de eerst maanden na de start van de subirrigatie daalt het EGV van het freatisch grondwater naast de drain door het lagere EGV van het opgepompte grondwater dat via de drainbuizen infiltreert in de bodem. Het EGV van het subirrigatiewater is hoger dan het oorspronkelijke grondwater dat in de zone tussen de drains aanwezig is. Na subirrigatie stijgt het EGV tussen de drains, beide tot het niveau van het grondwater dat voor subirrigatie wordt gebruikt. Dit duidt erop dat het subirrigatiewater zich ook lateraal tussen de drains heeft verspreid. Nader onderzoek en modelberekeningen kunnen uitwijzen hoe en tot waar de verspreiding precies verloopt, in tijd en ruimte.



FIGUUR 7: BODEMVOCHTGEHALTES EN ELECTRISCH GELEIDINGSVERMOGEN (EGV) BODEMWATER (ZIE FIGUUR 4 VOOR MEETOPSTELLING). NB: UITVAL VAN SENSOREN IN APRIL-MEI EN JULI-AUGUSTUS 2017 DOOR VERSTORING VIA MACHINES (MAAIEN EN BEMESTEN) EN DEFECTE LOGGER DOOR WATEROVERLAST (11-12 JULI 2017).

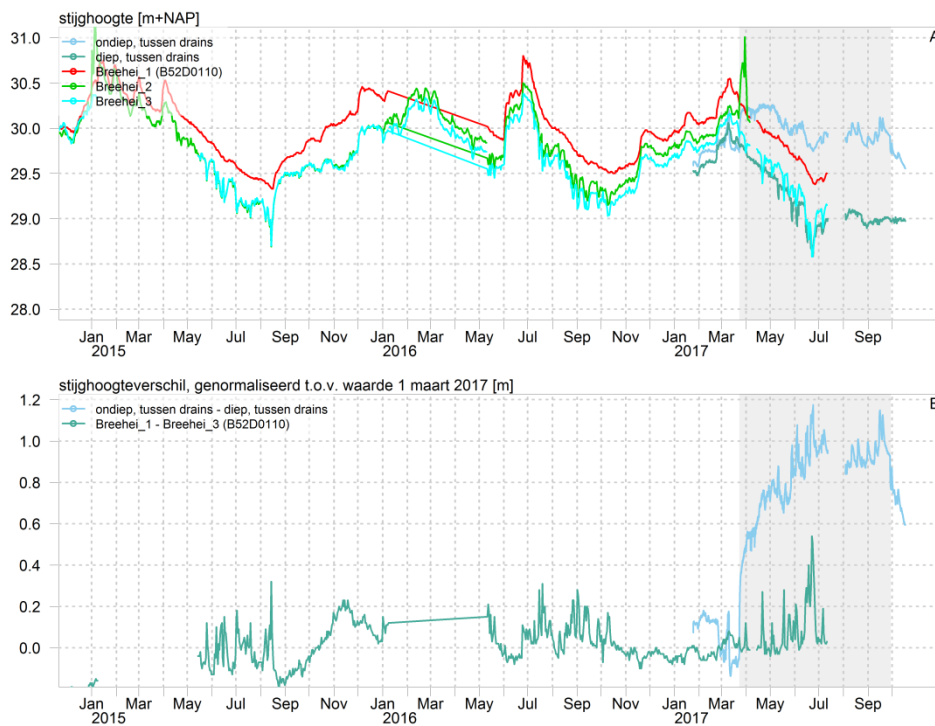
De stijghoogte in het diepere watervoerende pakket zakt gedurende de zomer weg tot ongeveer 28.6m+NAP (Figuur 6B). Uit analyse van peilbuis B52D0110 ('Breehei' Figuur 1, Figuur 8A) volgt dat dit verloop vergelijkbaar is met dat van voorgaande jaren. De metingen van peilbuis B52D0110 laten zien dat de stijghoogte in het freatische pakket natuurlijk wegzakt, conform het verloop van de diepe stijghoogte. In het proefperceel is in 2017 de daling van de stijghoogte in het diepe filter vergelijkbaar met die in het diepe filter van peilbuis B52D0110. Voor deze peilbuis geldt dat het stijghoogteverschil tussen filter 1 en filter 3 sinds 2015 varieert tussen -0,2 en +0,3 m bij normalisatie t.o.v. 1 maart 2017 (vlak voor de start van subirrigatie in het proefperceel), met een uitschieter naar +0,5 m in juni 2017 (Figuur 8B). Vermoedelijk wordt deze uitschieter veroorzaakt door grondwateronttrekkingen voor landbouwirrigatie in de omgeving. Deze kortdurende grondwateronttrekkingen zijn goed zichtbaar in de diepe filters van peilbuizen in zowel het proefperceel als van peilbuis B52D0110.

Het gemeten stijghoogteverschil in het proefperceel is tijdens de subirrigatieperiode in 2017 aanzienlijk groter dan waargenomen in 2017 voor deze periode en voorgaande jaren voor B52D0110 (Figuur 8B). Subirrigatie zorgt ervoor dat de freatische stijghoogte juist hoger wordt in plaats van lager. Niet alleen wordt door subirrigatie de gangbare daling van de freatische grondwaterstand afgezwakt, ook veroorzaakt deze juist een stijging van de stijghoogte aan het begin van het seizoen. Door deze stijging van de freatische stijghoogte, in combinatie met de daling van de stijghoogte in het diepe pakket, neemt het stijghoogteverschil in het proefperceel toe tot 0,8 à 1,2 m. Na het stoppen van de pomp / op 28 september 2017 daalt de freatische stijghoogte direct en neemt het stijghoogteverschil weer af.

De daling van de stijghoogtes van het diepe filter in het proefperceel, vergeleken met die van peilbuis B52D0110, wijzen niet op een snellere daling van de stijghoogte in het diepe filter als gevolg van de vrijwel continue lokale onttrekking van grondwater voor subirrigatie.

Door de verhoging van de freatische grondwaterstand lijkt ook het waterpeil in de aangrenzende sloot toegenomen: van april tot mei 2017 is deze met ongeveer 0,15 m gestegen en vervolgens gestabiliseerd op een niveau van 29,5 m+NAP (stuwpeil) (Figuur 6). Ook is er sprake van wateraanvoer van bovenstrooms (ten zuiden) gelegen gebiedsdelen naar de kavelsloot bij het proefperceel (visuele waarnemingen en indicatieve metingen waterschap). Het is niet bekend wat het debiet is van de kavelsloot (afvoer en -aanvoer).

Eind juni 2017, aan het eind van de droge periode, heeft een veldbezoek plaatsgevonden, waarbij een groot verschil is waargenomen in gewasconditie tussen het deel van het perceel met en zonder subirrigatie (Figuur 9). Deze verschillen zijn ook zichtbaar in de NDVI (maat voor groenheid van het gewas), zoals afgeleid uit satellietwaarnemingen (Figuur 10).



FIGUUR 8: A: STIJGHOOGTES IN HET PROEFPERCEEL, GEMETEN BOVEN (ONDIEP) EN ONDER DE LEEMLAAG (DIEP) EN VAN EEN PEILBUIS IN DE NABIJE OMGEVING MET FILTERS OP DRIE DIEPTES. B: STIJGHOOGTEVERSCHIL TUSSEN ONDIEPE EN DIEPE FILTERS, GENORMALISEERD NAAR HET STIJGHOOGTEVERSCHIL OP DE BETREFFENDE LOCATIE OP 1 MAART 2017 (D.W.Z. HET VERSCHIL IS 0 OP 1 MAART). HET GRIJZE VLAK GEEFT DE PERIODE MET WATERAANVOER VIA SUBIRRIGATIE.



FIGUUR 9: VELDSITUATIE OP 24 JUNI 2017 TEGEN HET EINDE VAN EEN PERIODE MET EEN POTENTIEEL NEERSLAGTEKORT VAN 149 MM (PERIODE 1-4-2017 T/M 27-6-2017).



FIGUUR 10: SATELLIETWAARNEMINGEN VAN DE NDVI ('GROENHEID' VAN HET GEWAS) OP 22 JUNI 2017. HOE DONKERDER, HOE HOGER DE NDVI. ROOD OMRAND HET TOTALE GRASPERCEEL, WAARBIJ IN HET NOORDELIJKE DEEL IN 2017 SUBIRRIGATIE HEEFT PLAATSGEVONDEN. BRON: ESA, 2017.

4.2 Modelling

4.2.1 SWAP model

Figuur 11 geeft de gemeten stijghoogtes ten opzichte van het gemiddelde maaiveld (30,9 m+NAP) zoals gehanteerd voor de SWAP simulaties. Figuur 12 geeft de resultaten van de SWAP simulaties voor de drie scenario's (sectie 3.1).

In scenario 1, de situatie zonder subirrigatie zakt de grondwaterstand in de zomer weg tot ongeveer 2m-mv (Figuur 12C). Dit komt overeen met de gemeten stijghoogte in het diepe filter in het perceel (Figuur 11). In het eerste deel van het groeiseizoen in 2017 is sprake van een tekort aan water voor gewasverdamping (Figuur 12B: actuele transpiratie < potentiële transpiratie).

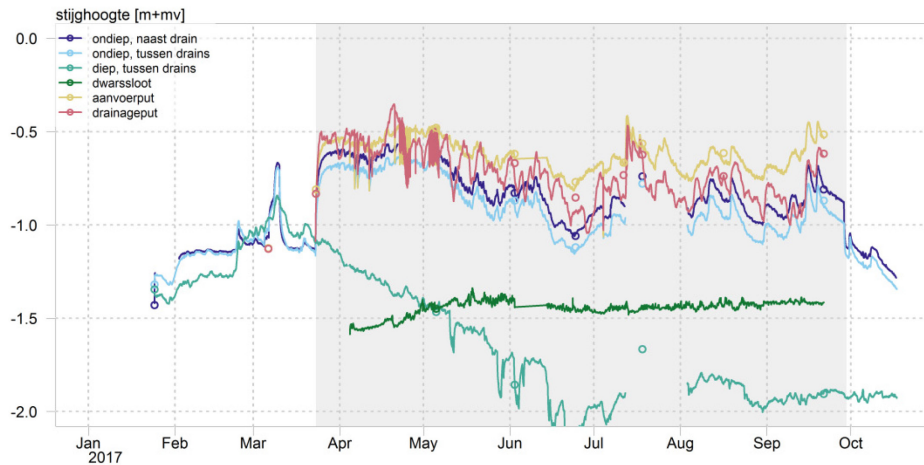
Als gevolg van subirrigatie (scenario 2) stijgt de freatische grondwaterstand eerst en zakt deze, net als in de waarnemingen geleidelijk weg tot eind juni (Figuur 12C). Er is geen tekort meer aan water voor gewasverdamping (Figuur 12B: actuele transpiratie = potentiële transpiratie); transpiratiereductie wordt door subirrigatie opgeheven. Door de hogere grondwaterstand neemt de flux naar het diepere grondwater toe, net zoals de drainageflux naar het oppervlaktewater (Tabel 2).

De verdeling van de flux naar grondwater of oppervlaktewater hangt af van gemaakte modelkeuzes. Dit is te zien door de resultaten van scenario 2 en 3 te vergelijken. Door een hogere drainageweerstand naar de sloot en een lagere weerstand van de scheidende laag met het diepere grondwater te hanteren, wordt nagenoeg dezelfde grondwaterstand gesimuleerd (Figuur 12C), maar vermindert de flux naar het oppervlaktewater (Figuur 12E, Tabel 2) en vermeerderd de flux naar het grondwater (Figuur 12D, Tabel 2). Om te bepalen welke parametrisatie de juiste is, zal aanvullend onderzoek gedaan moeten worden.

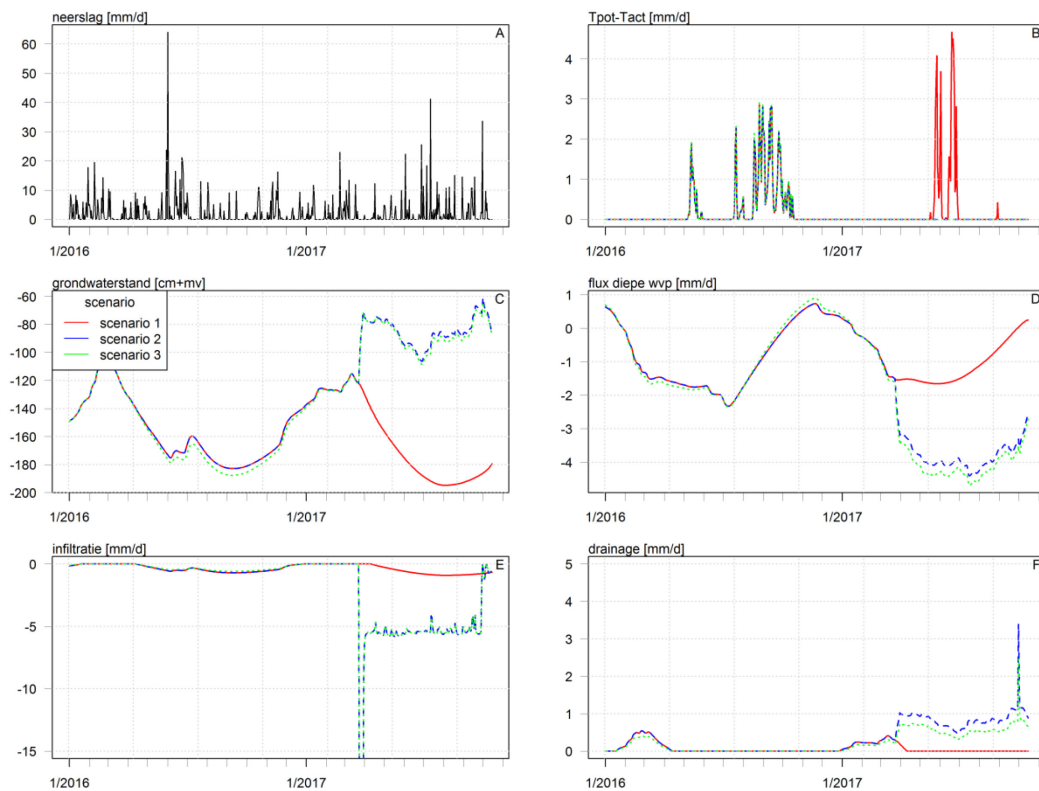
Echter, de simulaties geven wel aan dat het mogelijk is om de (ongewenste) afvoer van grondwater naar het oppervlaktewater actief te beperken, bijvoorbeeld door het verminderen van het stijghoogteverschil tussen grond- en oppervlaktewater. Zo kan door aangepast stuwbeheer van de kavelsloot worden voorkomen dat grondwaterstandsverhoging leidt tot

(ongewenste) afvoer van grondwater naar het oppervlaktewater. Aanbevolen wordt om in een eventueel vervolg van de veldproef aanpassing van het oppervlaktewaterbeheer mee te nemen. Een lager stijghoogteniveau instellen in de aanvoerput via de vlotter in de drainageput zou ook een optie kunnen zijn, ware het niet dat dan de verhoging van de grondwaterstand in het perceel beperkt wordt.

Overigens gelden de bevindingen specifiek voor de onderzochte locatie. In gebieden waar geen of minder ontwateringsmiddelen aanwezig zijn, zal de afvoer naar het oppervlaktewater geen of een kleinere rol van betekenis spelen.



FIGUUR 11: GEMETEN STIJGHOOGTES T.O.V. DE GEMIDDELDE MAAVELDHOOGTE VAN 30,9 M+NAP.



FIGUUR 12: RESULTATEN MODELLERING SWAP VOOR DRIE SCENARIO'S. A: NEERSLAG, B: GESIMULEERDE POTENTIËLE EN ACTUELE TRANSPIRATIE, C: GESIMULEERDE GRONDWATERSTAND, D: GESIMULEERDE FLUX NAAR DE ONDERGROND (- = WEGZIJGING), E: INFILTRATIE, F: DRAINAGE

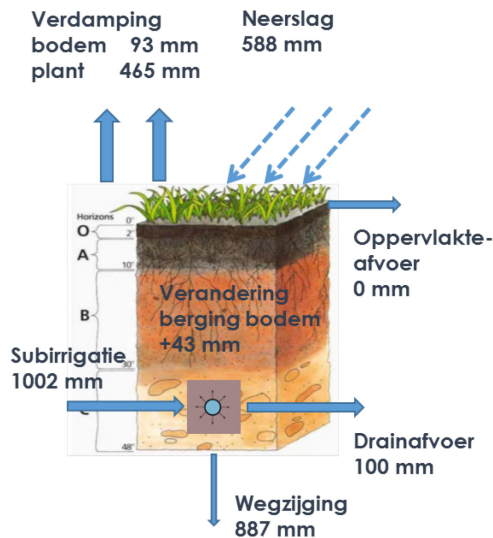
TABEL 2: GESIMULEERDE WATERBALANSEN [CM] VOOR PERIODE 1-1-2017 T/M 19-10-2017 VOOR DE DRIE SCENARIO'S UIT PAR. 3.1 (1 = GEEN SUBIRRIGATIE, 2 = 6 MM/D SUBIRRIGATIE, 3 = ALS 2, MAAR MET HOGERE DRAINAGEWEERSTAND). NEGATIEVE WAARDE VOOR FLUX ONDERRAND BETEKENT WEGZIJGING. POSITIEVE WAARDE VOOR DRAINAGE BETEKENT AFVOER, NEGATIEF INFILTRATIE. NEGATIEVE WAARDEN BIJ BUISDRAINAGE KOMT OVEREEN MET DE TOTALE HOEVEELHEID GEÏNFILTREERD WATER.

		scenario		
		1	2	3
In	Neerslag	58.85	58.85	58.85
	Oppervlakkige aanvoer	0	0	0
	Irrigatie	0	0	0
	Flux onderrand	-27.32	-81.72	-87.42
	<i>Som</i>	<i>31.53</i>	<i>-22.87</i>	<i>-28.57</i>
Uit	Interceptie	5.93	5.93	5.93
	Oppervlakkige afvoer	0	0	0
	Transpiratie	46.5	52.26	52.26
	Bodemverdamping	0	0	0
	Drainage opp. water	-10.54	20.82	15.01
	Drainage buisdRAINAGE	0	-113.69	-113.72
	<i>Som</i>	<i>41.89</i>	<i>-34.68</i>	<i>-40.53</i>
<i>Bergingsverandering</i>		<i>-10.36</i>	<i>11.81</i>	<i>11.96</i>

4.2.2 HYDRUS_2D

De resultaten van de verkennende simulaties met Hydrus_2D worden hier besproken. De modelopzet en -aannames zijn gegeven in paragraaf 3.2.

Met het Hydrus_2D model kunnen alle fluxen naar en van het perceel bepaald worden, met als aanname dat drainagewater vrijelijk kan uitstromen in de kavelsloot. Hieruit kan de waterbalans voor het proefperceel berekend worden (Figuur 13).

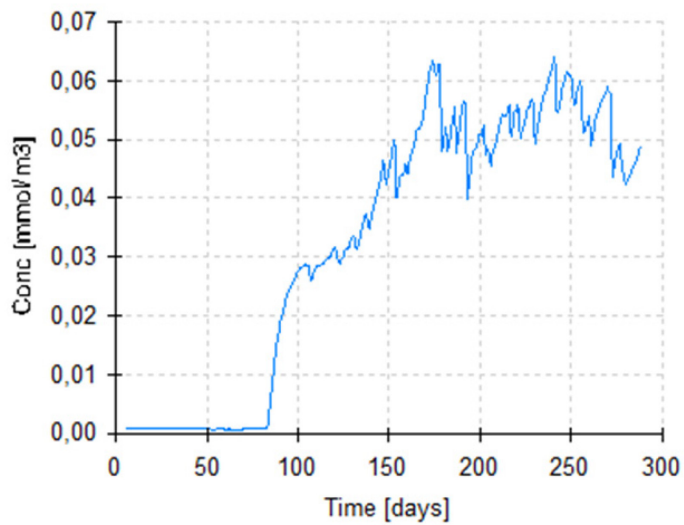


FIGUUR 13: RESULTATEN MODELLERING HYDRUS_2D IN DE VORM VAN EEN WATERBALANS VOOR DE 2D-BODEMKOLOM VOOR DE PERIODE 1-1-2017 T/M 16-10-2017. SLUITFOUT BEREKENDE WATERBALANS IS 2 MM.

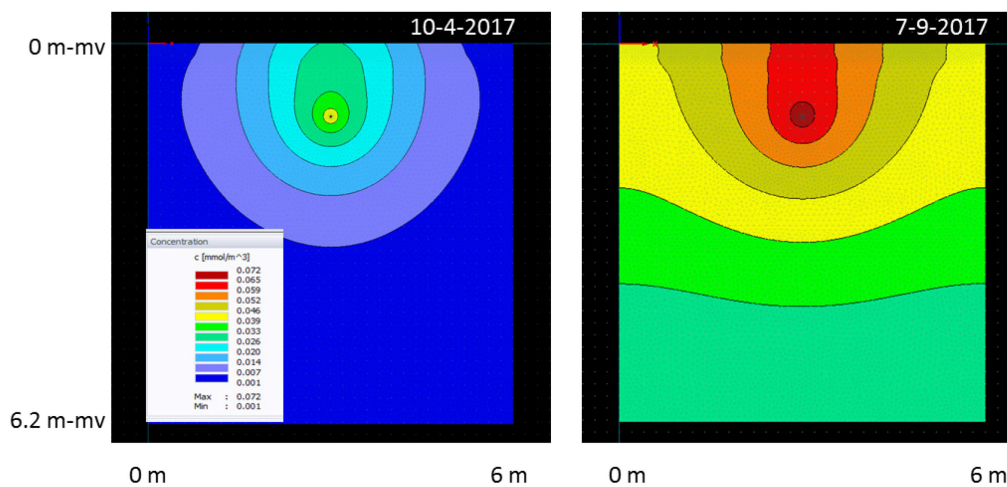
De berekeningen laten zien dat de gemeten aanvoer van water via subirrigatie van 40.211 m^3 redelijk overeenkomt met de berekende hoeveelheid van 1.002 mm , overeenkomend met 37.775 m^3 . De (plant)verdamping van het gras (transpiratie) is nagenoeg potentieel.

Stroming van water en transport van stoffen van en naar drainagebuizen is niet alleen verticaal, maar veelal 2-dimensionaal (2D) of ook 3D. In vergelijking met SWAP (1D verticaal) kan met Hydrus-2D de verspreiding van het subirrigatiewater in het 2D-vlak verticaal en lateraal inzichtelijk gemaakt worden, door een stofconcentratie aan het subirrigatiewater toe te kennen. Een voorbeeld van het verloop van de stofconcentratie in de tijd nabij de onderkant van de wortelzone op 0,4 m-mv is te zien in Figuur 14. Figuur 15 geeft kwalitatief en als voorbeeld aan hoe de verspreiding van het subirrigatiewater in het bodemprofiel is op twee verschillende momenten in het seizoen. Hieruit volgt dat in de loop van de tijd het subirrigatiewater zich geleidelijk tot midden tussen twee drains verspreidt, zoals ook te zien is in de EGV-metingen (Figuur 7), maar ook naar de diepere ondergrond.

De verkennende berekeningen komen voldoende overeen met de werkelijkheid buiten en geven voldoende aanleiding om de SWAP en Hydrus_2D simulaties in de nabije toekomst verder uit te diepen en te gebruiken ter ondersteuning van de veldwaarnemingen en optimalisatie van het subirrigatie-regime. Daarnaast kunnen er scenario's mee doorgerekend worden voor subirrigatie en beregening, met en zonder ontwaterende kavelsloten bij het proefperceel. Hierbij mag het waterpeil in de kavelsloot ook boven het drainageniveau uitkomen om eventuele drainage te beperken.

Observation Nodes: Concentration

FIGUUR 14: RESULTATEN MODELLENG HYDRUS_2D IN DE VORM VAN EEN TIJDREEKS VAN DE BEREKENDE STOFCONCENTRATIE IN HET BODEMWATER OP 0.4 M-MV. INDICATIEVE WAARDEN.



FIGUUR 15: RESULTATEN MODELLENG HYDRUS_2D IN DE VORM VAN VERSPREIDING VAN STOFFEN AANWEZIG IN SUBIRRIGATIEWATER IN HET BODEMPROFIEL VLAK NA HET STARTEN (LINKS) EN NA ENIGE MAANDEN VAN SUBIRRIGATIE (RECHTS). ILLUSTRATIE VAN RUIMTELIJKE VERDELING VAN STROOMSNELHEID IN DE BODEM. DRAINAFSTAND IS 6 M, DRAINDIEPTE IS 1,2 M-MV.

5 Conclusies en aanbevelingen

Voor de veldproef naar subirrigatie met lokaal, ondiep onttrokken grondwater is gebruik gemaakt van reeds aanwezige regelbare drainage. Om het systeem geschikt te maken voor subirrigatie is een wateraanvoerput geïnstalleerd. Met een vlottersysteem wordt de wateraanvoer automatisch aan- en uitgeschakeld, zodra een bepaald niveau in de regelput respectievelijk wordt onder- of overschreden. De hoeveelheden aanvoerwater worden continu gemeten met een standaard watermeter. Tevens is het stroomverbruik van de pomp vastgelegd. Technisch gezien heeft het systeem goed gefunctioneerd tijdens de veldproef.

De veldmetingen aan bodemvochtgehalte, grondwaterstanden, EGV en de waterstanden in de putten en kavelsloot zijn grotendeels geslaagd. Er is enige uitval van bodemvochtsensoren geweest door het berijden van het perceel tijdens bemesten en maaien, waardoor verzakking optrad van de bodem ter plekke van de meetopstellingen en de sensoren defect raakten. Daarnaast hebben we door wateroverlast dataloggers moeten vervangen die onder maaiveld waren afgewerkt. Al met al heeft de meetopstelling goed gefunctioneerd.

Het is gelukt om aan het begin van het seizoen de grondwaterstand met 50 tot 70 cm te verhogen en in het groeiseizoen langdurig op dit niveau te houden. De leemlaag in de ondergrond van 10 à 20 cm dikte op een diepte van ± 2 m-m.v. biedt blijkbaar voldoende weerstand tegen wegzijging. Vergeliken met een situatie zonder subirrigatie blijft de vochttoestand in de wortelzone tijdens de veldproef op peil en kan het gewas optimaal verdampen. Dit is zichtbaar gebleken aan de hand van visuele waarnemingen van de agrariër en van de onderzoekers, alsmede zichtbaar geweest in tot NDVI verwerkte satellietwaarnemingen. Op het proefperceel zelf zijn geen nadelige effecten van grondwaterpeilopzet merkbaar geweest, ook niet tijdens piekbuien.

De vochthuishouding van het proefveld zelf heeft voornamelijk geen last gehad van de eigen lokale onttrekking van grondwater voor subirrigatie. Wel zijn echter zijn de stijghoogte-verlagende grotere onttrekkingen in de buurt van het proefveld zichtbaar, die in de regio voor beregening worden ingezet.

Er is een forse hoeveelheid water (ruim 40.000 m³) aan het proefveld toegediend voor subirrigatie. Dat was ook de opzet van de proef. Hiervan komt naar schatting bijna 2.300 m³ (60 mm, Tabel 2) ten goede aan de transpiratie van het gras. De rest van het water is voor een deel tot afvoer gekomen in de kavelsloot en grotendeels teruggevloeid naar het grondwater. De afvoer naar de kavelsloot kan gereduceerd worden door het waterpeil in deze sloot te betrekken in de proef en te verhogen tijdens subirrigatie. Ook kan de gewenste freatische grondwaterstand op het perceel zelf minder hoog worden ingesteld. Een te lage freatische grondwaterstand zal echter een geringer positief effect van subirrigatie opleveren.

De SWAP en Hydrus_2D modellen zijn geschikt gebleken om toe te passen op de veldsituatie. De verkennende berekeningen zijn, ondanks dat uitgebreide modelkalibratie nog niet heeft plaatsgevonden, reeds plausibel, sluiten redelijk aan bij de veldwaarnemingen, maar bevatten nog enkele onvolkomenheden. De toepassing hangt mede af van de interesse in de werkelijke stroming van water in de bodem. De modellen bieden echter een goede basis om de berekeningen uit te breiden, scenario's door te rekenen, verschillen met beregening te bepalen en effecten van slootpeilen mee te nemen. Deze berekeningen kunnen in een

vervolgstudie meerwaarde hebben voor zowel de interpretatie van veldmetingen, als voor de optimalisatie van het subirrigatieregime.

Dit rapport beschrijft slechts de bevindingen van één jaar met subirrigatie, geldig voor de specifieke omstandigheden waarin de proef is uitgevoerd. We adviseren in 2018 door te gaan met de veldproef met de nodige aanpassingen om de opstelling te verbeteren. Denk daarbij aan het voorkómen van ongewenste drainage naar het oppervlaktewater én het zo optimaal mogelijk inrichten van de wateraanvoer. Wellicht is het mogelijk en voldoende om slechts een gedeelte van de dag water aan te voeren, in plaats van vrijwel continu te onttrekken zoals in 2017 gebeurd is; dit kan in model en werkelijkheid getest worden. Om de bredere toepassing van subirrigatie met grondwater te onderzoeken en om een bredere basis te leggen op eventuele opschaling van de maatregel, kan op een locatie met andere kenmerken een tweede proef ingericht kunnen worden.

Tevens adviseren we diepgaandere modelsimulaties van hydrologie en stoftransport met SWAP en Hydrus_2D uitvoeren, om goed grip te krijgen op de relevante processen. Via berekeningen van de waterbalans, waaruit het verschil moet blijken tussen de effectiviteit van beregening en subirrigatie, en het grondwatergebruik, kunnen de effecten op gewasproductie en verdroging uiteindelijk vlakdekkend voor Limburg in kaart gebracht worden.

6 Referenties

- Klijn, F. et al., 2011.** Zoetwatervoorziening in Nederland: Landelijke analyse knelpunten in de 21e eeuw, Deltares.
- Kroes, J.G., Van Dam, J.C., Bartholomeus, R.P., Groenendijk, P., Heinen, M., Hendriks, R.F.A., Mulder, H.M., Supit, I., Van Walsum, P.E.V., 2017.** SWAP version 4, Theory description and user manual. Report 2780, Wageningen Environmental Research, Wageningen.
- Šimůnek, J., van Genuchten, M.T., Šejna, M., 2016.** Recent developments and applications of the HYDRUS computer software packages. *Vadose Zone Journal*, 15(7).
- Van den Eertwegh, G., Van Loon, A., Bartholomeus, R., 2016.** Kanskaart voor sub-irrigatie van landbouwgrond in het beheergebied van Waterschap Peel en Maasvallei - Achtergronddocument.
- Van der Gaast, J.W.J., Massop, H.T.L., Vroon, H.R.J., Staritsky, I.G., 2006.** Hydrologie op basis van karteerbare kenmerken, Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. AlterraRapport 1339. 111 blz. 54 figuur; 27 tab.; 64 ref.
- Wösten, J.H.M., Veerman, G.J., de Groot, W.J.M., Stolte, J., 2001.** Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks. Vernieuwde uitgave 2001 [Water retention and permeability characteristics of top and sub soils in the Netherlands: the Staring series. Renewed edition 2001]. Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte, Wageningen, 86 pp.