

Slim peilbeheer in haarvaten van watersystemen met SAWAX-stuw

JAN VAN BAKEL, GÉ VAN DEN EERTWEGH, BAS WORM & JON MENSINK

Artikel

Water vasthouden in de haarvaten van watersystemen is één van de manieren om beter om te gaan met droge en natte weersomstandigheden. Een vroegtijdige respons op peilstijgingen en het volume aan vastgehouden water bepalen het succes op lokale en regionale schaal. De slimme SAWAX-stuw kan worden opgesteld in de detailwatergangen, zoals kavelsloten in beheer bij agrariërs. De stuw kan via een vlottersysteem mechanisch-automatisch de waterstanden in de hoofdwatervaten volgen en deze verhogen in het gebied bovenstrooms van de stuw. Daardoor kunnen zonder tussenkomst van de agrariër hogere waterpeilen in de haarvaten worden gerealiseerd. De eerste versie van deze stuw heeft in 2015 t/m 2017 in een praktijksituatie gefunctioneerd. Rekenresultaten geven aan dat de installatie van de SAWAX-stuw leidt tot enige verhoging van de gewasverdamping en dus een (lichte) toename van de gewasproductie. Daarvoor is echter wel een aanzienlijke hoeveelheid wateraanvoer nodig. Dit komt mede doordat de proef op een beperkt areaal is uitgevoerd.

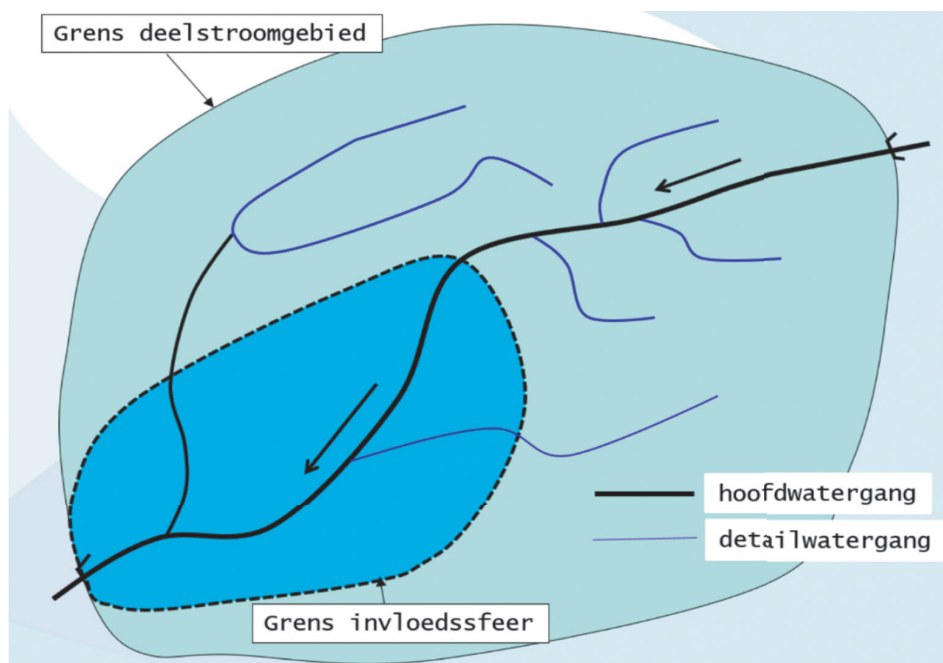
Inleiding

Met een stuw, waarvan de kruin in hoogte kan worden geregeld, is het mogelijk de oppervlaktewaterstand bovenstrooms van die stuw over een zekere afstand te sturen. Stuwen worden door waterbeheerders veelvuldig toegepast, met één of meer van de volgende doelen:

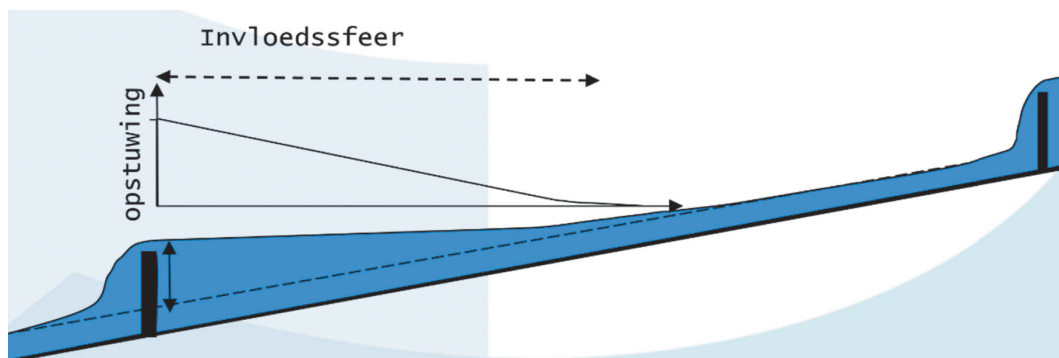
- de grondwaterstanden zodanig te beïnvloeden dat in landbouwgebieden wateroverlast en/of droogteschade wordt verminderd;
- de kans op inundatie van bebouwd gebied of landbouwgebied te verkleinen;
- in perioden van aanhoudende droogte de watervoerendheid van waterlopen te verlengen.

De meeste stuwen staan in de hoofd-(A)-watergangen die in beheer zijn van de waterschappen. In hellende gebieden is de bovenstroomse invloedssfeer per stuw kleiner dan het bijbehorende deelstroomgebied, zoals in Afbeelding 1 schematisch is weergegeven.

In vrij-afwaterende gebieden is er een verhang in het maaiveld en in nog sterkere mate in de bodem van de waterlopen richting het uitstroompunt. Daardoor neemt de waterpeil-verhogende en dus opstuwende werking van de stuw af in de stroomopwaartse richting. Deze werking kan bijvoorbeeld uitgedrukt worden als fractie van de verhoging van het waterpeil direct bovenstrooms bij de stuw in een situatie met een kwart van de Maatgevende Afvoer (MA). De schematische Afbeelding 2 geeft dit weer.



Afbeelding 1 Schematische voorstelling van de invloedssfeer van een stuw in een A-watergang



Afbeelding 2 Schematische voorstelling van de invloedssfeer van een stuw

De invloedssfeer van één stuw is in hellende gebieden ruimtelijk beperkt. Een mogelijkheid om het door stuwbeheer beïnvloede gebied uit te breiden is meer stuwen plaatsen in de A-watergangen. Echter, plaatsing en bediening van (extra) stuwen kost geld (investering en jaarlijks beheer en onderhoud). Daarom is het aantal stuwen veelal beperkt tot ca. 1 stuw per 500 tot 1.000 m hoofdwatergang, mede afhankelijk van het verhang van de bodem. Een andere mogelijkheid is in de detailwatergangen¹, die **niet** in beheer zijn bij het waterschap, stuwen te plaatsen en de

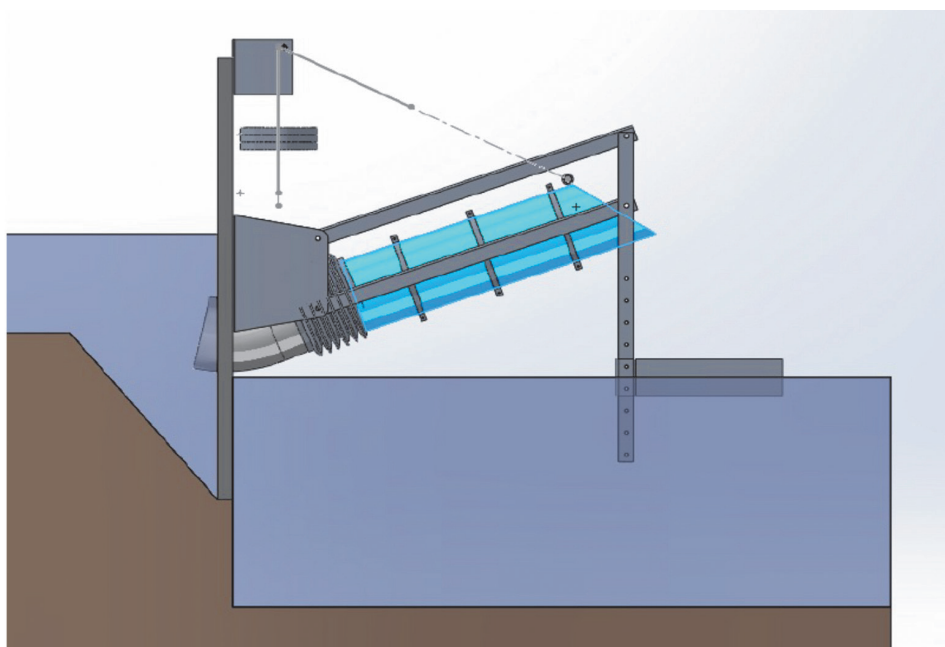
¹ Detailwatergangen zijn onder te verdelen in B-watergangen (staan wel op de legger en worden of werden geschouwd; daarom soms schouwsloten genoemd) en C-watergangen (overige watergangen).

bediening over te laten aan de betreffende eigenaren/beheerders. Dit was indertijd de gedachte achter de plaatsing van vele zogenaamde Landbouw OntwikkelingsPlan LOP- (Noord-Brabant) of Optimaal Waterbeheer Limburg OWL (Limburg)-stuwen in de haarvaten in het zuidelijk zandgebied van Nederland.

In 2011 heeft waterschap Aa en Maas een evaluatie uitgevoerd van de werking van LOP-stuwen (Waterschap Aa en Maas, 2011). De belangrijkste conclusie was dat LOP-stuwen hebben geleid tot een geringer watertekort in de zomer. Tegelijkertijd werd ook geconstateerd dat er nog veel winst te halen valt met een actieve(re) en tijdige bediening van de stuwen. De instelling van de juiste peilen op het juiste moment is voor agrariërs echter niet eenvoudig. Peilbeheer is hun vak niet en pogingen om via een 'peilwijzer' hen daarbij te ondersteunen waren niet succesvol. Daarom wordt in het kader van Deltaplan Hoge Zandgronden (DHZ) gewerkt aan een soort doorstart (zie o.a. Van der Schoot e.a., z.j.), maar de problemen van een juiste peilinstelling zijn zeker nog niet opgelost. Daarom is het idee ontstaan van de ontwikkeling van de zogenoemde Slimme Adaptieve WATERbeheereXtender: **SAWAX** (of in het Engels: Smart Adaptive WATERlevel eXtender).

De SAWAX-stuw

De SAWAX is een stuw met een traploos beweegbare pijp in een waterkerende constructie (zoals een damwand, aarden dam of duiker), waarvan de kruin, ofwel het uiteinde van de pijp, door middel van een vlotter meebeweegt met de benedenstroomse waterstand (zie Afbeelding 3). In principe kan de SAWAX in allerlei watergangen worden ingezet, maar we zijn begonnen met de inzet in detailwatergangen, die uitmonden in A-watergangen. Daardoor wordt de invloedssfeer van de stuwen



Afbeelding 3 Schets van de SAWAX-stuw. Links is bovenstrooms van de stuw (bij de particulier), rechts is benedenstroomse zijde (de actief door het waterschap beheerde A-watergang)

in de hoofdwatervgangen uitgebreid naar de tertiaire watervgangen. Deze uitbreiding is afhankelijk van de helling van de bodem van deze watervgangen. Hoe groter deze helling, hoe meer SAWAX-stuwen je moet plaatsen om een bepaalde opstuwende werking te behalen op gebiedsniveau.

De mechanische SAWAX-opstelling en daarmee het stuwpeil kan worden aangepast aan de gewenste mate van verschil tussen het boven- en benedenstroomse waterpeil, door de vlotter hoger of lager vast te zetten op twee verticale balkjes met gaten. Ook is het mogelijk de uitstroomopening door middel van een verstelketting tijdelijk hoger te stellen dan de door de vlotter bepaalde hoogte. De vlotter verliest dan zijn functie (is 'overruled').

Het principe achter de SAWAX-stuw is niet nieuw, want slimme stuwen staan al her en der binnen Nederland in hoofdwatervgangen opgesteld. Daarbij worden meestal slimme regelaars toegepast, maar ook wel eens constructies waarbij de klep drijft op een grote ballon en meebeweegt met de benedenstroomse waterstand (Steenis e.a., 2003). Nieuw is de eenvoudige constructie van de SAWAX-stuw, die mechanisch eenvoudig en naar verwachting zonder problemen altijd autonoom werkt.

Veldproef vanaf begin 2015

Eind 2014 is de eerste versie van de SAWAX-stuw ontworpen en gemaakt en in februari 2015 als demonstratiemodel geplaatst op het melkveebedrijf van Bakhuis te Arriën (Overijssel). In Afbeelding 4 is de omgeving van de proeflocatie weergegeven. Het door de SAWAX beïnvloede gebied heeft een omvang van ongeveer 25 hectare.



Afbeelding 4 Locatie van proeflocatie bij Bakhuis te Arriën (Ov); invloedgebied rood omlijnd (links); rechts detailkaart incl. meetlocaties, met Hydrus-2D-model dwarsdoorsnede bij blauwe lijn

In Afbeelding 5 is de opstelling in het veld te zien. Op de foto is ook de ketting te zien, waarmee de hoogte van de uitstroomopening handmatig hoger (niet lager) kan worden gesteld dan het hoogtebereik van de vlotter.

De perceelssloot waar de SAWAX-stuw is geplaatst stond vóór de plaatsing in open verbinding met een A-watervgang waarvan het ca. 30 cm hogere zomerpeil (ten opzichte van het winterpeil) door wateraanvoer kan worden gehandhaafd. Dus vóór de plaatsing van de stuw volgde het waterpeil in de perceelssloten de waterpeilen in



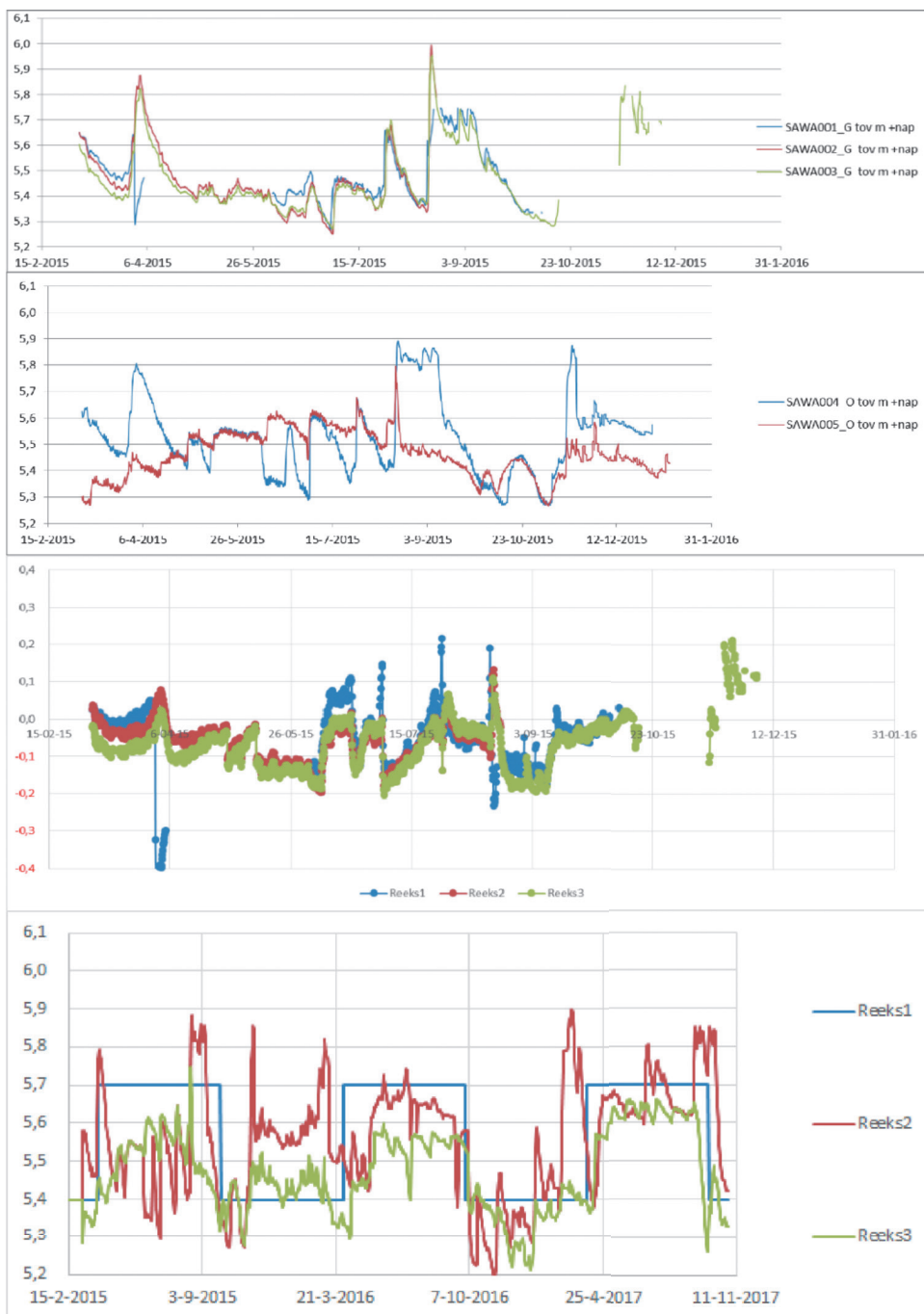
Afbeelding 5 Opstelling van de SAWAX-stuw op de proeflocatie bij Bakhuis in Arriën (Ov.)

de A-watergang. De betreffende agrariër (Bakhuis) vond echter dat dit zorgde voor te droge situaties in zijn percelen. Na plaatsing van de SAWAX-stuw kan in situaties met afvoer een hoger waterpeil in de perceelssloten worden ingesteld dan in de A-watergang. In situaties zonder afvoer zakt het waterpeil in de perceelssloten in de loop van het groeiseizoen tot onder de het peil in de A-watergang, tenzij de pijp horizontaal wordt gesteld of er aanvoerwater over de waterkerende constructie wordt gepompt. Dit laatste is vanaf augustus 2015 daadwerkelijk gerealiseerd, waarbij ook in het groeiseizoen de waterstand in de perceelssloot op een hoger peil kon worden gehandhaafd. Door registratie van het stroomverbruik dient de pomp ook als een debietmeter voor de wateraanvoer. De debietgegevens van 2015 en 2016 zijn minder bruikbaar gebleken in de analyse door lekkage van het watersysteem via een afsluitbare duiker aan de westzijde van de proeflocatie.

Om de technische werking te kunnen volgen en de hydrologische effecten te kunnen bepalen zijn in 2015 t/m 2017 de waterstanden boven- en benedenstrooms van de stuw geregistreerd en zijn op het beïnvloede perceel op drie plekken grondwaterstandsmetingen verricht. Afbeelding 6 geeft de geregistreerde grond- en oppervlaktewaterstanden weer.

Vanaf eind augustus 2015 is de wateraanvoer gestart. Daardoor kan de bovenstroomse oppervlaktewaterstand ook in zomerperioden zonder afvoer hoger worden gehandhaafd dan de benedenstroomse waterstand in de A-watergang. De verhoging was door de beperkte pompcapaciteit in de orde van 10 cm.

Voor meer informatie over de proeflocatie en de Hydrus_2D berekeningen (zie hierna) wordt verwezen naar Van den Eertwegh e.a. (2018).



Afbeelding 6 Van boven naar beneden: gemeten grondwaterstanden, slootpeilen, berekende verschillen daartussen (alle 2015) en overzicht waterstanden 2015-2017 (streefpeil in blauw, realisatie in waterschaps-watgang in groen, met SAWAX in rood) van SAWAX-proeflocatie te Arriën (Ov.). Y-as in [m +NAP] voor standen en peilen en in [m] voor verschillen. SAWA004_O is bovenstrooms van de SAWAX stuw

Technische werking en analyse van meetresultaten

In technische zin heeft de eerste versie van de SAWAX-stuw goed gewerkt. Door de vlotter werd in perioden met afvoer automatisch een hogere waterstand in de perceelssloten gehandhaafd, vergeleken met de ongestuwde situatie. De agrariër heeft in sommige perioden zelf een hoger verschil ingesteld door de ketting op een hogere stand vast te zetten.

De metingen van grondwaterstanden, oppervlaktewaterstanden en debieten zijn gebruikt om met Hydrus_2D (Šimůnek & Šejna, 2011) een 2-dimensionaal model te bouwen om verkennende berekeningen te doen in de variabele onverzadigde/verzadigde zone. De gekozen dwarsdoorsnede loopt in vrijwel noord-zuid richting over de proeflocatie en is 80 m breed en 10 m diep. De verzadigde doorlatendheid van de ondergrond is die van dekzand, met een anisotropiefactor (K_h/K_v) van 10 (Bot, 2016). De bodemfysische gegevens zijn gebaseerd op een interpretatie van een detailkartering (Essen, 2015), waarbij de onderscheiden bodemlagen zijn vertaald naar Staringreeks-bouwstenen met bijbehorende Van Genuchten-parameters (Wösten e.a., 2001). De modellering van de relatie van de proeflocatie met de omgeving via het verzadigd grondwatersysteem is cruciaal als we de effecten van peilbeheer willen berekenen. Voor de situatie met gemeten oppervlaktewaterpeilen in de perceelssloot wordt een stijghoogteonderrand gebruikt waarvan het verloop ontleend is aan een diep filter in de omgeving, aan de bosrand direct ten zuiden van de proeflocatie. De bodemfysische eigenschappen van de ondergrond in het model zijn in deze studie niet gekalibreerd. Het model kan verder verbeterd worden, waarvan we aandacht zullen besteden tijdens de verwerking van de data uit 2018.

Met het 2D-model zijn vier varianten doorgerekend:

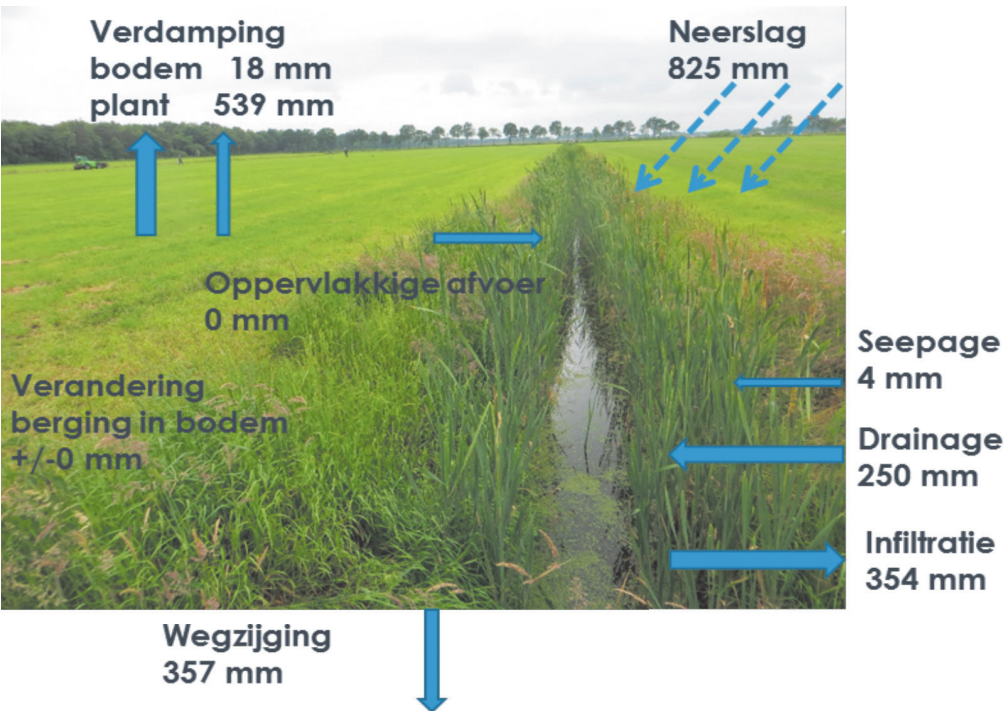
1. Berekend WP/ZP: vaste winter- en zomerpeilen van 5,40 resp. 5,70 m +NAP; stijghoogte onderrand afgeleid van gemeten stijghoogten in peilbuis B22C0082 in de directe omgeving (Dirichlet-randvoorwaarde);
2. Gemeten waterpeil: winter- en zomerpeilen in de watergang in beheer bij het waterschap, benedenstrooms van de SAWAX-stuw. Zoals ook in afbeelding 6 is te zien (onderste figuur) worden de streefpeilen voor de winter en zomer meestal niet gerealiseerd; onderrand is hetzelfde als bij variant 1;
3. Berekend SAWAX: gemeten waterpeilen bovenstrooms van de SAWAX, zonder wateraanvoer in 2015, met wateraanvoer in 2016 en 2017; onderrand idem 1;
4. Berekend SAWAX (flux): als berekend SAWAX, maar nu met een flux-onderrand (Neumann-randvoorwaarde). Deze tijd-variabele flux is 1:1 overgenomen van de resultaten van de fluxberekeningen over de onderrand van variant 3.

De essentie van de berekende waterbalansen voor de vier varianten is gepresenteerd in Tabel 1. In afbeelding 7 staat de complete berekende waterbalans weergegeven voor variant 4.

Tabel 1 Met Hydrus_2D berekende waterbalans per jaar van vier varianten gedurende de periode 1-1-2015 t/m 31-10-2017

Term	Omschrijving	1. Vast winterpeil en zomerpeil [mm/j]	2. Berekend met gemeten waterpeil in A-watergang [mm/j]	3. Berekend SAWAX (Dirichlet) [mm/j]	4. Berekend SAWAX (Neumann) [mm/j]
$E_{t, \text{pot}}$	Potentiële gewasverdamping	-579	idem	idem	idem
P_{netto}	Netto neerslag	+825	idem	idem	idem
E_s	Werkelijke bodemverdamping	-18	idem	idem	idem
E_t	Werkelijke gewasverdamping	-540	-530	-532	-539
$Q_{\text{sloot in}}$	Infiltratie uit sloot naar perceel bovenstrooms SAWAX	+365	+228	+283	+354
$Q_{\text{sloot uit}}$	Drainage van perceel naar sloot	-270	-310	-214	-250
$Q_{\text{bottom uit}}$	Wegzijging	-357	-188	-335	-357

Als het waterschap de winter- en zomerstreefpeilen van 5,40 resp. 5,70 m +NAP ook daadwerkelijk had gerealiseerd, dan zou de werkelijke gewasverdamping gemiddeld 10 mm/j hoger zijn geweest dan berekend met de daadwerkelijk opgetreden waterpeilen in de A-watergangen. Installatie van de SAWAX-stuw, waardoor er een hoger peil werd gerealiseerd in de perceelssloten, leidt tot een geringe (2%) hogere gewasverdamping vergeleken met de situatie zonder SAWAX-stuw van variant 2 (Dirichlet onderrandvoorwaarde) resp. 9 mm/j (variant 4: Neumann onderrandvoorwaarde). De waterbalans voor variant 4 is in afbeelding 7 geprojecteerd op een foto van één van de perceelssloten van de proeflocatie.



Afbeelding 7 'SAWAX (flux)'-model (variant 4 in tabel 1) en berekende gemiddelde waterbalans op jaarbasis (berekend voor periode 1-1-2015 t/m 31-10-2017), in mm/j

De verklaring voor de relatief grote verschillen tussen de uitkomsten van de laatste twee varianten is als volgt: als in de proeflocatie een, van de omgeving afwijkend, peil wordt ingesteld ontstaat als het ware lokaal een ondergronds grondwater-'eiland'. Gezien het doorlaatvermogen van het verzadigd grondwatersysteem en het nagenoeg ontbreken van weerstandbiedende lagen, zal er veel water naar de omgeving weglekken via het grondwatersysteem. Als de omgeving voorzien zou zijn van diverse SAWAX-stuwen, dan zouden ook daar de grondwaterstanden hoger zijn en zou dit laterale weglekeffect minder zijn of zelfs wegvallen (niet berekend in deze studie).

Het relatief lage rendement van wateraanvoer voor sub-irrigatie vergeleken met dat van beregening is overigens niet nieuw. Uit diverse onderzoeken (zie o. a. Van Bakel, 1986) bleek het berekende rendement van wateraanvoer voor subirrigatie, gedefinieerd als de toename van de jaarlijks gemiddelde verdamping gedeeld door de gemiddelde jaarlijkse wateraanvoer voor subirrigatie, zo'n 10 à 20% te zijn. Momenteel vindt er binnen het Programma Lumbricus² nader onderzoek plaats naar de efficiëntie van beregening en subinfiltratie. Door toepassing van KlimaatAdaptieve Drainage (KAD) en versie 2 van de SAWAX-stuw, ondersteund met modelberekeningen met SWAP en Hydrus-2/3D, wordt de kennis hierover geactualiseerd (Bartholomeus, 2018; Van den Eertwegh et al., 2018).

Conclusies

De veldproef met de SAWAX-stuw heeft uitgewezen dat technisch gezien de stuw goed werkt. Onder afvoersituaties zorgt de SAWAX-stuw voor beperking van de drainage door hogere waterpeilen in de perceelssloten, via een geringer verhang tussen grondwaterstand en slootpeil. Bij wateraanvoer met verhoogde slootpeilen vindt infiltratie plaats van kavelsloot naar perceel en worden hogere grondwaterstanden gerealiseerd in een zone rondom de kavelsloten. Op basis van verkennende modelberekeningen wordt geconcludeerd dat het hoger opzetten van de peilen in perceelssloten ten opzichte van de A-watgangen mogelijk kan leiden tot een hogere verdamping, afhankelijk van de bodemopbouw en hydrologie ter plekke. Daarvoor moet op de onderhavige locatie relatief veel water worden aangevoerd, mede omdat er wegzijging plaatsvindt naar het regionale grondwater. De omliggende terreinen hebben namelijk een diepere ontwateringsbasis dan het proefperceel, omdat de betreffende perceelssloten in de zomer geen opgezet peil hebben. De locatie is geschikt gebleken om de SAWAX-stuw technisch te testen; hydrologisch gezien was het wellicht niet de meest geschikte locatie.

Verdere ontwikkelingen

Het jaar 2017 heeft, na dichting van de lekkage in het slootsysteem, bruikbare waterbalansen opgeleverd. Eén jaar velddata vormt een smalle basis voor conclusies, ook al is met de Hydrus_2D-modelmatige aanpak ons inzicht in de werking van het bodem-water-systeem vergroot. Daarom zijn de veldmetingen in 2018 voortgezet en zullen aanvullende modelsimulaties worden uitgevoerd. Daarover zullen we in 2019 rapporteren, vooral ook omdat 2018 een zeer droog jaar was.

² www.programmalumbricus.nl

Afgelopen jaren is de SAWAX-stuw verder ontwikkeld en kunnen we spreken van een volgende generatie: de SAWAX 2.0 is ontworpen en gemaakt. Een belangrijke verbetering is dat de opstelling zodanig is aangepast, dat SAWAX in een standaard betonnen duiker kan worden gemonteerd waardoor er geen damwand meer geplaatst hoeft te worden. Ook is het handmatig hoger stellen van de uitstroomopening vergemakkelijkt, doordat op de duiker een spindel is gemonteerd. In situaties waar wateraanvoer mogelijk is, is een systeem ontwikkeld met een waterpomp op zonne-energie. In Stegeren (Ov.) is in het kader van het Programma Lumbricus een proefopstelling van SAWAX 2.0 gerealiseerd. In afbeelding 8 is de opstelling te zien. Bij deze proefopstelling worden de boven- en benedenstroomse slootwaterstanden, de bodemvochtgehalten en de grondwaterstanden in het proefperceel en het opgepompte debiet continu gemeten.



Afbeelding 8 De proefopstelling van SAWAX 2.0 in Stegeren (Ov.). Foto: Gé van den Eertwegh

Dankwoord

Met ondersteuning van het Kennis voor Klimaat-programma is een prototype van de SAWAX-stuw geconstrueerd waarmee werd aangetoond dat de stuw fysiek realiseerbaar was. Waterschap Vechtstromen zag potentie in het idee achter de SAWAX-stuw en maakte de constructie van een eerste versie in 2014 en het uittesten in een praktijkopstelling vanaf begin 2015 mogelijk. Financiële ondersteuning kwam daarnaast vanuit het regionale ZON-programma en van het toenmalige Ministerie van I&M. Momenteel vinden verdere ontwikkelingen plaats binnen Lumbricus, Onderzoeks-programma voor een klimaatrobuust bodem- en watersysteem.

Literatuur

- Bartholomeus, R.P., G.A.P.H. van den Eertwegh en M. van Huijgevoort** (2018) Subirrigatie met grondwater. Monitoring veldproef America, Waterschap Limburg.
- Bot, B.** (2016) Grondwaterzakboekje. Gwz 2016.
- Šimůnek, J. en M. Šejna** (2011) Hydrus user manual version 2. Software Package for Simulating the Two- and Three-Dimensional Movement of Water, Heat and Multiple Solutes in Variably-Saturated Media. January 2011. PC-Progress, Prague, Czech Republic.
- Steenis, J., J. Strijker, A. Fermont en P.-J. van Overloop** (2003) Slimme stuwen tegen wateroverlast. In: *H₂O* 2003(24): 26-28.
- Van Bakel, P.J.T.** (1986) Planning, design and operation of a regional surface water system. Proefschrift LUW.
- Van den Eertwegh, G., J. van Bakel en J. Mensink** (2018) SAWAX: slimme stuw voor optimaal peilbeheer. Verslag veldproef te Arriën in 2015-2017.
- Van Essen, E.** (2015) Bodemkundig en hydrologisch onderzoek proefperceel SAWAX stuw, Fam. Bakhuis te Arriën. Aequator Groen & Ruimte B.V.
- Van der Schoot, M., A. Hagenaar en I. Meijers-Groot** (z.j.) Wel goed watergeven. ZLTO/Provincie Noord-Brabant.
- Waterschap Aa en Maas** (2011) Evaluatie LOP-stuwen.
- Wösten, J.H.M., G.J. Veerman, W.J.M. de Groot en J. Stolte** (2001) Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland. De Staringreeks. Alterra-rapport 153.

Summary Smart surface water management with the SAWAX weir

In the freely draining part of the Netherlands, the area where the groundwater level is influenced by weirs located in the main watercourses, is limited. This area can be enlarged by using the newly developed SAWAX weir. This is a smart weir that can be installed in small watercourses (ditches). Its outflow level follows autonomously the rise and fall of the water level in the downstream (main) watercourse by a mechanical floating system. As a result, higher surface water levels can be achieved in these small watercourses without the intervention of the farmer. The 1.0 version of this SAWAX weir has functioned in a practical situation in 2015-2017. The test setup functioned well in a technical sense. The data from a soil survey and measurements of the water supply and discharge of water, open water levels and groundwater levels were used to build and run a Hydrus_2D model. The calculation results indicate that installation of the SAWAX weir results in a limited increase in crop transpiration of the test site. Recently, the SAWAX weir is technically improved and is extended with a solar energy unit facilitating water supply (SAWAX 2.0). It is currently being tested in the framework of the Program Lumbricus.

Auteurs

JAN VAN BAKEL

De Bakelse Stroom, Wageningen

jan.van.bakel@hetnet.nl

GÉ VAN DEN EERTWEGH

KnowH2O, Berg en Dal

eertwegh@knowh2o.nl

BAS WORM

Waterschap Vechtstromen, Almelo

b.worm@vechtstromen.nl

JON MENSINK

Avallo Advies, Liessel

info@avallo.nl