

# Verdamping en gewasontwikkeling onder droge omstandigheden: modelberekeningen van de werkelijke transpiratie van een aantal landbouwgewassen

DION VAN DEIJL, BERNARD VOORTMAN, JOOST SLEIDERINK, NYNCKE HOEKSTRA,  
MERIJN VAN DEN HOUT, JOP VAN DER WEL, NICK VAN EEKEREN EN GÉ VAN DEN EERTWEGH

Artikel

*Eén van de grootste posten in de waterbalans van percelen is verdamping. Om een goed beeld te krijgen van de wateropname van gewassen en het watergebruik in de landbouw zijn verdampingscijfers onmisbaar. Door de opkomst van nieuwe, meer droogteresistente gewassen en door de hoge kosten van verdampingsmetingen, zijn verdampingscijfers niet altijd voorhanden. We hebben in Stromingen 2022 (28), nr. 4 een middenweg beschreven tussen meten en modelleren om de potentiële verdamping van verschillende gewassen te kunnen bepalen. Deze methode is in dit artikel aangevuld met hydrologische modelberekeningen om de werkelijke verdamping af te leiden. Deze werkwijze is een alternatief voor het direct meten van verdamping en vervult daarmee een grote behoefte om betrouwbare verdampingscijfers te genereren. Dit gebeurt op basis van modelberekeningen en veldmetingen aan gewas, bodem, hydrologie.*

## Inleiding

Verdamping is een grote post in de waterbalans. In Nederland verdampt naar schatting ongeveer twee derde van de neerslag. De verdamping in een landbouwgebied is sterk afhankelijk van de gewaskeuze en irrigatiepraktijken binnen het gebied (Witte e.a., 2023). De verdampingscijfers van de meest gangbare gewassen binnen Nederland zijn bekend in de literatuur (Hooghart & Lablans, 1988). Er ontbreken echter verdampingscijfers van nieuwe, meer droogteresistente gewassen voor Nederland. Met nieuwe verdampingscijfers kan het watergebruik van nieuwe gewassen worden ingeschat ter ondersteuning van de gewaskeuze. De cijfers kunnen bijvoorbeeld worden gebruikt in een gedistribueerd waterbalansmodel (Terink e.a., 2023) om het effect van gewassen te bepalen op de waterbalans van een stroomgebied. In ons vorige artikel in Stromingen (Voortman e.a., 2022) hebben we de potentiële gewasverdamping berekend voor een selectie van deze nieuwe, meer droogteresistente gewassen.

**Droogteresistentie** is de mate van bestandheid tegen droogte (veelal samenhangend met hitte). In uiterste gevallen gaat het om het vermogen van een organisme om een droogteperiode te overleven. Bij cultuurgewassen verlangt men daarnaast dat de plant bij een niet al te extreme droogte ook nog een redelijke productie kan handhaven.

Welke kenmerken een plant bestand maken tegen droogte is nog onvoldoende bekend. Diepe beworteling, het vermogen om lijdelijke verwelking zonder al te veel schade te doorstaan en een dichte nervatuur worden wel als gunstige factoren aangegeven. Bestandheid tegen een schaarse mineralenvoorziening, wanneer de plant door droogte gedwongen wordt het vocht uit diepere en minder vruchtbare grondlagen te bemachtigen, is daarnaast een factor die veelal over het hoofd wordt gezien (Veerman, 1954).

In dit artikel gaan we verder met de potentiële gewasverdamping uit Voortman e.a. (2022) en vullen we de methodiek aan met een 1D-model voor onverzadigde zones. Met dit model hebben we de werkelijke gewasverdamping uitgerekend voor Engels raaigras, rode klaver, smalle weegbree, cichorei, mais en sorghum voor een nat en droog jaar (2021 en 2022). Met deze verdampingscijfers onderzoeken we de respons van de verschillende gewassen op droogte met betrekking tot gewasopbrengsten, verdamping en de zogenaamde *water use efficiency* (WUE, verhouding tussen opbrengst en verdamping). Dit artikel is tweeledig: enerzijds presenteren we een methode waarin we veldmetingen gebruiken voor de opbouw en validatie van een onverzadigde-zonemodel, anderzijds presenteren we gemeten drogestofopbrengsten en verdampingscijfers van nieuwe gewassen. De methode is ontwikkeld in de context van een gewassenexperiment in De Moer en Moergestel, dat is gerelateerd aan het internationale netwerk LegacyNet en het Nederlandse TKI-KLIMAP-project. In deze projecten wordt onder andere het verband tussen drogestofopbrengst en plantverdamping (transpiratie) onderzocht.

## Methodie

Een plant transpireert alleen als er genoeg vocht in de wortelzone beschikbaar is. Daarnaast vindt er alleen bodemverdamping plaats als er voldoende vocht in de bovenste bodemlaag aanwezig is. Als dit niet het geval is, reduceert de plant de transpiratie en de bodem de verdamping. Omdat deze reductie niet wordt gemeten in de veldopstelling, is de reductie gesimuleerd in een 1D-bodemkolommodel met Hydrus (Šimnek e.a., 2006). Het doel van de Hydrus 1D-berekeningen is om met de potentiële verdamping ( $ET_p$ ) (Voortman e.a., 2022) de werkelijke verdamping ( $ET_a$ ) van de verschillende gewassen te berekenen. Dit proces wordt gesimuleerd met Hydrus 1D voor zowel de transpiratie als de bodemverdamping. Hiermee zetten we de potentiële verdampingstermen bodemverdamping ( $E_p$ ) en transpiratie ( $T_p$ ) om naar de werkelijke verdampingstermen bodemverdamping ( $E_a$ ) en transpiratie ( $T_a$ ). De interceptieverdamping ( $Int$ ) wordt niet aangepast door het model en blijft dus gelijk.

In totaal zijn er drie locaties/percelen (één locatie in De Moer en twee locaties in Moergestel, locatie A en B), zes verschillende gewassen en twee seizoenen

doorgerekend. Dit resulteert in acht modelschematisaties (zie Tabel 1). De modelopbouw is onderverdeeld in vijf onderdelen, elk hieronder apart beschreven.

**Tabel 1** Modelschematisaties Hydrus 1D

Gewas	Model periode start	Model periode eind	Locatie
Engels raaigras	2021-04-01	2022-10-31	De Moer
Rode klaver	2021-04-01	2022-10-31	De Moer
Smalle weegbree	2021-04-01	2022-10-31	De Moer
Cichorei	2021-04-01	2022-10-31	De Moer
Mais	2021-04-01	2021-12-31	Moergestel A
Sorghum	2021-04-01	2021-12-31	Moergestel A
Mais	2021-04-01	2022-09-30	Moergestel B
Sorghum	2021-04-01	2022-09-30	Moergestel B

Ter ondersteuning van de modelberekeningen zijn op alle gewasplots metingen in de bodemkolom verricht. Op dieptes van 10, 25 en 50 cm is het vochtgehalte gemeten met behulp van een bodemvochtsensor en op de dieptes 25, 50 en 75 cm is de drukhoogte gemeten met een tensiometer. Daarnaast is op alle locaties de grondwaterstand gemeten met een peilbuis. Alle metingen zijn uitgevoerd met een meetfrequentie van 15 minuten.

### **Meteorologie**

De zomer van 2021 was nat in vergelijking met de droge zomers van de voorgaande jaren 2018, 2019, en 2020. Om met zekerheid ook onder droge omstandigheden veldgegevens te verzamelen, zijn vanaf 20-06-2022 tot 13-09-2022 droogteschermen geplaatst om ca. 90% van de neerslag af te vangen (Afbeelding 1), niet wetende dat er in 2022 een meteorologische droogte zou optreden. In Moergestel zijn geen schermen geplaatst bij de gewassen mais en sorghum. Voor de modelberekeningen zijn reeksen van de doorval ( $P_e$ , neerslag - interceptie), potentiële transpiratie ( $T_p$ ) en potentiële bodemverdamping ( $E_p$ ) nodig. Deze zijn gemaakt volgens de methode, beschreven in het voorgaande artikel (Voortman e.a., 2022)

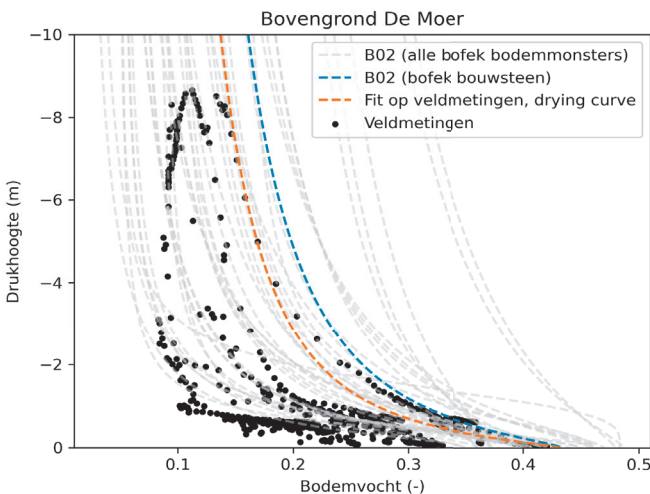


**Afbeelding 1** Droogteschermen De Moer

## Bodem

De bodem bestaat uit een zwak lemige zandgrond met een ca. 40 cm diepe bovenlaag die organische stoffen bevat. Daaronder zit een scherpe overgang naar wit leemarm, zeer fijn tot matig fijn zand. Alle modellen bestaan uit een bodemkolom van 70 cm. Als basis gebruiken we de eigenschappen uit de Staringreeks 2018. B02 voor de bovengrond (0 tot 40 cm diep) en O01 voor de ondergrond (40 tot 70 cm diep). (Heinen e.a., 2020, 2021)

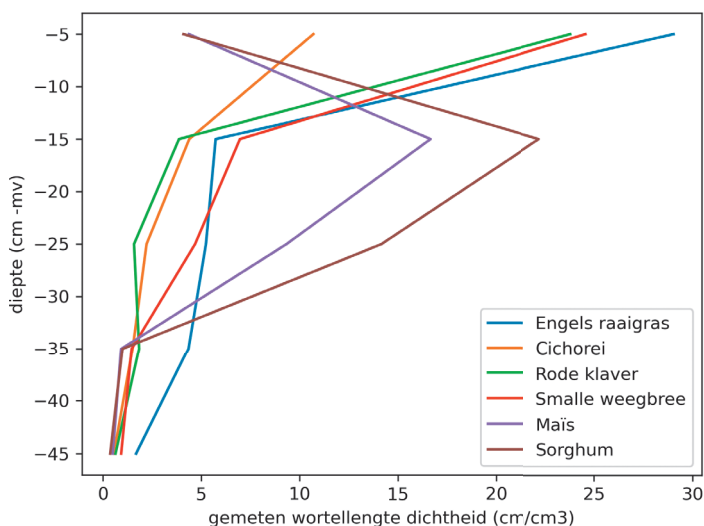
Omdat we in het veld de drukhoogtes en het vochtgehalte meten op verschillende dieptes, zijn we in de gelegenheid om de standaard  $pF$ -curve uit de Staringreeks te vergelijken met de veldmetingen (Afbeelding 2). Daaruit valt op te maken dat de veldmetingen binnen de bandbreedte vallen van alle  $pF$ -curves uit de Staringreeks die zijn bepaald voor de afzonderlijke bodemmonsters van B02 bodems. Ook valt op dat de veldmetingen aan de droge kant van de verdeling liggen en zijn zogenaamde scanning curves zichtbaar veroorzaakt door hysteresis (uitdroging en vernatting verloopt niet via dezelfde curve). Op basis van deze metingen hebben we besloten om alleen bodemparameter  $\alpha$  aan te passen in de  $pF$ -curve van onze bovengrond, om de veldmetingen beter te representeren. Het fitten van de drie locaties leverde driemaal dezelfde correctie op voor parameter  $\alpha$ , van 0,0216 naar 0,0364 (1/cm). Hierdoor is de gemodelleerde bodemopbouw hetzelfde voor de drie locaties. Deze aanpassingen zijn alleen gedaan voor de bovengrond (B02), omdat we alleen voor de bovengrond voldoende metingen hadden. De bodemparameter  $n$  (vormparameter van de  $pF$ -curve) is niet aangepast, omdat deze parameter ook effect heeft op de  $k(h)$ -relatie, waarvan we geen metingen hebben. Deze procedure heeft geleid tot een aanpassing van de  $pF$ -curve die alleen representatief is voor uitdrogingsprocessen (drying curve). Hysteresis in de  $pF$ -curve is verder niet meegenomen in onze berekeningen, omdat uit een indicatieve modelsimulatie bleek dat dit weinig tot geen invloed had op de werkelijke verdamping. Gebruikte sensoren voor de fitting en modelbodemparemeters voor alle drie de locaties zijn opgenomen in de digitale bijlage (deze is beschikbaar in de digitale versie van dit artikel).



Afbeelding 2 Gefitte  $pF$ -curve bovengrond van locatie De Moer

### **Wortelverdeling en wortelwateropname**

In het groeiseizoen van 2021 is voor alle gewassen het wortelprofiel gemeten in het veld. Het wortelprofiel is bepaald door in alle plots waar de bodemvochtmetingen werden gedaan twee bodemkernen uit te steken met een diameter van 8 cm en een diepte van 50 cm, opgesplitst in lagen van 10 cm. Na schoonspoelen is het drooggewicht van de wortels bepaald. De totale wortellengte per bodemlaag (o.b.v. een gescand sub-monster) is bepaald m.b.v. WinRhizo-software (Deru e.a., 2014). Deze wortelprofielen zijn gebruikt om de worteldiepte en wortelverdeling te schematiseren in het model. Voor de vochtopnamen/reductie is er gebruikgemaakt van het Feddes-model (Feddes e.a., 1978) met parameters van grasland (voor Engels raaigras, cichorei, rode klaver en smalle weegbree) en mais (voor mais en sorghum) (Taylor e.a., 1972; Wesseling, 1991). In het model vindt geen wortel-wateropnamecompensatie plaats. Dit betekent dat bij een vochttekort in een deel van de wortelzone de wateropname niet kan worden gecompenseerd uit een ander deel van de wortelzone, zonder vochttekort. Bij volledige compensatie (compensated root water uptake) wordt bijna het volledige vochttekort gecompenseerd door het diepere deel van de wortelzone op de drie onderzochte locaties. Hierdoor treedt er geen tot zeer weinig reductie in verdamping op. Vanwege deze onrealistische resultaten voor de droge zomer van 2022, is de 'compensated root water uptake' uitgeschakeld.



**Afbeelding 3** Gemeten worteldichtheid in De Moer en Moergestel in 2021

### **Modelrandvoorwaarden**

De bovenrand van het model heeft als inputreeks de eerder beschreven meteorologische reeksen en op de onderrand is een variabele drukhoogte opgelegd. Deze drukhoogte is gemeten in het veld door een drukopnemer (grondwaterstand; positieve drukhoogte) of een tensiometer (negatieve drukhoogte, zuigspanning) in het veld. Voor de modellen Mais 2022 en Sorghum 2022 is de drukhoogte gecorrigeerd met 0,2 m van 0,5 m-mv naar 0,7 m-mv vanwege het ontbreken van metingen op deze diepte in 2022 op deze locaties (Tabel 2). De elegantie van deze relatief ondiepe ligging van de onderrand is dat we het model forceren

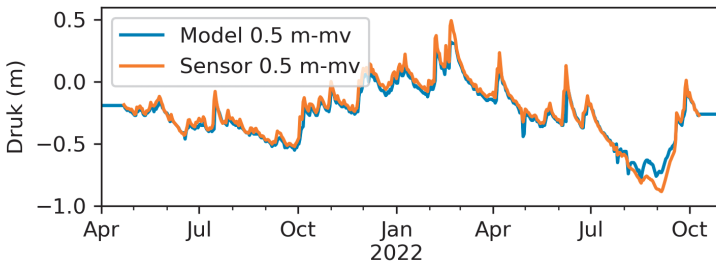
de gemeten drukhoogte uit het veld te volgen. Daarmee verkleinen we onzekerheden in bijvoorbeeld capillaire nalevering of opbolling door een drainagefunctie in de berekeningen van werkelijke verdamping.

**Tabel 2** Onderrandvoorwaarden modellen op 0,7 m-mv

Plot	Onderrand
Engels raaigras	Grondwaterstand
Rode klaver	Grondwaterstand
Smalle weegbree	Grondwaterstand
Cichorei	Grondwaterstand
Mais 2021	Tensiometer op 0,7 m-mv
Mais 2022	Tensiometer op 0,5 m-mv gecorrigeerd naar 0,7 m-mv
Sorghum 2021	Tensiometer op 0,7 m-mv
Sorghum 2022	Tensiometer op 0,5 m-mv gecorrigeerd naar 0,7 m-mv

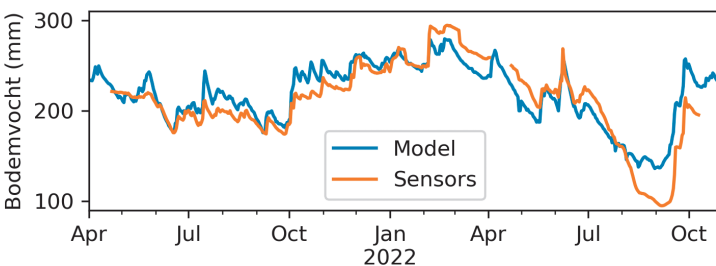
### Modelvalidatie

De modeluitkomsten zijn gevalideerd met verschillende veldmetingen. Hieronder zijn als voorbeeld de modeluitkomsten van Engels raaigras vergeleken met de veldmetingen. De figuren van de andere modellen zijn opgenomen in de digitale bijlage. De validatie is gedaan met gemeten (tensiometers) en gesimuleerde drukhoogte op -0,25 en -0,5 m-mv (Afbeelding 4). Het model en de tensiometer komen vrijwel overeen. Dit laat zien dat de opgelegde onderrand in het model voor eenzelfde drukhoogte zorgt als gemeten is in het veld.



**Afbeelding 4** Gemodelleerde en gemeten drukhoogte Engels Raaigras op 50 cm onder maaiveld

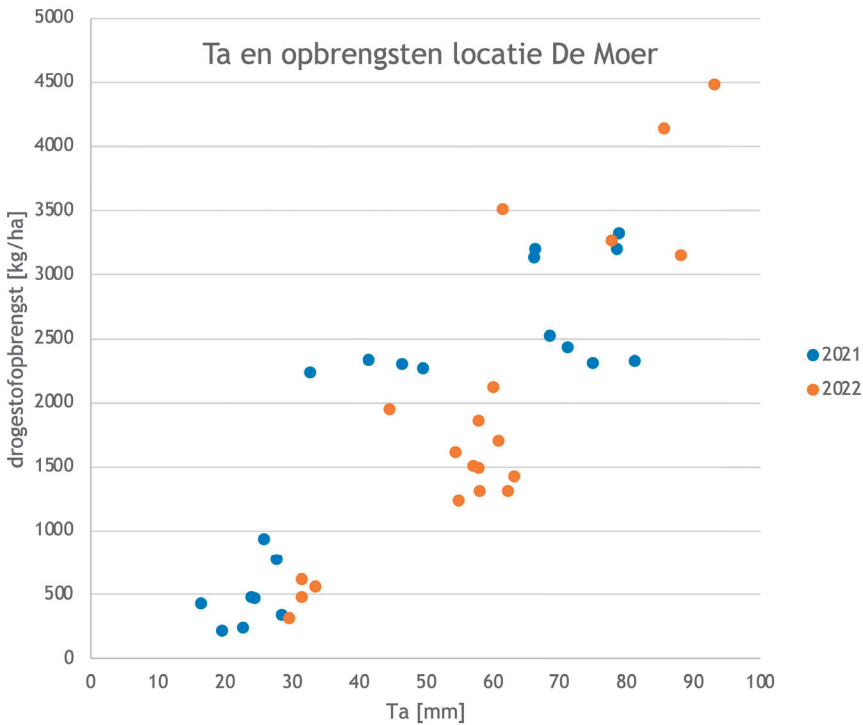
Daarnaast is het bodemvocht in millimeters in het bodemprofiel gemodelleerd en vergeleken met de gemeten waarden. Het totale volume water in het profiel



**Afbeelding 5** Gemodelleerd en gemeten bodemvochtvolume in het hele profiel van Engels raaigras

in millimeters in het veld is gebaseerd op een integraalberekening van de vier bodemvochtsensoren. In Afbeelding 5 is een voorbeeld gegeven voor de bodemkolom van Engels Raaigras. De dynamiek en absolute waarden van het volume lijken sterk op elkaar.

Daarnaast is transpiratie ( $Ta$ ) vergeleken met de drogestofopbrengst van de verschillende gewassen per snede voor locatie De Moer. Uit de literatuur blijkt dat deze relatie vaak lineair is (de Wit, 1958). Afbeelding 6 toont  $Ta$  en de gemeten drogestofopbrengst, waarin duidelijk een lineaire relatie te zien is. Dit laat zien dat een lagere gemodelleerde  $Ta$  resulteert in een lagere gemeten opbrengst in het veld.



**Afbeelding 6** Gemodelleerde werkelijke transpiratie uitgezet tegen drogestofopbrengst per snede voor de gewassen bij Locatie De Moer

### Watergebruik

Om het watergebruik van de verschillende gewassen te vergelijken, is de water use efficiency ( $WUE$ , formule 4) berekend (Briggs & Shantz, 1913). Het totale watergebruik ( $ETa$ , formule 2) van het gewas is gebruikt voor de  $WUE$ . Daarnaast is het watergebruik van het jaar 2022 vergeleken met het watergebruik van het natte jaar 2021 ( $dWUE$ , formule 5)

$$ETp = Ep + Tp + Int \tag{1}$$

$$ETa = Ea + Ta + Int \tag{2}$$

$$ET_{def} = ET_p - ET_a \quad (3)$$

$$WUE = DS / ET_a \quad (4)$$

$$\Delta WUE = WUE_{2021} - WUE_{2022} \quad (5)$$

Met:

$ET_p$  = Potentiële verdamping

$ET_a$  = Werkelijke verdamping

$E_p$  = Potentiële bodemverdamping

$T_p$  = Potentiële transpiratie

$E_a$  = Werkelijke bodemverdamping

$T_a$  = Werkelijke transpiratie

$Int$  = Interceptieverdamping

$ET_p$  = Potentiële verdamping

$ET_a$  = Werkelijke verdamping

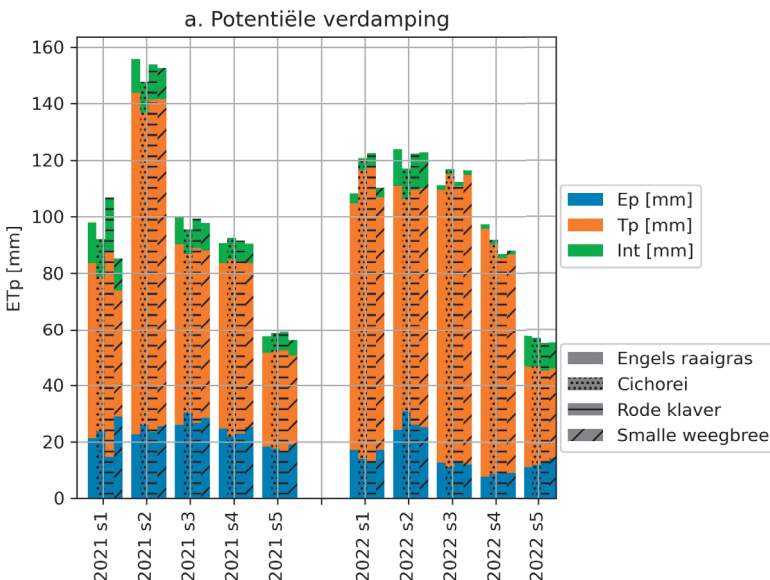
$DS$  = Drogestofopbrengst

$WUE$  = Water use efficiency

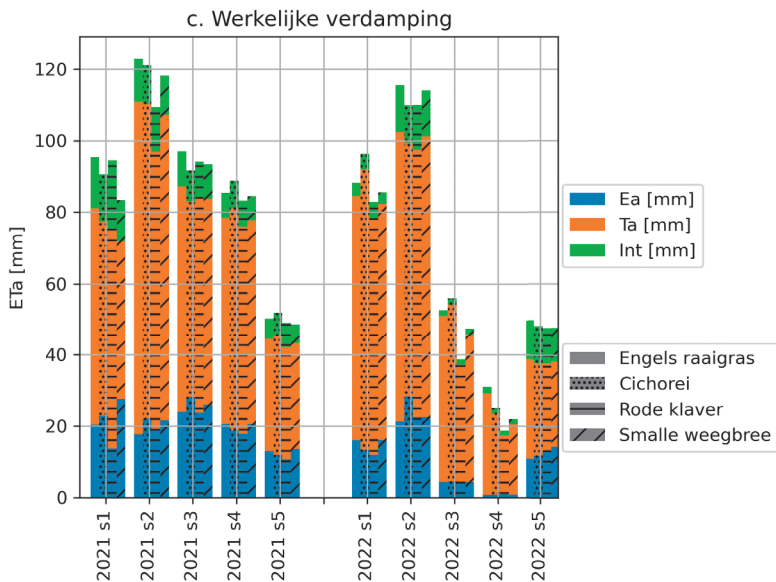
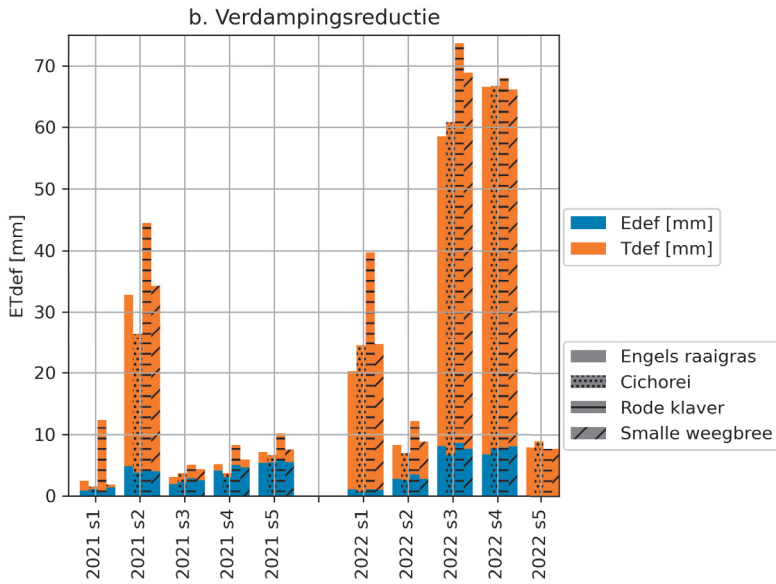
$\Delta WUE$  = Verschil in Water use efficiency tussen de jaren 2021 en 2022

## Modelresultaten

Voor alle zes gewassen zijn er voor de jaren 2021 en 2022 verdampingscijfers berekend per groeiseizoen en snede (een snede is het oogsten of maaien van gewassen, zoals gras of hooi, op een specifiek moment in het groeiseizoen. In een groeiseizoen komen meerdere snedes voor). Hierdoor kunnen de verdampingscijfers worden vergeleken met de opbrengstcijfers. Alle cijfers zijn weergegeven in Tabel 3. De gewassen Engels raaigras, cichorei, rode klaver en smalle weegbree zijn weergegeven in Afbeelding 7. De figuren voor mais en sorghum zijn opgenomen in de digitale bijlage.







Afbeelding 7a+b+c Verdampingscijfers De Moer, de termen zijn per snede bepaald

De verdampingscijfers zijn per snede bepaald, zodat de opbrengstcijfers kunnen worden vergeleken. De lengte (aantal dagen) van de snede kan verschillen. Elk gewas heeft een gemeten bedekking en bladoppervlak ( $LA$ ) (Voortman e.a., 2022) die varieert in de tijd. Dit heeft ook geresulteerd in verschillen in  $Ea$ ,  $Ta$  en  $Int$ .

De potentiële verdamping wordt het meest gereduceerd in de tweede snede van 2021 en in de eerste, derde en vierde snede van het droge jaar 2022. Daarnaast reduceert Rode klaver bij vrijwel alle snedes het meest. De verschillende verdampingstermen van mais en sorghum zijn opgenomen in de digitale bijlage.

**Tabel 3** Verdampingscijfers De Moer en Moergestel

Gewas	Seizoen	dagen	ETp [mm]	ETa [mm]	ETDef [mm]	ETDef [%]	DS [kg/ha]	WUE [kg/m <sup>3</sup> ]	d WUE [kg/m <sup>3</sup> ]
Raaigras	2021	193	502	451	51	10	9581	2,1	
	2022	191	498	337	161	32	8252	2,5	0,3
Cichorei	2021	193	486	444	42	9	7871	1,8	
	2022	191	503	335	168	33	9069	2,7	0,9
Rode klaver	2021	193	511	430	80	16	10822	2,5	
	2022	191	499	298	201	40	8581	2,9	0,4
Smalle weegbree	2021	193	482	428	54	11	9765	2,3	
	2022	191	493	317	176	36	9553	3,0	0,7
Mais	2021	150	450	403	47	10	24570	6,1	
	2022	125	433	305	128	30	12179	4,0	-2,1
Sorghum	2021	150	430	403	27	6	10706	2,7	
	2022	125	358	266	93	26	7064	2,7	0,0

In het droge jaar 2022 treden watertekorten op en reduceren alle gewassen de verdamping meer dan in het natte jaar 2021. Het watertekort heeft voor de meeste gewassen geresulteerd in een lagere drogestofopbrengst. Het is opvallend dat Engels raaigras de laagste opbrengst heeft voor 2022 en cichorei een toename laat zien t.o.v. 2021. Deze toename voor cichorei lijkt eerder het gevolg van een opvallend lage opbrengst van 7871 kg/ha in het natte jaar 2021. De opbrengst voor mais in 2021 is opvallend hoog en het verschil met 2022 is dan ook groot. Toch blijft mais de hoogste opbrengst leveren tegen ongeveer een gelijk waterverbruik en is de WUE dus het hoogst. Voor de meeste gewassen neemt de WUE toe in het droge jaar (zie kolom *dWUE*, tabel 3). Alleen mais laat een daling zien. In vergelijking met andere soortgelijke gewassen presteren Engels raaigras en mais minder goed wat betreft het watergebruik tussen natte en droge jaren (*dWUE*). In het geval van mais als standaardgewas -2,1 *dWUE*, voor sorghum 0,0 *dWUE*. Voor Engels raaigras als standaardgewas 0,3 *dWUE*, voor de andere gewassen met een *dWUE* tussen de 0,4 en 0,9

## Discussie en conclusie

### Methode

De toegepaste modelmethode is geschikt om potentiële verdamping om te rekenen naar werkelijke verdamping. Niettemin laat de modelaanpak ook zien dat er veel vrijheidsgraden zijn in de modelparameters, die direct invloed hebben op de berekende werkelijke verdamping. De vrijheidsgraden kunnen we grotendeels beperken door gebruik te maken van veldmetingen van de bodem (*pF*-curve), wortelverdelingen en ter validatie van het model metingen aan zuigspanning, bodemvochtgehalte en gewasopbrengsten. De modelaanpak blijft zo dicht mogelijk bij de standaard gebruikte modelparameters van Hydrus, bodem-

parameters uit Bofek en Feddes-parameters met enkele correcties op basis van veldmetingen.

De bodemparameters van de B02 bodem (bovengrond) zijn gecorrigeerd met behulp van veldmetingen, wat aantoont dat er ruimte is voor correcties op veldmetingen binnen dit type bodem. Het fitten van de  $n$ -parameter is ook mogelijk, maar hiermee wordt ook de  $k(h)$ -relatie beïnvloed, waarvan geen veldgegevens beschikbaar zijn. Daarom is gekozen om alleen de  $\alpha$ -parameter aan te passen. Het doel van het onderzoek is niet het corrigeren of kalibreren van bodemparameters, maar is er een kleine aanpassing gedaan als *proof of concept*. In ons geval is de afwijking met de literatuurcijfers niet zo groot. Dat geeft ons in dit geval vertrouwen in de gebruikte  $pF$ -curve. Verder onderzoek naar het effect van veldfitting op modeluitkomsten en verschillende fittingen kan leiden tot betere prestaties van onverzadigde modellen ten opzichte van veldmetingen.

Er zijn enkele onzekerheden in de veldmetingen, zoals de absolute waarden van de metingen met de bodemvochtsensoren, die gebruikmaken van een standaard kalibratie-curve, de beperkingen van de metingen van de tensiometers onder droge omstandigheden (doorslaan) en de exacte tensiometer-diepte voor de metingen. Omdat standaard kalibratie-curven van bodemvochtsensoren vaak voor zandgronden zijn ontwikkeld, geeft dat in ons geval een voordeel. In andere gronden moeten absolute cijfers zonder veldkalibratie met terughoudendheid worden gebruikt.

In het huidige model is geen rekening gehouden met de wortelontwikkeling; de wortelverdeling blijft constant gedurende de gehele modelperiode. Deze aanpak is passend voor de gewassen in De Moer, aangezien die volledig ontwikkeld waren aan het begin van de modelperiode. Echter, voor de gewassen in Moergestel is deze benadering minder realistisch. In Moergestel werden mais en sorghum opnieuw gezaaid aan het begin van het groeiseizoen. De  $T_p$  is echter gebaseerd op gewasmetingen zoals  $LAI$ , wat naar verwachting een representatie geeft van de wortelontwikkeling. Hierdoor wordt in het begin van het seizoen de vochtopname niet overschat, ondanks het ontbreken van directe metingen van wortelontwikkeling. Hoewel het Hydrus-model een module voor wortelontwikkeling bevat, is deze niet ingezet in deze studie. Het zou interessant zijn om te onderzoeken hoe variërende wortelontwikkeling, bijvoorbeeld geen wortels bij het zaaimoment en een volledige wortelverdeling halverwege het groeiseizoen, de verdamping beïnvloedt.

Bovendien zijn de waargenomen worteldieptes in het veld vrijwel gelijk voor alle gewassen, wat mogelijk wordt veroorzaakt door een witte zandlaag onder de bouwvoor. Een verdere verkenning zou kunnen uitwijzen welk effect diepere wortels hebben op de verdamping, vooral omdat meer droogteresistente gewassen vaak diep wortelen.

Daarnaast zijn maar twee verschillende sets aan Feddes-wortelparameters gebruikt. Als in de literatuur andere Feddes-parameters beschikbaar zijn (voor de gewassen), kan worden onderzocht wat de verschillende Feddes-parameters voor effect hebben op de werkelijke verdamping.

Met behulp van onze ontwikkelde methode demonstreren we hoe veldmetingen kunnen worden geïntegreerd met een hydrologisch model. Het samenvoegen van deze twee elementen is vaak uitdagend, omdat de resultaten doorgaans niet naadloos op elkaar aansluiten. Desondanks zijn we erin geslaagd een methode te creëren waarmee we verdampingscijfers kunnen berekenen. Bovendien biedt deze methode mogelijkheden om nieuwe verdampingscijfers te berekenen in verschillende modelscenario's met uiteenlopende randvoorwaarden, bijvoorbeeld klimaatscenario's of andere worteldieptes.

### **Verdampingscijfers**

Het verschil in potentiële verdamping tussen de gewassen kan grotendeels worden verklaard door verschillen in bodembedekking en bladoppervlak, wat resulteert in variaties in bodem- en interceptieverdamping. In het jaar 2021 was de reductie voor alle gewassen ongeveer 10%. In het droge jaar 2023 nam de reductie toe tot 32-40% in De Moer en 26-30% in Moergestel. Hieruit blijkt dat het maximale verschil in reductie bij vergelijkbare gewassen maximaal 8% bedroeg. Dit duidt erop dat het verschil in verdampingscijfers tussen de gewassen niet erg groot is. Bij de opbrengstcijfers is er wel een aanzienlijk verschil in prestaties tussen de gewassen. Dit verschil kan deels worden verklaard doordat sorghum en mais C4-planten zijn (Sinclair e.a., 1975). Het watergebruik van sorghum is ongeveer gelijk aan dat van C3-planten. Daarnaast valt op dat in het droge jaar (2022) de *WUE* hoger is voor de onderzochte gewassen, in vergeleken met de standaardgewassen (Engels raaigras en mais). Dit laat zien dat de onderzochte gewassen meer droge stof produceren per m<sup>3</sup> water in een droog jaar. Hierbij is het belangrijk te vermelden dat alle gewassen niet diep wortelden en ze het water dus uit een (ongeveer) gelijke bodemkolom moesten halen.

Het blijft een uitdaging om binnen deze studie een volledige beoordeling te maken van de droogteresistentie van de geteelde gewassen. Dit komt voornamelijk doordat droogteresistentie veel bredere aspecten omvat dan alleen de werkelijke verdamping en de *WUE*. Het vermogen van gewassen om te herstellen na een droge periode is van groot belang. Daarnaast speelt ook het effect van droogte op de groei van eenjarige of meerjarige planten een belangrijke rol. Wat ons wel is opgevallen, is dat Engels raaigras de laagste opbrengst had in het droge jaar en mais een hele stevige daling in drogestofopbrengst liet zien. Dit geeft indicaties dat de andere gewassen de droogte beter kunnen doorstaan.

### **Literatuur**

**Briggs, L. J., & Shantz, H. L.** (1913). The water requirement of plants. *Bureau of Plant Industry Bulletin*, 282-285.

**De Wit, C. T.** (1958). Transpiration and crop yields. *Inst. of Biol. and Chem. Res. on Field Crops and Herbage*.

**Deru, J.G.C., H. Schilder, J.R. van der Schoot, N. van Eekeren.** (2014). Genetic differences in root mass of *Lolium perenne* varieties under field conditions. *Euphytica*. 199(1-2):223-232.

**Feddes, R. A., Kowalik, P. J. en Zaradny, H.** (1978). Simulation of field water use and crop yield. (Centre for Agricultural Publishing and Documentation: Wage-

ningen, The Netherlands). *Simulation of field water use and crop yield*. Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen, the Netherlands.

**Hooghart, J. C. en Lablans, W. N.** (1988). van Penman naar Makkink. *KNMI*.

**Šimnek, J., Van Genuchten, M. T. en Šejna, M.** (2006). The HYDRUS software package for simulating two-and three-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably-saturated media. *Technical manual, version, 1*, 241.

**Sinclair, T. R., Bingham, G. E., Lemon, E. R. en Allen L. Hartwell, Jr.** (1975). Water Use Efficiency of Field-grown Maize during Moisture Stress 1. *Plant Physiology*, 56(2), 245–249. <https://doi.org/10.1104/pp.56.2.245>

**Taylor, S. A., Ashcroft, G. L., en anderen** (1972). *Physical edaphology. The physics of irrigated and nonirrigated soils*.

**Terink, W., van Deijl, D. en Van den Eertwegh, G.** (2023). Waterhuishoudkundige maatregelen en teeltkeuzes voor droogte-adaptatie: een casestudie voor het stroomgebied Reusel Bovenstroom. *Stromingen*.

**Veerman.** (1954). *Agrarisch Encyclopedie*

**Voortman, B., Sleiderink, J., van Deijl, D., Hoekstra, N., den Hout, M., der Wel, J., van Eekeren, N. en Van den Eertwegh, G.** (2022). Een generieke methode voor het berekenen van potentiële gewasverdamping op basis van gemeten gewaseigenschappen. *Stromingen*, 4.

**Wesseling, J. G.** (1991). *Meerjarige simulatie van grondwaterstroming voor verschillende bodemprofielen, grondwatertrappen en gewassen met het model SWATRE*.

**Witte, J.-P., Van den Eertwegh, G. A. P. H. en van Deijl, D.** (2023). Met graan meer grondwater. *Water Governance*, 1. <https://edepot.wur.nl/585389>

### Summary Evapotranspiration and Crop Development Under Dry Conditions: Modelling Actual Evapotranspiration of Several Agricultural Crops.

*This study focuses on estimating actual evapotranspiration for various agricultural crops under dry conditions. By combining measurements and hydrological models, the research aims to bridge the gap between direct measurements and modelling approaches. Six crop types, including perennial rye grass, red clover, ribwort plantain, chicory, maize, and sorghum, were examined in a field experiment. Results revealed that actual evapotranspiration was significantly reduced during dry periods, particularly in the summer of 2022. Moreover, differences in water use efficiency (WUE) between C3 and C4 plants and drought-resistant crops were observed. The proposed method offers a tool to generate evapotranspiration data for different crops, aiding in informed decision-making for water management and sustainable crop selection.*

## Auteurs

DION VAN DEIJL  
KnowH2O  
*deijl@knowh2o.nl*

BERNARD VOORTMAN  
Moisture Matters  
*bernard.voortman@moisture-matters.nl*

JOOST SLEIDERINK  
Louis Bolk Instituut  
*j.sleiderink@louisbolk.nl*

NYNCKE HOEKSTRA  
Louis Bolk Instituut  
*n.hoekstra@louisbolk.nl*

MERIJN VAN DEN HOUT  
Louis Bolk Instituut  
*m.vandenhout@louisbolk.nl*

JOP VAN DER WEL  
Louis Bolk Instituut / Wageningen University and Research  
*jop.vanderwel@wur.nl*

NICK VAN EEKEREN  
Louis Bolk Instituut  
*n.vaneekeren@louisbolk.nl*

GÉ VAN DEN EERTWEGH  
KnowH2O  
*eertwegh@knowh2o.nl*