

Handleiding beregeningsadvies

De kernvraag bij beregenen is waar, wanneer en hoeveel te beregenen? Hiertoe is inzicht nodig in de factoren die dit bepalen. Deze hebben betrekking op bodem, hydrologie, gewas en weer. Met kennis hiervan is enerzijds het beregeningsmoment gemakkelijker te herkennen en geeft het anderzijds inzicht in de gewenste beregeningsgift. Voordat beregening daadwerkelijk ingezet wordt is het raadzaam om na te denken over de inzet van beregening. Uiteindelijk kunnen keuzes gemaakt worden op strategisch, tactisch en operationeel niveau.

Inhoud

INLEIDING	2
MOTIVATIE BEREGENEN	2
Melkveehouderij	2
Akkerbouw, bollen en vollegrondsgroenteteelt	2
INZET BEREGENING	3
Strategisch	3
Tactisch	3
Operationeel	4
WATERBALANS	5
BODEM	6
HYDROLOGIE.....	13
GEWAS	15
VERDAMPING	19
NEERSLAG	23
WATERGEBRUIK EN BEREGENINGSEFFICIENTIE	26
Watergebruik gewassen.....	26
Hydrologische efficiëntie van beregening.....	27
ADVIESSYSTEMEN.....	28
Algemeen.....	28
Voorbeeldberekening giftgrootte beregening.....	28
Aandachtspunten bodemsensoren	29
Gebruik gutsboor en visueel beoordelen van de bovengrond	31
Irrigatie Advies	31
TEELTMAATREGELEN	32
KENNISLEEMTEN.....	32
VUISTREGELS.....	33
BRONNEN EN LINKS	34
COLOFON.....	36
DISCLAIMER.....	36
Bijlage 1. Bouwstenen Staringreeks	37
Bijlage 2 Vochtinhoud in relatie tot pF-waarde	39

INLEIDING

Water is een cruciale productiefactor voor gewasproductie. Bij een voldoende nutriëntenvoorziening is de productie bij benadering lineair evenredig met de vochtvoorziening (Doorenbos en Kassam, 1979). Onvoldoende beschikbaarheid van vocht leidt zodoende direct tot opbrengstverlies en tot een verminderde nutriëntenopname. Met beregening kan de vochtvoorraad in de wortelzone worden aangevuld. Daarbij is het van belang is om enerzijds voldoende te beregenen, zodat de groei van het gewas niet geremd wordt, en anderzijds niet te veel te beregenen om verlies van water naar de ondergrond (buiten het bereik van de wortels) te voorkomen. Bovendien verhoogt waterverlies de kosten en bestaat het risico dat gemakkelijk oplosbare nutriënten uitspoelen. De vraag is echter hoe het gewenste tijdstip van beregenen herkend kan worden en hoeveel beregend moet worden. Hiertoe is inzicht nodig in de hiervoor bepalende factoren betreffende bodem, hydrologie, gewas en weer. In dit document worden de belangrijkste factoren behandeld en zoveel mogelijk kwantitatief gemaakt om het gewenste beregeningsmoment en de giftgrootte te bepalen. Gestart wordt echter met de motivatie van beregening voor melkveehouders en telers van akkerbouwmatige teelten en een nadere beschouwing van de inzet van beregening op verschillende management niveaus.

MOTIVATIE BEREGENEN

Melkveehouderij

Beregening verhoogt de productie van gras en snijmaïs of leidt eerder tot het gewenste productieniveau van gras. Het eerder bereiken van een gewenst opbrengstniveau is vooral van belang voor melkveehouders die vee weiden. Zij willen voorkomen dat in droge perioden melkkoeien tussentijds moeten worden opgesteld door onvoldoende grasaanbod. Beregening verhoogt niet alleen de droge stofopbrengst van gras, maar vergroot ook de stikstofopname van gras in relatie tot de droge stofopbrengst, waardoor de stikstofbenutting verbetert. Dit bleek uit een beregeningsproef die is uitgevoerd op het voormalige melkveeproefbedrijf Aver Heino in de periode 1982-1984 (Wouters et al., 1992). Om de ruwvoerproductie te verhogen is het effectiever om snijmaïs te beregenen dan gras, omdat snijmaïs aanmerkelijk efficiënter met vocht omgaat (Smidt et al. 1998 en Aarts et al., 1999).

Naast productieverhoging is het verminderen van het risico op een snelle verslechtering van de botanische samenstelling door droogte een belangrijke economische motivatie om grasland te beregenen. Door te beregenen hoeft een graszode minder snel vernieuwd te worden en is het gebruik van onkruidbestrijdingsmiddelen lager. Door de hoge kosten van graslandvernieuwing en onkruidbestrijding is voor melkveehouders uiteindelijk het behoud van een goede botanische samenstelling een minstens zo belangrijk economisch motief dan het vergroten van de grasproductie. Beregening zorgt niet alleen voor productieverhoging, maar ook voor een betere nutriëntenbenutting. Samengevat is het motief voor melkveehouders om te beregenen als volgt:

1. Voorkomen herinzaai en terugdringen onkruidbestrijding
2. Betere stikstofbenutting
3. Voldoende grasaanbod om melkvee te kunnen blijven weiden
4. Verhogen van de ruwvoerproductie
5. Behoud ruwvoer kwaliteit

Akkerbouw, bollen en vollegrondsgroenteteelt

Akkerbouwgewassen, bollen en vollegrondsgroenten hebben baat bij een continue watervoorziening voor een kwalitatief en kwantitatief optimale productie. In de akkerbouw is de

noodzaak en efficiëntie van beregenen een punt van discussie. Het gaat hier vooral om de economische meerwaarde van beregenen. Beregenen wordt in de akkerbouw het meest toegepast in de teelt van uien en consumptieaardappelen.

In de vollegrondsgroenteteelt is de meerwaarde van beregening duidelijker en wordt het als een noodzakelijke productievoorwaarde gezien. Beregening bevordert het aanslaan van plantmateriaal, het handhaven van de kwaliteit, de beschikbaarheid van nutriënten en het verbeteren van de werking van bodemherbiciden (Dekkers, 2000).

Bollen als tulpen en lelies zijn kapitaal intensieve gewassen en ook hier wordt het kunnen beregenen als een noodzakelijke productievoorwaarde beschouwd. Beregening wordt gebruikt om voorjaarsbollen te beschermen tegen vorst. Daarnaast wordt beregening gebruikt voor een continue aanvoer van vocht gedurende het groeiseizoen, zodat de plant alle beschikbare energie kan steken in de groei van de bollen. Bolgewassen (ook uien) wortelen vaak maar tot 15-20 cm diep. Deze beperkte worteldiepte maakt het gewas gevoelig voor verdroging.

INZET BEREGENING

De inzet van beregening vraagt het maken van keuzes op strategisch, tactisch en operationeel niveau:

- Strategisch: welke gewassen en hoe moeten deze beregend worden?
- Tactisch: inzet beschikbare capaciteit (prioritering)
- Operationeel: herkennen van het kritieke moment van beregenen (wanneer en hoeveel)

Strategisch

De inzet van beregening is een economische afweging. Des te kapitaalintensiever een gewas, des te eerder beregening uit kan. Per gewas kan deze afweging gemaakt worden, echter dit wordt lastiger naarmate een teelt marginaler en het risico op droogte kleiner is.

In de melkveehouderij is het de keuze om de zelfvoorziening van ruwvoer op peil gehouden door voer aan te kopen, te beregenen of voeraankoop en beregening te combineren. Voor grasland is het behoud van de graszode uiteindelijk een minstens zo belangrijke motivatie om te beregenen dan het op peil houden van de grasproductie en dat komt door de relatief hoge kosten voor het vernieuwen van een graszode. Door beregening kunnen ongewenste grassoorten zoals kweekgras en onkruiden langer onderdrukt worden. Zie in de volgende paragraaf welke aanbevelingen worden gedaan voor de inzet van beregening van grasland en het behoud van grasland.

Tactisch

Veelal is de capaciteit voor beregening niet toereikend om alle gewassen tijdig van voldoende water te voorzien en moeten keuzes gemaakt worden. Economisch gezien gaat de voorkeur uit naar gewassen met een hoog saldo. Naast productieverlies speelt ook het verlies aan kwaliteit van het te oogsten product een belangrijke rol.

Voor het zo goed mogelijk benutten van water gaat de voorkeur uit naar gewassen die efficiënt omgaan met water. Maïs is bij uitstek een gewas dat water efficiënt benut en zeker bij relatief hoge zomerse temperaturen. Dit komt omdat maïs een tropisch (C4) gewas is in tegenstelling tot de gangbare (C3) gewassen. Voor melkveehouders is in z'n algemeenheid dan ook het advies om bij de inzet van beregening prioriteit te geven aan maïs; met dezelfde hoeveelheid beregening kan een aanmerkelijk grotere productieverhoging en kwaliteitsverbetering worden bereikt. Bovendien

groeit gras nog nauwelijks bij een luchttemperatuur van boven de 25°C en een bodemtemperatuur van boven de 20°C.

Het beregenen van grasland vraagt duidelijke keuzes om water efficiënt te benutten. Het proberen bij te blijven met beregenen, terwijl dit niet of nauwelijks lukt heeft voor het beperken van productieverlies en het op peil houden van de voederwaarde een geringe toegevoegde waarde. Aanbevolen wordt om beregening te beperken tot het areaal waarbij beregening rond gezet kan worden. Praktisch betekent dit dan dat elk perceel binnen dit areaal wekelijks beregend wordt. Voor de overige percelen is het advies, zeker op uitgesproken droge zandgronden, om zodra droogte invalt deze niet meer te bemesten, te maaien of te weiden om de graszode te sparen. Als grasland tijdens droogte met rust gelaten wordt dan kan het droogte lang volhouden en herstelt de productie op het moment dat het weer gaat regenen. Wanneer droogte zeer lang aanhoudt en gras dreigt af te sterven, kan besloten worden om alsnog te gaan beregenen om de zode te redden, maar dan is het vervolgens wel van belang om beregening te blijven herhalen totdat de droogte voorbij is. De wortelreserves van het gras worden na herbevochtiging aangesproken en zonder aanvulling hiervan door fotosynthese wordt de zode nog kwetsbaarder.

In akkerbouwmatige teelten is de aanbeveling om naast het voorrang geven aan gewassen met een hoog saldo, ook te kijken naar de verschillen in organische stof van de bovengrond en bouwvoordikte. Gewassen op percelen met meer organische stof, een dikke bouwvoor en grotere worteldiepte hebben een grotere vochtvoorraad ter beschikking en hoeven daarom minder frequent beregend te worden.

Operationeel

Naast het opbrengstverhogende effect van beregening is het eerder bereiken van een weidesnede een belangrijk gegeven voor het rondzetten van beweiding. Grasland wordt over het algemeen intensief gebruikt om naast de energiebehoefte ook zoveel mogelijk in de eiwitbehoefte te kunnen voorzien. Beweiding vereist een goede planning van het graslandgebruik, waarbij beregening helpt om een minimaal grasaanbod in de wei zeker te stellen. Daarbij is een graszode die niet beregend wordt kwetsbaarder voor de toename van slechte grassen en ongewenste kruiden, waardoor een zode sneller vernieuwd moet worden.

Voor het herkennen van het gewenste beregeningsmoment verdient het aanbeveling om gebruik te maken van een gutsboor om de bodem (wortelzone) visueel te beoordelen, zeker wanneer men nog geen of weinig ervaring heeft met het inzetten van beregening. Het geeft zicht op de bodemtextuur, het laat zien hoe vochtig de grond is en het geeft op zandgronden een beeld van de dikte van het humeuze dek. Na herbevochtiging van een droge grond door neerslag of beregening wordt met een gutsboor de diepte van de vochtaanvulling zichtbaar.

Het gebruik van een gutsboor is echter arbeidsintensief en het moeilijk vochtbeschikbaarheid van relatief vochtige grond in te schatten. Er zijn hulpmiddelen in de vorm van bodemsensoren, satellietmetingen en een modelmatige bodemvochtvoorspelling die helpen om de bodemvochttoestand te monitoren en op waarde te schatten. Daarbij heeft elk systeem voor en nadelen. Zie verder ADVIESSYSTEMEN.

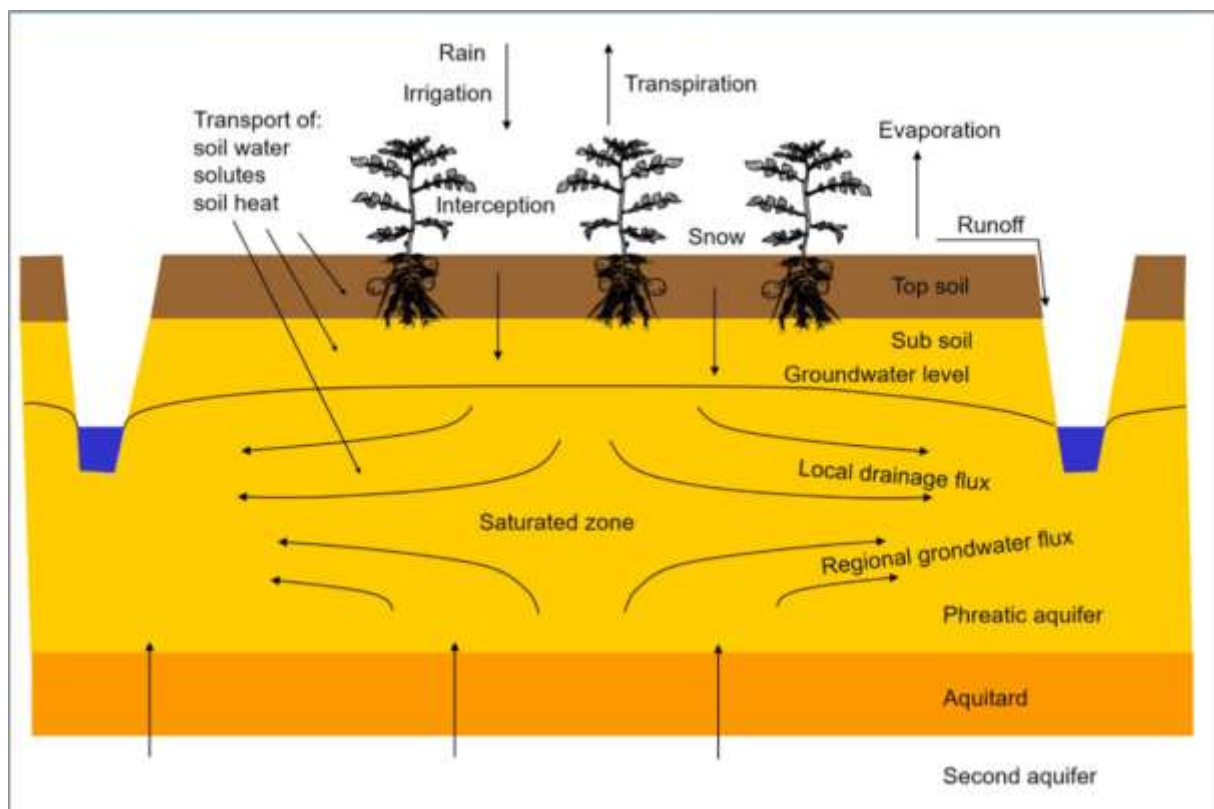
Uit resultaten van een beregeningsproef op grasland op het voormalige melkveeproefbedrijf in Cranendonck (1997-2001) bleek dat beregenen bij temperaturen van 25°C of hoger de opbrengst niet verhoogden ten opzichte van beregenen bij lagere temperaturen (Hoving en Van Riel, 2003). Zie verder WATERGEBRUIK EN BEREGENINGSEFFICIENTIE. Door niet te beregenen bij temperaturen gelijk of hoger dan 25°C kan dus water bespaard worden. Het verdient zodoende aanbeveling om terughoudend te zijn met beregening op grasland bij hoge zomerse temperaturen.

Bij aardappelen kan in zeer warme zomers beregening en bij onvoldoende grondbedekking de rug opwarmen, waardoor er doorwas kan plaatsvinden. Met beregening wordt de temperatuur van de rug verlaagd en beperkt zo de kans op doorwas. Daarnaast moet men bij aardappelen oppassen voor overmatig beregenen, vanwege de kans op o.a. stikstofuitspoeling, poederschurft en roodrot.

WATERBALANS

De bodemvochttoestand verandert continue door de invloed van verdamping van het gewas, neerslag, beregening, infiltratie vanuit de sloot en capillaire opstijging van water uit de ondergrond en het grondwater. De diepte van de wortelzone bepaalt hoe groot het waterreservoir is waaruit de plant kan putten. Vanuit dit reservoir verdampt water of komt er water bij. Bij een verdampingsoverschot ontstaat op een gegeven moment een vochttekort en is het gewenst om te beregenen. Op uitgesproken droge gronden zijn het alleen neerslag en verdamping die van invloed zijn op deze balans.

In Figuur 1, zoals die in de SWAP-manual (Kroes et al., 2017) staat weergegeven, zijn schematisch de factoren die van invloed zijn op de hoeveelheid vocht in de wortelzone weergegeven in een dwarsprofiel van een bodem met sloten.



Figuur 1. Schematische weergave van een dwarsprofiel van een bodem met sloten en de factoren die van invloed zijn op de hoeveelheid vocht in de wortelzone (Kroes et al., 2017).

Het gehele bodem- en watersysteem kan men zich voorstellen als een grote spons die water opneemt, waar water uitlekt en waar water uit verdamppt. Hoe de stromen zich tot elkaar verhouden en welke richting ze hebben, uit zich in de vochttoestand van de bovengrond en wordt in het onderstaande nader toegelicht.

De toevoer wordt bepaald door neerslag, kwel vanuit de diepe ondergrond, infiltratie vanuit watervoerende sloten en capillaire opstijging vanuit de ondergrond en het ondiepe grondwater. Wanneer sloten watervoerend zijn door wateraanvoer of water vasthouden (stuw) dan draagt dit

bij aan de aanvoer van water in de bodem door infiltratie. Des te hoger het slootpeil, des te groter het drukverschil met het grondwater en des te groter het effect. Met drainbuizen onder slootpeil kan de infiltratie versterkt worden door het verlagen van de stromingsweerstand in de bodem.

De afvoer wordt bepaald door verdamping, percolatie of doorlekken naar de ondiepe ondergrond, wegzijging naar de diepe ondergrond en drainage naar sloten. Drainage kan bevorderd worden door het gebruik van drainbuizen en greppels. Drainbuizen zorgen voor een verlaging van de stromingsweerstand in de bodem en greppels dragen bij aan de afvoer van water via het maaiveld. Voor wat betreft verdamping wordt onderscheid gemaakt in directe bodemverdamping (evaporatie), gewasverdamping (transpiratie) en verdamping vanaf een vochtig gewasoppervlak (interceptieverdamping).

Op relatief droogtegevoelige gronden is over het algemeen de grondwaterinvloed klein of afwezig (hangwaterprofiel) en wordt de vochtlevering van de bodem vooral bepaald door neerslag, de textuur van de bovengrond en de dikte van de wortelzone.

Voor situaties waarbij wel grondwaterinvloed is (contactprofielen) vindt naast neerslag ook vochtlevering van uit de ondergrond plaats. Dit kan gevoed worden door infiltratie vanuit watervoerende sloten. De belangrijkste parameters die modelmatig invloed op de grondwaterstand hebben zijn de GHG en GLG, de mate van kwel of wegzijging, wel of geen drains, de aanwezigheid van sloten en greppels, of sloten en greppels wel of niet watervoerend zijn en de diepte en weerstanden van de drainagemiddelen (zie

HYDROLOGIE).

Voor beregeningsadvies is nadere kennis nodig van bodem en hydrologie. Voor bodem wordt hiertoe gebruik gemaakt van de bodemkarakteristiek volgens de Staringreeks (Wösten 1987, 1994, 2001 en Heinen et al., 2020). Deze reeks onderscheidt 18 textuurklassen voor zowel de (humeuze) bovengrond als de ondergrond (zie Bijlage 1). Per bouwsteen zijn karakteristieken geanalyseerd waarvan de parameters worden gebruikt in hydrologische simulatiemodellen om gegeven de weerdata, hydrologische kenmerken en gewaseigenschappen een waterbalans op dagbasis te kunnen berekenen. In BODEM en

HYDROLOGIE wordt hier nader op ingegaan.

BODEM

De textuur van de bovengrond is van belang om te weten hoeveel vocht een bodem kan leveren en de textuur van de ondergrond is van belang om de nalevering van vocht te kunnen voorspellen. Volgens de Staringreeks systematiek worden de bodems in Nederland onderscheiden in de grondsoorten Zand, Zavel, Klei, Leem en Moerig. Voor deze grondsoorten zijn 18 textuurklassen gedefinieerd voor zowel de humeuze bovengrond als de ondergrond, de zogenaamde bouwstenen. De Staringreeks beschrijft per bouwsteen het gemiddelde watervasthoudend vermogen en de doorlatendheid (parameters waterretentiecurve). Voor de 18 bouwstenen voor de boven- en ondergrond staan respectievelijk in Bijlage 1 en 2 de indeling naar textuur (aandeel minerale delen), organische stofgehalte en de mediaan van de zandfractie (Wösten 1987, 1994, 2001 en Heinen et al., 2020).

Ten behoeve van hydrologische modellering voor uiteenlopende doeleinden is een bodemfysische schematisatie van Nederland BOFEK2012 (Wösten et al., 2013) uitgevoerd op basis van de Bodemkaart van Nederland, schaal 1:50.000. De ontwikkelde landelijke, fysische bodemschematisatie op basis van gemodelleerde, functionele kenmerken voor bodemprofielen heeft voor geheel Nederland geresulteerd in de BOdemFysische EenhedenKaart (BOFEK2012), met 72 verschillende eenheden. De verbreiding van de BOFEK-eenheden is vastgelegd in een landelijk GIS-bestand en per eenheid is er een profielschets beschikbaar met een schematische beschrijving van de laagopbouw en de kenmerken per laag.

In BOFEK2012 is voor de schematisatie gebruik gemaakt van de bouwstenen van de Staringreeks, uit verschillende reeksen (Wösten 1987, 1994, 2001). Op basis van de BOFEK-kaart en de bouwstenen kan plaatsspecifiek voor landbouwpercelen de textuur van de bovengrond en de ondergrond achterhaald worden. Hier kan in adviessystemen voor beregening gebruik gemaakt worden, zoals Wageningen Research dat doet in de webapplicatie Irrigatie Advies (zie ADVIESSYSTEMEN).

Voor de achttien bovengrond bouwstenen van de Staringreeks zoals die in BOFEK2012 worden gehanteerd staat in Tabel 1 per bouwsteen het volumepercentage vocht voor veldcapaciteit ($pF=2,0$) en het moment waarbij droogte zichtbaar wordt voor gras en snijmaïs ($pF=2,7$). Het verschil betreft de gemakkelijk hoeveelheid beschikbaar vocht voor een gewas. Naarmate deze hoeveelheid groter is de droogtegevoeligheid lager. Deze hoeveelheid is vertaald naar een beschikbaarheid van vocht voor verschillende diktes van de wortelzone. Op zavel- en klei- en lössgronden is de hoeveelheid gemakkelijk beschikbaar vocht in verhouding tot de leemhoudende fijn zandige gronden relatief laag, echter op deze gronden is veelal de worteldiepte groter (en daarmee de beschikbaarheid van vocht) en is er meer invloed vanuit het grondwater (poldersituaties).

Voor de achttien bouwstenen van de Staringreeks voor de ondergrond is in Tabel 2 per bouwsteen de maximale afstand tussen de onderkant van de effectieve wortelzone en het grondwater weergegeven voor een capillaire opstijging van 2 en 1 mm per dag voor een situatie waarbij de bovengrond is uitgedroogd tot $pF=2,4$. Deze zogenaamde kritieke z-afstanden gelden voor een homogene ongestoorde ondergrond van een zelfde textuurklasse. Dit betekent dat eventuele ploegzolen onder de bouwvoor, ondergrondverdichting of storende lagen (oerlagen, gliede, moerig veen) de capillaire werking vanuit de ondergrond kunnen tegenhouden. Bovendien verhogen ze de infiltratieweerstand van de bovengrond naar de ondergrond.

Tabel 1. Hoeveelheid vocht bij veldcapaciteit ($pF=2,0$), zichtbaar vochttekort ($pF=2,7$) en de gemakkelijk beschikbaar vocht ($pF= 2,7-2,0$) per bouwsteen voor de humeuze bovengrond (B1-18) volgens de Staringreeks, zoals die in de bodemfysische schematisatie van Nederland BOFEK2012 wordt gehanteerd (Wösten et al., 2013). Voor vier worteldiepten (cm) staat de adviesgift voor berekening (mm) vermeld.

Grondsoort	Bouwsteen	Textuurbeschrijving	Staringreeks (jaar)	Veldcapaciteit ($pF=2,0$)	Zichtbare droogte ($pF=2,7$)	Adviesgift (mm) per worteldiepte (cm)			
						20	40	60	80
Zand	B1	Leemarm fijn zand ¹⁾	1987	20	10	20	40	60	80
Zand	B2	Zwak lemig fijn zand ¹⁾	1987	28	16	24	48	72	96
Zand	B3	Sterk lemig fijn zand ¹⁾	1987	33	19	28	56	84	112
Zand	B4	Zeer sterk lemig fijn zand ¹⁾	1987	27	13	28	56	84	112
Zand	B5	Grof zand	2001	30	22	16	32	48	64
Zand	B6	Keileem	2001	39	28	22	44	66	88
Zavel	B7	Zeer lichte zavel	1987	31	22	18	36	54	72
Zavel	B8	Matig lichte zavel	1987	32	23	18	36	54	72
Zavel	B9	Zware zavel	1994	39	28	22	44	66	88
Klei	B10	Lichte klei	1987	38	32	12	24	36	48
Klei	B11	Matig zware klei	1987	43	34	18	36	54	72
Klei	B12	Zeer zware klei	1987	49	44	10	20	30	40
Leem	B13	Zandige leem	2001	35	22	26	52	78	104
Leem	B14	Siltige leem (Löss)	1994	38	30	16	32	48	64
Moerig	B15	Venig zand	2001	39	27	24	48	72	96
Moerig	B16	Zandig veen en veen	1987	60	41	38	76	114	152
Moerig	B17	Venige klei	1994	63	53	20	40	60	80
Moerig	B18	Kleiig veen	1987	60	49	22	44	66	88

¹⁾ In plaats van fijn zand, is de volledige beschrijving zeer fijn tot matig fijn zand

Tabel 2. Toelaatbare afstand tussen de onderkant van de effectieve wortelzone en het grondwater voor een capillaire nalevering van 2 en 1 mm per dag voor een situatie waarbij de bovengrond is uitgedroogd tot $pF=2,4$ per bouwsteen volgens de Staringreeks voor de ondergrond (O1-18), zoals die in de bodemfysische schematisatie van Nederland BOFEK2012 wordt gehanteerd (Wösten et al., 2013). De waarden gelden voor een homogene ongestoorde ondergrond van een zelfde textuurklasse.

Grondsoort	Bouwsteen	Textuurbeschrijving	Staringreeks (jaar)	S2 (2 mm.dag-1)	S1 (1 mm.dag-1)
Zand	O1	Leemarm, zeer fijn tot matig fijn zand	1987	84	98
Zand	O2	Zwak lemig, zeer fijn tot matig fijn zand	1987	109	127
Zand	O3	Sterk lemig, zeer fijn tot matig fijn zand	1987	122	152
Zand	O4	Zeer sterk lemig, zeer fijn tot matig fijn zand	1987	150	176
Zand	O5	Grof zand	1987	47	54
Zand	O6	Keileem	1987	37	57
Zand	O7	Beekleem	2001	131	165
Zavel	O8	Zeer lichte zavel	1987	97	120
Zavel	O9	Matig lichte zavel	1987	84	113
Zavel	O10	Zware zavel	1987	70	100
Klei	O11	Lichte klei	1987	50	73
Klei	O12	Matig zware klei	1987	24	38
Klei	O13	Zeer zware klei	1987	19	26
Leem	O14	Zandige leem	1994	94	134
Leem	O15	Siltige leem	1987	125	161
Moerig	O16	Oligotroof veen	1987	42	59
Moerig	O17	Mesotroof en eutroof veen	1987	63	85
Moerig	O18	Moerige tussenlaag	2001	168	196

Bodems die gemiddeld 1-2 mm per dag naleveren worden als niet-droogtegevoelig beschouwd. De bodemvochttoestand wordt dus niet alleen door de bodemtextuur bepaald, maar ook door randvoorwaarden als wel/geen drainagebuizen (afvoer van water), de aanwezigheid van sloten en het slootpeil (aanvoer van water). Zie paragraaf

HYDROLOGIE.

In de Staringreeks is per bouwsteen een waterretentiecurve afgeleid op basis van de Van Genuchten parameters die het volumepercentage vocht kwantificeert in relatie tot de zuigspanning van de bodem. Deze gemiddelde karakteristieken voor de onderscheiden bouwstenen worden 'klasse vertaalfuncties' genoemd. De zuigspanning is de onderdruk die een plant moet overbruggen om vocht te onttrekken en wordt uitgedrukt als pF-waarde (= $-\log$ drukhoogte in cm).

In een waterretentiecurve zijn worden een viertal karakteristieke vochttoestanden onderscheiden:

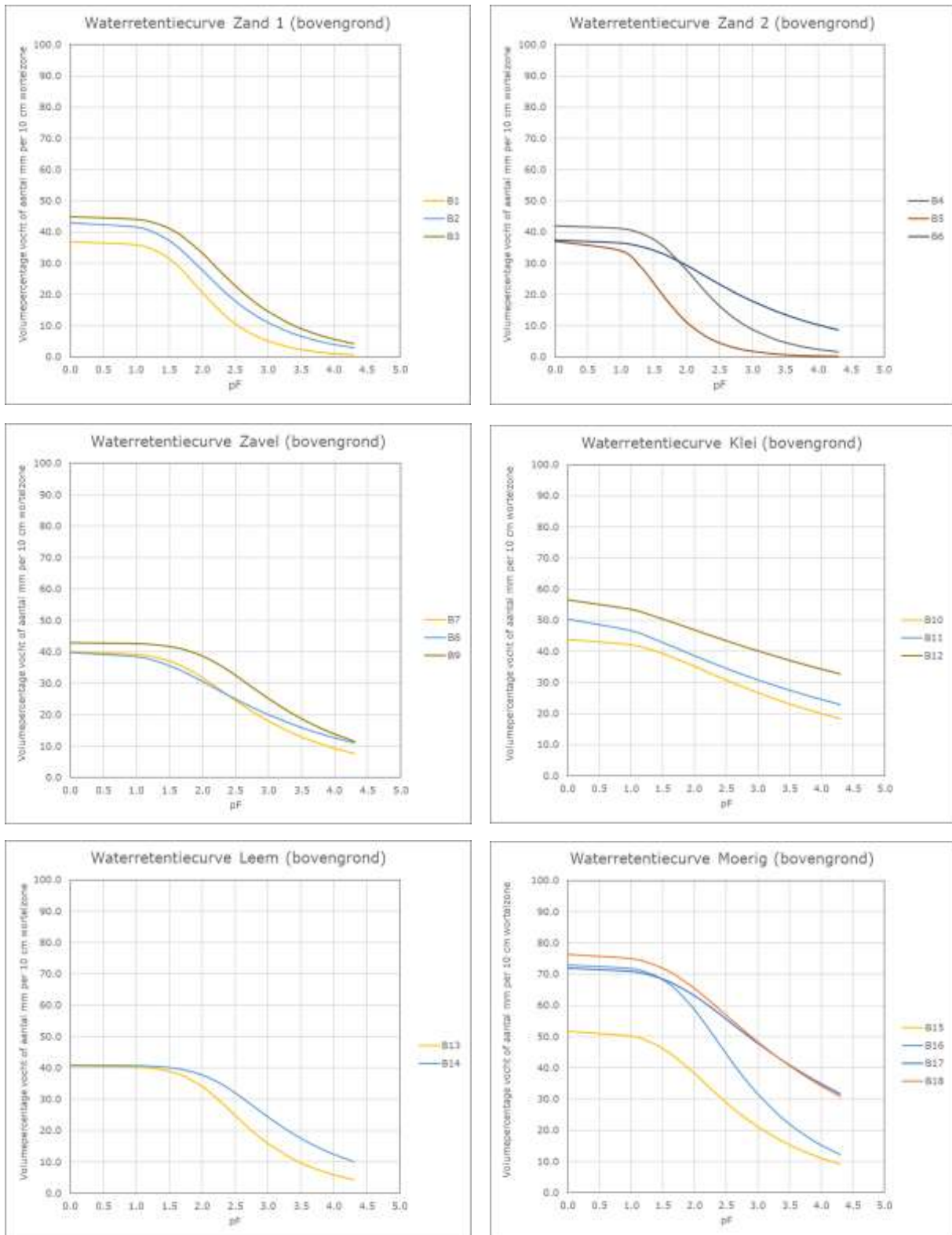
- | | | |
|---|--------|--|
| 1 | pF=0,0 | Een zeer natte volledig verzadigde bodem |
| 2 | pF=2,0 | Veldcapaciteit, de situatie waarbij geen water meer uit de wortelzone lekt |
| 3 | pF=2,7 | Het gewas laat een vochttekort zien |
| 4 | pF=4,2 | Situatie waarbij geen vocht meer voor de plant beschikbaar is |

Op basis van de bovenstaande pF-waarden worden de onderstaande vochttrajecten onderscheiden:

- | | | |
|---|------------|-------------------------------|
| 1 | pF=0,0-2,0 | Overmaat aan vocht |
| 2 | pF=2,0-2,7 | Gemakkelijk beschikbaar vocht |
| 3 | pF=2,7-4,2 | Vocht is beperkend |
| 4 | >pF=4,2 | Geen vocht meer beschikbaar |

Deze vochttrajecten gelden voor de bodem. Voor gewassen kunnen ook vochttrajecten onderscheiden worden, waarbij de kritieke pF waarden voor deze trajecten aanzienlijk lager liggen. Zo treedt bij de meeste gewassen beperking van vocht bij pF waarden hoger dan 2,5. Zie paragraaf GEWAS.

In Figuur 2 staan de Waterretentiecurves per bodemtype per bouwsteen volgens de Staringreeks voor de bovengrond (B1-18), zoals die in de bodemfysische schematisatie van Nederland BOFEK2012 wordt gehanteerd (Wösten et al., 2013). Hierbij is de pF-waarde op x-as en het volumepercentage vocht (dat gelijk is aan het aantal mm vocht per cm wortelzone) op de y-as gezet, zodat tussen verschillende pF-waarden het verschil in beschikbaar vocht bepaald kan worden.



Figuur 2. Waterretentiecurves per bodemtype per bouwsteen volgens de Staringreeks voor de bovengrond (B1-18), zoals die in de bodemfysische schematisatie van Nederland BOFEK2012 wordt gehanteerd (Wösten et al., 2013).

Een adviesgift voor berekening wordt berekend volgens onderstaande formule, waarbij het volumepercentage vocht is afgekort tot Vol%.

$$\frac{\text{Vol\% bij pF-waarde kritieke moment berekening (zie GEWAS)} - \text{Vol\% bij pF=2}}{\text{Dikte wortelzone (cm)}} \times 10$$

Naast het gebruik van de klasse vertaalfuncties bestaat ook de mogelijkheid om gebruik te maken van continu vertaalfuncties, de zogenaamde pedo-transferfuncties, op basis van de Mualem – Van Genuchten parameters (Wösten et al., 2001a en 2001b). Hierbij is een onderscheid gemaakt in functies voor zand enerzijds en zavel en klei anderzijds, waarbij voor zand gebruik gemaakt wordt van de Leem- en M50 fracties en voor zavel en klei van de fractie lutum. Verder vragen de functies organische stof en bulkdichtheid van de grond als invoerparameters. In het algemeen bestaat het risico bodemkenmerken worden gebruikt die buiten het toepassingsgebied van de functies vallen, waardoor een bodemfysische karakteristiek wordt geschat die niet praktisch bruikbaar is. Zodoende wordt in het algemeen vastgehouden aan de klasse vertaalfuncties.

Bodemorganische stof vergroot direct en indirect de waterbeschikbaarheid in de bodem. In de Deltafact 'Belang van bodemorganische stof voor het waterbeheer' wordt aangegeven dat organische stof de waterbeschikbaarheid op leemhoudende zandgronden direct kan vergroten, vooral wanneer deze relatief laag zijn. In Tabel 3 staat de extra waterbeschikbaarheid in schrale zandgronden afhankelijk van het organische stofpercentage van de bodem.

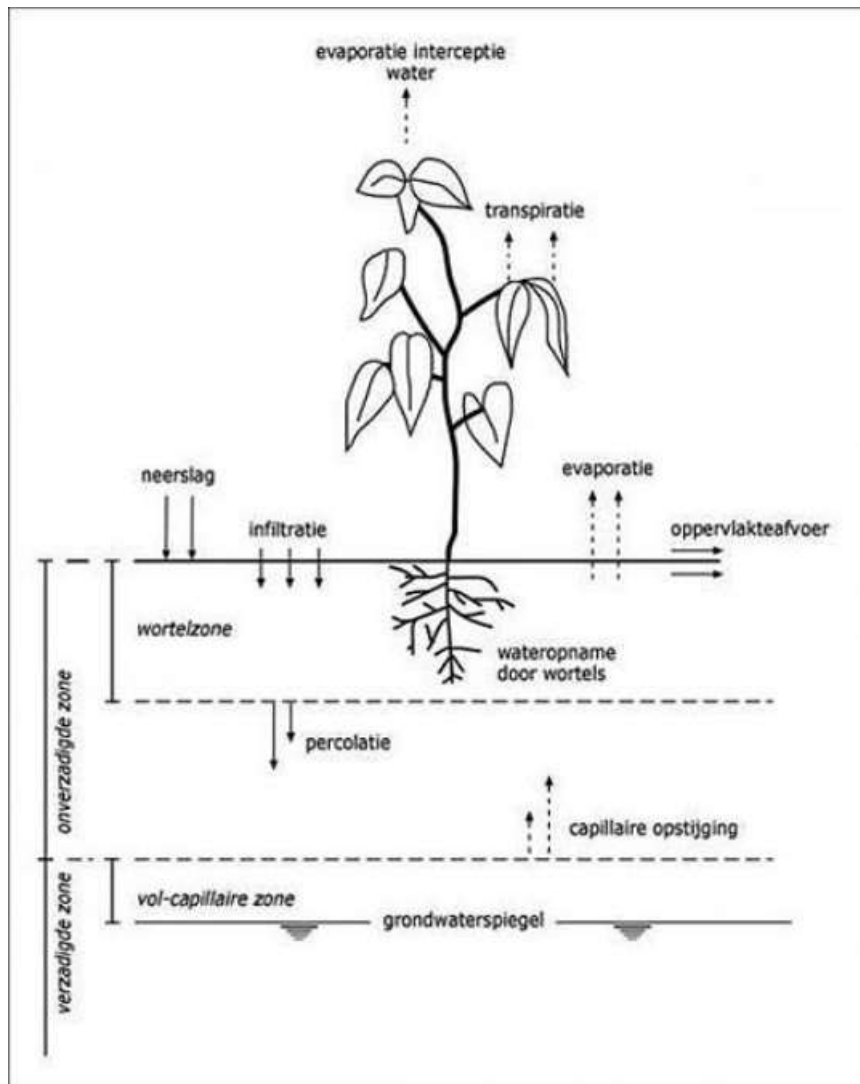
Tabel 3. Extra waterbeschikbaarheid per 1 % organische stof in schrale zandgronden in een bouwvoor van 20 cm afhankelijk van het organische stofpercentage van de bodem.

Organische stofpercentage (%)	Extra waterbeschikbaarheid (mm)
0,5 - 1	3-4
1 - 3	2-3
>3	1

Een indirect effect van organische stof is een verlaging van de bulkdichtheid van bodems en daarmee de weerstand tegen penetratie door plantenwortels. Planten kunnen bij hogere organische stofgehalten niet alleen meer water uit een bepaalde wortelzone opnemen, maar deze wortelzone kan bovendien dikker worden waardoor opnieuw meer water beschikbaar komt.

HYDROLOGIE

In Figuur 3 staan in detail de variabelen die de vochttoestand in de wortelzone bepalen. Zowel bodem als gewas spelen hierin een belangrijke rol, maar ook de zogenaamde onderrandvoorwaarden, zoals watertransport in de bodem horizontaal van en naar het oppervlaktewater en verticaal van en naar het diepere grondwater in de vorm van kwel en wegzijging, zoals deze in Figuur 1 staan weergegeven.



Figuur 3. Schematisch overzicht van een vochtbalans gewas-bodem (Snelle et al. 2021).

De toevoer van vocht in de wortelzone wordt bepaald door neerslag, capillaire opstijging vanuit de verzadigde zone en het grondwater, kwel vanuit de diepere ondergrond en infiltratie vanuit oppervlaktewater. Wanneer sloten watervoerend zijn door wateraanvoer of vasthouden van water (stuw) dan draagt infiltratie uit het oppervlaktewater bij aan het op peilhouden van de grondwaterstand. Des te hoger het slootpeil, des te groter het drukverschil met het grondwater en des te groter het effect. Daarnaast is het effect afhankelijk van de stromingsweerstand in de bodem. Met drainbuizen onder slootpeil kan de infiltratie versterkt worden door het verlagen van de weerstand in de bodem.

De afvoer wordt bepaald door verdamping, percolatie (doorlekken) naar verzadigde zone en het grondwater, oppervlakkige afvoer naar sloten, drainage via de bodem naar sloten en wegzijging naar de diepere ondergrond. Drainage kan bevorderd worden door het gebruik van drainbuizen en

greppels. Drainbuizen zorgen voor een verlaging van de stromingsweerstand in de bodem en greppels dragen bij aan oppervlakkige afvoer van water via het maaiveld. Voor wat betreft verdamping wordt onderscheid gemaakt in directe bodemverdamping (evaporatie), gewasverdamping (transpiratie) en verdamping vanaf een vochtig gewasoppervlak (interceptieverdamping). Zie verder VERDAMPING.

Sloten, drainbuizen en greppels zorgen voor de afvoer van water uit de bodem op het moment dat de grondwaterstand hoger is dan de diepte van deze drainagemiddelen. Ze werken echter ook infiltrerend wanneer deze watervoerend zijn en de grondwaterstand lager is dan de diepte van deze drainagemiddelen. Drainbuizen en greppels kunnen watervoeren wanneer deze onder slootpeil liggen en vanuit het oppervlaktewater gevoed worden. Het toepassen van infiltratie door middel van drainbuizen wordt subirrigatie genoemd. Om de hoogte van de drainagebasis te regelen kan gebruik gemaakt worden van een dynamisch slootpeil of regelbare drainage.

Regelbare drainage met subirrigatie zijn drainbuizen die onder slootpeil liggen en direct of indirect via een waterreservoir (regelput) gevoed worden vanuit het oppervlaktewater, met als doel om via een stijging van het grondwatervniveau de vochtbeschikbaarheid van het gewas te verbeteren. Daarbij worden de drainagebasis en mate van infiltratie respectievelijk bepaald door het oppervlaktewaterpeil of het peil in een regelput.

De hydrologische parameters de Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG) en de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG), die samengevat worden als GXG's, karakteriseren het gemiddelde verloop van de grondwaterstand. De GLG en GHG zijn berekend door eerst per jaar de LG3 en de HG3 te berekenen en deze waarden vervolgens te middelen over een reeks van jaren. Volgens protocol (Cate et al., 1995) worden de LG3 en HG3 berekend door per jaar respectievelijk in de periode van 1 april tot 1 november de drie laagste en in de periode van 1 november tot 1 april de drie hoogste grondwaterstanden te meten op 14^e en 28^e van de maand te middelen. De GLG en GHG moeten over tenminste een reeks van acht weerjaren berekend worden.

Een vuistregel is dat op droge(re) zandgronden de Gemiddelde Voorjaars Grondwaterstand (GVG) ongeveer 25 cm lager is dan de GHG.

Op basis van de GXG is de jaarlijkse fluctuatie van de grondwaterstand landsdekkend met zogeheten grondwatertrappen in kaart gebracht op de Bodemkaart van Nederland, schaal 1:50.000. Grondwatertrappen (Gt's) zijn klassen van de niveaus waartussen de jaarlijkse fluctuatie van de grondwaterstand zich gemiddeld genomen afspeelt (Knotters et al., 2018). Tabel 4 geeft de meest actuele, verfijnde indeling in Gt's.

Kwel of wegzijging zorgt respectievelijk voor extra water aan- of afvoer vanuit de diepere ondergrond en kan invloed hebben op de vochtvoorziening in de wortelzone, wanneer de afstand tussen de onderkant van de wortelzone en de freatische grondwaterstand klein genoeg is (kritieke z-afstand). Afhankelijk van de uitdrogingsgraad van de wortelzone en de z-afstand treedt een bepaalde flux van watertransport op. Zie BODEM. De dikte van de wortelzone speelt hierin ook een belangrijke rol (zie GEWAS).

Tijdens het voorjaar wordt vaak in watervoerende sloten het slootpeil verlaagd om zo de grondwaterstand te laten zakken en het bouwland tijdig te kunnen bewerken. Gedurende de winter kunnen plassen op het maaiveld ontstaan door neerslagoverschot, waardoor boeren genegen zijn om het peil in de sloot relatief vroeg en diep te verlagen met de verwachting dat de plassen dan eerder verdwijnen. Echter, veelal zorgt bovengrondverdichting voor deze plassen en niet een te hoge grondwaterstand. Om extra water vast te houden voor in het groeiseizoen, is het daarom raadzaam om te sturen op grondwaterstand en niet op het wel/niet voorkomen van plassen op het

land. Tevens is de aanbeveling om veel aandacht te besteden aan bodemstructuur om infiltratie van neerslag te bevorderen en de worteldiepte te vergroten.

Tabel 4. *Grondwatertrap, Gemiddelde Hoogste Grondwaterstand (GHG) en Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG), welke het gemiddelde verloop van de grondwaterstand karakteriseren.*

Grondwatertrap (Gt)	GHG (cm)	GLG (cm)
Ia	< 25	< 50
Ic	> 25	< 50
IIa	< 25	50-80
IIb	25-40	50-80
IIc	> 40	50-80
IIIa	< 25	80-120
IIIb	25-40	80-120
IVu	40-80	80-120
IVc	> 80	80-120
Va	< 25	> 120
Vao	< 25	120-180
Vad	< 25	> 180
Vb	25-40	> 120
Vbo	25-40	120-180
Vbd	25-40	> 180
VI	40-80	> 120
VIo	40-80	120-180
VId	40-80	> 180
VII	80-140	> 120
VIIo	80-140	120-180
VIIId	80-140	> 180
VIII	> 140	> 120
VIIIo	> 140	120-180
VIIIId	> 140	> 180

GEWAS

Niet alleen de bodem maar ook het gewas heeft een belangrijke invloed op de bodemvochttoestand. Gewassen verschillen in zaai- of pootdatum, worteldiepte, gewasontwikkeling, mate van gewasverdamping en het gewenste beregeningsmoment. De worteldiepte bepaalt in grote mate hoeveel vocht een gewas ter beschikking heeft en hoe snel beregend moet worden.

Het kritieke moment van beregenen is afhankelijk van het gewas en de zuigspanning van de bodem. In Tabel 5 staat voor een aantal gewassen de kritieke beregeningsmomenten uitgedrukt in pF-waarden. Het betreft de negen gewassen waarvoor het adviesprogramma Irrigatie Advies een beregeningsadvies genereert. Zie Irrigatie Advies.

De effectieve wortelzone betreft de zone waarin zich 80% van de wortels bevinden. De diepere wortels dragen vooral bij aan de vochtvoorziening en de haarwortels die zich bovenin de wortelzone begeven dragen vooral bij aan de nutriëntenvoorziening. De wortelgroei wordt vooral bepaald door de zuurstofvoorziening en de fysieke weerstand in de bodem.

De worteldiepte ontwikkelt zich voor akkerbouwmatige teelten vanaf het moment van zaaien of poten van het gewas. Verondersteld wordt dat wanneer het gewas opkomt de worteldiepte ongeveer tweemaal de zaai- of pootdiepte bedraagt. Vervolgens ontwikkelt de worteldiepte zich evenredig met het gewas totdat het gewas gesloten is. In Tabel 5 staat de zaai-/pootdiepte per gewas.

Tabel 5. Zaai-/pootdiepte en en het kritieke moment van berekening uitgedrukt in zuigspanning op logschaal (pF)

	Zaai-/pootdiepte (cm beneden mv)	Kritiek moment beregenen (pF)
Gras	2.5	2.7
Maïs	4.5	2.7
Aardappelen	4	2.5
Suikerbieten	1.5	2.6
Erwten	1.5	2.6
Winterpeen	1	2.7
Waspeen	0.75	2.5
Schorseneer	1.5	2.5
Spinazie	1.5	2.4

In Tabel 6 staat per bouwsteen voor de bovengrond een inschatting van de worteldiepte per gewas op basis van expert kennis van teeltexperts van Wageningen Research.

Voor grasland op zandgrond gelden voor de worteldiepte de volgende praktische criteria:

- Ouder grasland bij intensief gebruik 25 cm
- Tweedejaars gras 25-30 cm
- Eerstejaars gras 35-40 cm

Tabel 6. Dikte effectieve wortelzone per gewas en bouwsteen voor de bovengrond volgens de Staringreeks, zoals die in de bodemfysische schematisatie van Nederland BOFEK2012 wordt gehanteerd (Wösten et al., 2013).

Bouwsteen	Afkorting	Gras	Snijmaïs	Aardappelen	Suikerbieten	Erwten	Winterpeen	Waspeen	Schorseneren	Spinazie
B1	Leemarm fijn zand	25	40	50	80	30	40	40	45	35
B2	Zwak lemig fijn zand	25	40	50	80	30	40	40	45	35
B3	Sterk lemig fijn zand	30	50	60	90	40	50	50	55	45
B4	Zeer sterk lemig fijn zand	30	50	60	90	40	50	50	55	45
B5	Grof zand	25	40	50	80	30	40	40	45	35
B6	Keileem	25	40	50	80	30	40	40	45	35
B7	Zeer lichte zavel	40	60	70	100	50	60	60	65	55
B8	Matig lichte zavel	40	60	70	100	50	60	60	65	55
B9	Zware zavel	40	60	70	100	50	60	60	65	55
B10	Lichte klei	40	60	70	100	50	60	60	65	55
B11	Matig zware klei	40	60	70	100	50	60	60	65	55
B12	Zeer zware klei	40	60	70	100	50	60	60	65	55
B13	Zandige leem	25	40	50	80	30	40	40	45	35
B14	Siltige leem (Löss)	40	60	70	100	50	60	60	65	55
B15	Venig zand	25	40	50	80	30	40	40	45	35
B16	Zandig veen en veen	25	40	50	80	30	40	40	45	35
B17	Venige klei	25	40	50	80	30	40	40	45	35
B18	Kleiig veen	25	40	50	80	30	40	40	45	35

De ontwikkeling van een gewas is sterk gerelateerd aan de luchttemperatuur. De datum van inzaai bepaalt met welke temperaturen een gewas te maken krijgt. In de ontwikkeling van een gewas worden de volgende vier gewasfasen onderscheiden: opkomstfase, ontwikkelfase, gesloten gewasfase en afrijpingsfase.

Op basis van de temperatuursom (T_{som}) is de verdamping geschat vanaf het moment van opkomst om de gewasfactor K_c te bepalen (Van Evert, 2015). In Tabel 7 staan per gewas de T_{som} voor vier gewasfasen. Voor snijmaïs en aardappelen wordt onderscheid gemaakt in gewasstype/vroegheid van het gewas.

Tabel 7. Temperatuursomgrenzen voor de gewasfasen Opkomstfase, de Ontwikkelingsfase, de Gesloten gewasfase en de Afrijpingsfase (Van Evert, 2015).

	T-som			
	Opkomstfase	Ontwikkelingsfase	Gesloten gewasfase	Afrijpingsfase
Gras	<= 55	<= 450		
Maïs				
vroeg	<= 55	<= 450	<= 1000	<= 1250
midden	<= 55	<= 550	<= 1100	<= 1400
laat	<= 55	<= 550	<= 1100	<= 1400
Aardappelen				
midden-vroeg	<= 100	<= 600	<= 800	<= 1400
midden-laat tot laat	<= 100	<= 600	<= 1100	<= 1700
Suikerbieten	<= 89	<= 605	<= 1240	<= 1809
Erwten	<= 130	<= 1040	<= 1500	<= 3000
Winterpeen	<= 187	<= 1410	<= 1800	<= 3000
Waspeen	<= 187	<= 1410	<= 1600	<= 3000
Schorseneer	<= 220	<= 1500	<= 1700	<= 3000
Spinazie	<= 157	<= 600	<= 1000	<= 3000

Niet in alle ontwikkelingsstadia is de gevoeligheid voor watertekort van gewassen even groot. In Tabel 8 staat in welke stadia de gevoeligheid voor watertekort van een gewas het grootst is op basis van Doorenbos en Kassam (1979) en expertkennis.

Tabel 8. Gevoeligheid watertekort per gewas (Doorenbos en Kassam, 1979 en expertkennis).

Gewas	Stadia gevoeligheid voor watertekort
Gras	Tijdens weiden, na maaien en in de opkomstfase na herinzaai
Maïs	Bij bloei, kolfzetting en korrelvulling
Aardappelen	Knolzetting, Knoldikking
Suikerbieten	Eerste maand na opkomst
Erwten	BloEIFase en rijpingsfase
Winterpeen	-nog in te vullen-
Waspeen	-nog in te vullen-
Schorseneer	-nog in te vullen-
Spinazie	-nog in te vullen-
Uien	Na bolvorming
Lelies	-nog in te vullen-
Tulpen	-nog in te vullen-

VERDAMPING

Gewasproductie is sterk gerelateerd aan de vochtvoorziening (Doorenbos en Kassam, 1979). Bij een optimale vochtvoorziening kan een gewas optimaal vocht verdampen, maar wanneer vocht beperkend wordt, dan vermindert de verdamping en gaat dit ten kosten van nutriëntenopname en groei. Verdamping van vocht kan in verschillende vormen plaatsvinden. Volgens Moors et al., (2002) bestaat de totale verdamping van een landoppervlak met een (gedeeltelijke) bedekking door vegetatie, uit de drie onderstaande componenten (zie ook Deltafact Verdamping):

- Transpiratie is de verdamping van water uit de bodem via vegetatie.
- Interceptieverdamping is de verdamping van aanhangend water op de vegetatie.
- Bodemverdamping is de verdamping van water direct vanuit de kale bodem.

Het KNMI hanteert het begrip 'referentie-gewasverdamping' welke is gebaseerd op de formule van Makkink (Makkink, 1957). De referentiegewasverdamping wordt in belangrijke mate bepaald door de hoeveelheid zonnestraling en de temperatuur.

De potentiële verdamping wordt gerelateerd aan de potentiële verdamping van een referentiegewas via een gewasfactor (Vergelijking 1):

$$ET_{p0} = K_c ET_{ref} \quad (1)$$

waarin ET_{p0} (mm/d) gelijk is aan de potentiële verdamping van een willekeurig gewas, K_c (-) is de gewasfactor en ET_{ref} (mm/d) is de potentiële verdamping van een referentiegewas. Het referentiegewas is gras en de $K_c = 1$.

Het KNMI publiceert kaarten, grafieken en tabellen voor het klimaat van nu in Nederland, Het KNMI berekent om de tien jaar langjarige gemiddelden ('normalen') voor een groot aantal KNMI-stations. De meest recente langjarig gemiddelden gaan over de periode 1991-2020 (KNMI 2022, [KNMI – klimaatviewer](#)). In Figuur 4 staat het langjarig gemiddelde voor de jaarlijkse verdamping 1991-2020. Gemiddeld is de verdamping in Noord-Oost Nederland (NON) lager dan Zuid-West Nederland (ZWN).



Figuur 4. Langjarige gemiddelde jaarlijkse gewasverdamping in Nederland 1991-2020 (KNMI 2022, [KNMI – klimaatviewer](#)).

De gemiddelde gewasverdamping per maand voor het groeiseizoen voor de regio's Noordoost Nederland en Zuidwest Nederland (uitersten) staan in Tabel 9. De verdampingshoeveelheden voor de overige regio's liggen tussen die van Noordoost en Zuidwest Nederland in.

Tabel 9. Gemiddelde gewasverdamping per maand in het groeiseizoen voor Noordoost Nederland (NON) en Zuidwest Nederland (ZWN) in mm.

	Maart	April	Mei	Juni	Juli	Augustus	September	Oktober	Totaal
Regio NON	32	58	84	90	96	80	48	24	512
Regio ZWN	42	70	96	104	108	92	60	34	606

De totale jaarlijkse referentie gewasverdamping is ongeveer 550 mm. Op zeer warme, zonnige en winderige dagen in juli kan de verdamping wel 7 mm per dag bedragen, terwijl in december en januari slechts 7 mm in de hele maand verdampt.

De gewasverdamping is echter gewasspecifiek en afhankelijk van de gewasontwikkeling. De verhouding tussen de referentieverdamping en de actuele gewasverdamping wordt gekwantificeerd met gewasfactoren. In Tabel 10 staan voor gras en een reeks aan gewassen de gewasfactoren per decade op basis van gewasverdamping volgens Makkink (Feddes, 1987).

Tabel 10. Decade gewasfactoren op basis van gewasverdamping volgens Makkink (Feddes, 1987)

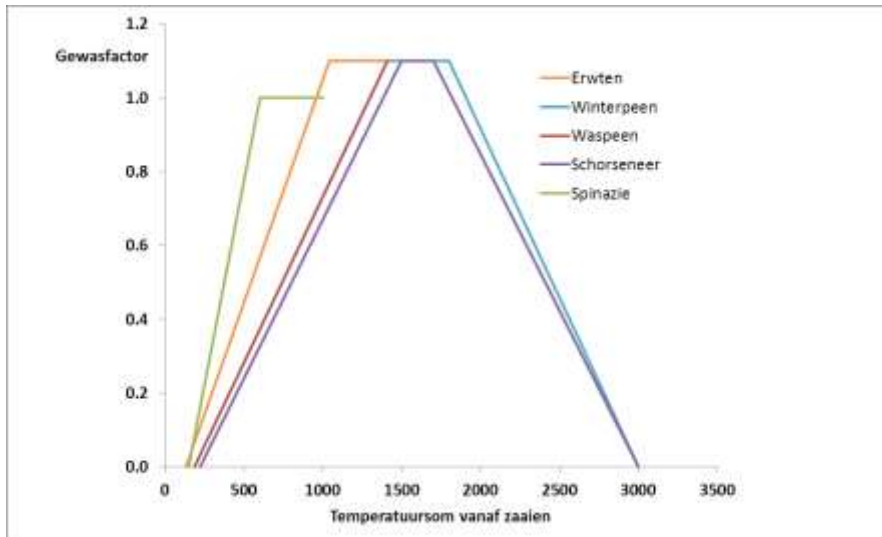
	april			mei			juni			juli			augustus			september		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
gras	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9	0.9
granen	0.7	0.8	0.9	1.0	1.0	1.0	1.2	1.2	1.2	1.0	0.9	0.8	0.6					
mais				0.5	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
aardappelen					0.7	0.9	1.0	1.2	1.1	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	0.7		
suikerbieten				0.5	0.5	0.5	0.8	1.0	1.0	1.2	1.1	1.1	1.1	1.2	1.2	1.2	1.1	1.1
peulvruchten		0.5	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.2	1.2	1.0	0.8							
plantuien	0.5	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0					
zaaiui		0.4	0.5	0.5	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	0.7		
witlof							0.5	0.5	0.5	0.8	1.0	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
winterpeen							0.5	0.5	0.5	0.8	1.0	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
knolselderij						0.5	0.7	0.7	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	
prei				0.5	0.5	0.5	0.5	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	1.0	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
bol/knoggewassen				0.5	0.7	0.7	0.9	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
pit/steenvruchten	1.0	1.0	1.0	1.4	1.4	1.4	1.6	1.6	1.6	1.7	1.7	1.7	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2

In Irrigatie Advies wordt de potentiële gewasverdamping evenredig verondersteld aan de gewasontwikkeling volgens de vier gewasfasen (opkomstfase, ontwikkelingsfase, gesloten gewasfase en afrijpingsfase) op basis van de temperatuursom zoals die in Tabel 7 staan (Van Evert, 2015). Bij opkomst is de verdamping nog minimaal en bij het bereiken van de gesloten gewasfase wordt de potentiële verdamping maximaal verondersteld. In Tabel 11 staan de gewasfactoren (K_c) voor de vier gewasfasen.

Tabel 11. Gewasactoren (K_c) voor de gewasfasen Opkomstfase, de Ontwikkelingsfase, de Gesloten gewasfase en de Afrijpingsfase (Van Evert, 2015).

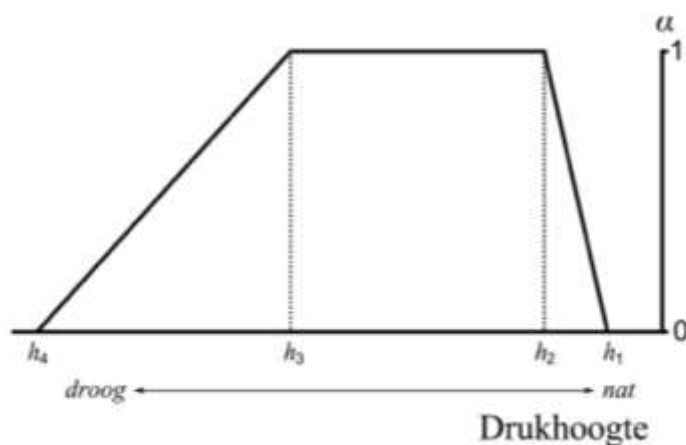
	T-som			
	Opkomstfase	Ontwikkelingsfase	Gesloten gewasfase	Afrijpingsfase
Gras	0	1		
Maïs	0	1.2	1.2	0
Aardappelen	0	1.3	1.3	0
Suikerbieten	0	1.2	1.2	0
Erwten	0	1.1	1.1	0
Winterpeen	0	1.1	1.1	0
Waspeen	0	1.1	1.1	0
Schorseneer	0	1.1	1.1	0
Spinazie	0	1	1	0

Op basis van de gewasfactoren uit Tabel 11 zijn voor vijf groentegewassen in Figuur 5 de gewasfactoren als functie van de temperatuursom vanaf zaaien weergegeven, zoals die door Van Evert (2015) zijn vastgesteld.



Figuur 5. Gewasfactoren voor de vijf groenten als functie van de temperatuursom vanaf zaaien (Van Evert, 2015).

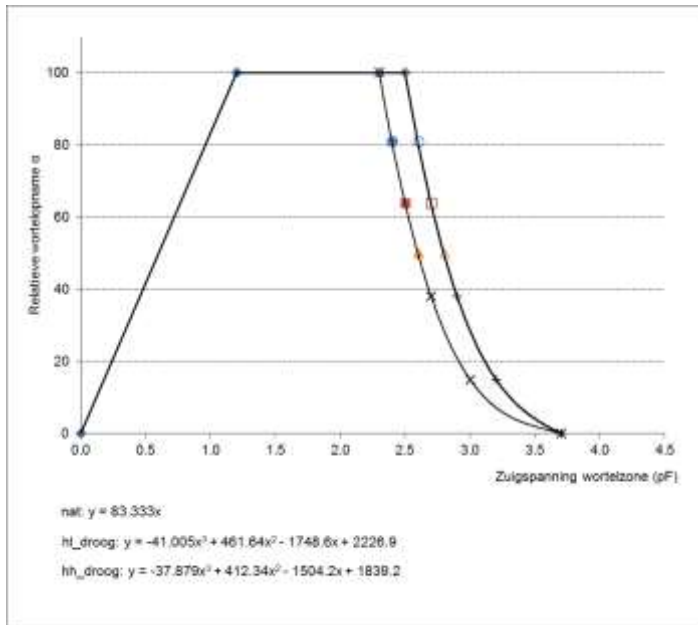
Onder een suboptimale vochtvoorziening in de wortelzone zal de potentiële transpiratie (T_{pot}) afnemen tot de actuele transpiratie (T_{act}), waardoor de gewasopbrengst lager wordt dan potentieel haalbaar is. Zowel te droge als te natte omstandigheden leiden tot een suboptimale transpiratie, omdat plantenwortels dan onvoldoende water kunnen opnemen. Voor het berekenen van reducties in de wateropname door te droge (watertekort) en te natte (zuurstoftekort) omstandigheden heeft Feddes *et al.* (1978) een wortelonttrekkingsfunctie ontwikkeld. Bij optimale bodemvochtcondities zijn de plantenwortels in staat te voldoen aan de potentiële opname. Bij te droge omstandigheden wordt de waterflux naar de wortels kleiner dan de potentiële opname. Deze afname wordt uitgedrukt in een reductiecoëfficiënt die varieert van 0 (geen opname) tot 1 (potentiële opname).



Figuur 6. Wortelonttrekkingsfunctie volgens Feddes *et al.* (1978).

Voor het bepalen van de actuele gewasverdamping in het modelmatige beregeningsadvies zoals dat in de webapplicatie Irrigatie Advies gebeurt (zie ADVIESSYSTEMEN), wordt gebruik gemaakt van een afgeleide van de Feddes reductiefunctie. De verdampingsreductie bij een relatief natte en een relatief droge vochttoestand van de bodem (wortelzone) worden volgens twee verschillende functies beschreven. Daarbij is voor het droge traject onderscheid gemaakt in een relatief hoge en in een relatief lage verdampingsvraag. Op basis een berekeningsexperiment op grasland (Hoving

en van Riel, 2003) en praktijkervaringen zijn niet lineaire functies opgesteld, omdat bij lineaire functies de verdamping te langzaam reduceert in vergelijking tot de praktijk. Een belangrijk ijkpunt hierbij is dat bij een zuigspanning in de wortelzone ter grootte van $pF = 2,7$ (drukhoogte - 500 cm) de actuele verdamping gemiddeld 50% van de potentiële verdamping bedraagt. In Figuur 7 staat de uitwerking van de Feddes functie voor Irrigatie Advies.



Figuur 7. Relatieve wortelopname a (relatief ten opzichte van potentiële opname) als functie van de zuigspanning pF volgens Feddes et al. (1978), toegepast in BeregeningsSignaal om de transpiratiereductie te berekenen, met een functie voor het natte traject ('Nat') en functies voor een lage verdampingsvraag (hl) en een hoge verdampingsvraag (hh). Bij ($a=100$) is de wateropname optimaal.

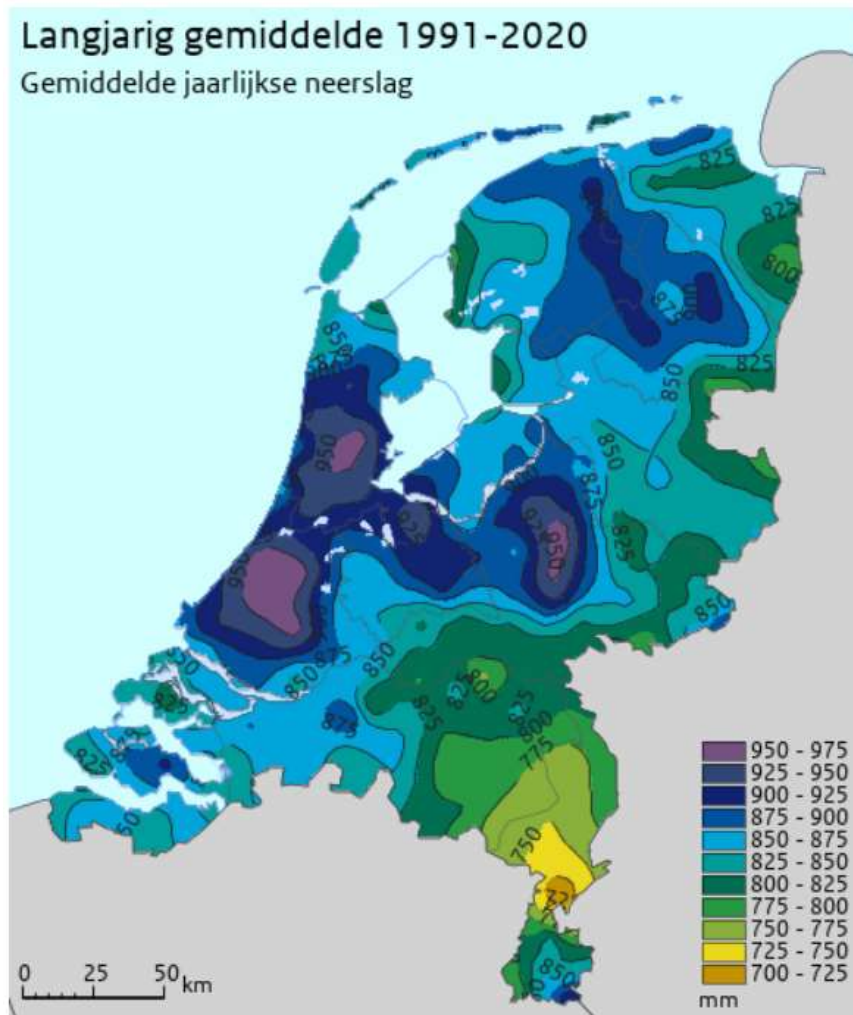
Figuur 7 laat voor het droge traject een negatief exponentieel verband zien tussen de pF -waarde en de relatieve wortelopname. Dit sluit aan bij de resultaten van een bakkenproef die is uitgevoerd in 1994-1996 door Smidt et al. (1998), waarbij het vochtverbruik en droogtegevoeligheid van verschillende voedergewassen is onderzocht. Hierin werd een negatief exponentieel verband gevonden tussen het volumepercentage vocht in de wortelzone en het relatieve transpiratie (T_a/T_p). Daarbij werden tussen de gewassen geen grote verschillen in transpiratiekarakteristiek gevonden. Nader literatuuronderzoek en mogelijk experimenten zijn nodig om de gebruikte relatie te toetsen.

NEERSLAG

Neerslag is de belangrijkste aanvoerbron van water. De neerslaghoeveelheden moeten zodoende zo goed mogelijk met de werkelijkheid overeenkomen. Vermeld wordt de 24-uurs neerslagsom, gemeten van 08:00 uur op de voorafgaande dag tot 08:00 uur op de vermelde datum.

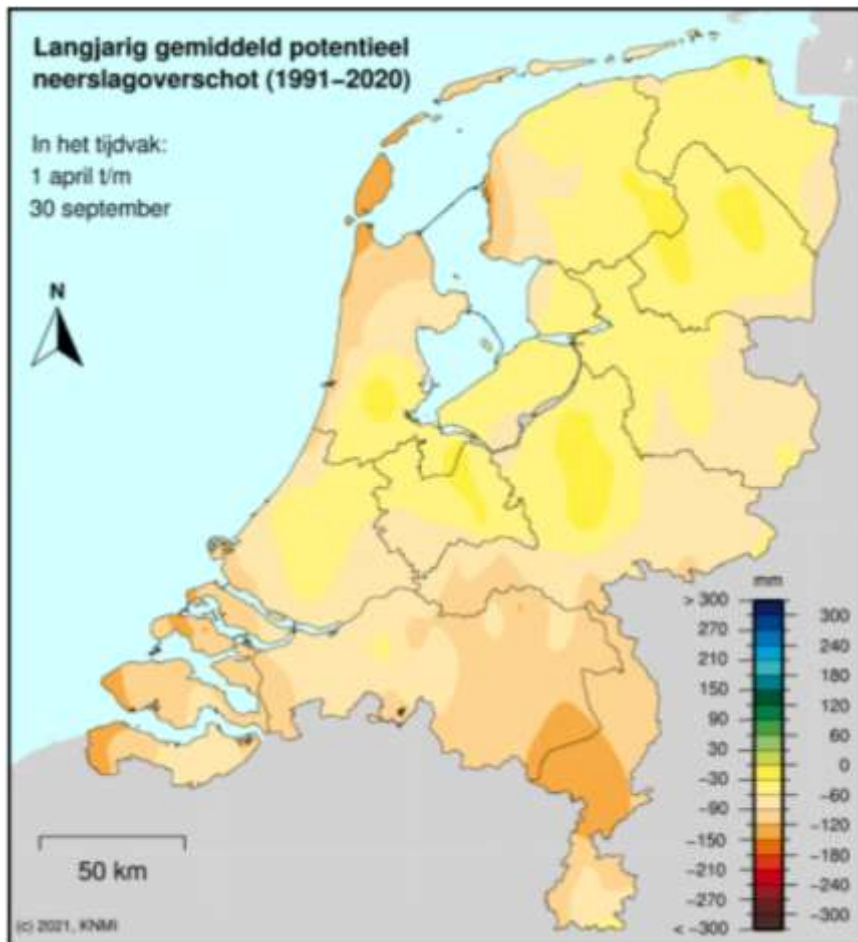
Irrigatie Advies maakt via Farmmaps gebruik van de ingeschatte neerslag door IBM Weather. In de praktijk ervaren we echter grote lokale verschillen in neerslag. Met een neerslagsensor op het perceel kan goed ingeschat worden wat de lokale neerslag is.

Het KNMI publiceert kaarten, grafieken en tabellen voor het klimaat van nu in Nederland, Het KNMI berekent om de tien jaar langjarige gemiddelden ('normalen') voor een groot aantal KNMI-stations. De meest recente langjarig gemiddelden gaan over de periode 1991-2020 (KNMI 2022, [KNMI – klimaatviewer](#)). In Figuur 8 staat het langjarig gemiddelde voor de jaarlijkse neerslag 1991-2020.



Figuur 8. Langjarig gemiddelde jaarlijkse neerslag in Nederland 1991-2020 (KNMI 2022, [KNMI – klimaatviewer](#)).

Het doorlopend potentieel neerslagoverschot wordt verkregen door het verschil te berekenen tussen de hoeveelheid gevallen neerslag en de berekende referentiegewasverdamping. Dit verschil wordt dagelijks gesommeerd in het tijdvak van 1 april tot en met 30 september ([KNMI – klimaatviewer](#)). Een negatief getal geeft een tekort aan, een positief getal een overschot. Het tekort aan water vindt vooral plaats in de maanden april t/m juli met de grootste tekorten in mei en juni. Dit is juist de periode waarin veel gewassen beginnen op te komen en met knolzetting beginnen. In Figuur 9 staat het langjarig gemiddelde voor het jaarlijks potentieel neerslagtekort 1991-2020.

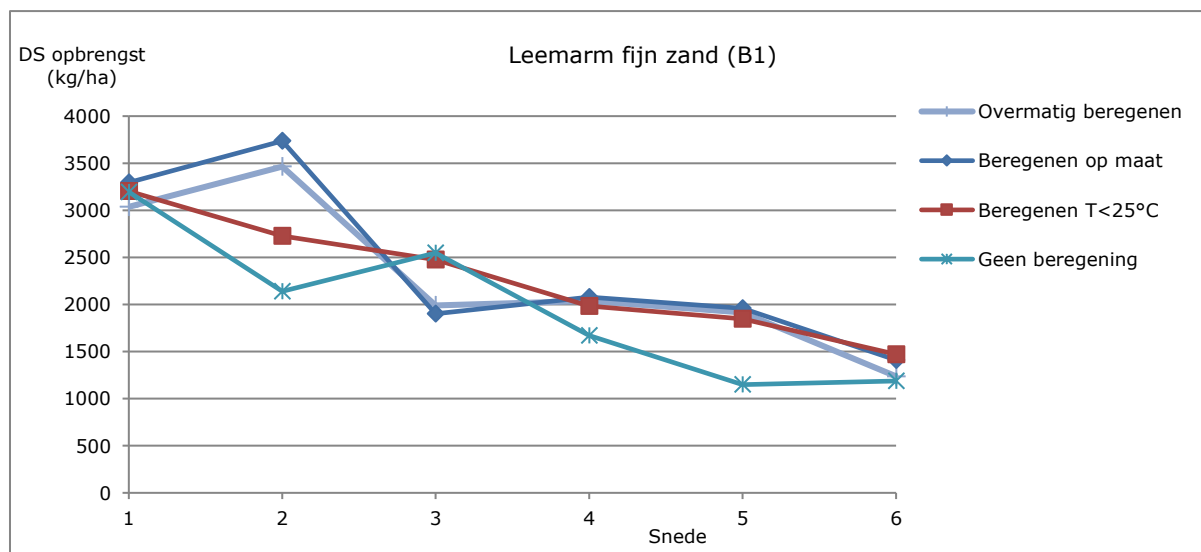


Figuur 9. Langjarig gemiddeld jaarlijks potentieel neerslagoverschot 1991-2020 (KNMI 2022, [KNMI – klimaatviewer](#)).

WATERGEBRUIK EN BEREGENINGSEFFICIENTIE

Watergebruik gewassen

De belangrijkste voedergewassen op melkveebedrijven zijn gras en snijmaïs. Het effect van beregening is voor beide gewassen verschillend door een verschil in vochtbenutting; snijmaïs benut water tweemaal zo efficiënt als gras. Zodoende kan bij droogte met relatief weinig beregening een aanzienlijke netto opbrengstverhoging worden gerealiseerd ten opzichte van het beregenen van gras. Door bij droogte snijmaïs tijdig te beregenen kan een voldoende tot goede opbrengst veiliggesteld worden. Door een veel grotere worteldiepte is de beschikbaarheid van vocht groter en is er minder snel sprake van een vochttekort ondanks de hogere potentiële gewasverdamping bij een gesloten gewas. Vooral rond de bloei en kolfzetting van snijmaïs is voldoende vocht essentieel om een goede productie en voederwaarde te realiseren. Beregening kan zodoende voor snijmaïs heel effectief worden ingezet. Bij het beregenen van grasland zal pas op het einde van het groeiseizoen blijken of beregening effectief is geweest. Uit een beregeningsonderzoek dat is uitgevoerd in Noord Brabant in de jaren 1998 tot en met 2001 (Hoving en Van Riel, 2003) bleek dat beregening effectiever was naarmate (zand)grond droogtegevoeliger was. Het effect van beregening werd bepaald door in een veldproef onberegende objecten te vergelijken met beregende objecten. Het gras werd (zoals gebruikelijk) in meerdere sneden geoogst en het bleek dat tussen sneden compensatie-effecten in opbrengst optraden, vooral wanneer gras niet beregend werd. Hierdoor kon een opbrengstverlies door droogte in de onberegende situatie, in een volgende snede met voldoende neerslag weer geheel of gedeeltelijk gecompenseerd worden. Naarmate een grond droogtegevoeliger was en een droge periode langer duurde was het compensatie-effect kleiner. Door dit compensatie-effect kon alleen een uitspraak gedaan worden over de opbrengstverhoging van beregening op jaarbasis. Het beregeningseffect was maximaal 15 kg droge stof per mm op jaarbasis (oftewel 667 liter per kg droge stof) bij een stikstofbemestingsniveau van 400 kg per ha. Het vochttekort werd daarbij voor ongeveer 80% opgeheven. In Figuur 10 staan de verschillende beregeningsstrategieën die in het onderzoek zijn toegepast en is het compensatie-effect vooral zichtbaar tussen snede twee, drie en vier in het vergelijk tussen de behandelingen *Geen beregening* en *Overmatig beregenen* (start beregenen bij $pF=2,4$) en *Beregenen op maat* (start beregenen bij $pF=2,7$).



Figuur 10. Grasopbrengst per snede op leemarm fijn zand in 1998, waarbij het compensatie-effect tussen de sneden twee, drie en vier zichtbaar is (Hoving en Van Riel, 2003).

Uit een bakkenproef (Smidt et al., 1998) en een veldexperiment (Van der Schans, 1998) die zijn uitgevoerd in 1994-1996 in Gastel en Leende is het watergebruik voor verschillende voedergewassen gekwantificeerd. Hieruit blijkt dat maïs ongeveer twee keer zo efficiënt met water omgaat dan Engels raaigras. Ook van triticale en voederbieten is de het watergebruik relatief efficiënt. De resultaten zijn samengevat in Tabel 12.

Tabel 12. Watergebruik (liter/kg droge stof) volgens Smid et al. (1998) en Van der Schans (1998).

Gewas	Bakkenproef	Veldproeven
Maïs	175	240
Triticale	220	215
Bieten (voederbiet)	200	250
Engels raai	350-550	400
Rietzwenkgras	325	325
Luzerne	400-550	380

Over het watergebruik van akkerbouw- en vollegrondsgroente gewassen is onvoldoende bekend. Nadere literatuurstudie is nodig om het watergebruik gedetailleerd te kunnen kwantificeren.

Hydrologische efficiëntie van beregening

Niet al het beregeningswater komt ten goede aan gewasverdamping, omdat een deel verloren gaat. In Tabel 13 staan de verliezen die volgens Van Bakel en Mulder (2019) kunnen optreden en de orde van grootte van de betreffende verliezen.

Tabel 13. Kwantificering van de verliezen in procenten van de beregeningsgift Van Bakel en Mulder (2019)

Verliezen	Grootte (%)
Lekverliezen (installatie en aanvoerleidingen)	1-2
Driftverliezen (over rand beoogde perceel)	5-15
Verdampingsverliezen (verlies van sproeiwater)	3-6
Interceptieverliezen (water op kale grond en verharde oppervlakten)	2-10
Niet uniforme verdeling (sectorinstelling)	5-20
Percolatie-verliezen (te grote beregeningshoeveelheid)	5-15

In 2020 is door een werkgroep onderzocht of 's nachts beregenen het waterverbruik kan beperken. De conclusies van de werkgroep (Eertwegh et al., 2020) waren:

- De verdampingsverliezen bij beregenen overdag zijn ongeveer twee keer zo groot (3 à 6% van de beregeningsgift op dagbasis) als bij beregenen 's nachts (2 à 3% van de beregeningsgift op dagbasis). Absoluut gezien is dit een gering verschil;
- Driftverliezen door wind tijdens beregening heeft een groter effect op de beregeningsverliezen dan verdamping tijdens beregening. Overdag zijn de driftverliezen bij beregenen 1 à 3% (uitgedrukt in % t.o.v. beregeningsgift). 's Nachts zijn deze verliezen kleiner omdat het overdag gemiddeld harder waait;
- Percolatieverliezen worden groter naarmate het harder waait (geen schattingen/cijfers bekend of bepaald) en zijn overdag groter dan 's nachts;
- Beregenen bij windsnelheden boven 3 m/s (matige wind) geeft meer drift- en percolatieverlies.

ADVIESSYSTEMEN

Algemeen

Bodemsensoren geven door middel van een meting de bodemvochttoestand weer en des te directer de sensor het bodemvochtgehalte of de zuigspanning van de bodem meet, des te groter de betrouwbaarheid. Satellietbeelden geven de toestand van de biomassa weer of de vochttoestand van de toplaag van de bodem. Hieruit kan de vochtbeschikbaarheid voor het gewas worden afgeleid. Alleen met een model (bodemvochtbalans) is het mogelijk om de bodemvochtbeschikbaarheid voor de weersverwachtingstermijn te voorspellen en berekening te plannen. In Tabel 14 staat een overzicht van systemen die ondersteunen in het kunnen bepalen van waar en hoeveel te beregenen met de voor- en nadelen hiervan.

Tabel 14. Systemen bepaling beregeningsmoment en -hoeveelheid met de voor- en nadelen.

Systeem	Voordelen	nadelen
Bodemsensor	<ul style="list-style-type: none">• Directe meting van bodemvochttoestand.	<ul style="list-style-type: none">• Puntmeting in plaats van vlakdekkend.• Bij meten van geleidbaarheid (EC) zijn ijklijnen nodig voor interpretatie meetwaarden.• Betrouwbaarheid is lastig te beoordelen en verschilt per sensor.• Een advies vraagt meer dan alleen een meting.
Adviessysteem (bodemvochtmodel)	<ul style="list-style-type: none">• Voorspellend voor weersverwachting.• Geeft inzicht in bepalende factoren.• Vlakdekkend.• Goede basis voor een advies.• Meerwaarde door koppeling met gewasgroei voorspelling.	<ul style="list-style-type: none">• Is een ruwe benadering van de werkelijkheid.• De kwaliteit van de invoerdata bepaalt de betrouwbaarheid van het advies.• Vraagt controle van uitgangspunten zoals bodemtextuur en hydrologische kenmerken.• Vraagt invoer van beregeningsgiften.
Remote sensing (satellietbeelden)	<ul style="list-style-type: none">• Vlakdekkend waardoor verschillen tussen percelen en binnen percelen zichtbaar zijn.	<ul style="list-style-type: none">• Indirecte meting• Geeft alleen een beeld van de toplaag van de bovengrond.• Nog weinig bekend over betrouwbaarheid en toepasbaarheid.• Beelden zijn niet altijd beschikbaar en de resolutie is vrij laag.• Een advies vraagt meer dan alleen een meting.

Voorbeeldberekening giftgrootte beregening

Op het moment dat het bodemvochtgehalte in de wortelzone het kritieke moment van beregening heeft bereikt is dient voor beregening de giftgrootte bepaald te worden. Op basis van de informatie uit deze rapportage kan een gewas- en bodemspecifieke giftgrootte bepaald worden.

Bodemsensoren geven veelal het bodemvochtgehalte aan in VolumeWaterContent (VWC) dat uitgedrukt wordt in een percentage. Dit percentage is gelijk aan de hoeveelheid vocht per 10 cm wortelzone.

In het onderstaande volgt een voorbeeld voor het berekenen van de giftgrootte, afhankelijk van de bodem en het gewas:

Bodemtype: B1 Leemarm fijn zand

Gewas: Aardappelen

Worteldiepte bij gesloten gewas: 50 cm (Tabel 2)

Uit Tabel 5 volgt dat het kritieke moment van beregenen voor aardappelen $pF=2,5$ is. Voor zandgrond (B1) volgt uit de waterretentiecurve in Figuur 2 of uit de Tabel 1 in Bijlage 2 dat bij $pF=2,5$ het vochtgehalte 12 mm per 10 cm worteldiepte bedraagt. Dit betekent dat zodra het vochtgehalte lager is dan deze 12 %, beregend moet worden. Het advies is om het bodemvocht aan te vullen tot veldcapaciteit ($pF=2,0$). Uit Figuur 2 of Tabel 1 in Bijlage 2 volgt dat hierbij het vochtgehalte 20 mm per 10 cm worteldiepte is. Dit betekent dat voor deze situatie de giftgrootte $20 \text{ mm} - 12 \text{ mm} = 8 \text{ mm}$ vocht per 10 cm wortelzone bedraagt. Met een worteldiepte van 50 cm betekent dit een totale giftgrootte $50 \text{ cm} / 10 \text{ cm} * 8 \text{ mm} = 40 \text{ mm}$. Dit is een relatief grote hoeveelheid en daarbij is het advies om deze gift op te splitsen in twee giften van 20 mm om structuurbederf en uitspoeling van water naar de ondergrond te voorkomen. In dit rekenvoorbeeld is geen rekening gehouden met eventuele verliezen die bij beregenen optreden. Aanbevolen wordt om met eenvoudige regenmeters in het veld te meten hoeveel mm water daadwerkelijk gegeven wordt.

Aandachtspunten bodemsensoren

Vanuit het project Nationale Proeftuin Precisielandbouw is in 2021 een vergelijkend warenonderzoek uitgevoerd tussen negen aanbieders van bodemvochtsensoren of adviesprogramma's voor beregenen. Sensoren verschillen o.a. in de techniek van meten, techniek van IoT, vertaling van meetwaarden naar vochtparameters, advisering en prijs (Kool et al., 2022).

Bij de techniek zijn 2 hoofdgroepen te onderscheiden:

1. Sensoren die de zuigspanning in de bodem meten (zuigspanningsmeter of tensiometer). Zuigspanning is de onderdruk die een plant moet overbruggen om water aan de bodem te onttrekken. Dergelijke sensoren geven de meest zuivere meting voor het benaderen van de vochtbeschikbaarheid voor de plant.
2. Sensoren die bodemvocht meten. De hoeveelheid bodemvocht wordt geschat door middel van het meten van elektrische geleidbaarheid of elektrische capaciteit van een bodem. Naast bodemvocht wordt met dergelijke sensoren vaak ook temperatuur gemeten. Op basis van kalibratieprofielen kan het volumepercentage vocht eenvoudig worden omgezet naar beregeningsadviezen.

Bij ADVIESSYSTEMEN is een voorbeeld gegeven van een adviesberekening op basis van de grondsoort en het ingeschatte bodemvochtgehalte. Zuigspanningsmeters of tensiometers geven niet altijd een zuigspanningswaarde in pF , maar in C_{bar} of kPa . In Tabel 15 staat een vertaling van pF -waarden naar de zuigspanningswaarde (C_{bar} of kPa). Bij aardappelen is het advies om vanaf een pF van 2.5 te gaan beregenen. Dit staat gelijk aan een zuigspanningswaarde tenminste 30 C_{bar} .

Tabel 15: Vertaling zuigspanning naar pF waarde.

pF	Vochtspanning (Cbar)
1,0	1
2,0	10
2,3	20
2,48	30
2,6	40
2,7	50
2,78	60
2,85	70
2,95	80

Bij bodemsensoren worden verschillende IoT technieken gebruikt om meetwaarden naar een computerserver te sturen. In Nederland worden onder andere de volgende connectiviteiten gebruikt: NarrowBand-IoT, LoRa en 3G/4G B2B SIM. Bij de SIM kaarten is het ook mogelijk om multiSIM kaarten te installeren, die met providers in het buitenland contact kunnen maken, wat interessant kan zijn voor boerenbedrijven in de grensstreek. Een stabiele verbinding tussen de sensor in het veld en de app of platform van de leverancier wordt beïnvloed door de gebruikte techniek (soort connectiviteit, power, aanwezigheid externe antenne) en plaatsing van de sensor (onder of boven het gewas uitstekend, boven of onder de grond). Het advies is om de leverancier eerst uit te nodigen een connectiviteitstest op de locatie te doen. Tevens kan dan gelijk een instructie gegeven worden hoe een sensor geplaatst moet worden.

Een ander aandachtspunt bij het plaatsen van sensoren in de grond, is dat de aansluiting van de sensor op de grond goed moet zijn. Dit betekent dat geen lucht tussen de sensor en de grond mag zitten. Voor de meeste sensoren is dit te realiseren door met een pijpje of guts een gat te boren die kleiner in diameter is dan de sensor, om vervolgens de sensor met een klein beetje kracht in dit gat te steken. Ook kan het helpen om na het plaatsen de grond aan te gieten met water. Het is aan te bevelen om tijdens het seizoen regelmatig de meettrends over een langere periode te volgen (bijv. 90 dagen interval) om te zien of de sensoren plausibele waarden geven. Als er weinig variatie zichtbaar is kan dit duiden op een verkeerde plaatsing of het niet aansluiten met de grond.

Voor het inzetten van bodemvochtsensoren is het van belang om na te denken waar de sensor in te zetten en voor welke doeleinde. Is bijvoorbeeld een homogeen gewas op het perceel gewenst, dan is het verstandig om een sensor op zowel een relatief droogtegevoelig als een relatief een 'nat' stuk te zetten om inzicht te krijgen in de verschillen in vochtbeschikbaarheid en daarop te sturen. Is het gewenst om bijvoorbeeld de gevolgen van droogte zoveel mogelijk te beperken kies dan met name droogtegevoelige delen van percelen uit. Bij het doel om de algehele opbrengst te verhogen, wordt volstaan om de sensor op een gemiddelde representatieve plek op het perceel te zetten. Denk bij de plaatsing ook aan het verspreiden van sensoren over het bedrijf wanneer de percelen relatief ver uit elkaar liggen. De neerslaghoeveelheden kunnen namelijk lokaal erg verschillen.

De vochtlevering van de bodem kan plaatselijk verschillen door verschil in bodemtextuur (boven- en ondergrond), verschil in maaiveldhoogte en grondwaterpeil, wel of geen aanwezigheid van drainbuizen, verschillende slootpeilen in watervoerende sloten (verschil in infiltratie vanuit oppervlaktewater) en de aanwezigheid van kwel of infiltratie. Bij grote variatie in opbrengst of in de bodem (>20%) is het raadzaam om aparte managementzones in te stellen en deze afzonderlijk te meten en te behandelen. Bij weinig variatie is één representatieve meetplek binnen het perceel voldoende en kan op perceelsniveau gehandeld worden.

Gebruik gutsboor en visueel beoordelen van de bovengrond

Een gutsboor is een handig hulpmiddel om snel een beeld te krijgen van de vochttoestand van de wortelzone (20-40 cm) door de grond op kleur te beoordelen en het te voelen door het vast te pakken. Bij herhaald toepassen wordt ervaring opgedaan is de mate van vochttekort snel in te schatten. In Tabel 16 staan vier gradaties voor de vochttoestand van de wortelzone met daarbij aangegeven wat de kleur en de kneedbaarheid is en of berekening nodig is volgens ervaringen zoals die voor zandgrond zijn opgedaan.

Tabel 16. *Beoordeling bodemvochttoestand zandgrond op basis van kleur en kneedbaarheid*

Vochttoestand	Kleur grond	Kneedbaarheid	Berekening nodig?
Ruim voldoende	Donker (basis)	Goed kneedbaar, soms vochtuitreding	Nog geen berekening nodig
Nog juist voldoende	Lichter	Kneedbaar, maar valt gemakkelijk uiteen. Soms kruimelig	Binnenkort berekening nodig (afhankelijk van weer)
Vocht is beperkend	Veel lichter	Niet goed kneedbaar, brokkelig, kruimelig, iets stoffig	Berekening nodig, uitstel kost productie.
Te droog	Zeer licht	Niet kneedbaar, bevat geen vocht, stoffig, glijdt gemakkelijk uit boor.	Berekening nodig, droogte heeft productie gekost.

Irrigatie Advies

Irrigatie Advies is een webapplicatie van Wageningen Livestock Research dat op elk gewenst moment een beregeningsadvies geeft op basis van een bodemvochtmodel.

Het programma voorspelt voor gras en de belangrijkste akkerbouw- en vollegrondsgroente gewassen de bodemvochttoestand van de wortelzone voor een weersverwachtingstermijn van vijf dagen. Het geeft per perceel een beregeningsadvies op het moment dat vocht beperkend wordt en adviseert daarbij de grootte van de gewenste beregeningsgift in mm. Daarmee wordt voorkomen dat te veel beregend wordt of dat een vochttekort optreedt. Het programma geeft niet alleen een beregeningsadvies, maar ook inzicht in alle factoren die invloed hebben op de bodemvochttoestand.

Het programma geeft een beregeningsadvies voor de volgende gewassen: grasland, maïs, aardappelen, suikerbieten, erwten, zaaiuien, tulp, lelie, winterpeen, waspeen, schorseneren en spinazie.

Het programma berekent de bodemvochttoestand van de wortelzone van een gewas met het waterbalansmodel WATBALsig van Wageningen Environmental Research. Het programma voorspelt voor elk agrarisch perceel in Nederland de bodemvochtvoorraad en de grondwaterstand aan de hand van bodem, hydrologie en gewas en geeft een beregeningsadvies op het moment dat vocht beperkend wordt.

De bodemtextuur van de humeuze bovengrond is bepalend voor de mate van vochtlevering van de bodem. De bodemtextuur van de ondergrond bepaalt de mate van capillaire opstijging van vocht uit de ondergrond en het grondwater. Het grondwaterstandsverloop wordt gekarakteriseerd door de gemiddeld hoogste en laagste grondwaterstand (respectievelijk GHG en GLG). De drainagemiddelen sloten, drainbuizen en greppels beïnvloeden de grondwaterstand en worden meegenomen in het advies. De mate van kwel of wegzijging betreft respectievelijk de extra vochtlevering vanuit het grondwater of het wegstromen van bodemvocht naar de ondergrond.

Niet alleen de bodem en de hydrologie, maar ook het gewas speelt een belangrijke rol in het berekenen van een bodemvochtbalans. Gewassen verschillen in zaai- of pootdatum, worteldiepte, gewasontwikkeling, mate van gewasverdamping en gewenst beregeningsmoment. Zowel te droge als te natte omstandigheden leiden tot een suboptimale transpiratie, doordat omdat plantenwortels dan onvoldoende water kunnen opnemen.

Om de dagelijkse bodemvochttoestand op waarde te kunnen schatten worden in de weergave van de bodemvochtvoorraad (mm) vier klassen onderscheiden te weten: te nat, voldoende, vocht is beperkend, te droog.

Irrigatie Advies haalt voor ingevoerde percelen in Farmmaps automatisch invoerdata op voor bodem, hydrologie en meteo om een bodemvochtbalans te berekenen. Voor de bodemfysica wordt gebruik gemaakt van de BOFEK-kaart, welke afgeleid is van de 1:50.000 bodemkaart. De gevallen neerslag wordt betrokken van plaats specifieke radardata (grid van 2,4 km). Voor de gewasverdamping wordt gebruik gemaakt van Makkink. De digitale data voorziet ook in data over sloten, drainbuizen, kwel of wegzijging en de gemiddeld hoogste (GHG) en laagste grondwaterstand (GLG). De aanwezigheid, de diepte en de weerstanden van de drainagemiddelen worden op basis van kaartmateriaal ingeschat en kunnen desgewenst in de instellingen worden aangepast. Tevens kunnen slootpeilen worden opgegeven of neerslagdata worden aangepast. Beregeningshoeveelheden dienen zelf ingevoerd te worden.

TEELTMAATREGELEN

Maatregelen kunnen nodig zijn om de vochtuishouding van de bodem op peil te houden of te verbeteren. De worteldiepte is een belangrijke factor voor de beschikbare hoeveelheid vocht, zoals in BODEM en HYDROLOGIE staat beschreven. Vooral storende lagen en ondergrondverdichting kunnen de worteldiepte beperken. Let hierbij goed op plekken waar plassen langdurig blijven staan in het seizoen. Het is van belang om aandacht te hebben voor het voorkomen en oplossen van verdichting bij de hoofdgrondbewerking. Wanneer storende lagen in de ondergrond voorkomen, kunnen deze opgelost worden door te spitten met een kraan of door drainbuizen met sleufvulling toe te passen, indien op een perceel of een deel hiervan snel vernatting optreedt. Ook is het van belang om bij de hoofdgrondbewerking de bovengrond niet te fijn te maken, omdat anders het risico bestaat dat de bovengrond dichtslaat bij forse buien (vooral op gronden die slempgevoelig zijn) en het water oppervlakkig naar lagere delen van het perceel afspoelt. Ook andere teeltmaatregelen dragen bij om de runoff van water naar lagere delen te voorkomen. Zo zijn er pootmachines die drempeltjes tussen de aardappelruggen leggen of zaaimachines die gewassen in een ruitvorm zaaien. Ook het aanleggen van waterbuffers of gewasstroken dwars op de teeltrichting kan de runoff naar lagere delen verminderen. In het algemeen speelt op akkerbouwgrond een voldoende organische stofvoorziening een belangrijke rol in het op orde houden van de bodemstructuur. Voorkomen is beter dan genezen!

Voor mogelijke maatregelen op Veenkoloniale gronden, zie [Beslisboom opheffen bodemverdichting Veenkoloniën](#).

KENNISLEEMTEN

De tabellen en grafieken in dit rapport zijn gebaseerd op zowel onderzoek als expertkennis. Een aantal onderdelen heeft een betere onderbouwing door middel van proefveld- of literatuuronderzoek. In het hoofdstuk BODEM staan de 18 bodemtypen beschreven volgens de bouwstenen van de Staringreeks. De waterretentiecurven die hiervoor zijn afgeleid zijn klassenfuncties, echter er zijn ook continu vertaalfuncties beschikbaar, de zogenaamde pedo-transferfuncties (Wösten et al., 2001a en 2001b). Deze functies kunnen toegepast worden op basis van de Leem- en M50 fracties voor zandgrond of de fractie lutum voor kleigrond, organische

stoffractie en bulkdichtheid van de grond, waarin standaard bodemanalyses in kunnen voorzien. Hiermee kunnen waterretentiecurves specifiekere berekend worden, waardoor beter kan worden aangesloten bij de actuele bodemkarakteristiek van percelen op een bedrijf. Dit is vooral van belang voor het toepassen van bodemsensoren. Een aantal variabelen in de pedo-transferfuncties hebben echter een behoorlijke onnauwkeurigheid. Voor toepassing van continu vertaalfuncties is een grotere betrouwbaarheid gewenst.

In het hoofdstuk VERDAMPING wordt de transpiratiekarakteristiek voor gewassen weergegeven. Met name de relatie tussen zuigspanning en de vochtopname per gewas (Feddes-curve) behoeft een nadere onderbouwing. Het gaat dan om het bepalen van het kritische aanvulpunt voor de gewassen bij een hoge en lage verdampingsvraag. Ook vergt dit een nadere economische onderbouwing.

Per gewas per gewasfase wordt een verdampingsfactor gehanteerd, waarmee de potentiële verdamping ten opzichte van het referentiegewas gras wordt inschat. De verdamping van een gewas hangt af van de waterefficiëntie van het gewas en het bladoppervlak. De ontwikkeling van het bladoppervlak kan met een temperatuursommodel benaderd worden. De temperatuursommodellen zouden gevalideerd of verder ontwikkeld kunnen worden, door per gewas met satellietbeelden van een groot aantal percelen de biomassa te relateren aan de temperatuursom. Aanbevolen wordt om op deze wijze de temperatuursommodellen voor de gewassen in Irrigatie Advies te valideren en om modellen voor andere beregeningsbehoeftige gewassen toe te voegen.

In het hoofdstuk GEWAS staan voor de verschillende gewassen en bodemtypen de worteldiepte beschreven. Ook is beschreven hoe de worteldiepte zich in de tijd op basis van de temperatuursom ontwikkelt. Deze beschrijving is pragmatisch en een sterke versimpeling van de werkelijkheid. Er is meer inzicht nodig in hoe de worteldiepte na poten en zaaïen toeneemt in de tijd. Daarnaast is meer inzicht nodig in de verdeling van de vochtopname door het gewas in de wortelzone. Vooral bij aardappelen wordt door de rugopbouw van de bodem, de hoeveelheid beschikbaar vocht met een bodemvochtmodel snel overschat.

VUISTREGELS

- Beoordeel de grond door het te bekijken en vast te pakken.
- Ken indicatorplekken voor het startmoment van beregenen.
- Pas hulpmiddelen toe om het beregeningsmoment beter te kunnen bepalen.
- Maximaal 30 mm per trek van de beregeningshaspel.
- Controleer met eenvoudige regenmeters hoeveel mm water daadwerkelijk gegeven wordt.
- Geef prioriteit aan waterefficiënte gewassen en/of met een hoge economische waarde.
- Kom gedurende langere droge periode wekelijks op een perceel terug.
- 'Beter goed dan half'; maak een selectie van percelen die beregend moeten worden.
- Houd gras in leven. Na eenmaal gestart te zijn met beregenen zet dit dan voort.
- Wees op gras terughoudend met beregenen bij hoge temperaturen (inefficiënt en veel verlies)
- Niet beregenen bij matige of harde wind.

BRONNEN EN LINKS

- Aarts, H.F.M., C. Grashoff en H. van Keulen, 1999. Managing dairy farming systems for groundwater conservation in the sandy regions of the Netherlands. Wageningen, ab-dlo. Report 101
- Berghuis-van Dijk J T 1985 WATBAL: A simple water balance model for an unsaturated-saturated soil profile. Institute for Land and Water Management Research, Wageningen, Note Nr. 1670.
- Cate, J.A.M., A.F. van Holst, H. Kleijer en J. Stolp, 1995. Handleiding bodemgeografisch onderzoek; richtlijnen en voorschriften. Deel B: Grondwater. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Technisch Document 19B.
- Dekkers W.A. (2000). Beregenen van akkerbouw- en vollegrondsgroentegewassen; Praktijkonderzoek voor de Akkerbouw en de Vollegrondsgroenteteelt, WUR Lelystad, rapport 99)
- Doorenbos J, Kassam AH (1979) Yield response to water function. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 33. Rome, Italy
- Eertwegh, G. van den, J. van Bakel, H. Massop, J. van Dam, F. Bosveld en A. Veldhuizen, 2020. Efficiëntie van beregening. Een deskstudy naar kennis en inzicht ten aanzien van waterverliezen bij midden op de dag beregenen vergeleken met beregen in de nachtelijke uren. Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, Eindnotitie.
- Feddes, R.A., Kowalik, P.J. en Zaradny, H. (1978) Simulation of field water use and crop yield; Simulation Monographs. Pudoc, Wageningen, 189 pp
- Heinen, M.G., Bakker, H. Wösten, 2020. Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks; Update 2018. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 2978.
- Hoving, I.E. en J.W. van Riel 2003. Het effect van diverse beregeningsstrategieën op de opbrengst van gras. In: Gebundelde verslagen van de Nederlandse vereniging voor weide- en voederbouw, 2002-2003, nr. 39.
- Knotters M., D. Walvoort, F. Brouwer, L. Stuyt, J. Okx, 2018. Landsdekkende, actuele informatie over grondwatertrappen digitaal beschikbaar. H2O-Online.
- Kool, F., Kempenaar, C., Riepma, J., Medema, A., 2022. Vergelijkingsproef bodemvochtsensoren; Vergelijking van verschillende bodemvochtsensoren op twee praktijkpercelen in het kader van NPPL. Wageningen Research, Openbaar Rapport WPR-1129, <https://edepot.wur.nl/564720>
- Kroes, J. G., J.C. van Dam, R.P. Bartholomeus, P. Groenendijk, M. Heinen, R.F.A. Hendriks, H.M. Mulder, I. Supit, P.E.V van Walsum, 2017. SWAP version 4: Theory description and user manual. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Report 2780.
- Makkink, g.f., 1957. Testing the Penman formula by means of lysimeters. jour. inst. of Water eng., 11: 277-288.
- Moors, E., W. van Ellen, J. Mol & B. Swart (2002). Hydrologische woordenlijst. NHV-special 5, Nederlandse Hydrologische Vereniging (NHV).
- Schans, D.A. van der, 1998. Ruwvoerproductie bij droogte. Kies voor zekerheid! Lelystad, Praktijkonderzoek voor de Akkerbouw en de Vollegrondsgroenteteelt. Themaboekje nr. 21

- Smid HG, Grashoff C & Aarts HFM (1998) Vochtverbruik en droogtegevoeligheid van voedergewassen. Experimenteel onderzoek 1994-1996. AB-DLO. Rapport 91. Wageningen.
- Snellen B., Bartholomeus R., Massop H., Veraart J.A., 2021, Deltafact Bodemvocht gestuurd beregenen, 3-3-2021, Wageningen Environmental Research, STOWA
- Wösten, J.H.M., M.H. Bannink en J. Beuving. 1987. Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks. Wageningen, STIBOKA (Rapport 1932), ICW (Rapport 18).
- Wösten, J.H.M., G.J. Veerman en J. Stolte, 1994. Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks. Vernieuwde uitgave 1994. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Technisch Document/Technical Document 18.
- Wösten, J.H.M., Ya. A. Pachepsky and W.J. Rawls. 2001a. Pedotransfer functions: bridging the gap between available basic soil data and missing soil hydraulic data: their development, uncertainty and practical use in modelling. Submitted to J. of Hydrology.
- Wösten, J.H.M., G.J. Veerman, W.J.M. de Groot en J. Stolte. 2001b. Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks. Vernieuwde uitgave 2001. Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra-rapport 153.
- Wösten, H., F. de Vries, T. Hoogland, H. Massop, A. Veldhuizen, H. Vroon, J. Wesseling, J. Heijkers en A. Bolman, 2013. BOFEK2012, de nieuwe, bodemfysische schematisatie van Nederland. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2387.
- Wouters, A.P., A.H.J. van der Putten en J.H.A.M. Steenvoorden 1992. Invloed van berekening op de productie en stikstofhuishouding van grasland. In: Gebundelde verslagen van de Nederlandse vereniging voor weide- en voederbouw, 1992, nr. 33, p. 60-83.

Links

Berekening:

<https://www.stowa.nl/deltafacts/zoetwatervoorziening/droogte/berekening>

Regelbare drainage:

<https://www.stowa.nl/deltafacts/zoetwatervoorziening/droogte/regelbare-drainage>

Dynamisch peilbeheer:

<https://www.stowa.nl/deltafacts/zoetwatervoorziening/droogte/dynamisch-peilbeheer>

Belang van bodemorganische stof voor het waterbeheer

<https://www.stowa.nl/deltafacts/zoetwatervoorziening/aanpassen-aan-klimaatverandering/belang-van-bodemorganische-stof>

Verdamping

[Verdamping | STOWA](#)

Grondwaterkarakteristiek (GXG)

[Landsdekkende, actuele informatie over grondwatertrappen digitaal beschikbaar \(h2owaternetwerk.nl\)](https://www.h2owaternetwerk.nl)

Hydrologische efficiëntie berekening (Van Bakel en Mulder, 2019)

[PowerPoint Presentation \(stowa.nl\)](https://www.stowa.nl)

Efficiëntie overdag of 's nachts beregenen (Eertwegh et al., 2020)

[Efficiëntie van beregening | Rapport | Rijksoverheid.nl](https://www.rijksoverheid.nl)

KNMI 2021. Klimaatviewer. Gemiddelde hoeveelheid verdamping 1991-2020,

<https://www.knmi.nl/klimaat-viewer/kaarten/neerslag-verdamping/gemiddelde-hoeveelheid-verdamping>

Booij J.A., Essen E., 2015, Beslisboom opheffen bodemverdichting Veenkoloniën:

https://www.praktijknetwerkenindelandbouw.nl/Producten/NB_2015091601-beslisboom.pdf

COLOFON

Deze publicatie is opgesteld door Idse Hoving van Wageningen Livestock Research en Johan Booij van Wageningen Plant Research.

DISCLAIMER

De in deze publicatie gepresenteerde kennis en adviezen zijn gebaseerd op de meest recente inzichten rondom bodem, hydrologie en gewas. De kennis is gebaseerd op gemiddelde waarnemingen uit veld- en laboratoriumwaarnemingen en praktijkkennis. Praktijkomstandigheden kunnen afwijken, waardoor de inhoud van het informatieblad altijd kritisch beschouwd moet worden. De auteur(s) kunnen niet aansprakelijk worden gesteld voor eventuele schade die ontstaat door toepassing van de kennis en adviezen uit deze publicatie.

Bijlage 1. Bouwstenen Staringreeks

Tabel 1. Indeling naar textuur (in % van de minerale delen; leem: < 50 µm, lutum < 2 µm), organische-stofgehalte (in % van de grond) en mediaan van de zandfractie (M50) van bouwstenen uit de Staringreeks grotendeels volgens de textuur-terminologie van het systeem van bodemclassificatie voor Nederland voor de humeuze bovengrond (Heinen et al., 2020)

Bouwsteen		Leem	Lutum	Organische stof (%)	M50 (µm)
<i>Zand</i>					
B1	Leemarm fijn zand	0-10		0-15	105-210
B2	Zwak lemig fijn zand	10-18		0-15	105-210
B3	Sterk lemig fijn zand	18-33		0-15	105-210
B4	Zeer sterk lemig fijn zand	33-50		0-15	105-210
B5	Grof zand			0-15	210-2000
B6	Keileem	0-50		0-15	50-2000
<i>Zavel</i>					
B7	Zeer lichte zavel		8-12	0-15	
B8	Matig lichte zavel		12-18	0-15	
B9	Zware zavel		18-25	0-15	
<i>Klei</i>					
B10	Lichte klei		25-35	0-15	
B11	Matig zware klei		35-50	0-15	
B12	Zeer zware klei		50-100	0-15	
<i>Leem</i>					
B13	Zandige leem	50-85		0-15	
B14	Siltige leem (Löss)	85-100		0-15	
<i>Moerig</i>					
B15	Venig zand		0-8	15-25	
B16	Zandig veen en veen		0-8	25-100	
B17	Venige klei		8-100	16-45	
B18	Kleiig veen		8-100	25-70	

Tabel 2. Indeling naar textuur (in % van de minerale delen; leem: < 50 µm, lutum < 2 µm), organische-stofgehalte (in % van de grond) en mediaan van de zandfractie (M50) van bouwstenen uit de Staringreeks grotendeels volgens de textuur-terminologie van het systeem van bodemclassificatie voor Nederland voor de ondergrond (Heinen et al., 2020)

Bouwsteen		Leem	Lutum	Organische stof (%)	M50 (µm)
<i>Zand</i>					
O1	Leemarm fijn zand	0-10		0-3	105-210
O2	Zwak lemig fijn zand	10-18		0-3	105-210
O3	Sterk lemig fijn zand	18-33		0-3	105-210
O4	Zeer sterk lemig fijn zand	33-50		0-3	105-210
O5	Grof zand			0-3	210-2000
O6	Keileem	0-50		0-3	50-2000
O7	Beekleem	33-50		0-3	50-150
<i>Zavel</i>					
O8	Zeer lichte zavel		8-12	0-3	
O9	Matig lichte zavel		12-18	0-3	
O10	Zware zavel		18-25	0-3	
<i>Klei</i>					
O11	Lichte klei		25-35	0-3	
O12	Matig zware klei		35-50	0-3	
O13	Zeer zware klei		50-100	0-3	
<i>Leem</i>					
O14	Zandige leem	50-85		0-3	
O15	Siltige leem (Löss)	85-100		0-3	
<i>Moerig</i>					
O16	Oligotroof veen			35-100	
O17	mesotroof en eutroof veen			35-100	
O18	Moerige tussenlaag			15-35	

Bijlage 2 Vochtinhoud in relatie tot pF-waarde

Tabel 1. Vochtinhoud per 10 cm wortelzone per textuurklasse voor de bovengrond met onderscheid in de optimale vochttoestand (Veldcapaciteit) en de vochttoestand waarbij het gewenst is om te beregenen (Vstart).

	Veldcapaciteit		Vstart		
	pF=2,0	pF=2,4	pF=2,5	pF=2,6	pF=2,7
B1	20	13	12	11	10
B2	28	20	19	17	16
B3	33	25	23	22	19
B4	27	19	17	15	13
B5	30	25	24	23	22
B6	39	33	31	30	28
B7	31	25	24	23	22
B8	32	27	26	25	23
B9	39	33	31	30	28
B10	38	35	34	33	32
B11	43	39	37	36	34
B12	49	46	45	45	44
B13	35	28	26	24	22
B14	38	34	32	31	30
B15	39	32	30	28	27
B16	60	51	47	44	41
B17	63	57	56	54	53
B18	60	54	52	51	49