



Beregening

In de landbouw wordt beregening gebruikt om gewassen van voldoende vocht te voorzien. Hiervoor zijn verschillende bronnen beschikbaar zoals grondwater, oppervlaktewater en hemelwater en verschillende manieren om dit water toe te dienen aan de gewassen. Deze Deltafact beschrijft de verschillende aspecten van beregening en de effecten die het heeft op het watersysteem.

1. INLEIDING
2. GERELATEERDE ONDERWERPEN EN DELTAFACTS
3. STRATEGIE
4. SCHEMATISCHE WEERGAVE
5. WERKING
6. KOSTEN EN BATEN
7. RANDVOORWAARDEN
8. GOVERNANCE
9. PRAKTIJKERVARINGEN EN LOPENDE INITIATIEVEN
10. KENNISLEEMTEN
11. BRONNEN & LINKS
12. COLOFON
13. DISCLAIMER

1. Inleiding

Bij beregening wordt water uit oppervlakte- of grondwater onttrokken en via een beregeningssysteem aan landbouwgewassen toegediend. Beregening vindt in Nederland op grote schaal plaats bij de teelt van de meeste gewassen, in het bijzonder bij de boom- en fruitteelt, vollegrondtuinbouw, aardappelen en bij melkveebedrijven (grasland) op de hoge zandgronden (o.a. [Van der Meer, 2020](#)). Vooral in droge perioden kan een sterke toename in de beregening zorgen voor

negatieve effecten op het watersysteem en andere gebruiksfuncties (grondwaterafhankelijke en aquatische natuur).

2. Gerelateerde onderwerpen en Deltafacts

Onderwerp: Droogte, Verdroging, Watervraag, Wateraanbod, Klimaatverandering.

Deltafacts: [Waterreservoirs op bedrijfsniveau](#), [Zoetwatervoorziening](#), [Regelbare drainage](#), [Effectiviteit van waterinlaat](#), [Effecten klimaatverandering op landbouw](#), [Belang van bodemorganische stof voor het waterbeheer](#), [Bodemvocht gestuurd beregenen](#)

3. Strategie

De belangrijkste reden voor beregenen is het voorkomen of beperken van droogteschade van het gewas. Beregening wordt daarnaast ook gebruikt voor het laten aanslaan van gewassen en het voorkomen van schade als gevolg van nachtvorst (met name bij fruitteelt). In een enkel geval wordt beregening toegepast voor het voorkomen van hittestress. Ook wordt grasland beregend om de graszode te behouden tijdens droogte.

Bij het voorkomen van droogteschade wordt door beregening het bodemvocht in de wortelzone aangevuld en zodoende de transpiratie-reductie (vochttekort) opgeheven. Afhankelijk van de gift en frequentie kan hierdoor de opbrengstderving worden beperkt. Beregening hangt voor een groot deel samen met de abiotische omstandigheden ter plaatse (bodemtype, bedrijfsvoering, watersysteem) en de klimatologische omstandigheden en vindt voornamelijk plaats in perioden met een oplopend neerslagtekort ([Hoogeveen et al., 2003](#)). Beregening vindt doorgaans plaats gedurende enkele korte periodes in het groeiseizoen, maar in extreem droge jaren zoals 2018, 2019 en 2020 wordt er al vroeg in het groeiseizoen overgegaan op beregening, wordt er langdurig en op grote arealen beregend. Dit kan tijdelijk leiden tot grotere onttrekkingsdebieten dan door drinkwaterbedrijven ([Eertwegh et al., 2020](#)). Als gevolg van de droogte is in 2018 een record hoeveelheid water gebruikt voor irrigatie (m.n. beregening), namelijk 264 miljoen m³, waarvan 75% uit grondwater en 25% uit oppervlaktewater. Deze hoeveelheid is ruim 3 keer groot als in 2017 en bijna 4,5 keer zoveel als het gemiddelde van 2001-2017 ([Van der Meer, 2020](#)). Daarnaast wordt er gemiddeld jaarlijks 37 miljoen m³ grond- en oppervlaktewater gebruikt voor drenking van vee.

Beregening is met name van belang bij de groeistart van gewassen en bij het ingaan van een nieuwe groeifase, dus na de inzaai of na verplanten. Voldoende bodemvocht is dan nodig voor het ontkiemen van zaad en voor een egale opkomst/hergroei van het gewas. Naast gewasopbrengst (beperken opbrengstverlies), zodebehoud en bedrijfszekerheid, spelen ook emotie en psychologie (denk aan bruin gras, of: de buurman beregent ook) een rol bij het besluit tot beregenen. Ook de eisen van afnemers en leveringscontracten zijn van belang bij de beslissing om te beregenen, door meer of minder te beregenen kan immers groei worden afgeremd of juist bevorderd.

4. Schematische weergave

Het water dat bij beregening wordt gebruikt wordt onttrokken uit zowel oppervlakte- als grondwater. In Nederland wordt ongeveer 65 tot 85% van het beregeningswater onttrokken uit het grondwater ([Hoogeveen et al., 2003](#); [Van der Meer, 2020](#)). Op de hoge zandgronden vindt de meeste beregening vanuit grondwater plaats, maar hier wordt ook oppervlaktewater gebruikt (vanuit de grotere beken, waterlopen in wateraanvoergebieden en effluent-gevoede beken) zij het mindere mate. In Laag-Nederland vindt voornamelijk beregening vanuit oppervlaktewater plaats, omdat aanvoer van water mogelijk is en grondwater vaak brak tot zout is.



Afbeelding 1 Locatie met onttrekking van oppervlakte water (foto Bas Worm) .

Grondwateronttrekkingen vinden overwegend plaats middels normale verticale putten vanuit de watervoerende pakketten dieper dan 15 m. In Zeeland waar zout grondwater ondiep wordt aangetroffen (< 20m) wordt zoet grondwater in toenemende mate onttrokken met ondiepe (3-5 m) horizontale diepdraains. Door de horizontale ondiepe ligging vindt de onttrekking uit de zoetwaterlenzen ondiep en over een groter oppervlakte plaats waardoor verzilting door het opkegelen van het dieper liggende zoute grondwater wordt voorkomen.

De beregening zelf vindt plaats middels systemen zoals een kanonsproeier/spuithaspel of beregeningsinstallatie met sproeiarmen. Expert

inschattingen geven dat 95% tot 98% van de beregening in de akkerbouw middels een beregeningshaspel gaat ([Van der Voort, 2019](#)). Bij dit soort oppervlakkige beregening gaat water verloren door diverse factoren (zie ook paragraaf 6, Tabel 1). Een alternatief is druppelirrigatie, waarbij water via slangen tot direct bij het gewas wordt gebracht en daar langzaam wordt vrijgegeven. Dit kan zowel boven- als ondergronds. Een andere vorm van irrigatie is sub-irrigatie, waarbij water via ondergrondse drainagebuizen naar de wortelzone wordt gebracht door de grondwaterstand te verhogen. Dit vereist dan wel een daarop aangepast drainagesysteem (vlakliggend, korte drainafstand, regelbaar).



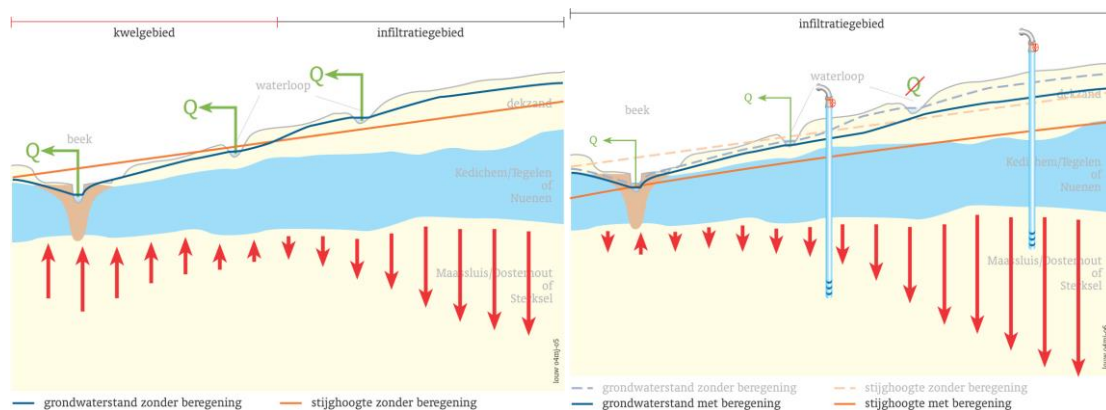
Afbeelding 2 Beregening met een kanonsproeier/spuithaspel.

5. Werking

Effecten van beregening op het watersysteem

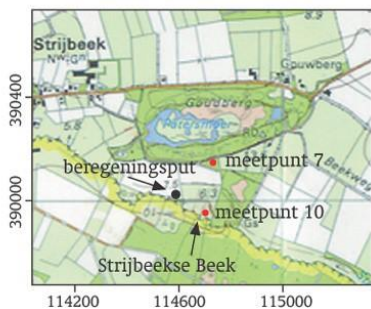
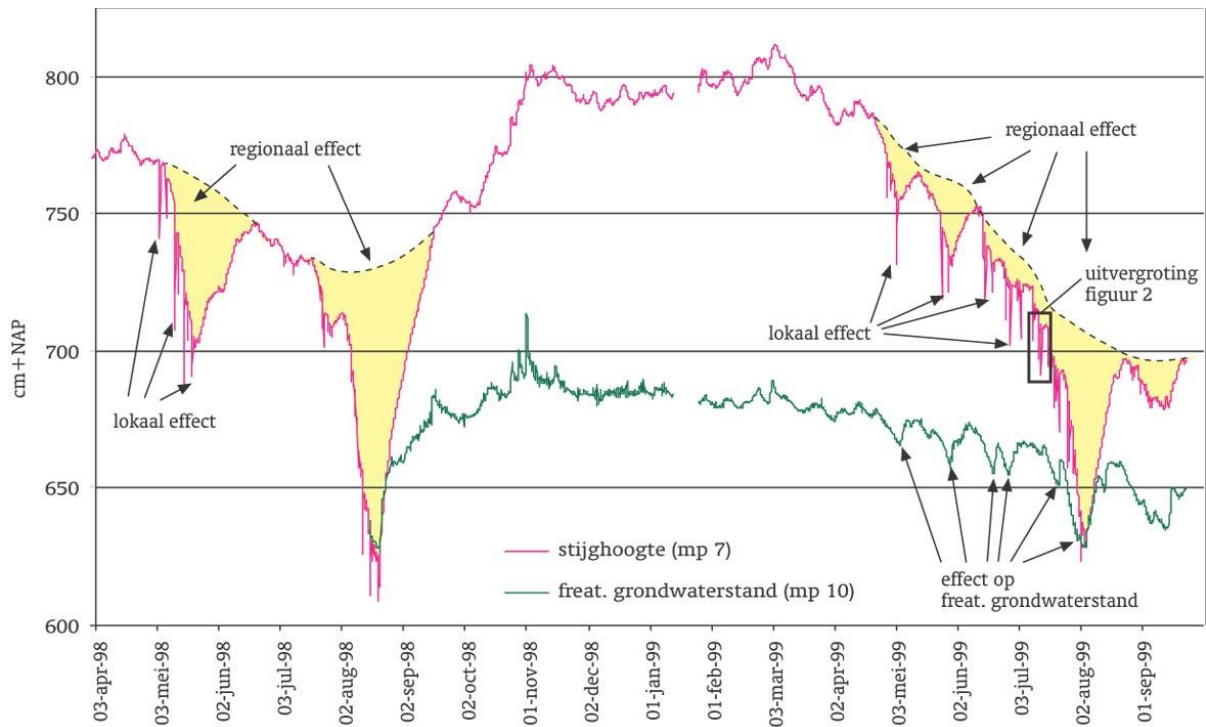
Beregening grijpt in op de totale waterbalans van een watersysteem door het onttrekken van water en het verhogen van de plantverdamping. Het onttrekken van oppervlakte- en grondwater voor beregening heeft direct effect op het grond-oppervlaktewatersysteem. Beregening uit oppervlaktewater zorgt voor een evenredige afname van de afvoer van de beek of waterloop waaruit onttrokken wordt. Het onttrekken van oppervlaktewater heeft zolang het peil gehandhaafd kan worden nauwelijks invloed op de grondwaterstand ([Eertwegh et al., 2019](#)), terwijl dit wel het geval is bij het onttrekken van grondwater, waarbij het effect op het watersysteem daardoor complexer is.

Onttrekken van grondwater voor beregening heeft direct een effect op de stijghoogte in het watervoerend pakket waaruit onttrokken wordt. Hierdoor daalt ook de freatische grondwaterstand, neemt de kwel vanuit het watervoerend pakket naar het freatische pakket af en neemt de gebiedseigen afvoer af (zie afbeelding 3). Als gevolg van dalende grondwaterstanden, kan ook de capillaire opstijging afnemen en daarmee de transpiratie.



Afbeelding 3 Schematische weergave van een infiltratiegebied en kwelgebied met grondwaterstand en stijghoogte verloop en de afvoer van sloten en beken voor een situatie zonder (links) en met grondwateronttrekking t.b.v. beregening (rechts). Bron [De Louw, 2009](#)

Metingen in het beekdal van de Strijbeekse Beek (West-Brabant, geohydrologische situatie zoals weergegeven in Afbeelding 3) laten deze processen in het grondwatersysteem duidelijk zien (Afbeelding 4) ([De Louw, 2009](#)). De stijghoogte (in het watervoerende pakket onder de Waalre klei) laat sterke dalingen zien voor de perioden dat er beregend wordt, en wanneer gestopt wordt met onttrekken, herstelt de stijghoogte weer binnen enkele weken. Zo zijn voor 1998 twee duidelijke beregeningsperioden zichtbaar en voor 1999 ongeveer vijf. De stijghoogte in het beekdal van de Strijbeek daalt zo sterk dat het stijghoogteverschil tussen het watervoerend pakket en de freatische grondwaterstand sterk afneemt en daarmee ook de kwel in het beekdal. Voor de perioden met het grootste beregeningseffect verdwijnt de kwel zelfs voor een periode van enkele weken, wat mogelijk effect kan hebben op grondwaterafhankelijke vegetatie.

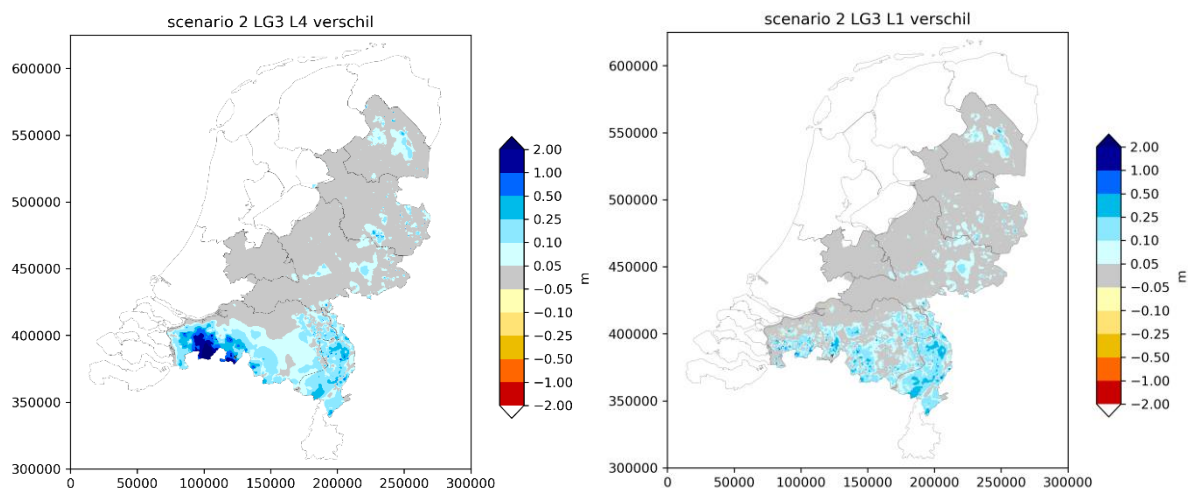


Afbeelding 4 Metingen van de stijghoogte en freatische grondwaterstand in de Strijbeek ([De Louw, 2009](#))

Het effect van een verandering van de stijghoogte op de freatische grondwaterstanden, kwel en afvoeren hangt af van de verbinding tussen het watervoerende- en freatische pakket. Hoe groter de hydraulische weerstand tussen het freatische pakket en het watervoerende pakket waaruit onttrokken, des te groter de stijghoogteverlaging en het beïnvloedingsgebied. Bijvoorbeeld West-Brabant (situatie Strijbeekse Beek) kent een vrij dikke weerstandsbiedende laag (kleilaag dikker dan 10 meter met een weerstand groter dan 2000 dagen) tussen het dunne freatische dekzandpakket en de onderliggende watervoerende pakketten, waardoor de stijghoogte door beregening over een groot deel van het gebied wordt verlaagd gedurende beregeningperiodes ([De Louw, 2009](#)). Modelberekeningen laten dit regionale effect voor heel West-Brabant ook zien en geven aan dat de stijghoogteverlaging als gevolg van beregening 0,25 tot 1,5 m is (Afbeelding 5,

[Eertwegh et al., 2019](#)). Dit regionale effect vertaalt zich vervolgens door naar een daling van de freatische grondwaterstand, afname van de gebiedseigen afvoer en afname van kwel. Ter vergelijking, in Oost-Brabant is de weerstandsbiedende laag tussen het freatische en onderliggende watervoerende pakket minder dik en minder doorlatend, waardoor het effect minder uitstraalt maar zich daardoor wel veel sterker concentreert op een kleiner oppervlak.

De meeste effecten van beregening uit grondwater zijn tijdelijk en manifesteren zich het sterkst tijdens de beregeningsperiode. Na de opvolgende winter zijn de effecten van deze tijdelijke onttrekkingen op het grondwatersysteem doorgaans nauwelijks meer zichtbaar. Echter, wanneer de winterperiode niet nat genoeg is om het neerslagtekort te compenseren, kunnen ook beregeningseffecten (i.c. lagere grondwaterstanden na onttrekking) na-ijlen tot in het opvolgende groeiseizoen.



Afbeelding 5 Effect op stijghoogte en grondwaterstand (zomer; LG3) door onttrekken van grondwater t.b.v. beregening berekend met het LHM voor het droge jaar 2018 (bron: [Eertwegh et al., 2019](#))

Gedurende de beregeningsperiode kan beregening uit grondwater negatief doorwerken voor grondwaterafhankelijke natuur door het wegvallen van kwel, daling van de grondwaterstand en verminderen van de afvoer en watervoerendheid van beken. Beregenen uit oppervlaktewater beïnvloedt vooral de watervoerendheid. Overigens is het goed om te beseffen dat de onttrekking door de buurman nadelige gevolgen kan hebben voor het eigen perceel en gewas ([Eertwegh et al., 2019](#)). Door klimaatverandering is de verwachting dat de zomerperiodes droger worden en extreme droogtes vaker optreden. Ook neemt de teelt toe van kapitaalintensieve gewassen met een meer dan gemiddelde waterbehoefte. Hierdoor neemt de vraag

naar zoet water toe, terwijl het aanbod afneemt. Dit is een belangrijk aandachtspunt bij het aanpassen/vaststellen van beregeningsbeleid.

6. Kosten en baten

Kosten en baten

Voor akkerbouwers is de beregening een verzekeringspremie tegen droogteschade. Hiermee wordt verlies in opbrengst of in het ergste geval verlies van het volledige gewas voorkomen ([Boerderij, 2019](#)). De belangrijkste voordelen van beregening zijn opbrengststabiliteit en kwaliteitsverbetering ([Dekkers, 2000](#)). De beregening vermindert de afhankelijkheid van het weer voor de gewasopbrengst en –kwaliteit. Hiermee wordt een financieel risico afgedekt.

Beregening levert niet elk jaar een opbrengstverhoging en/of kwaliteitsverbetering op. Soms zal men maar een enkele beregening uitvoeren die, naar achteraf kan blijken, niet rendabel is. Of beregening rendabel is hangt af van de kosten en de baten. De kosten kunnen worden opgesplitst in vaste kosten en variabele kosten. De vaste kosten bestaan uit:

- investeringskosten voor de beregeningsinstallatie (bijv. haspel of kanon) en afschrijving
- investeringskosten voor pomp,
- investeringskosten voor buizen, koppelstukken,
- onderhoudskosten en/of vervanging,
- verzekering installatie.

Voor bepalen van de vaste kosten zijn verder van belang de afschrijvingsperiode en het rentepercentage.

De operationele kosten bestaan uit:

- energiekosten (elektrisch of brandstof, aantal draaiuren),
- arbeidsuren (verplaatsen haspel, verleggen buizen, toezicht).

Afhankelijk van gewas, grondsoort en ziektedruk kunnen er nog extra kosten zijn voor gewasbescherming en of bemesting. Ook kan ziektedruk of het effect ervan afnemen bij een goede watervoorziening, dit kan dan een extra reden zijn om te beregenen.

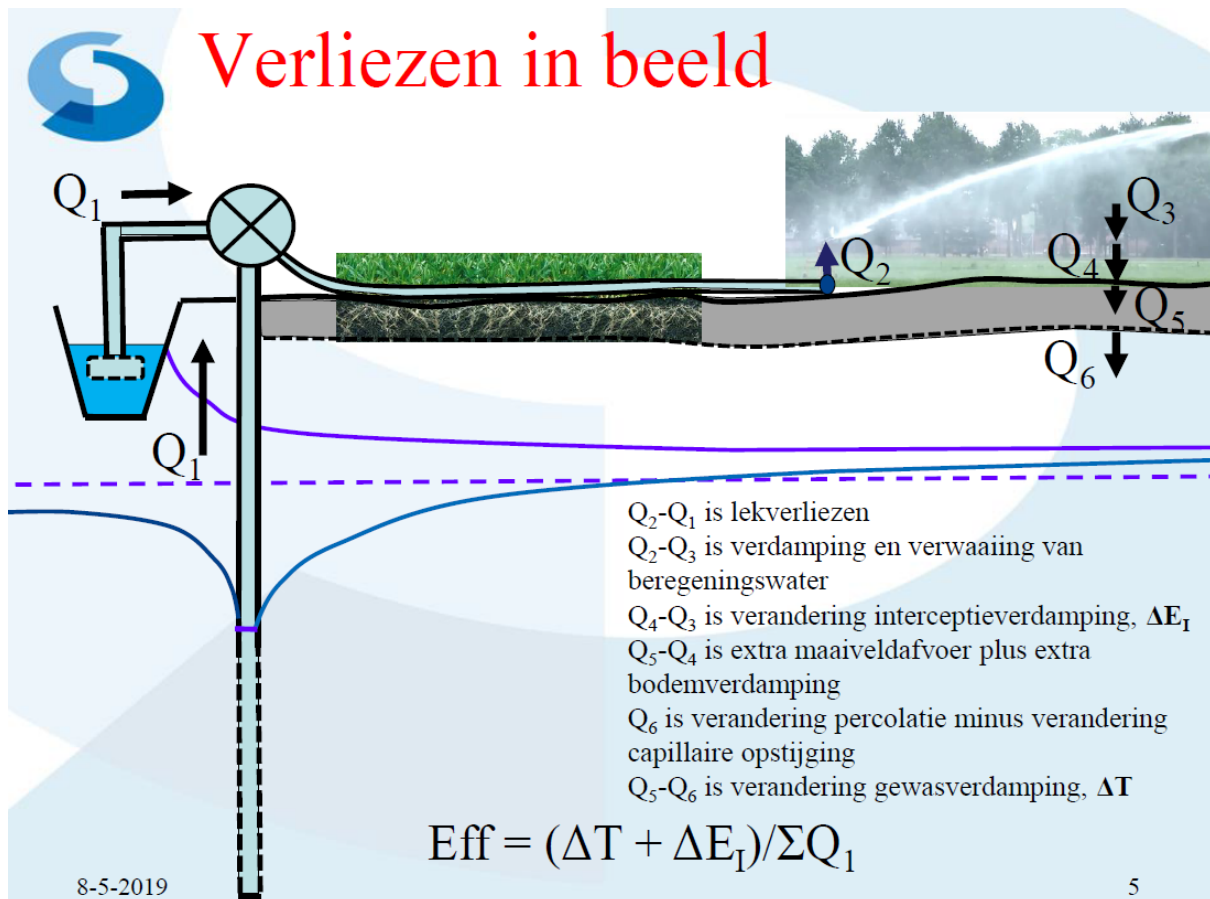
Beregenen heeft vooral zin indien minstens de kosten van het beregenen worden terugverdiend. [Spruijt en Russchen \(2015\)](#) berekende voor een akkerbouwbedrijf ongeveer 100 Euro per beregeningsbeurt per hectare met een gift van 25 mm. Dit zijn zowel de operationele kosten als de afschrijving van de investeringskosten en

ander vaste kosten. [Van der Voort \(2019\)](#) berekende voor een noordelijke akkerbouwgebied (omgeving Oldambt) gemiddelde beregeningskosten (operationele en vaste en investeringskosten) van 210 Euro per hectare per jaar en voor een zuidelijk veehouderijbedrijf 529 tot 646 Euro per hectare per jaar. In de effectenmodule landbouw van het Deltaprogramma Zoetwater die wordt toegepast bij berekeningen van gewasopbrengsten met AGRICOM en LHM berekeningen, wordt het economisch effect van een vermindering van de gewasopbrengst en toename van beregening door droogte berekend. Voor de kosten van beregening worden alleen de operationele kosten gehanteerd van (1) 50 cent per mm per hectare voor arbeidskosten en (2) 156 cent per mm per hectare voor energiekosten ([Schasfoort et al., 2019](#); Reinhard, 2019). Dit komt neer op 0.21 euro per kuub beregening. Bij een beregeningsgift van 25 mm komt dit neer op ruim 50 Euro per hectare per beregeningsbeurt. Hierbij zijn dus niet de investeringskosten meegenomen.

De ontwikkelingen bij beregening staan niet stil om kosten te besparen en minder water te gebruiken, zo is er de afweging tussen elektrisch en diesel, tussen lage druk (meerdere sproeiers, o.a. in de tuinbouw) versus hoge druk (haspelinstallatie bij grasland). Ook op de arbeidskosten kan worden bespaard door automatisering waardoor men 's nachts de installatie niet meer hoeft te verzetten. Zo is door [Van der Voort \(2019\)](#) onderzocht of elektrisch beregenen kosten bespaart ten opzichte van het gebruik van diesel. De economische uitwerking laat zien dat elektrificatie van beregening financieel interessant is. Op basis van een gemiddelde bedrijfsopzet is voor de Veenkoloniën/Oldambt tussen de EUR 3.200,- en EUR 3.600,- per bedrijf per jaar te besparen op beregening. Inzet van eigen zonne-energie zorgt voor een licht hoger voordeel tussen de EUR 3.800,- en EUR 4.200,- per bedrijf. Voor het Zuidelijk Veehouderijgebied ligt de besparing per jaar en per bedrijf met een gemiddelde bedrijfsopzet tussen de EUR 1.300 en EUR 2.200,- en EUR 1.500 en EUR 2.400,- bij inzet van zonne-energie. De ecologische uitwerking laat nog meer als de economische uitwerking een voordeel zien voor elektrisch beregenen. De CO₂-uitstoot daalt aanzienlijk en zeker bij inzet van zonne-energie voor elektrisch beregenen. De uitwerking laat zien dat omschakeling van diesel naar elektrisch 60% CO₂-uitstoot bespaard voor beide regio's. De inzet van zonne-energie ten opzichte van diesel bespaart tot 96% CO₂-uitstoot. In de ecologische uitwerking is tevens stikstof beoordeeld. De stikstofemissie hangt samen met inzet van diesel. De omschakeling naar elektrisch vermijdt respectievelijk 29.000 kg en 56.000 kg stikstofemissie.

Hydrologische efficiëntie van beregening

Bij beregening met grond- of oppervlaktewater treden er verschillende verliezen op (Afbeelding 6), waardoor slechts een deel van het beregeningwater ten goede komt aan de gewasverdamping. [Van Bakel en Mulder \(2019\)](#) geeft de volgende definitie voor de efficiëntie van beregening: *De toename van gewasverdamping plus interceptieverdamping van een beregend gewas gedurende het gehele teeltseizoen, gedeeld door de hoeveelheid verpompt water om deze toename te realiseren.*



Afbeelding 6 Verliesposten bij beregening ([Van Bakel en Mulder, 2019](#)).

[Van Bakel en Mulder \(2019\)](#) (Afbeelding 6), onderscheiden verschillende verliesposten, zoals:

- lekverliezen,
- verdamping en verwaaiing van beregeningswater,
- verandering van de interceptieverdamping,
- extra oppervlakkige afvoer en extra bodemverdamping,
- verandering in de percolatie en de capillaire opstijging.

[Van Bakel en Mulder \(2019\)](#) geven op basis van verschillende bronnen schattingen van deze verliesposten. Ongeveer 1 à 2% van het beregeningswater gaat verloren via lekverliezen. Er treden randverliezen op o.a. bij sloten en wegen, dit is beregeningswater dat niet op de juiste plek terecht komt, deze bedragen 5 -15 %. Tijdens het transport van het beregeningswater tussen de sproeier en de bodem kan een deel verdampen, deze verliesterm bedraagt volgens Baars (1971) ca 3,5% en ligt tussen de 2 – 20%, en is afhankelijk van bijv., waterdruk, de grootte van de sproeier, de hoogte van de sproeier, de windsnelheid en de luchtvochtigheid. Interceptieverliezen via vegetatie zijn eigenlijk geen verliezen, maar interceptieverliezen van kale grond, verharde oppervlak wel. Bij een hoge beregeningsintensiteit kan deze de infiltratiecapaciteit van de bodem overtreffen, dit kan leiden tot plasvorming en oppervlakkige afstroming van water. De beregeningsintensiteiten kunnen hoog zijn, bijvoorbeeld de intensiteit van een beregeningsgift van een haspelinstallatie met een capaciteit van 25 mm in 2,5 uur is vergelijkbaar met een neerslaggebeurtenis met een herhalingstijd van ca. 1 keer per jaar. Bij deze intensiteiten is er kans op plasvorming en oppervlakkige afvoer. Een grote verliespost is de niet uniforme verdeling van de beregeningsgift over het perceel. Bij beregening vindt er een zekere mate van overlap plaats waardoor delen meer water ontvangen dan noodzakelijk. Verder kunnen drukverschillen optreden tussen de sproeiers of de verdeling over de sproeier is onvolkomen. Bij stroming over maaiveld kan de maaiveldafvoer geheel of gedeeltelijk weer infiltreren binnen het beregende perceel. Bij een te grote beregeningshoeveelheid kan een deel van het beregeningswater na aanvulling van de vochtvoorraad in de wortelzone naar de ondergrond percoleren, dit water kan via capillaire nalevering weer beschikbaar komen voor de plant.

Tabel 1 Kwantificering van de verliezen in procenten van de beregeningsgift

Verliezen	Grootte (%)	Gemiddeld (%)
Lekverliezen	1-2	2
Driftverliezen (over rand van beoogde perceel)	5-15	10
Verdampingsverliezen	3-6	4
Interceptieverliezen	2-10	5
Niet uniforme verdeling	5-20	15
Percolatie-verliezen	5-15	10
Totaal		46

Verliezen door beregening die op het ene perceel plaatsvinden kunnen geheel of gedeeltelijk beschikbaar komen op andere locaties, daardoor zijn de verliezen op regionale schaal geringer.

Naast de bovengenoemde verliezen die optreden bij de toediening van water via beregening kan er te veel zijn beregend omdat enkele dagen na de toediening van de beregeningsgift er een regenbui valt waardoor het toegediende water niet volledig ten goede komt aan de plant. Bovendien zal de wortelzone van een beregend perceel natter de winter in gaan. Om dit te kwantificeren zijn modelsimulaties met SWAP-WOFOST uitgevoerd voor twee gewassen, nl. aardappelen en gras. Met het model is een periode van 30 jaar doorgerekend, waarbij om de 7 dagen met een gift van 25 mm is beregend als de $pF \geq 2,5$. De berekende efficiëntie op perceelsniveau lag in de orde van 33% voor aardappelen en 43% voor gras (Van Bakel, 2019). Bij de berekening van deze efficiëntie is geen rekening gehouden met de eerder genoemde verliezen.

Er zijn allerhande technische ontwikkelingen gaande die de efficiëntie van beregening verhogen. [Coppens \(2019\)](#) geeft een inkijk en noemde onder meer het veel nauwkeuriger aansturen van sproeiers, zodat randverliezen sterk worden gereduceerd. Ook refereerde hij naar een 3-jarig door Smits uitgevoerde druppelirrigatie-proef bij aardappelen op zandgronden. Hiervan was de uitkomst dat ongeveer dezelfde hoeveelheid water werd gebruikt door druppelirrigatie als met haspelberegening. Verder noemt hij dat het gebruik van sensoren een goede manier is om de efficiëntie te vergroten, terwijl de kosten van deze nieuwe technieken zijn te overzien en daarmee bereikbaar worden voor steeds meer boeren.

Daarnaast is het voor boeren interessant om dieselpompen te vergelijken met elektrische pompen. In een onderzoek van de WUR ([Van der Voort, 2019](#)) is beoordeeld welke bijdrage een overstap naar elektrisch beregenen kan leveren. De economische uitwerking laat zien dat elektrificatie van beregening financieel interessant is. De ecologische uitwerking laat tevens een voordeel zien voor elektrisch beregenen. De CO₂-uitstoot daalt aanzienlijk, met name bij inzet van zonne-energie. In de ecologische uitwerking is tevens stikstof beoordeeld. De omschakeling naar elektriciteit vermijdt stikstofemissies die samenhangen met gebruik van diesel. Tegenover deze kansen staan belemmeringen voor elektrisch beregenen. De belangrijkste belemmeringen hangen samen met de beschikbaarheid van elektriciteit en het realiseren en in stand houden van een elektriciteitsaansluiting.

Via modelsimulaties met Hydrus-3D is voor ondergrondse druppelirrigatie gebleken (zwak-lemige zandgrond, klimaatjaar 2018) dat het toegediende water voor een deel beschikbaar is voor wateropname door de plantenwortels, maar dat het overige deel wegzakt tot beneden de wortelzone en leidt tot aanvulling van het grondwater ([Heinen, 2022](#)). Hoe ondieper de ligging van de ondergrondse druppelaar des te efficiënter is de irrigatie voor wateropname ([Heinen, 2022](#)).

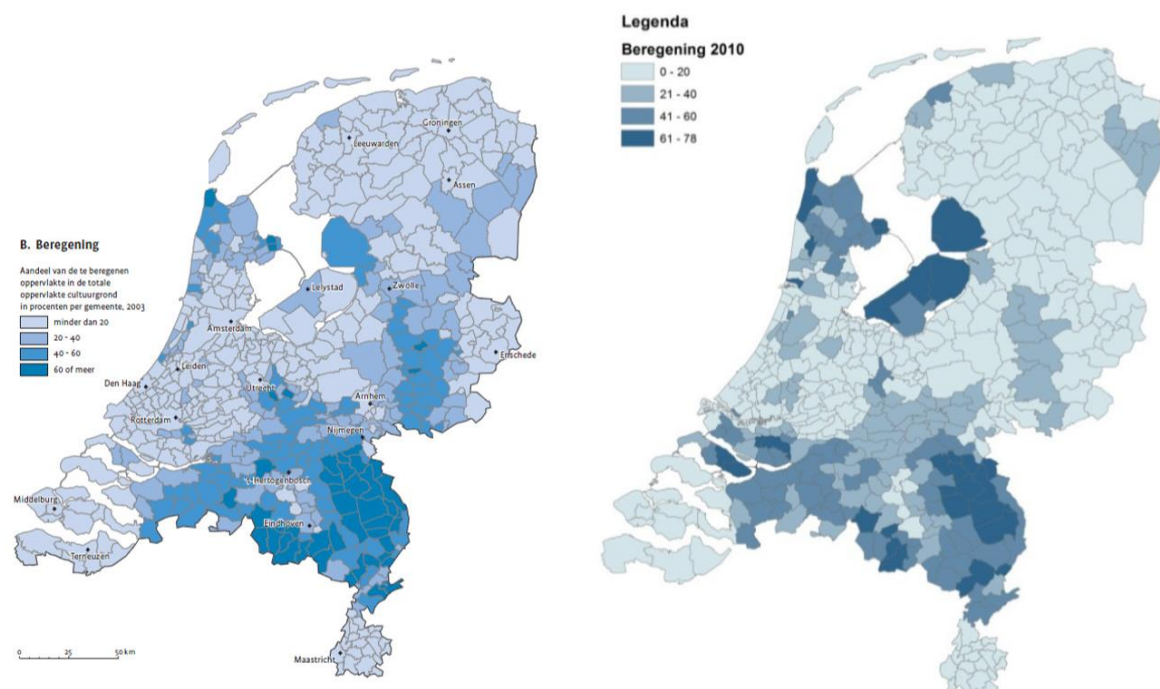
In 2020 is door een werkgroep op basis van een beperkt literatuuronderzoek en enige berekeningen nagegaan of 's nachts beregenen het waterverbruik beperkt. De conclusies van de werkgroep ([Eertwegh et al., 2020](#)) zijn:

- een verbod op beregening overdag is weinig effectief om de verdampingsverliezen significant terug te brengen. Beregening overdag levert weliswaar ongeveer twee keer zo grote verdampingsverliezen (3 à 6% van de beregeningsgift op dagbasis) op in vergelijking met beregening 's nachts (2 à 3% van de beregeningsgift op dagbasis), maar dit is absoluut gezien een zeer gering verschil;
- drift door wind tijdens beregening heeft een groter effect op de beregeningsverliezen dan verdamping tijdens beregening. Omdat het overdag gemiddeld harder waait zijn de driftverliezen bij beregenen overdag 1 à 3% (uitgedrukt in % t.o.v. beregeningsgift) groter ten opzichte van beregenen 's nachts in West-Nederland; deze % verschillen zijn kleiner in Oost- en Zuid-Nederland;
- percolatieverliezen worden groter naarmate het harder waait (geen schattingen/cijfers bekend of bepaald); deze verliezen zijn overdag groter dan 's nachts;
- niet beregenen bij windsnelheden boven 3 m/s (matige wind) is daarmee effectief om verliezen te beperken, omdat daarmee zowel de driftverliezen als de percolatieverliezen worden gereduceerd. In de praktijk wordt bij voorkeur niet beregend als het 'hard' waait.

Nadere onderbouwing van deze bevindingen door middel van (veld)metingen aan verliezen bij gebruik van een spuithaspel is echter gewenst voor een beter en meer binnen het Nederlandse klimaat geldende onderbouwing, want beregenen met de spuithaspel is windgevoelig.

7. Randvoorwaarden

Berekening is vooral rendabel voor kapitaal intensieve gewassen en wordt daarnaast veelvuldig toegepast op gras en (snijs)mais in het geval van melkvee- en gemengde bedrijven, met name daar waar deze gelegen zijn in droogtegevoelige (zand)gebieden, dit zien we terug in de landelijke verspreiding van de berekening. [Hoogeveen et al. \(2003\)](#) toont de berekening in het jaar 2003 (Afbeelding 7 links). De gebieden waar volgens deze cijfers uit 2003 en 2010 het meeste wordt beregend, meer dan 40% van het cultuuroppervlak, zijn de kop van Noord-Holland, de IJsselmeerpolders, de Achterhoek en Noord-Brabant en Noord-Limburg. Vooral in Noord-Brabant wordt ook beregend op grasland en mais. Bij de landbouwtellingen wordt in bepaalde jaren informatie ingewonnen over berekening. Deze gegevens zijn gebruikt voor een kaart van het potentiële beregeningsareaal ([Massop et al., 2013](#), Afbeelding 7 rechts), dit is het areaal dat maximaal kan worden beregend. Het werkelijk beregend areaal in een bepaald jaar is afhankelijk van de waterbehoefte en daardoor meestal minder. In 2010 is het areaal in kop van Noord-Holland en de IJsselmeerpolders toegenomen ten opzichte van 2003.



Afbeelding 7 Percentage van het totale areaal cultuurgrond dat wordt beregend in 2003 (links) en de potentiële beregeningsareaal 2010 (rechts).

De droogte van 2018 had grote impact op het beregend areaal. In Tabel 2 zijn de beregende arealen voor 2012 (een jaar met weinig watertekorten) en 2018 weergegeven per Deelstroomgebied Kaderrichtlijn Water ([Van der Meer, 2014](#); [Van](#)

[der Meer, 2020](#)). Gemiddeld is het beregend areaal in 2018 bijna twaalf keer het areaal in 2012. De toename in 2018 t.o.v. 2012 beregend areaal wordt zowel veroorzaakt door een toename van beregende percelen per bedrijf als gevolg van het neerslagtekort (nagenoeg totaal potentieel beregend areaal werd beregend) als mede de toename in bedrijven met een beregeningsinstallatie (toename in potentieel beregend areaal).

Tabel 2 Beregend areaal in 2012 en 2018 in ha en in procenten

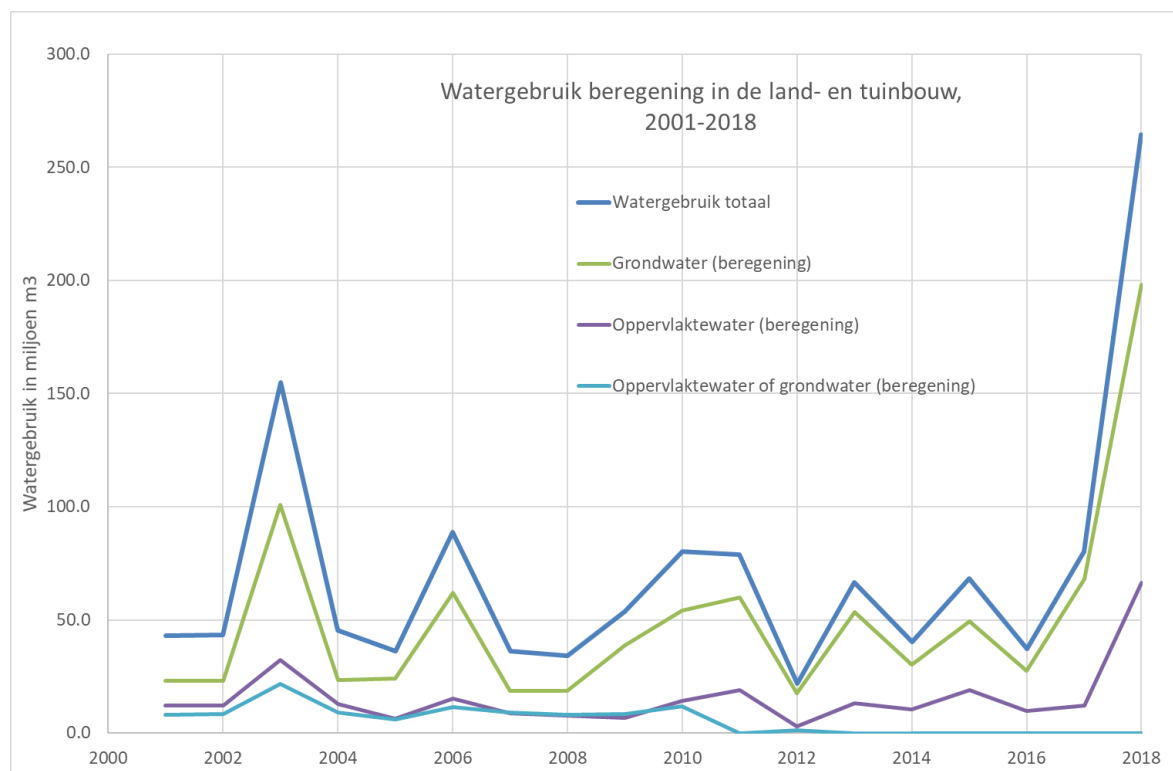
Deelstroomgebieden	2012	2018
Kaderrichtlijn Water	ha	ha
Eems	4647	52975
Rijn-Noord	1470	50709
Rijn-Oost	13593	194552
Rijn-Midden	11551	149036
Rijn-West	3697	140883
Schelde	1205	90908
Maas	62318	471296
Totaal	98481	1150359

Het is duidelijk dat in droge jaren het watergebruik voor beregening aanzienlijk hoger dan in normale jaren. In Afbeelding 8 is het watergebruik voor beregening (uit zowel grond- als oppervlaktewater) over de periode 2001-2018 weergegeven ([Van der Meer, 2020](#)). De droge jaren 2003 en 2018 springen eruit met een hoog watergebruik voor zowel het grondwater als oppervlaktewatergebruik. In 2018 was het neerslagtekort gedurende het groeiseizoen zeer hoog. Het watergebruik voor beregening was in 2018 ruim vier zo hoog als in een gemiddeld jaar, en ruim 70% hoger dan in de droge zomer van 2003. Vergelijken we 2018 met 2017 dan was het watergebruik voor beregening ruim drie keer zo hoog. Volgens de cijfers werd er in 2018 ongeveer 200 miljoen kuub uit het grondwater onttrokken voor beregening en 65 miljoen uit het oppervlaktewater.

Na de droogte van 2018 nam de verkoop van beregeningsinstallaties sterk toe zodat zelfs in het voorjaar van 2019 de vraag het aanbod oversteeg (mondelijke mededeling tijdens [STOWA-symposium](#) "Beregening, telt elke druppel?", 9 mei 2019). Op moment van schrijven (november 2020) zijn nog geen gegevens van beregening in de jaren 2019 en 2020 bekend, deze volgen snel en zullen dan in deze Deltafact worden verwerkt. Maar ook de droogtestudie hoge zandgronden ([Eertwegh et al., 2020](#)) concludeert dat het aantal beregeningsinstallaties en daarmee het

potentieel beregend oppervlak de laatste jaren sterk, mede door de droogte van 2018 en 2019 is toegenomen.

In de droogtestudie hoge zandgronden is een methodiek ontwikkeld om op basis van remote sensing beelden (analyse spectrale banden) beregende percelen te karteren ([Eertwegh et al., 2019](#)). De methodiek is toegepast voor het jaar 2018 en zal op korte termijn ook worden toegepast op de gegevens van 2019 en 2020. Hoewel de methodiek nog verder moet worden verbeterd, zijn hier al enkele conclusies te halen. De analyse voor 2018 laat zien dat voor de oostelijke waterschappen Vechtstromen en Rijn en IJssel een groter oppervlak aan beregende percelen wordt gevonden dan voor de Brabantse waterschappen Brabantse Delta en De Dommel. Dit komt overeen met de perceptie dat beregening zeer sterk is toegenomen in het oostelijke zandgebied ([Eertwegh et al., 2020](#)).



Afbeelding 8 Watergebruik voor beregning in de land- en tuinbouw in de periode 2001-2018 ([Van der Meer, 2020](#)).

8. Governance

Beregeningsbeleid

In de Waterwet zijn de bevoegdheden van de overheden ten aanzien van het grondwaterbeheer vastgelegd. Het Rijk heeft een systeemverantwoordelijkheid en wijst taken en bevoegdheden toe en stelt (landelijke) kaders en normen vast. Provincies zijn verantwoordelijk voor het strategisch grondwaterbeleid en zijn bevoegd gezag voor grondwateronttrekkingen voor drinkwater en voor grote industriële onttrekkingen (>150.000 m³/jaar). Waterschappen zijn beheerder van het regionaal watersysteem en medeverantwoordelijk voor het grondwaterbeheer en zijn daarmee gezag voor de kleinere grondwateronttrekkingen waaronder die van de landbouw voor beregening en veedrenking en kleine industriële onttrekkingen (<150.000 m³/jaar). Gemeenten hebben een zorgplicht om bij het toekennen van functies aan locaties rekening te houden met het grondwater (kwaliteit, overlast).

Provincies en waterschappen hebben beide de registratie in handen ten aanzien van onttrekkingen, putlocaties en filterdieptes. In het Landelijk Grondwater Register (LGR) worden alle grondwatervergunningen- en meldingen voor grondwater onttrekkingen verzameld.

Voor het mogen onttrekken van grondwater hanteert elk waterschap zijn eigen voorwaarden en regels (zie kader voor enkele voorbeelden), deze zijn vastgelegd in een verordening van het waterschap: de keur. Voor grondwateronttrekkingen is

Enkele voorbeelden:

Waterschap Rijn en IJssel stelt de volgende regels op:

- Bij een pompcapaciteit kleiner dan 20 m³ per uur en een onttrekking minder dan 25.000 m³ per aaneengesloten periode van 90 dagen hoeft geen melding te worden gedaan.
- Een onttrekking moet worden gemeld als de pompcapaciteit meer bedraagt dan 20 m³ per uur. De hoeveelheid te onttrekken grondwater mag niet meer bedragen dan 60 m³ per uur en maximaal 25.000 m³ per aaneengesloten periode van 90 dagen.
- Bij een pompcapaciteit meer dan 60 m³ per uur of een onttrekking groter dan 25.000 m³ is een vergunning nodig voor de onttrekking.
- Voor waterschap Vechtstromen zijn de eisen vergelijkbaar.

Volgens de keur van waterschap Brabantse Delta is geen vergunning nodig als:

- De pompcapaciteit van de onttrekkingsinrichting niet meer bedraagt dan 10 m³ per uur, en;
- de put buiten een beschermd gebied ligt en;
- De put niet dieper is dan de maximale toegestane diepte op die locatie.

In Limburg mogen er geen nieuwe put-onttrekkingen bij komen en staat Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden geen nieuwe put-onttrekkingen toe wanneer er alternatieven zijn.

soms een vergunning nodig (veelal voor onttrekkingen $> 60 \text{ m}^3/\text{u}$) en in andere gevallen volstaat een melding (veelal voor onttrekkingen $> 10 \text{ m}^3/\text{u}$). Echter, de eisen voor een vergunning en melding bij het waterschap verschillen per regio (zie kader voor enkele voorbeelden).

Op grondwateronttrekkingen is het Waterbesluit van toepassing. Volgens het Waterbesluit zijn vergunninghouders van grondwateronttrekkingen verplicht om de onttrokken hoeveelheid te registreren met een debietmeter of door het aantal draaiuren van de pomp. Jaarlijks dienen ze opgave te doen van de onttrokken hoeveelheid grondwater. Dit betekent dat in de meeste gevallen onttrokken hoeveelheden voor onttrekkingen $< 60 \text{ m}^3/\text{u}$ (meestal niet vergunningsplichtig) niet geregistreerd hoeven te worden. Hierdoor is er jaarlijks een onvolledig beeld van de hoeveelheid grondwater die voor beregening wordt onttrokken. Daarbij komt nog het feit dat niet iedereen die verplicht is te registreren dit ook doet en het onbekend is of hoeveelheden juist worden geregistreerd (bewust of door gebrek aan goede monitoring). De droogtestudie hoge zandgronden signaleert het knelpunt dat er gebrek is aan juiste en volledige gegevens wat betreft grondwateronttrekkingen voor beregening ([Eertwegh et al., 2020](#)). Zij schetsen het belang van goede en actuele registratie van onttrekkingen, om daar vervolgens indien nodig tijdig beperkingen aan op te leggen vóór en tijdens een droge periode. Het is voor het overeind houden van de functionaliteit van het watersysteem tijdens droog weer nuttig voor beheerders om te weten waar hoeveel water er wanneer onttrokken wordt in de actuele situatie, niet alleen achteraf. Koppeling van actuele onttrekkingen aan grondwaterstanden buiten in het veld helpt hierbij ([Eertwegh et al., 2020](#)).

Beregeningsverboden

Door de Staatssecretaris van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij is de Regeling bruin- en ringrot 2000 uitgevaardigd. Volgens deze regeling is het in bepaalde gebieden verboden om oppervlaktewater uit meren, kanalen, sloten, vaarten op enigerlei wijze te gebruiken voor of bij de teelt van pootaardappel en ook voor de teelt van tomaten, consumptie-, zetmeelaardappelen. Door de Nederlandse Voedsel en Waren Autoriteit (NVWA) wordt de naleving gecontroleerd, in Afbeelding 9 zijn de gebieden weergegeven waarvoor deze regeling geldt ([Link](#))



Afbeelding 9 Gebieden met een beregeningsverbod volgens Regeling bruin- en ringrot 2000 ([NWA](#))

Beregeningsverboden kunnen ook worden uitgevaardigd door de waterschappen. De afgelopen jaren hebben waterschappen vaker tijdelijk beregeningsverboden uitgevaardigd in tijden van droogte en watertekorten. Aanvankelijk vooral beregeningsverboden voor het onttrekken van oppervlaktewater en meer recent komen er ook beregeningsverboden van grondwater. Beregeningsverboden van oppervlaktewater betreft meestal een tijdelijk verbod op het beregenen met water uit sloten en beken. Met het instellen van het onttrekkingsverbod wil het waterschap een verdere daling van het grond- en/of oppervlaktewaterpeil voorkomen. Onttrekkingsverboden voor grondwater worden slechts minimaal afgekondigd en meestal enkel rondom kwetsbare natuurgebieden of voor beregenen van grasland. In 2018 en 2019 hebben de meeste waterschappen op de hoge zandgronden een (gedeeltelijk en tijdelijk) onttrekkingsverbod oppervlaktewater uitgevaardigd. Waterschappen Vechtstromen, Rijn en IJssel en De Dommel hebben dit ook voor grondwater afgekondigd, in omgeving van grondwaterafhankelijke natuur (alle) en voor grasland (De Dommel).

In de provincie Noord-Brabant is voor graslandberegening standaard het voorschrift opgenomen dat niet beregend mag worden voor 1 juni en dat in de maanden juni en juli alleen beregend mag worden buiten de uren 11:00-17:00 (Het zogenaamde

“urenverbod”). Buiten de natuurgebieden, de attentiegebieden en de invloedsgebieden Natura 2000 wordt meer flexibiliteit voor graslandberegening geboden (toestaan van beregening in april en mei) mits voorafgaand waterconserverende en/of waterbesparende maatregelen zijn getroffen. Beregenings- en onttrekkingsverboden worden bekendgemaakt via officiële bekendmakingen op overheid.nl. Op Texel geldt een permanent beregeningsverbod, omdat het eiland voor de aanvoer van water volledig van neerslag en een klein beetje gezuiverd afvalwater afhankelijk is.

Bufferzones rondom GW-afhankelijke natuur

Het beregeningsbeleid is bedoeld voor de beregening van grasland, akkerbouw, vollegronds tuinbouw en vollegronds boomteelt. Te veel benutten van grondwater zal in de omgeving merkbaar worden in de vorm van verdroging of zelfs verzakking van grond en huizen. Daarom geldt ook hier een zorgvuldig gebruik van het grondwater. Om deze effecten te beperken zijn gebieden aangewezen waar het beregeningsbeleid niet geldt. In Noord-Brabant betreft dit de volgende gebieden:

- Natura 2000-gebieden worden beschermd via de Natuurbeschermingswet. Die wet bepaalt dat (nieuwe waterhuishoudkundige) maatregelen geen significant negatieve effecten mogen hebben op de instandhoudingsdoelen voor Natura 2000. Om dit uit te sluiten zijn invloedsgebieden Natura 2000 vastgesteld waarvoor geen nieuwe vergunningen worden verleend.
- In de Verordening Waterhuishouding zijn beschermde gebieden waterhuishouding en de attentiegebieden vastgelegd. Een attentiegebied is een hydrologische zone rond de TOP-gebieden (Natte natuurparels), de breedte is afgestemd op de mogelijke ontwikkelingen in het overige gebied.

Ter bescherming van de natuur worden in (de nabijheid van) deze gebieden geen nieuwe vergunningen verleend. Ook bij andere waterschappen gelden beperkingen, bijv. voor HHNK is het verboden om grondwater te onttrekken in kwetsbare en beschermde gebieden (Natura 2000, Texel, Bergen) en voor WSRL geldt voor Natura 2000 gebieden dat grondwateronttrekkingen in de nabijheid geen (negatieve) invloed mag hebben op de zogenaamde instandhoudingsdoelstellingen, d.w.z. geen gevolgen voor grondwaterstroming en/of grondwaterstroming van het Natura 2000 gebied. Bovenstaande geeft duidelijk weer dat er grote verschillen in Nederland bestaan wat betreft beregeningsbeleid en operationeel beheer door middel van het afkondigen van beregeningsverboden.

9. Praktijkervaringen en lopende initiatieven

Beregenen op maat / berekeningssignaal

In de provincie Noord-Brabant is in 1996 vanuit het oogpunt van waterbesparing het project 'Beregenen op maat' ([Hoving en Philipsen, 1999](#)) gestart. De doelstelling van dit project was het ontwikkelen en introduceren van beregeningsadvies-systemen, die agrarische ondernemers in staat stellen om effectief te gaan beregenen. In het project lag de nadruk op het beter benutten van water bij beregenen, omdat de meeste boeren reeds beregening toepassen. Gestart is met de Beregeningsplanner, dit is een vochtboekhoudsysteem waarmee inzichtelijk wordt op welk moment beregend moet worden en hoeveel water gewenst is.

Berekeningssignaal is een online programma van ZLTO dat per perceel voor de boer berekent wanneer het beste kan worden beregenen en hoeveel. Gebruik van berekeningssignaal brengt de watervraag omlaag en voorkomt te vroeg beregenen en te veel beregenen. Dit resulteert in een optimale inzet van water, brandstof en arbeid. Boeren kunnen hierop een abonnement afsluiten.

[Bodemvocht gestuurd beregenen.](#)

Bodemvocht gestuurde beregening houdt in dat het actuele bodemvochtgehalte bepalend is voor zowel het tijdstip als de hoeveelheid van de beregening. Het tijdstip is afhankelijk van de gekozen strategie. Het bodemvochtgehalte kan worden bepaald via de vochtboekhouding of door waarneming of meting van de actuele vochttoestand van de plant. Bij voldoende waterbeschikbaarheid kiest men voor maximalisatie van de gewasopbrengst. Er wordt dan beregend zodra het bodemvochtgehalte het niveau heeft bereikt waarbij de actuele verdamping minder wordt dan de potentiële verdamping. Hierbij wordt zoveel water gegeven als nodig is om de wortelzone weer op veldcapaciteit te brengen.

Beregeningsmonitor

Waterschappen moeten mede door klimaatverandering nadenken over het al dan niet toestaan van beregening. Om te kunnen controleren of de opgelegde regels worden nageleefd, zonder een sterke toename van de handhavingskosten en -inspanningen is de beregeningsmonitor ontwikkeld. De beregeningsmonitor assisteert waterschappen bij het monitoren van beregeningsmaatregelen. De monitor integreert verschillende data en laat zien waar en wanneer beregend wordt. De monitor is toegepast als pilot binnen het beheersgebied van Waterschap

Scheldestromen, in de pilotgebieden Tholen en Sint Philipsland. Het pilotonderzoek heeft aangetoond dat verschillende soorten sensoren op satellieten in staat zijn om beregening te detecteren in Nederland ([Morvan en Brombacher, 2020](#)). Daarnaast heeft dit onderzoek laten zien dat het combineren van satellietdata met aanvullende operationele data, zoals verdampingsdata en bodemvochtdata, veel perspectief biedt. Er zijn nog geen pilotonderzoeken in zandgebieden uitgevoerd.

10. Kennisleemtes

- Cijfers over beregeningshoeveelheden, hoeveel onttrekkingen er zijn, waar werkelijk wordt onttrokken (putlocaties, filterdieptes, debieten) zijn onvolledig en de wijzen van registraties verschillen per waterschap. Deze gegevens zijn essentieel om goede inschattingen te kunnen maken van de impact op het watersysteem en functies die daar van afhankelijk zijn zoals grondwaterafhankelijke natuur, infrastructuur en landbouw. Naast verbetering van de registraties, biedt online sensing mogelijkheden om snel over gegevens van onttrokken hoeveelheden en impact op het grondwater systeem te beschikken.
- Het vooraf integraal meenemen van gewenste grondwaterstanden en de grondwatervoorraad in gebieden bij het al dan niet toestaan van onttrekkingen leidt tot een betere (water) balans. Het systeem van vergunningen en meldingen kan met geschikte informatie over het watersysteem gevoed worden.
- Het is voor het overeind houden van de functionaliteit van het watersysteem voor alle functies tijdens droog weer nuttig voor beheerders om te weten waar hoeveel water er wanneer onttrokken wordt in de actuele situatie, en niet alleen achteraf. Het is dus nodig een instrument te ontwikkelen om deze informatie te verzamelen en beschikbaar te maken. Koppeling van actuele onttrekkingen aan actuele grondwaterstanden, afvoeren en bodemvocht in het veld, helpt hierbij (informatie-portaal).
- Waterschappen missen handvaten, meetbare indicatoren (hydrologische variabelen) en voorspellingen hiervan om te kunnen komen tot een eenduidig besluit voor het afkondigen van beregeningsverboden. De huidige besluiten verschillen per waterschap en het is wenselijk om hier één landelijke lijn in te trekken. Onderzoek is nodig om eenduidig te kunnen bepalen welke hydrologische indicatoren, in welke volgorde van belangrijkheid, op welke

moment cruciaal zijn om tot een afgewogen beregeningsverbod (oppervlaktewater, grondwater) te kunnen overgaan.

- Korte en lange termijneffecten van grondwateronttrekkingen voor beregening op het watersysteem, de landbouw en natuur zijn nog onvoldoende bekend. Grondwatermodellen in combinatie met actuele metingen (informatie-portaal) kunnen helpen effecten op het watersysteem beter te begrijpen. Grondwatermodellen dienen dan wel de juiste beregeningshoeveelheden en locaties te bevatten. Een update van deze gegevens voor het LHM dat gedateerde gegevens uit 2010 gebruikt is een belangrijk aandachtspunt. Het is onbekend hoe grondwater- en kwelafhankelijke natuur reageert bij een tijdelijke extra verlaging als gevolg van beregening uit het grondwater.
- Er is beperkt inzicht in de kosten-baten van beregening en de werkelijke economische meerwaarde; de verschillen tussen bedrijven en regio's zijn groot (WEcR-rapport Van Asseldonk et al., in bewerking, 2020).
- Uit remote sensing beelden (analyse spectrale banden) kunnen beregende percelen worden gedetecteerd zoals uitgevoerd door [Eertwegh et al., 2020](#). Een verdere verbetering van de methodiek en het automatiseren en operationaliseren kan zinvol zijn bij het verkrijgen van een actueel beeld van beregening en het onafhankelijk controleren van de registraties door waterschappen en provincies.

11. Bronnen & links

- <https://www.clo.nl/indicatoren/nl001413-watergebruik-landbouw>
- Baars, C, 1971. Ontwerpen van beregeningsinstallaties. Ingenieurscollege Irrigatie. Landbouwhogeschool, Wageningen.
- Beleidsnotitie grondwater, 2014. Waterschap De Aa, Waterschap de Dommel en Waterschap Brabantse Delta. [Link](#)
- Boerderij, 2019, Beregeningsinstallatie als verzekeringspremie, Mechanisatie, Achtergrond, 15 maart 2019. [Link](#)
- Coppens, Jan, 2019. Bijeenkomst Beregening, telt elke druppel? 9 mei 2019. Type beregening en nieuwe technieken. [Link](#)
- Dekkers Msc, Ir. W.A., 2000, Beregenen van akkerbouw en vollegrondsgroentegewassen, Praktijkonderzoek voor de Akkerbouw en de Vollegrondsgroenteteelt, publicatie nr. 99, juni 2000. [Link](#)
- Louw, P.G.B. de (2008) Effecten van grondwateronttrekkingen t.b.v. beregening op beekafvoer, Noord-Brabant. Presentatie tijdens symposium beekafvoer, Utrecht. [Link](#)

- Heinen, M. 2022. Ondergrondse druppelirrigatie. Modelonderzoek effect installatiediepte op een zandgrond. KLIMAP rapport. [Link](#).
- Hoving, I.E., A.P. Philipsen, 1999. Beregenen op maat op melkveebedrijven. Praktijkonderzoek rundvee, schapen en paarden (PR). Publicatie 138. [Link](#)
- Hoogeveen, M.W., K.H.M. van Bommel en G. Cotteleer (2003) Beregening in land- en tuinbouw; Rapport voor de Droogtestudie Nederland, LEI, Den Haag, Rapport 3.03.02; ISBN 90-5242-785-2. [Link](#)
- http://www.helpdeskwater.nl/publish/pages/15612/05beregening_landbouw.pdf
- Massop HTL, Schuiling C, Veldhuizen AA (2013) Potentiele beregeningskaart 2012 - update landelijke potentiele beregeningskaart voor het NHI op basis van landbouwmetingen 2010. Alterra (Wageningen UR), Wageningen [Link](#)
- Massop, H. en P.G.B. de Louw, 2019. Hoe bepaal je de effecten van beregening op het watersysteem? Presentatie Symposium STOWA “Beregening, telt elke druppel?” 9 mei 2019, Amersfoort. [Link](#)
- Meer, van der, R.W. 2014. Watergebruik in de agrarische sector 2012; . Wageningen, LEI Wageningen UR (University & Research Centre), LEI Report 14-069. [Link](#)
- Meer, van der, R.W. , 2020. Watergebruik in de land- en tuinbouw 2017 en 2018. Wageningen, Wageningen Economic Research, Nota 2020-030. [Link](#)
- <https://edepot.wur.nl/519864>
- Morvan, G en Brombacher, J (2020). Beregeningsmonitor Pilot Rapport. Hydrologic en eLEAF. [Link](#)
- Reinhard, S., 2019. Advies voor gebruik kosten beregening in Agricom.
- Schasfoort, F., J. de Jong, E. Meijers. (2019). Effectmodules in het Deltaprogramma Zoetwater. Van hydrologisch effect naar economisch effect van droogte. Deltares-rapport 11203734-000-ZWS-0010. [Link](#)
- Spruijt, J. en Russchen, H.J. Duurzaam elektrisch beregenen. PPO-rapport 649, WUR. [Link](#)
- Voort, M.P.J. van der, 2019. Elektrisch beregenen. Wageningen Research, Rapport WPR-811. [Link](#)
- Van Bakel, J. en Mulder, M. 2019. Efficiëntie van beregening. Presentatie Symposium STOWA “Beregening, telt elke druppel?” 9 mei 2019, Amersfoort. [Link](#)
- Van den Eertwegh, G., Bartholomeus, R., de Louw, P., Witte, F., van Dam, J., van Deijl, D., Hoefsloot, P., Clevers, S., Hendriks, D., van Huijgevoort, M., Hunink, J., Mulder, N., Pouwels, J. en J. de Wit, 2019. Droogte in zandgebieden van Zuid-, Midden- en Oost-Nederland. Rapportage Fase 1: ontwikkeling van uniforme werkwijze voor analyse van droogte en tussentijdse bevindingen. [Link](#)

- Van den Eertwegh, G., Bartholomeus, R., de Louw, P., Witte, F., van Dam, J., van Deijl, D., Hoefsloot, P., van Huijgevoort, M., Hunink, J., America, I., Pouwels, J. en J. de Wit, 2020. Droogte in zandgebieden van Zuid-, Midden- en Oost-Nederland. Het verhaal: analyse van droogte 2018 en 2019 en tussentijdse bevindingen. Rapport. [Link](#)
- Van den Eertwegh, G. et al., 2020. Droogte in zandgebieden van Zuid-, Midden- en Oost-Nederland. Het verhaal: analyse van droogte 2018 en 2019 en tussentijdse bevindingen. Uitgebreide samenvatting. [Link](#)
- Van den Eertwegh, Gé, Jan van Bakel, Harry Massop, Ab Veldhuizen en Fred Bosveld, 2020. Een deskstudy naar kennis en inzicht ten aanzien van waterverliezen bij midden op de dag beregenen vergeleken met beregenen in de nachtelijke uren. Eindnotitie 31-8-2020. [Link](#)

12. Colofon

De Deltafact Berekening is samengesteld door Perry de Louw (Deltares), Vince Kaandorp (Deltares), Harry Massop (WEnR) en Ab veldhuizen (WEnR). De actualisatie in maart 2024 is gedaan door Marius Heinen.

13. Disclaimer

De in deze publicatie gepresenteerde kennis en diagnosemethoden zijn gebaseerd op de meest recente inzichten in het vakgebied. Desalniettemin moeten bij toepassing ervan de resultaten te allen tijde kritisch worden beschouwd. De auteur(s) en STOWA kunnen niet aansprakelijk worden gesteld voor eventuele schade die ontstaat door toepassing van het gedachtegoed uit deze publicatie.