



WWL-tabel

Inhoudsopgave

Inleiding	2
Algemeen.....	2
Software.....	2
Werkwijze	2
Aansturing	3
Gewasrespons	3
Folder structuur	3
Invoer	4
Formaat.....	6
Uitvoer	7
Uitvoer	8
Vertaling naar economie.....	8
Voorbeeld	11
Literatuur	16
A. Interpolatie in het domein van de grondwaterstandskarakteristieken GHG en GLG	17

Inleiding

Algemeen

De Waterwijzer Landbouw (Werkgroep Waterwijzer Landbouw, 2018) is een instrument voor het bepalen van het effect van veranderingen in meteorologische (klimatologische) en hydrologische condities op gewasopbrengsten. Deze veranderingen kunnen worden veroorzaakt door waterbeheer, herinrichtingprojecten, (drink)waterwinningen, maar ook door het klimaat. Gewassen en de agrarische bedrijfsvoering stellen specifieke eisen aan de waterhuishouding. Waterwijzer Landbouw geeft een reproduceerbare inschatting van het effect, in termen van indirecte en directe effecten waarbij de directe effecten verder zijn uitgesplit naar aandeel in droogte- zuurstof- en/of zoutstress.

De Waterwijzer Landbouw bestaat uit verschillende methodieken, die verschillen in gemak om het toe te passen maar natuurlijk ook in het detail en onderscheidingsvermogen van de resultaten.

De WWL-metarelaties van Waterwijzer Landbouw kunnen relatief eenvoudig worden benaderd met de [WWL-tabel](#)¹. Hiermee is het mogelijk om relatief snel inzicht te krijgen hoe de opbrengstderving gedurende de klimaatperioden 1981-2020 en 2036-2065 reageert voor een groot aantal gewassen onder uiteenlopende bodemkundige, hydrologische en meteorologische condities. De hydrologische condities worden gekarakteriseerd door de GHG en GLG.

Om meer grip te krijgen op de modelresultaten is het mogelijk om over te gaan op een maatwerktoepassing met [WWL-maatwerk](#)¹. Voor een specifieke situatie kan het modelinstrumentarium (SWAP-WOFOST) opnieuw worden gedraaid. Door modelinstellingen aan te passen is het mogelijk om beter aan te sluiten op de lokale omstandigheden. Zo kan er gebruik worden gemaakt van lokale meteogegevens, bodemfysica en het grondwaterstandsverloop en kan het modelinstrumentarium worden gedraaid voor een recentere periode.

Maatwerk op het niveau van stroomgebieden is mogelijk met de [WWL-regionaal](#)¹ toepassing. Hierbij wordt informatie gebruikt over het landgebruik, bodemtype en een gedetailleerd grondwaterstandsverloop. Hiermee is het mogelijk om aan te sluiten op informatie afkomstig van regionale hydrologische modelberekeningen (zoals bijvoorbeeld 14-daagse grondwaterstandsgegevens).

Doordat het modelinstrumentarium modeluitvoer op dag-basis levert is het mogelijk om de grondwaterstandsverloop en/of vochtcondities te toetsen aan eventuele metingen die zijn gedaan in het veld. Daarnaast is het mogelijk om analyses te doen binnen het groeiseizoen, hiermee kan bijvoorbeeld worden gekeken naar het effect van een korte periode met extreme neerslag of een langdurige droge periode op de gewasontwikkeling.

Software

Voor het gebruik van de WWL-tabel dient het programma [R](#)² (versie 4.1.0 of later) geïnstalleerd te zijn met de volgende pakketten³: `WWLtabel`. Daarnaast is het softwarepakket [Rtools](#)² aan te bevelen (waarbij de volgende optie is aangevinkt: "save version number in registry").

Werkwijze

Op basis van plotkenmerken (combinatie van gewas, bodem, meteostation, klimaatperiode, irrigatie, zoutconcentratie en een hydrologische conditie middels de grondwaterkarakteristieken GHG en GLG) wordt de opbrengstderving met behulp van de metarelaties van Waterwijzer Landbouw bepaald. De plotkenmerken worden per ruimtelijke eenheid gespecificeerd, dat kan met een tabel of een kaartlaag (shape of raster). Het formaat waarin de uitvoer wordt weggeschreven is gelijk aan het formaat van de invoer.

¹ <https://waterwijzerlandbouw.wur.nl>

² <http://www.r-project.org> (R Core Team, 2014)

³ Installatie van R-pakketten gebeurt automatisch met de tool, mits geen restricties tot toegang met het internet. Het R-pakket `WWLmaatwerk` en R-pakketten waarvan de tool afhankelijk is worden verkregen van de volgende locaties: <http://cran.r-project.org> en <https://waterwijzerlandbouw.wur.nl/repo>.

Aansturing

Aansturing van de WWL-tabel gebeurt aan de hand van een sturingsfile welke als argument aan het R-script wordt meegegeven, de zogenaamde controlfile. De controlfile wordt gebruikt voor het opgeven van een aantal opties en het verwijzen naar bepaalde locaties en bestanden. Bij het uitvoeren van het script is geen speciale folder-structuur vereist omdat deze via de controlfile wordt opgegeven. De gebruiker is vrij in het specificeren van (relatieve) paden. De verschillende verwijzingen en opties kunnen in willekeurige volgorde worden opgegeven. Identificatie gebeurt aan de hand van gespecificeerde keywords (de keywords zijn hoofdlettergevoelig en mogen niet gewijzigd worden). Met het #-teken is het mogelijk om commentaar in de controlfile toe te voegen.

De WWL-tabel wordt met een command file (WINDOWS: WWL_tabel.cmd; LINUX: WWL_tabel.command) aangeroepen. In de command file staat een verwijzing naar de R installatie (welke mogelijk aangepast moet worden afhankelijk van de R installatie) en wordt een R-script (WWL_tabel.R) aangeroepen, zie bijvoorbeeld afbeelding 1.

```
set .\set_Rversion.cmd
%Rscript% Tools\R\WWL_tabel.R control.inp
```

Afbeelding 1: Weergave command file (WWL_tabel.cmd).

De WWL-tabel maakt gebruik van internet! Via de site <http://waterwijzerlandbouw.wur.nl> worden de resultaten van Waterwijzer Landbouw opgehaald.

Er zijn 5 blokken met aansturing aanwezig, namelijk gewasrespons, folderstructuur invoer, uitvoer en economie, welke hieronder achtereenvolgens besproken worden.

Gewasrespons

De gebruiker dient in eerste instantie de gewasrespons te definiëren. In Tabel 1 zijn vier keywords weergegeven voor de algemene aansturing zoals ze in de controlfile worden gebruikt: DATABASE, KLIMAAT, PERIODE.

Middels het keyword DATABASE verwijst de gebruiker naar een versie van de WWL-database. Indien er een nieuwere versie van de WWL-database beschikbaar is wordt er een melding gemaakt naar het scherm: WARNING update of WWL-database available: '3.0.0'. Optioneel kan de gebruiker voor het benaderen van de WWL-database een proxyserver specificeren in de controlfile met het keyword PROXY⁴.

Het verloop van de grondwaterstand kan op verschillende manieren worden gekarakteriseerd. Bij het afleiden van metarelaties van de gewasrespons op de hydrologische condities is ervoor gekozen om het verloop van de grondwaterstand te karakteriseren aan de hand van de Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG) en de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG).

Verder dient de gebruiker de klimaatperiode op te geven (KLIMAAT), hierbij zijn twee opties mogelijk:

- huidig klimaat aangegeven met '___' (klimaatperiode 1981-2010 of 1991-2020);
- toekomstig klimaat aangegeven met 'Wh' (klimaatperiode 2036-2065).

De gewasrespons (keyword: PERIODE) betreft een gemiddelde respons over een klimaatperiode van dertig jaar ('1981-2010', '1991-2020' of '2036-2065') of respons voor een specifiek jaar in de huidige klimaatperiode ('jjjj', waarbij jjjj een jaar is tussen 1981 - 2020).

Folder structuur

In de controlfile een folder gespecificeerd voor het eindresultaat (keyword: DIROUT).

⁴ Een proxyserver is een computer die zich bevindt tussen de computer van de gebruiker en de computer waarop in ons geval de WWL-database staat (zie <https://nl.wikipedia.org/wiki/Proxyserver> voor meer informatie). Als een proxyserver is gespecificeerd wordt gevraagd naar een bijbehorend wachtwoord (keyword PROXYPWD). Het wachtwoord hoeft niet gespecificeerd te worden in de controlfile. Indien niet aanwezig dan wordt het opgevraagd.

Tabel 1: Controlfile: structuur voor de algemene aansturing

Keyword	Type	Beschrijving
<u>Gewasrespons</u>		
DATABASE	Optie	Versie WWL-database, opties: '1.0.0', '1.1.0', '2.0.0' of '3.0.0'
KLIMAAT	Optie	Klimaatscenario, opties: '___' of 'Wh'
PERIODE*	Optie	Periode van gewasrespons, opties: '1981-2010', '1991-2020', '2036-2065' of een jaar in de huidige klimaatperiode ('jjjj')
<u>Folder-structuur</u>		
DIROUT	Tekst	Verwijzing naar uitvoer folder
<u>Invoer</u>		
FORMAAT	Optie	Dataformaat, opties: 'Tabel', 'Shape' of 'Raster'
EENHEID	Optie	Eenheid van grondwaterstand, opties: 'cm-mv', 'cm+mv', 'm-mv' of 'm+mv'
<u>Uitvoer (optioneel)</u>		
HRVOTBIO	Optie	Potentiële opbrengst uitgedrukt in biomassa, opties 'Yes' of 'No'
HRVOTVEM	Optie	Potentiële opbrengst uitgedrukt in VEM, opties 'Yes' of 'No'
HRVOTDVE	Optie	Potentiële opbrengst uitgedrukt in DVE, opties 'Yes' of 'No'
HRVOTEUR	Optie	Potentiële opbrengst uitgedrukt in euro, opties 'Yes' of 'No'
DMGTOT	Optie	Totale opbrengstderving, opties 'Yes' of 'No'
DMGIND	Optie	Opbrengstderving a.g.v. indirecte effecten, opties 'Yes' of 'No'
DMGDIR	Optie	Opbrengstderving a.g.v. directe effecten, opties 'Yes' of 'No'
DMGDRY	Optie	Opbrengstderving a.g.v. droogtestress, opties 'Yes' of 'No'
DMGWET	Optie	Opbrengstderving a.g.v. zuurstofstress, opties 'Yes' of 'No'
DMGSOL	Optie	Opbrengstderving a.g.v. zoutstress, opties 'Yes' of 'No'

* Afzonderlijke weerjaren werkt niet voor een klimaatperiode

Invoer

Na het specificeren van de gewasrespons en de folder-structuur dient de gebruiker invoergegevens aan te leveren. De WWL-tabel is geschikt gemaakt voor verwerken van databestanden in het formaat (keyword FORMAAT): 'Tabel' (*.csv), 'Shape' (*.shp) en 'Raster' (*.asc of *.idf).

Voor de verschillende databestanden geldt steeds dat per ruimtelijke eenheid de volgende informatie moet worden aangeleverd:

- grondwaterkarakteristieken;
- bodem, BOFEK2012 of BOFEK2020 bodemtype;
- gewas;
- station, KNMI weerstation;
- irrigatie;
- zoutconc, zoutconcentratie in het beregeningswater.

Grondwaterstandskarakteristieken

Per ruimtelijke eenheid dient de GHG en GLG te worden gespecificeerd. Aan de hand van het keyword EENHEID wordt de eenheid van de grondwaterstand opgegeven (opties: 'cm-mv', 'cm+mv', 'm-mv' of 'm+mv').

De grondwaterkarakteristieken worden door het R-script afgekapt op een maximale grondwaterstand van 3.0 m-mv. Middels bilineaire interpolatie en barycentrische coördinaten worden de dervingfracties ingeschat voor de opgegeven grondwaterkarakteristieken (zie bijlage A voor een beknopte toelichting van de interpolatietechnieken).

Bodem

De bodem bepaalt hoeveel vocht er kan worden vastgehouden en hoeveel grondwater kan worden na geleverd. In Waterwijzer Landbouw hanteren we de bodemfysische eenheden van [BOFEK](#)⁵ Hierbij wordt onderscheid gemaakt in:

- veengronden code 101 – 110 (BOFEK2012) of 1001 – 1018 (BOFEK2020)
- moerige gronden code 201 – 206 (BOFEK2012) of 2001 – 2007 (BOFEK2020)
- zandgronden code 301 – 327 (BOFEK2012) of 3001 – 3023 (BOFEK2020)
- kleigronden code 401 - 422 (BOFEK2012) of 4001 – 4024 (BOFEK2020)
- leemgronden code 501 – 507 (BOFEK2012) of 5001 – 5007 (BOFEK2020)

Vanaf WWL-database 3.0.0 worden de bodemfysische eenheden van de BOFEK2020 gebruikt. Bij alle versies daarvoor (1.0.0, 1.1.0 en 2.0.0) wordt gebruik gemaakt van BOFEK2012.

Gewas

In Waterwijzer Landbouw onderscheiden we een aantal gewas hoofdgroepen, namelijk veeteelt, akkerbouw, groenteteelt, bloembollen en boomteelt, zie Tabel 2. Voor gras zijn een vijftal varianten voor graslandmanagement in acht genomen, van alleen maaien tot alleen beweiding. In Tabel 2 staan ook de gewascodes die worden gehanteerd in Waterwijzer Landbouw (NB: deze wijken af van LGN of NHI). Bij de laatste twee opleveringen van de nieuwe metarelaties (versie 2.0.0 en 3.0.0) zijn niet alle gewassen doorgerekend.

Tabel 2: Gewassen Waterwijzer Landbouw

Gewas	2.0.0	3.0.0
<u>Veeteelt</u>		
1 Gras (maaien)	Ja	Ja
2 Gras (beweiden en intensief maaien) ¹	Nee	Nee
3 Gras (beweiden en maaien) ²	Nee	Nee
4 Gras (beweiden en extensief maaien) ³	Nee	Nee
5 Gras (beweiding)	Ja	Ja
6 Snijmais	Ja	Ja
<u>Akkerbouw</u>		
7 Wintertarwe	Ja	Ja
8 Zomergerst	Nee	Ja
9 Consumptieaardappel	Ja	Ja
10 Zetmeelaardappel	Ja	Ja
11 Pootaardappel	Nee	Nee
12 Suikerbieten	Ja	Ja
13 Zaai-uien	Ja	Ja
<u>Groenteteelt</u>		
14 Prei	Nee	Nee
15 Sla	Nee	Nee
16 Bloemkool	Nee	Nee
17 Spruitkool	Nee	Nee
18 Winterpeen	Nee	Nee
19 Sperziebonen	Nee	Nee
<u>Bloembollen</u>		
20 Tulp	Ja	Ja
21 Lelie	Nee	Nee
<u>Boomteelt</u>		
22 Appelbomen	Ja	Ja
23 Laanbomen	Ja	Ja

¹ Zowel maaien als beweiding, met een maaipercentage van 300%.

² Zowel maaien als beweiding, met een maaipercentage van 200%.

³ Zowel maaien als beweiding, met een maaipercentage van 100%.

⁵ <https://www.wur.nl/nl/show/Bodemfysische-Eenhedenkaart-BOFEK2020.htm>

Station

Gewasschade is afhankelijk van het dagelijkse weer. Denk aan langdurige droge of juist zeer natte periodes. Ook het dagelijkse temperatuurverloop is bepalend voor de gewasschade. In *Tabel 3* zijn de vijf KNMI hoofd-weerstations weergegeven waarvan de dagelijkse meetreeksen zijn gebruikt voor het voorspellen van de opbrengstderving.

Tabel 3: (Weer)stations Waterwijzer Landbouw

Station	
235	De Kooy
260	De Bilt
280	Eelde
310	Vlissingen
380	Maastricht

Irrigatie

Bij de oplevering van de nieuwe metarelaties (versie 2.0.0) worden alle gewassen optioneel geïrrigeerd. Irrigatie wordt met een 0 (geen) of een 1 (wel) aangegeven. De hoeveelheid berekening is afhankelijk van de droogtestress die door het gewas wordt ondervonden en kan dus sterk variëren per jaar en per gewas.

Tabel 4: Irrigatie Waterwijzer Landbouw

Irrigatie	
0	geen irrigatie
1	irrigatie

Zoutconc

Bij de laatste oplevering van de nieuwe metarelaties (versie 2.0.0) kan er vooralsnog nog niet worden gerekend met zoutstress. Bij de vorige versie van de metarelaties (versie 1.1.0) zijn voor een aantal gewassen wel resultaten met zoutstress opvraagbaar. In dat geval gaat het om zoutstress als gevolg van berekening met zout water (in geval van zoutstress dient irrigatie dus aan te staan). Er kan gekozen worden uit de volgende zoutconcentraties in het beregeningswater: 0.25, 0.50, 0.75, 1.00, 3.00 en 5.00 g Cl⁻ l⁻¹, zie Tabel 5.

Tabel 5: Zoutconcentratie Waterwijzer Landbouw

Zoutconcentratie	
0	0.00 g Cl ⁻ l ⁻¹
1	0.25 g Cl ⁻ l ⁻¹
2	0.50 g Cl ⁻ l ⁻¹
3	0.75 g Cl ⁻ l ⁻¹
4	1.00 g Cl ⁻ l ⁻¹
5	3.00 g Cl ⁻ l ⁻¹
6	5.00 g Cl ⁻ l ⁻¹

Formaat

Afhankelijk van het type `FORMAAT` worden andere keywords ingelezen uit de controlfile door de WWL-tabel. In geval van `'Tabel'` of `'Shape'` dient er een verwijzing naar een csv-bestand of shp-bestand te worden aangeleverd, waarbij het betreffende bestand de volgende kolommen bevat: GHG, GLG, bodem, station, gewas, irrigatie en zoutconc. In geval van `'Raster'` wordt de informatie in een rasterbestand (`asc` of `idf`) aangeleverd, zie Tabel 6. Als alternatief kan gekozen worden om geen verwijzing te maken naar een raster maar om één enkele waarde in te vullen.

Tabel 6: controlfile invoer-bestanden

Keyword	Type	Beschrijving
<i>Tabel</i>		
TABEL	Tekst	Verwijzing naar .csv-bestand
<i>Shape</i>		
SHAPE	Tekst	Verwijzing naar .shp-bestand
<i>Raster</i>		
GEWAS	Tekst ¹	Verwijzing naar raster met gewassen
BODEM	Tekst ¹	Verwijzing naar raster met BOFEK-eenheden
STATION	Tekst ¹	Verwijzing naar raster met stations
IRRIGATIE	Tekst ¹	Verwijzing naar raster met irrigatie
ZOUTCONC	Tekst ¹	Verwijzing naar raster met zoutconcentraties

¹ Als alternatief kan ook één enkele waarde worden opgegeven.

Uitvoer

Per uitvoer-variabele is het mogelijk om aan te geven of deze variabele wel ('Yes') of niet ('No') weggeschreven dient te worden. Standaard worden alle uitvoer-variabelen weggeschreven.

Uitvoer

Als resultaat levert de WWL-tabel de gewasrespons op per opgegeven ruimtelijke eenheid. De gewasrespons bestaat uit een potentiële gewasopbrengst uitgedrukt in biomassa ($\text{kg}_{\text{ds}} \text{ha}^{-1}$, kg ha^{-1} of stuks ha^{-1}), voedereenheid melk (kVEM ha^{-1}), darm verteerbaar eiwit (kDVE ha^{-1}) of euro's (€ ha^{-1}) en uit de relatieve opbrengstderving uitgedrukt als percentage (Tabel 7). De totale opbrengstderving kan hierbij worden uitgesplitst in een aandeel als gevolg van indirecte effecten en directe effecten. Indirecte effecten zijn het gevolg van een verschuiving in het groeiseizoen in verband met te natte omstandigheden om grondbewerking te kunnen uitvoeren, directe effecten zijn het gevolg van transpiratiereductie gedurende het groeiseizoen. Deze transpiratiereductie kan veroorzaakt worden door droogte- zuurstof- en zoutstress.

Tabel 7: Resultaat van de WWL-tabel

Variabele	Omschrijving	Eenheid
<i>Potentiële gewasopbrengst</i>		
hrvpotbio ¹	Biomassa	$\text{kg}_{\text{ds}} \text{ha}^{-1}$ kg ha^{-1} stuks ha^{-1}
hrvpotvem	Voedereenheid melk	kVEM ha^{-1}
hrvpotdve	Darm verteerbaar eiwit	kDVE ha^{-1}
hrvpoteur	Euro	€ ha^{-1}
<i>Opbrengstderving</i>		
dmgtot	Totaal	%
dmgind	Indirecte effecten	%
dmgdir	Directe effecten	%
dmgdry	Droogtestress	%
dmgwet	Zuurstofstress	%
dmgsol	Zoutstress	%

¹ De eenheid van biomassa is afhankelijk van het gewas.

Het formaat waarin de uitvoer wordt weggeschreven is gelijk aan het formaat van de invoer. Indien er een 'Shape' of 'Table' wordt aangeleverd, wordt er een vergelijkbaar bestand weggeschreven met daaraan toegevoegd kolommen met de resultaten. In geval van een 'Raster' wordt per uitvoervariabele een raster (asc-bestand of idf-bestand) weggeschreven.

Vertaling naar economie

Voor de vertaling naar een economisch effect in euro's wordt de potentiële gewasopbrengst vermenigvuldigd met een gewasprijs, zie Tabel 8.

Voor veeteelt gewassen wordt hiervoor de potentiële opbrengst in voederwaarde (uitgedrukt in kVEM ha^{-1} en kDVE ha^{-1}) vermenigvuldigd met de voederwaardeprijzen voor VEM en DVE, respectievelijk 0.167€ kVEM^{-1} en 0.671€ kDVE^{-1} (zie voor details het eindrapport van Waterwijzer Landbouw).

Voor akkerbouwgewassen waarbij de potentiële gewasopbrengst wordt uitgedrukt in $\text{kg}_{\text{ds}} \text{ha}^{-1}$, wordt eerst een vertaling gemaakt naar gewasopbrengst in versgewicht (kg ha^{-1}) alvorens te vermenigvuldigen met de gewasprijs.

Voor de gewassen sla, bloemkool, tulp en lelie worden de potentiële gewasopbrengsten uitgedrukt in aantallen (stuks).

Tabel 8: Vertaling naar economie; gehanteerde gewasprijzen en droge stofgehalten in Waterwijzer Landbouw

Gewas	Eenheid opbrengst	DS [%]	Prijs	Eenheid prijs
<u>Veeteelt¹</u>				
Gras (maaïen)	kg _{ds} ha ⁻¹			
Gras (beweiden en intensief maaïen)	kg _{ds} ha ⁻¹			
Gras (beweiden en maaïen)	kg _{ds} ha ⁻¹			
Gras (beweiden en extensief maaïen)	kg _{ds} ha ⁻¹			
Gras (beweiding)	kg _{ds} ha ⁻¹			
Snijmais	kg _{ds} ha ⁻¹			
<u>Akkerbouw</u>				
Wintertarwe	kg _{ds} ha ⁻¹	85.0	0.19	€ kg ⁻¹
Zomergerst	kg _{ds} ha ⁻¹	85.0	0.19	€ kg ⁻¹
Consumptieaardappel	kg _{ds} ha ⁻¹	21.5	0.16	€ kg ⁻¹
Zetmeelaardappel	kg _{ds} ha ⁻¹	24.5	0.07	€ kg ⁻¹
Pootaardappel	kg _{ds} ha ⁻¹	23.0 ²	0.30	€ kg ⁻¹
Suikerbieten	kg _{ds} ha ⁻¹	24.5	0.056	€ kg ⁻¹
Zaai-uien	kg ha ⁻¹		0.14	€ kg ⁻¹
<u>Groenteteelt</u>				
Prei	kg ha ⁻¹		0.37	€ kg ⁻¹
Sla ²	stuks ha ⁻¹		0.21	€ stuk ⁻¹
Bloemkool ²	stuks ha ⁻¹		0.55	€ stuk ⁻¹
Spruitkool	kg ha ⁻¹		0.40	€ kg ⁻¹
Winterpeen	kg ha ⁻¹		0.16	€ kg ⁻¹
Sperziebonen	kg ha ⁻¹		0.16	€ kg ⁻¹
<u>Bloembollen</u>				
Tulp ²	stuks ha ⁻¹		0.43	€ stuk ⁻¹
Lelie ²	stuks ha ⁻¹		0.85	€ stuk ⁻¹
<u>Boomteelt</u>				
Appelbomen	kg ha ⁻¹		0.735	€ kg ⁻¹
Laanbomen	kg ha ⁻¹		4570	€ kg ⁻¹

¹ Voor veeteelt gewassen wordt de gewasopbrengst in voederwaarde (kVEM ha⁻¹ en kDVE ha⁻¹) vertaald naar een economisch effect.

² Afwijkende waarden en eenheden ten opzichte van het [Waterwijzer Landbouw eindrapport⁶](#), voor pootaardappel wordt een droge stofgehalte van 23% aangehouden, sla en bloemkool worden uitgedrukt in stuks ha⁻¹, de gewasprijzen van sla, bloemkool, tulp en lelie zijn aangepast.

De gewasprijzen vermeldt in *Tabel 8* worden standaard aangehouden door de WWL-tabel. Indien gewenst is het mogelijk om de gewasprijzen aan te passen. Voor veeteeltgewassen kunnen de voederwaardeprijzen VEM en DVE worden aangepast en voor alle overige gewassen de gewasprijzen, zie

Tabel 9.

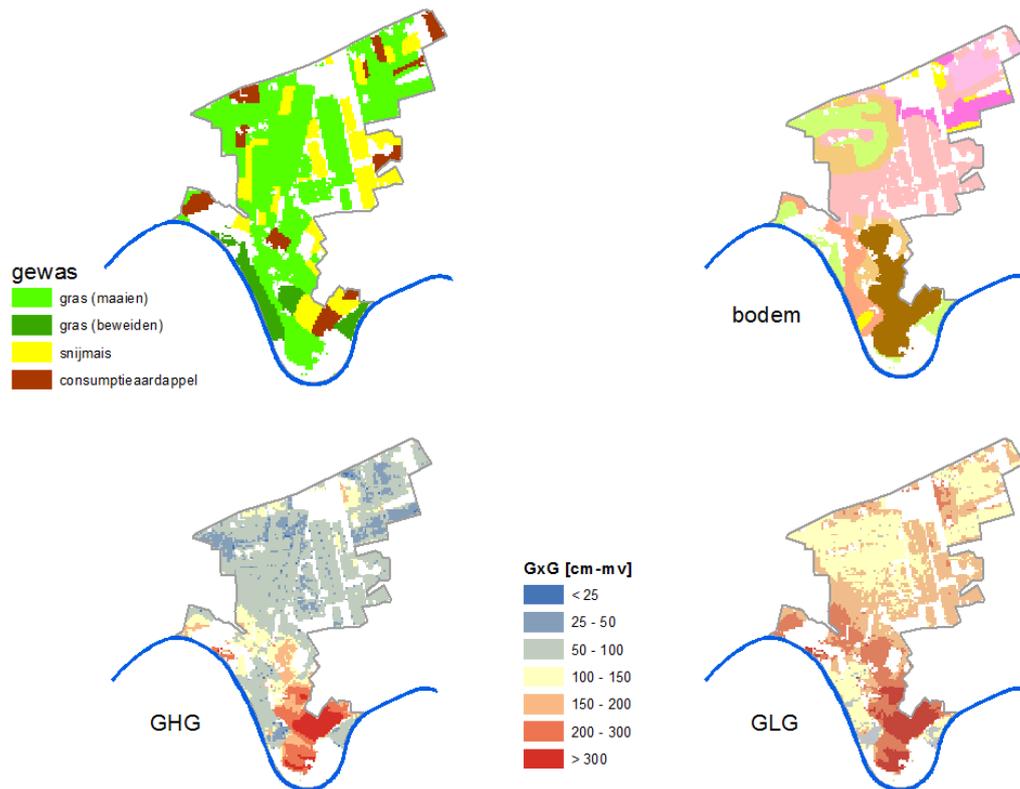
⁶ www.waterwijzer.nl/Publicaties/index.aspx

Tabel 9: controlfile gewasprijzen (optioneel)

Keyword	Type	Beschrijving	Eenheid prijs
<i><u>Veeteelt</u></i>			
VEM	Getal	Voederwaardeprijs VEM	€ kVEM ⁻¹
DVE	Getal	Voederwaardeprijs DVE	€ kDVE ⁻¹
<i><u>Akkerbouw</u></i>			
WINTERTARWE	Getal	Gewasprijs wintertarwe	€ kg ⁻¹
ZOMERGERST	Getal	Gewasprijs zomergerst	€ kg ⁻¹
CONSUMPTIEAARDAPPEL	Getal	Gewasprijs consumptieaardappel	€ kg ⁻¹
ZETMEELAARDAPPEL	Getal	Gewasprijs zetmeelaardappel	€ kg ⁻¹
POOTAARDAPPEL	Getal	Gewasprijs pootaardappel	€ kg ⁻¹
SUIKERBIETEN	Getal	Gewasprijs suikerbieten	€ kg ⁻¹
ZAAI_UIEN	Getal	Gewasprijs zaai-uien	€ kg ⁻¹
<i><u>Groenteteelt</u></i>			
PREI	Getal	Gewasprijs prei	€ kg ⁻¹
SLA	Getal	Gewasprijs sla	€ stuk ⁻¹
BLOEMKOOL	Getal	Gewasprijs bloemkool	€ stuk ⁻¹
SPRUITKOOL	Getal	Gewasprijs spruitkool	€ kg ⁻¹
WINTERPEEN	Getal	Gewasprijs winterpeen	€ kg ⁻¹
SPERZIEBONEN	Getal	Gewasprijs sperziebonen	€ kg ⁻¹
<i><u>Bloembollen</u></i>			
TULP	Getal	Gewasprijs tulp	€ stuk ⁻¹
LELIE	Getal	Gewasprijs lelie	€ stuk ⁻¹
<i><u>Boomteelt</u></i>			
APPELBOMEN	Getal	Gewasprijs appelbomen	€ kg ⁻¹
LAANBOMEN	Getal	Gewasprijs laanbomen	€ kg ⁻¹

Voorbeeld

Hieronder worden een voorbeeld uitgewerkt met zowel de 'Shape' als de 'Raster' optie. Als uitgangssituatie is het gebied Stegeren in stroomgebied van de Vecht genomen (fictief voorbeeld). Er is voornamelijk sprake van veeteelt gewassen (combinatie van gras en snijmais) en op enkele plekken worden consumptieaardappelen geteeld (Figuur 1). De bodem bestaat voornamelijk uit zwak-lemige zandgronden. De meteogegevens zijn afkomstig van het weerstation Eelde. De grondwaterkarakteristieken zijn gegenereerd met een hydrologisch model waarbij de grondwaterstanden zijn weergegeven in cm-mv voor de periode 1981 tot en met 2010.



Figuur 1: Uitgangssituatie Stegeren

Op basis van deze informatie is het mogelijk om met behulp van de WWL-tabel de gewasrespons in te schatten. In dit voorbeeld zijn we geïnteresseerd in een langjarig gemiddelde gewasrespons. De controfile hiervoor is weergegeven in Afbeelding 2 en Afbeelding 3 voor respectievelijk de 'Shape' en 'Raster' optie.

Na het draaien van de WWL-tabel wordt, in geval van de 'Shape' optie, een nieuwe shapefile gegenereerd in de folder ./Output die vergelijkbaar is met de oude shapefile. In de database van de shapefile zijn extra kolommen toegevoegd met de gewasrespons. In geval van de 'Raster' optie worden nieuwe raster bestanden gegenereerd met de gewasrespons. In de resultaten is te zien dat de opbrengstderving in dit voorbeeld voornamelijk wordt veroorzaakt door de directe effecten, zie Figuur 2. De directe effecten zijn het gevolg van zowel te droge als te natte omstandigheden.

```

#-----
# GEWASRESPONS
#-----

# versie database
DATABASE                2.0.0

# Selectie klimaatperiode
KLIMAAT                  ---

# Periode van gewasrespons
PERIODE                  1981-2010

#-----
# FOLDER-STRUCTUUR
#-----

DIROUT                    ./Output

#-----
# INVOER
#-----

# Selectie formaat input
FORMAAT                  Shape
SHAPE                    ./Shape/WWL_shapefile.shp

# Eenheid grondwaterstand
EENHEID                  cm-mv
Afbeelding 2: Weergave controlfile voor 'Shape' optie
#-----
# GEWASRESPONS
#-----

# versie database
DATABASE                2.0.0

# Selectie klimaatperiode
KLIMAAT                  ---

# Periode van gewasrespons
PERIODE                  1981-2010

#-----
# FOLDER-STRUCTUUR
#-----

DIROUT                    ./Output

#-----
# INVOER
#-----

# Selectie formaat input
FORMAAT                  Raster

GEWAS                    ./Raster/Gewassen.asc
BODEM                    ./Raster/Bofek2012.asc
STATION                  280
IRRIGATIE                0
ZOUTCONC                 0
GHG                      ./Raster/GHG_huidig.asc
GLG                      ./Raster/GLG_huidig.asc

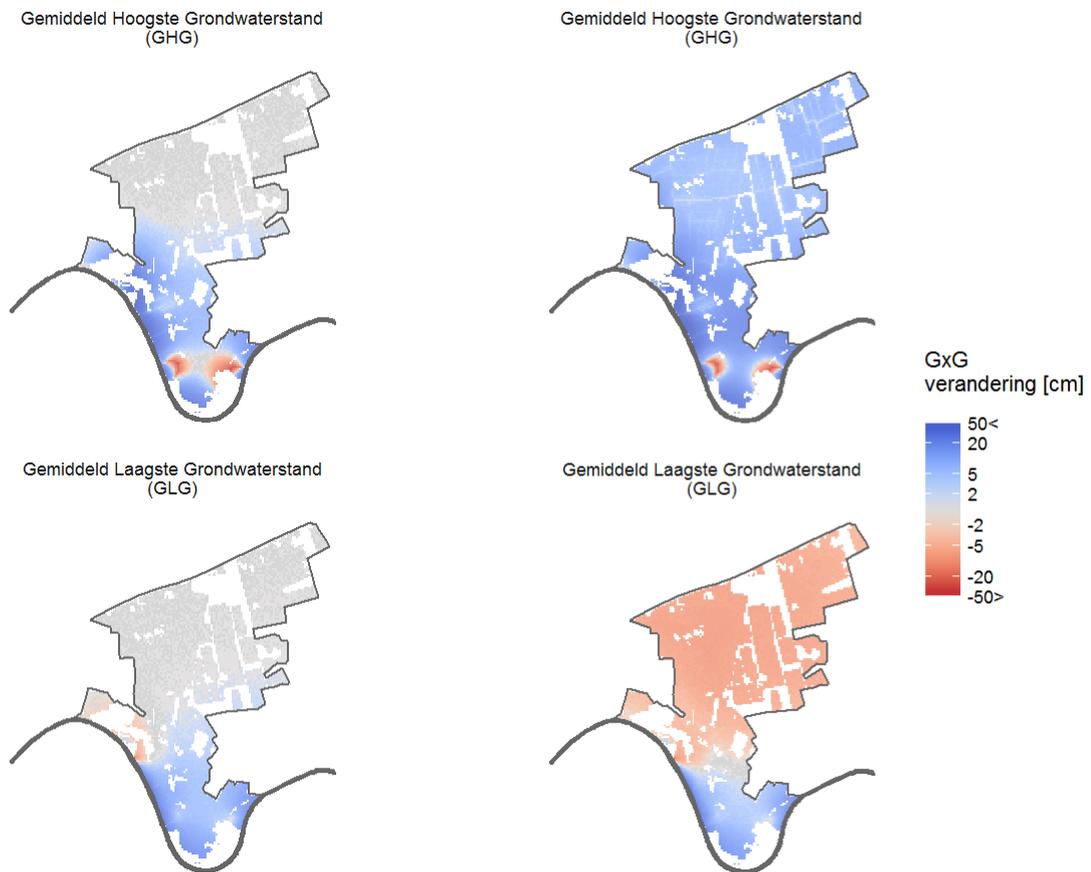
# Eenheid grondwaterstand
EENHEID                  cm-mv
Afbeelding 3: Weergave controlfile voor 'Raster' optie

```



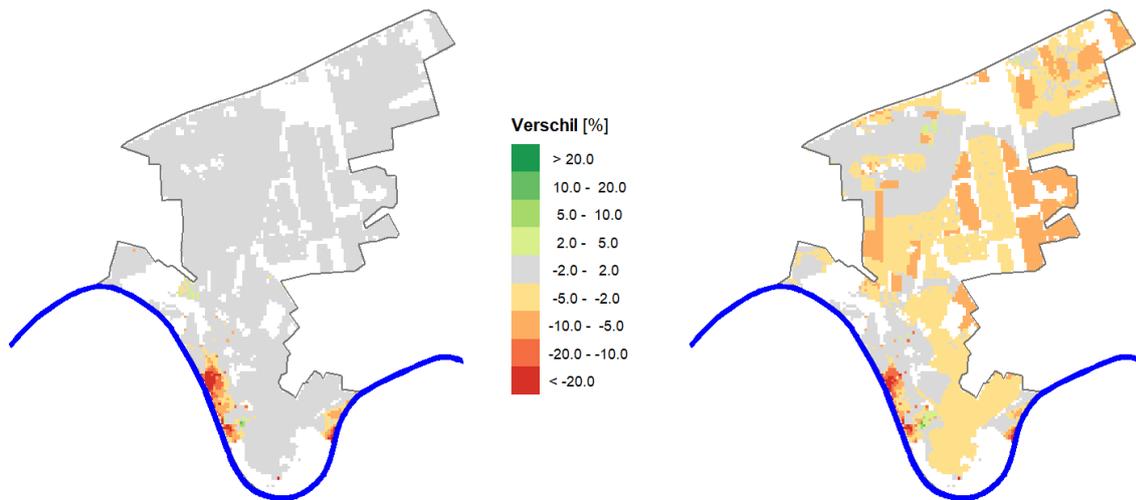
Figuur 2: Langjarig gemiddelde gewasrespons onder de huidige hydrologische condities, waarbij de totale opbrengstderving (boven) is uitgesplitst in indirecte effecten en directe effecten (midden), en de directe effecten verder zijn uitgesplitst in droogte- en zuurstofstress (onder)

Met hetzelfde hydrologische model zijn twee scenario's doorgerekend waarbij verandering in GHG en GLG zijn gesimuleerd als gevolg van een hydrologische maatregel en als gevolg van klimaatsverandering (zie *Figuur 3*). Met behulp van de WWL-tabel kunnen we een inschatting maken wat het effect is van deze hydrologische veranderingen op de gewasrespons. Daarvoor zal per scenario de WWL-tabel opnieuw gedraaid moeten worden waarbij de hydrologische condities van de scenario's zijn overgenomen. Voor het toekomstscenario dient in de controlfile `KLIMAAT` op 'Wh' te worden gezet.



Figuur 3: Grondwaterstandsverandering als gevolg van een hydrologische maatregel (links) en als gevolg van klimaatsverandering (rechts)

Het verschil in gewasrespons tussen de huidige situatie en de twee scenario's geeft de verandering in opbrengstderving weer, zie *Figuur 4*. In dit voorbeeld is vooral een achteruitgang in gewasopbrengst te zien linksonder in het gebied langs de Vecht. Onder de huidige hydrologische condities wordt de opbrengstderving in dit gebied vooral veroorzaakt door zuurstofstress. In beide scenario berekeningen is in dit gedeelte van Stegeren sprake van vernatting zodat een achteruitgang in de gewasopbrengst hier ook te verwachten is.



Figuur 4: Verandering van de totale opbrengstderiving als gevolg van een hydrologische maatregel (links) en als gevolg van klimaatsverandering (rechts)

Literatuur

Kroes, J. G., van Dam, J. C., Bartholomeus, R. P., Groenendijk, P., Heinen, M., Hendriks, R. F. A., van Walsum, P. E. V. (2017). *SWAP version 4; Theory description and user manual*. (Report [2780](#)), Wageningen Environmental Research, Wageningen, The Netherlands. Available at: <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/522980>.

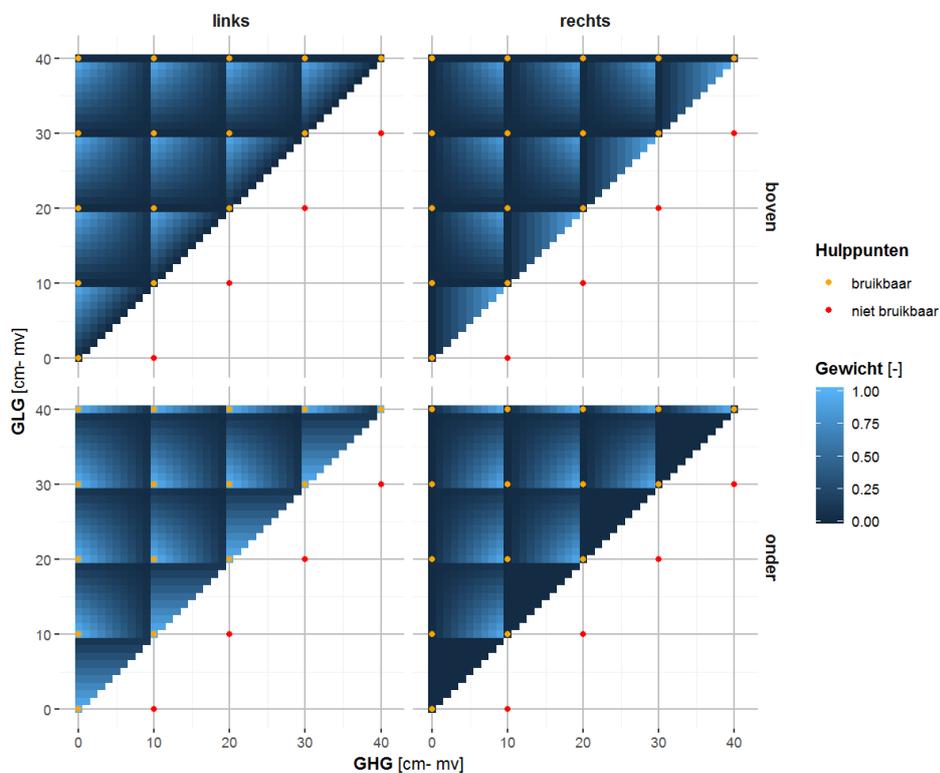
R Core Team, 2014. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL: <http://www.r-project.org>

Werkgroep Waterwijzer Landbouw, 2018. *Waterwijzer Landbouw instrumentarium voor kwantificeren van effecten van waterbeheer en klimaat op landbouwproductie*. STOWA, Amersfoort. Stowa rapport: [no. 2018-48](#).

A. Interpolatie in het domein van de grondwaterstandskarakteristieken GHG en GLG

Voor elke combinatie van GHG en GLG moet door de WWL-tabel een landbouwkundige respons opgevraagd kunnen worden. Om het aantal combinaties te beperken, omwille van de rekestijd, is er gekozen om een WWL-database op te stellen aan de hand van metarelaties met een resolutie van 10 cm. Dit vormen zogenaamde hulppunten voor interpolatie van de Waterwijzer Landbouw modelresultaten.

In de WWL-tabel worden twee methoden gebruikt voor de interpolatie: bilineaire interpolatie en barycentrische coördinaten. Bij bilineaire interpolatie zijn er vier hulppunten beschikbaar waarbij aan elk van deze hulppunten een bepaald gewicht wordt gegeven. Gezamenlijk leiden die tot een gewogen gemiddeld resultaat, zie Figuur 5. Nabij de 1:1 lijn kan het voorkomen dat een zogenaamd hulppunt niet bruikbaar is. Er zijn immers geen modelresultaten voor hulppunten waarbij de GHG beneden de GLG ligt. Voor deze situaties moeten we overstappen op barycentrische coördinaten.



Figuur 5: Gewichtsverdeling van hulppunten bij combinaties van GHG en GLG