

# Waterwijzer Landbouw

Veranderingen ten opzichte WWL-metarelaties 2.0.0

## Ontwikkeling Waterwijzer Landbouw

Door toepassing in pilots hebben we van verschillende gebruikers geleerd welke onduidelijkheden er zijn, welke vragen de toepassing oproept en wat er verbeterd moet worden. Ook zijn ervaringen uitgewisseld tijdens de Waterwijzer Landbouw gebruikersmiddagen georganiseerd in 2019, 2020 en 2021. Op basis van toepassingen en uitwisseling van ervaringen zijn reeds een aantal verbeteringen doorgevoerd die hebben geleid tot een eerdere update van de WWL-metarelaties (versies 1.1.0 en 2.0.0).

Dit document beschrijft de verbeteringen die zijn doorgevoerd bij het afleiden van WWL-metarelaties 3.0.0 ten opzichte van de voorgaande versie (2.0.0).

Bij de oplevering van WWL-metarelaties 2.0.0 zijn verbeteringen doorgevoerd voor de simulatie van droogtestress op zandgronden en afname van zuurstofstress onder natte omstandigheden. Tegelijkertijd is geconstateerd dat de droogtestress op bodemeenheden met klei in het bodemprofiel nog steeds werd overschat (Mulder et al., 2021). Na de oplevering van de WWL-metarelaties 2.0.0 in 2020 is daarom gelijk gestart met het onderzoeken naar mogelijke oorzaken die hieraan ten grondslag liggen. Dit heeft uiteindelijk geleid tot aanpassingen in zowel het modelconcept als modelaansturing voor de wortelontwikkeling.

Een andere belangrijke wijziging ten opzichte van de voorgaande WWL-metarelaties is de modelinvoer voor bodemschematisatie. Omdat in 2020 zowel de Bodemkaart van Nederland als de Staringreeks (Heinen et al., 2020) zijn vernieuwd, is in 2021 ook de bodemfysische eenhedenkaart vernieuwd: BOFEK 2020 (Heinen et al., 2021). De nieuwe WWL-metarelaties zijn voor deze bodemeenheden afgeleid.

Ook het toepassingsdomein van Waterwijzer Landbouw is vergroot. Zo is de simulatieperiode van het huidige klimaat verlengd tot en met 2020, zodat met de WWL-metarelaties ook resultaten zijn op te vragen voor recent droge weerjaren. Ook zijn er nu WWL-metarelaties afgeleid voor het gewas zomergerst.

## Aanpassingen in wortelontwikkeling

Uit verkennende studies van afgelopen jaar is gebleken dat de modelresultaten van Waterwijzer Landbouw gevoelig zijn voor de wortelontwikkeling. Het gaat hierbij niet alleen om de dikte van de wortelzone, maar ook over de verdeling van wortels in de wortelzone. Op basis van de bevindingen zijn aanpassingen doorgevoerd in:

- de dikte van de wortelzone;
- de wortelverdeling;
- wateropname; compensatie transpiratiereductie.

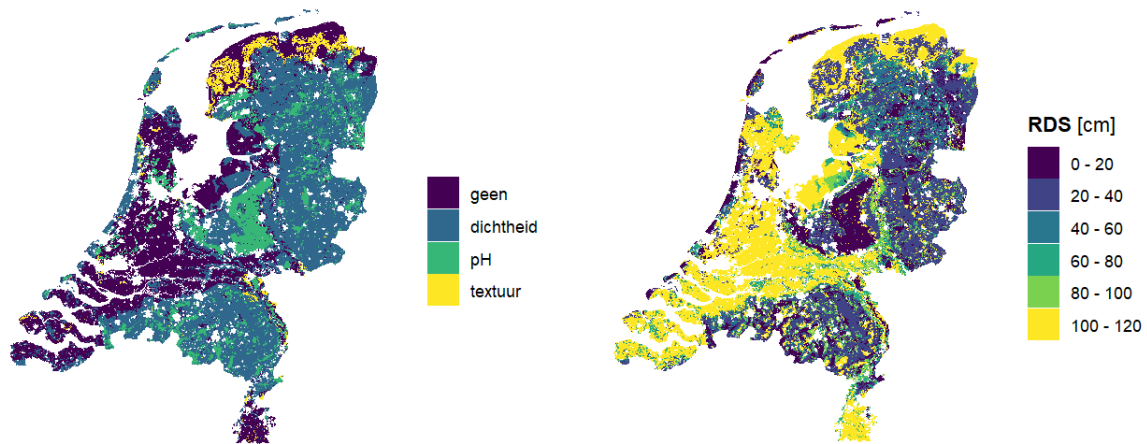
### Dikte van de wortelzone

Er is veel onzekerheid over de dikte van de wortelzone en daarom moeten we bepaalde aannames doen. Bij voorgaande versies van de WWL-metarelaties is de maximale dikte van de wortelzone gelijk gesteld aan de dikte van alle bovengrond-bouwstenen (B) van de BOFEK. Daarnaast is er een minimale wortelzone aangehouden per gewas (voor grasland is dit bijvoorbeeld 10 cm). Op basis van de bodemprofielopbouw leidt dit samen tot een maximale wortelzone.

In het verleden zijn studies uitgevoerd waarbij is gekeken naar wat bodemkundig de maximale dikte van de wortelzone is (ten Cate et al., 1995a en 1995b; Groenendijk et al., 2017). De worteldikte wordt mede bepaald of begrensd door een te lage pH-waarde, een te hoge dichtheid, textuur of aëratie. De volgende vuistregels voor bewortelbaarheid van de bodem zijn gehanteerd:

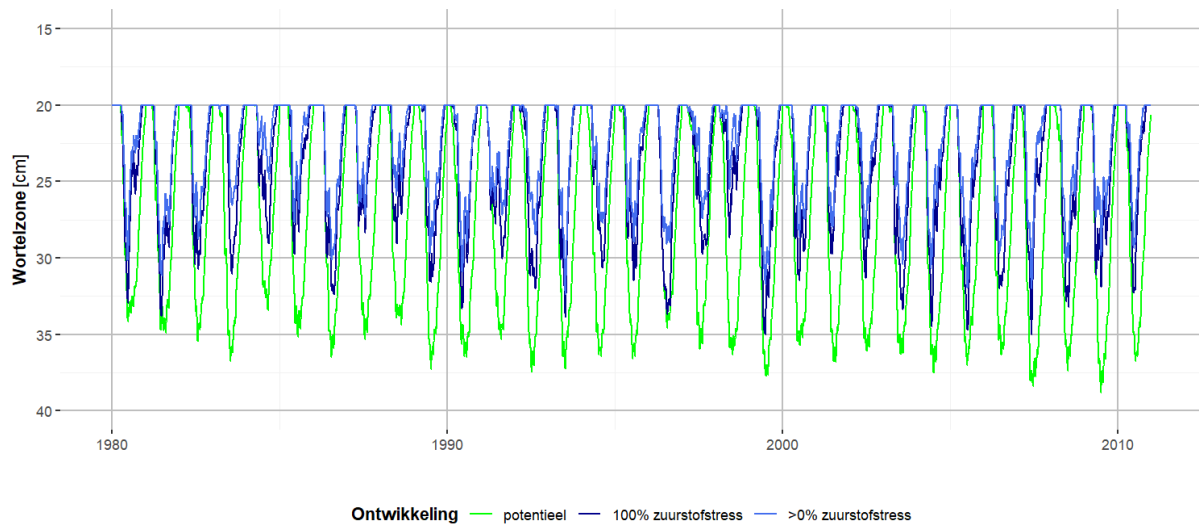
- een pH-waarde kleiner dan 4.0;
- een dichtheid van 1600 kg m<sup>-3</sup> tot 1200 kg m<sup>-3</sup> afhankelijk van het lutumgehalte (respectievelijk 20% en 65%; lineair verband);
- voor het bepalen van de limitatie veroorzaakt door textuur is gekeken naar de bodembeschrijving. Verschillende oorzaken kunnen hieraan ten grondslag liggen. Een bodemkundige textuursprong (grof zandige lagen die dieper liggen dan de bouwvoor), blokkades in de vorm van vast gesteente (bij de kalkverweringsgronden; KK), voorkomen van kattenklei en knip/knippige klei (bodemcode gMn53C);
- Bij luchtgehalten van minder dan 10 a 15% wordt de beworteling sterk beperkt. Een slechte aëratie kan worden veroorzaakt door een hoge grondwaterstand, een slechte bodemstructuur of een sterke opdrachtigheid. Limitatie als gevolg van een slechte bodemstructuur of een sterke opdrachtigheid wordt vooralsnog niet meegenomen.

De bodemkundige limitatie van de wortelzone (RDS) op basis van een te lage pH-waarde, een te hoge dichtheid of textuur is weergegeven in Figuur 1. Hierin valt op dat limitatie van de wortelzone voornamelijk bij zandgronden een rol speelt.



*Figuur 1: Bodemkundige limitatie van de wortelzone, links is aangegeven waardoor de limitatie wordt veroorzaakt en rechts is de maximale worteldiepte weergegeven.*

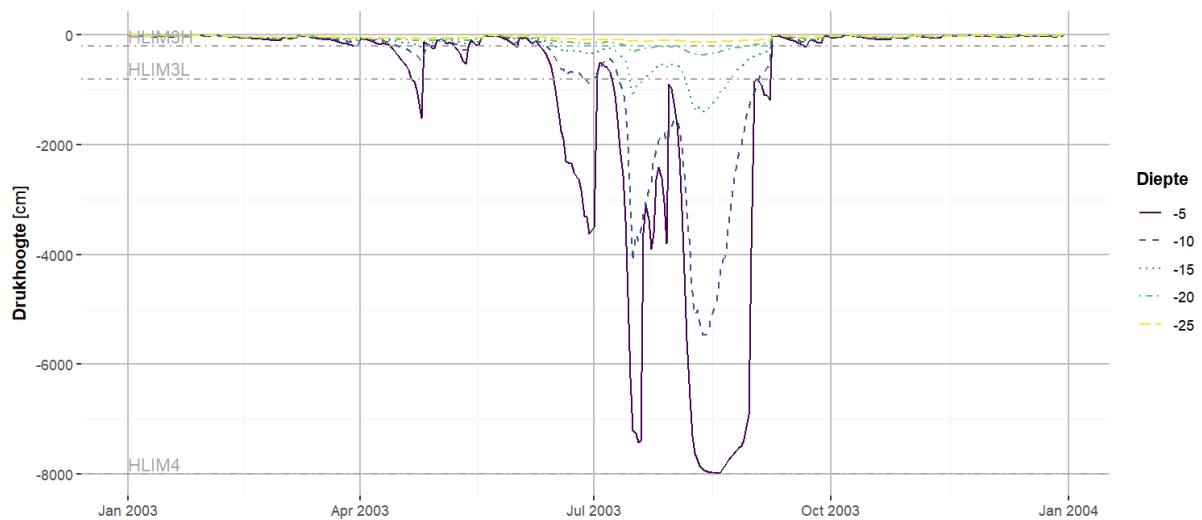
Met een slechte aëratie als gevolg van een te hoge grondwaterstand wordt wel rekening gehouden in de SWAP-WOFOST modelsimulatie door de zuurstofstress aan de onderzijde van de wortelzone te monitoren. Deze limitatie is daarmee afhankelijk van de tijd (en daarom niet meegenomen in Figuur 1). Aan het begin van het groeiseizoen begint een gewas met een initiële dikte van de wortelzone. Naarmate het gewas ontwikkelt zal de dikte van de wortelzone toenemen. Deze toename werd in voorgaande versies van de WWL-metarelaties gestopt indien anaerobe condities zich voordeden aan de onderzijde van de wortelzone. Bij het afleiden van nieuwe WWL-metarelaties wordt deze toename van de wortelzone eerder gestopt, namelijk wanneer er meer dan 50% zuurstofstress wordt ondervonden. Ter illustratie is in Figuur 2 de ontwikkeling van de wortelzone weergegeven voor een periode van 30 jaar onder relatief natte omstandigheden waarbij de toename van de wortelzone stopt bij anaerobe condities en bij het ondervinden van zuurstofstress.



Figuur 2: Wortelontwikkeling bij check op 100% zuurstofstress (anaerobe condities) of meer dan 0% zuurstofstress.

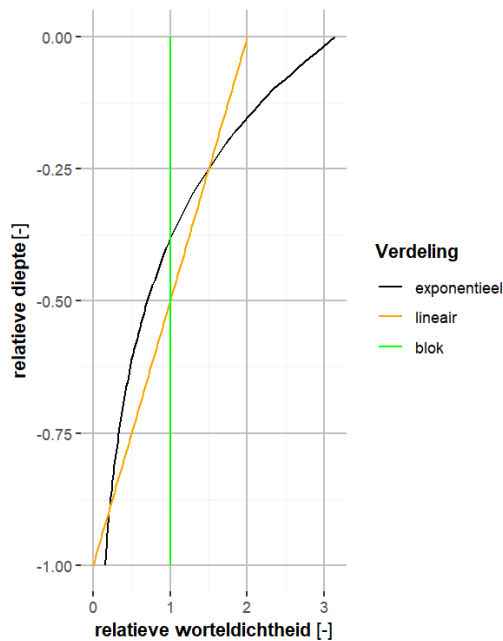
### Wortelverdeling

Bij veel bodemeenheden met klei in het bodemprofiel wordt ook onder relatief natte omstandigheden droogtestress gesimuleerd. Naast de dikte van de wortelzone speelt ook de verdeling van de wortels in de wortelzone daarbij een belangrijke rol. Ter illustratie is de drukhoogte op verschillende diepten in de wortelzone weergegeven van een simulatie onder relatief natte omstandigheden, zie Figuur 3. Hierin is te zien dat de droogtestress (overschrijding van HLIM3) voornamelijk bovenin de wortelzone wordt ondervonden. Op een diepte van -15.0 cm is er nauwelijks nog sprake van droogtestress.



Figuur 3: Drukhoogte weergegeven op verschillende diepten in de wortelzone.

Tot nu toe hebben we de WWL-metarelaties afgeleid met een exponentiële functie voor de wortelverdeling. Deze verdelingsfunctie versterkt de droogtestress bovenin de wortelzone. Het is mogelijk om de wortelverdelingsfunctie aan te passen zodat er relatief minder water wordt gevraagd bovenin de wortelzone, zie Figuur 4. De nieuwe WWL-metarelaties zijn daarom afgeleid met een lineair afnemende verdeling.



Figuur 4: Verschillende wortelverdelingen (het oppervlak onder elke verdeling is gelijk).

### Wateropname: compensatie transpiratiereductie

Door de wortelzone dikker te maken en het zwaartepunt van de wortelverdeling minder hoog in de wortelzone te leggen is een behoorlijke reductie in droogtestress gerealiseerd. Maar de afname van droogtestress gaat gepaard met een toename in zuurstofstress. Op basis van deze bevinding is besloten om de zogenoemde compensatie van transpiratiereductie nader onder de loep te nemen.

De huidige compensatie van transpiratiereductie is gebaseerd op de methode van Jarvis (2011). Deze methode bestaat grofweg uit twee stappen:

- bepalen van transpiratiereductie per bodemlaag;
- compensatie van transpiratiereductie over de gehele wortelzone bepalen.

#### Transpiratiereductie per bodemlaag

Per bodemlaag (van 1 cm) wordt bepaald hoeveel transpiratiereductie er optreedt als gevolg van te natte, te droge, te zoute of te koude (vorst) omstandigheden. Het is mogelijk dat meerdere stressfactoren tegelijk kunnen optreden. Voor de toewijzing van de totale transpiratiereductie aan de afzonderlijke stressfactoren is gekozen voor een logaritmische toewijzing. Het nadeel van een logaritmische toewijzing is dat bij een scheve verdeling van stressfactoren er onevenredig veel schade wordt toegekend aan de grootste stressfactor. De modelcode van SWAP-WOFOST is hierop aangepast waarbij er nu is gekozen voor een lineaire verdeling (zie onderstaande voorbeeld).

*Voorbeeld logaritmische en lineaire toewijzing aan afzonderlijke stressfactoren*

Stel dat er in een tijdstap 10% droogtestress ( $\alpha_{dry,i} = 0.9$ ) en 90% zoutstress ( $\alpha_{sol,i} = 0.1$ ) wordt ondervonden in een bodemlaag wat leidt tot een transpiratiereductie ( $T_{red,i}$ ) van 1 mm. Op basis van een logaritmische toewijzing wordt de transpiratiereductie als gevolg van droogte- en zoutstress (respectievelijk  $T_{reddry,i}$  en  $T_{redsol,i}$ ) als volgt verdeeld:

$$T_{reddry,i} = T_{red,i} \frac{\log \alpha_{dry}}{\log \alpha_{dry} + \log \alpha_{sol}} = 1 \frac{\log 0.9}{\log 0.9 + \log 0.1} = 0.04 \text{ mm}$$

$$T_{redsol,i} = T_{red,i} \frac{\log \alpha_{sol}}{\log \alpha_{dry} + \log \alpha_{sol}} = 1 \frac{\log 0.1}{\log 0.9 + \log 0.1} = 0.96 \text{ mm}$$

In geval van een lineaire toewijzing blijft de verhouding transpiratiereductie als gevolg van droogte- en zoutstress gelijk:

$$T_{reddry,i} = T_{red,i} \frac{1 - \alpha_{dry}}{1 - \alpha_{dry} + 1 - \alpha_{sol}} = 1 \frac{1 - 0.9}{1 - 0.9 + 1 - 0.1} = 0.10 \text{ mm}$$

$$T_{redsol,i} = T_{red,i} \frac{1 - \alpha_{sol}}{1 - \alpha_{dry} + 1 - \alpha_{sol}} = 1 \frac{1 - 0.1}{1 - 0.9 + 1 - 0.1} = 0.90 \text{ mm}$$

*Compensatie van transpiratiereductie over de gehele wortelzone*

Zoals aangegeven wordt de bovenstaande berekening uitgevoerd per bodemlaag in de wortelzone. Dit resulteert in een totale transpiratiereductie over de gehele wortelzone. Het is mogelijk om de totale transpiratiereductie deels of in zijn geheel te compenseren, dat wil zeggen dat het tekort uit de ene bodemlaag kan worden aangevuld met extra transpiratie vanuit een andere bodemlaag. In de praktijk van plantenwortels is dat een logisch fenomeen. Rekening houden met compensatie betekent dat de actuele transpiratie van elke bodemlaag vermenigvuldigd wordt met een bepaalde factor: bij gelijke verdeling van de potentiële transpiratie over de bodemlagen zullen bodemlagen onder relatief gunstige omstandigheden in absolute zin meer water gaan onttrekken (zie onderstaande voorbeeld).

*Voorbeeld gedeeltelijke compensatie van de transpiratiereductie*

We veronderstellen een wortelzone van 5 bodemlagen van elk 10cm met een potentiële watervraag ( $T_{pot}$ ) van 2.0 mm per laag. De totale watervraag komt daarmee op 10.0 mm. Door ongunstige omstandigheden boven- en onderin de wortelzone komt de actuele transpiratie ( $T_{act}$ ) uit op 5.8 mm. Met een  $\alpha_{crit}$  van 0.7 kan een deel van de transpiratiereductie worden gecompenseerd:

$$\alpha_{tot} = \frac{T_{act}}{T_{pot}} = \frac{5.80}{10.00} = 0.58$$

$$\alpha_{tot,c} = \frac{\alpha_{tot}}{\alpha_{crit}} = \frac{0.58}{0.70} = 0.83$$

$$T_{act,c,i} = T_{act,i} \frac{\alpha_{tot,c}}{\alpha_{tot}}$$

De actuele transpiratiereductie na compensatie ( $T_{act,c}$ ) komt daarmee uit op 8.29mm.

Laagindeling (cm)	$T_{pot}$ (mm)	$T_{act}$ (mm)	$T_{act,c}$ (mm)
0 - 10	2.00	0.40	0.57
10 - 20	2.00	1.00	1.43
20 - 30	2.00	2.00	2.86
30 - 40	2.00	2.00	2.86
40 - 50	2.00 +	0.40 +	0.57 +
	<u>10.00</u>	<u>5.80</u>	<u>8.29</u>

Zoals in het bovenstaande voorbeeld is te zien werkt de Jarvis-methode met een zogenaamde  $\alpha_{crit}$ . Bij het afleiden van de WWL-metarelaties 2.0.0 (en daarmee ook WWL-maatwerk) wordt hiervoor een waarde gehanteerd van 0.7. Een totale transpiratiereductie van 30% over de gehele wortelzone kan daarmee volledig worden gecompenseerd. Tot nu toe werden in Waterwijzer Landbouw alle stressfactoren gecompenseerd. De modelcode is nu zo aangepast dat ook slechts één stressfactor kan worden gecompenseerd, zie onderstaande voorbeeld.

*Voorbeeld compensatie van één stressfactor*

Stel dat er in een tijdstap 40% droogtestress ( $\alpha_{dry} = 0.6$ ) en 40% zuurstofstress ( $\alpha_{wet} = 0.6$ ) wordt ondervonden in de gehele wortelzone. De totale stress (ratio  $T_{act}/T_{pot}$ ) wordt dan berekend door:

$$\frac{T_{act}}{T_{pot}} = \alpha_{dry} \times \alpha_{wet} = 0.6 \times 0.6 = 0.36$$

Hieruit volgt een totale stress van 64%. Omdat ervoor is gekozen om de afzonderlijke stressfactoren te vermenigvuldigen is het aandeel van droogte- en zuurstofstress niet 40% maar elk 32%. Indien de zuurstofstress volledig wordt gecompenseerd mag je echter niet meer uitgaan van 32%, maar moet je weer uitgaan van de oorspronkelijke 40%.

Daarnaast is de modelcode aangepast zodat niet langer wordt uitgegaan van één enkele waarde voor  $\alpha_{crit}$ . Het is aan te nemen dat de compensatiewerking zal toenemen naarmate de wortelzone dikker wordt. Middels de nieuwe werkwijze wordt de  $\alpha_{crit}$  als volgt bepaald:

$$\alpha_{crit} = \frac{D_{critrtz} + RD_{max} - RD}{RD_{max}}$$

Waarbij:

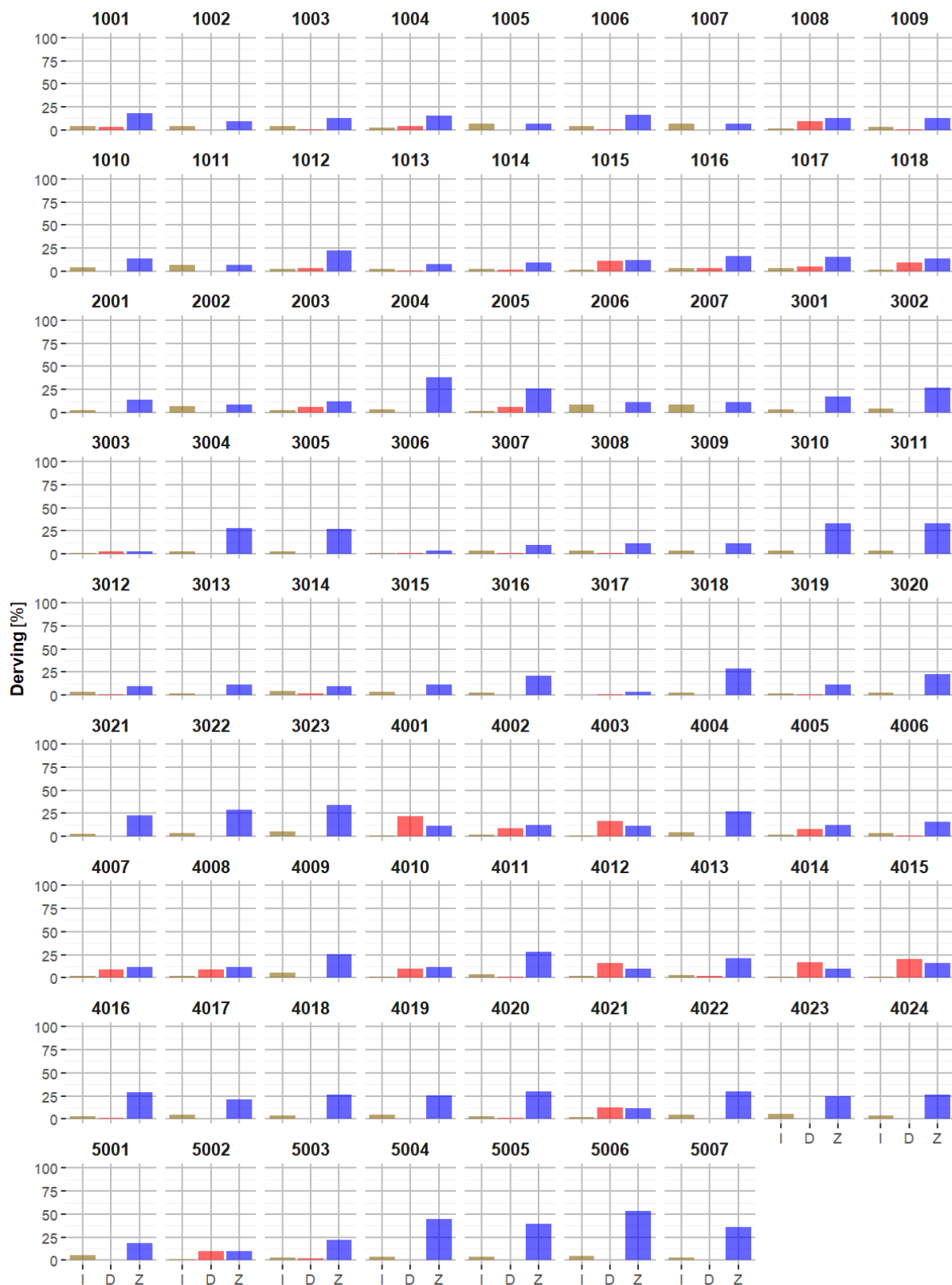
- |               |   |      |
|---------------|---|------|
| $D_{critrtz}$ | : drempelwaarde waarbij compensatie gaat optreden                               | (cm) |
| $RD_{max}$    | : maximale dikte van de wortelzone (afhankelijk van de bodem dan wel het gewas) | (cm) |
| RD            | : actuele dikte van de wortelzone   | (cm) |

## Resultaten onder relatief natte en droge omstandigheden

Met behulp van de WWL-tabel kunnen de resultaten van de WWL-metarelaties 3.0.0 worden opgevraagd. Hieronder volgt een overzicht van de resultaten onder relatief natte en droge hydrologische omstandigheden. Voor de natte omstandigheden is gekozen voor een Gt II met een GHG van 0.3 m-mv en een GLG van 0.6 m-mv (zie Figuur 5). Voor de droge omstandigheden is gekozen voor een Gt VII met een GHG en GLG van respectievelijk 1.5 en 2.0 m-mv (zie Figuur 6). De resultaten worden weergegeven voor grasland (maaien) en het weerstation De Bilt.

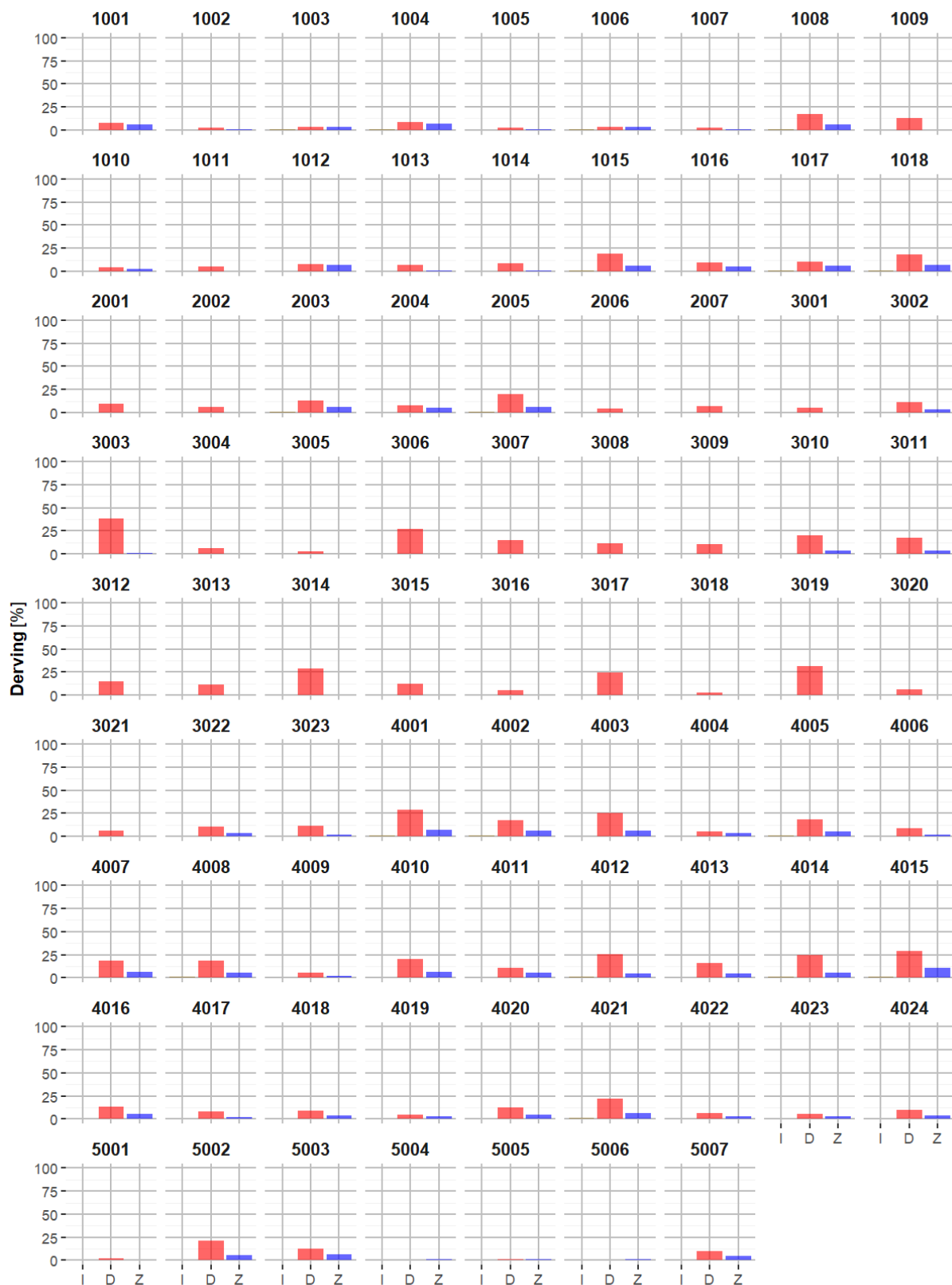
Op basis van deze resultaten kunnen we concluderen dat de nieuwe berekeningen een lichte verbetering laten zien voor situaties met teveel droogtestress onder natte omstandigheden. Extreem veel droogtestress (meer dan 20%) onder natte omstandigheden komt niet meer voor. Maar nog steeds zijn er een aantal bodemprofielen waarbij er meer droogtestress wordt gesimuleerd dan mag worden verwacht onder natte omstandigheden. Het gaat hierbij nog steeds om bodemprofielen met zware tot zeer zware klei in het bodemprofiel. Dit aspect zal nog nader worden uitgezocht.

Ten opzichte van de WWL-metarelaties 2.0.0 is er een toename van de zuurstofstress te zien en tegelijkertijd een lichte afname van de droogtestress. Deze verandering is vooral het gevolg van veranderingen in de wortelontwikkeling.



Figuur 5: Langjarig gemiddelde opbrengstderving (%) onder natte omstandigheden (GHG: 0.3 m-mv; GLG: 0.6 m-mv) per BOFEK2020-eenheid op basis van WWL-metarelaties 3.0.0 en uitgesplitst in indirecte effecten (I; bruin), zuurstofstress (Z; blauw) en droogtestress (D; rood).





Figuur 6: Langjarig gemiddelde opbrengstderving (%) onder natte omstandigheden (GHG: 1.5 m-mv; GLG: 2.0 m-mv) per BOFEK2020-eenheid op basis van WWL-metarelaties 3.0.0 en uitgesplitst in indirecte effecten (I; bruin), zuurstofstress (Z; blauw) en droogtestress (D; rood).

## Literatuur

Jarvis, N.J., 2011. *Simple physics-based models of compensatory plant water uptake: concepts and eco-hydrological consequences*. Hydrol. Earth Syst. Sci., 15, 3431-3446.

Groenendijk, P., P. Schipper, R. Hendriks, J. van den Akker, M. Heinen, 2017. *Effecten van verbetering bodemkwaliteit op waterhuishouding en waterkwaliteit; Deelstudies Goede Grond voor een duurzaam watersysteem*. Wageningen, Wageningen Environmental Research, [Rapport 2811](#). 128 blz.; 53 fig.; 29 tab.; 86 ref.

Heinen, M., Bakker, G. & Wösten, J.H.M., 2020. *Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks; Update 2018*. Wageningen Environmental Research, Wageningen. [Rapport 2978](#).

Heinen, M., F. Brouwer, K. Teuling, D. Walvoort, 2021. *BOFEK2020 – Bodemfysische schematisatie van Nederland; Update bodemfysische eenhedenkaart*. Wageningen, Wageningen Environmental Research, [Rapport 3056](#). 84 blz.; 5 fig.; 28 ref.

Mulder, M., P. Dik, M. Heinen, R. Bartholomeus, J. van Dam, M. Hack-ten Broeke, 2021. *Opties binnen Waterwijzer Landbouw in 2020; Van WWL-tabel versie 2.0.0 tot maatwerk met WWL-regionaal*. STOWA, Amersfoort. [Stowa rapport: no. 2021-03](#)

ten Cate, J.A.M., A.F. van Holst, H. Kleijer, J. Stolp, 1995a. *Handleiding bodemgeografisch onderzoek; Richtlijnen en voorschriften; Deel A: Bodem*. [Technisch document 19A](#). DLO-Staring Centrum, Wageningen.

ten Cate, J.A.M., A.F. van Holst, H. Kleijer, J. Stolp, 1995b. *Handleiding bodemgeografisch onderzoek; Richtlijnen en voorschriften; Deel D: Interpretatie van bodemkundige gegevens voor diverse vormen van bodemgebruik*. Technisch document 19D. DLO-Staring Centrum, Wageningen.