

Bodemgeschiktheidskaarten voor landbouw in de provincie Noord-Brabant

Een toepassing van Waterwijzer Landbouw

Martin Mulder, Dennis Walvoort, Fokke Brouwer, Dorothée van Tol-Leenders en Simone Verzandvoort



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH



Bodemgeschiktheidskaarten voor landbouw in de provincie Noord-Brabant

Een toepassing van Waterwijzer Landbouw

Martin Mulder, Dennis Walvoort, Fokke Brouwer, Dorothee van Tol-Leenders en Simone Verzandvoort

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Environmental Research in opdracht van de provincie Noord-Brabant.

Wageningen Environmental Research
Wageningen, november 2022

Gereviewd door:

Mirjam Hack-ten Broeke, senior onderzoeker (Wageningen Environmental Research)

Akkoord voor publicatie:

Mirjam Hack-ten Broeke, teamleider van Team Bodem, Water en
Landgebruik

Rapport 3206
ISSN 1566-7197

Mulder, M., D. Walvoort, F. Brouwer, T.P. Van Tol-Leenders, S. Verzandvoort, 2022.
Bodemgeschiktheidskaarten voor landbouw in de provincie Noord-Brabant; Een toepassing van Waterwijzer Landbouw. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 3206. 56 blz.; 26 fig.; 7 tab.; 23 ref.

Klimaatverandering in Nederland, resulterend in meer wateroverlast en vaker droogte in de zomer, vraagt om het anders inrichten van ons land voor landbouw en natuur, op een manier die ook in de toekomst kan bestaan. Bodemgeschiktheidskaarten geven inzicht in de geschiktheid van een gebied voor verschillende vormen van landgebruik. Voor de provincie Noord-Brabant zijn bodemgeschiktheidskaarten voor landbouw gemaakt met Waterwijzer Landbouw, een instrument voor het bepalen van het effect van veranderingen in hydrologische condities op landbouwkundige gewasopbrengsten. De variant WWL-tabel is toegepast voor grasland, akkerbouwgewassen en boomteelt voor de periode 1991-2020, een extreem nat en een extreem droog jaar, en voor een toekomstige klimaatperiode (W_H-klimaatscenario van de KNMI'14-klimaatscenario's; zichtjaar 2050). Ruimtelijke variatie in bodemeigenschappen is weergegeven met de Bodemfysische Eenhedenkaart van Nederland (BOFEK2020) als basis. Voor fluctuaties van de grondwaterspiegel zijn 300 realisaties van het Grondwaterspiegeldieptemodel gebruikt. In het verleden zijn bodemgeschiktheidskaarten gemaakt voor de provincie Noord-Brabant met de intussen verouderde methoden WIB-C en HELP. Er is een vergelijking gemaakt tussen Waterwijzer Landbouw en de oudere methoden.

Trefwoorden: bodemgeschiktheid, relatieve gewasopbrengst, opbrengstderving, Waterwijzer Landbouw

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/576638> of op www.wur.nl/environmental-research (ga naar 'Wageningen Environmental Research' in de grijze balk onderaan). Wageningen Environmental Research verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

© 2022 Wageningen Environmental Research (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Wageningen Research), Postbus 47, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 07 00, www.wur.nl/environmental-research. Wageningen Environmental Research is onderdeel van Wageningen University & Research.

- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking van deze uitgave is toegestaan mits met duidelijke bronvermelding.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor commerciële doeleinden en/of geldelijk gewin.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor die gedeelten van deze uitgave waarvan duidelijk is dat de auteursrechten liggen bij derden en/of zijn voorbehouden.

Wageningen Environmental Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.



Wageningen Environmental Research werkt sinds 2003 met een ISO 9001 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem. In 2006 heeft Wageningen Environmental Research een milieuzorgsysteem geïmplementeerd, gecertificeerd volgens de norm ISO 14001.

Wageningen Environmental Research geeft via ISO 26000 invulling aan haar maatschappelijke verantwoordelijkheid.

Wageningen Environmental Research Rapport 3206 | ISSN 1566-7197

Foto omslag: Brandportal Wageningen UR, Shutterstock 55888603

Inhoud

Verantwoording	5	
1	Inleiding	7
	1.1 Doel	7
	1.2 Onderzoeksvragen	8
	1.3 Projectafbakening	8
2	Methoden	11
	2.1 Waterwijzer Landbouw	11
	2.2 Modelinvoer	12
	2.2.1 Bodemtype	12
	2.2.2 Meteorologie	13
	2.2.3 Grondwaterspiegeldiepte	14
	2.2.4 Gewaskeuze	14
	2.3 Aansturing	15
	2.4 Weergave resultaten	15
3	Verschillen tussen WWL, HELP en WIB-C	16
	3.1 Verschillen met de HELP-tabellen	16
	3.1.1 Meteorologische condities	17
	3.1.2 Groeiseizoen	18
	3.1.3 Bodemschematisatie	19
	3.1.4 Dynamische gewasmodule in Waterwijzer Landbouw	22
	3.2 Verschillen met WIB-C	25
	3.3 Verschillen tussen de methoden: een voorbeeld	25
	3.4 Drie verschillende bodemgeschiktheidskaarten	27
4	Resultaten	30
	4.1 Bodemschematisatie	30
	4.2 Maximale dikte wortelzone	31
	4.3 Grondwaterspiegeldiepte	32
	4.4 Langjarig gemiddelde opbrengstderving berekend met WWL	32
	4.5 Opbrengstderving in een extreem nat en droog jaar	38
	4.6 Opbrengstderving in een klimaatscenario 2050 (W _H)	47
5	Discussie	49
6	Samenvatting en conclusies	52
Literatuur		53



Verantwoording

Rapport: 3206

Projectnummer: 5200047619

Wageningen Environmental Research (WENR) hecht grote waarde aan de kwaliteit van zijn eindproducten. Een review van de rapporten op wetenschappelijke kwaliteit door een referent maakt standaard onderdeel uit van ons kwaliteitsbeleid.

Akkoord referent die het rapport heeft beoordeeld,

functie: senior onderzoeker

naam: Dr. Ir. Mirjam Hack-ten Broeke

datum: 24-10-2022

Akkoord teamleider voor de inhoud,

naam: Dr. Ir. Mirjam Hack-ten Broeke

datum: 24-10-2022

1 Inleiding

De provincie Noord-Brabant wil actie ondernemen om verdroging tegen te gaan, Natura 2000-gebieden te ontwikkelen en landbouw nu en in de toekomst mogelijk te maken. Daarvoor is het nodig dat het grondgebruik zo veel mogelijk wordt afgestemd op de potenties van percelen en gebieden, ook in situaties van extreem weer, die met klimaatverandering vaker voorkomen. Kenmerken van de bodem in een gebied bepalen samen met de bewegingen van het grondwater hoe geschikt het gebied is voor verschillende vormen van landgebruik. Dit noemen we *bodemgeschiktheid*. Deze kan worden weergegeven in *bodemgeschiktheidskaarten*.

Bodemgeschiktheidskaarten zijn ook direct toepasbaar in de *gebiedsgerichte aanpak*¹ van de provincie en voor het beter aanvullen van het ondiepe grondwater.² Met behulp van deze kaarten wil de provincie nagaan waar de omstandigheden van bodem en fluctuaties van de grondwaterspiegel het meest geschikt zijn om de inrichting van het gebied met natuur en landbouw aan te passen aan situaties van droogte en wateroverlast, voor de ontwikkeling van natuurgebieden en voor landbouw, die ook in de toekomst kan plaatsvinden.

Er zijn in het verleden wel vaker bodemgeschiktheidskaarten vervaardigd. Voor de provincie Noord-Brabant zijn in 2002 kaarten gemaakt met behulp van een uitgebreide versie van het WIB-C-systeem³ (Van Diepen e.a., 2002). Voor heel Nederland zijn geschiktheidskaarten gemaakt voor akkerbouw en weidebouw (Brouwer & Huinink, 2002)⁴ met de uitgebreide HELP-tabellen. HELP staat voor Herziening Evaluatie Landinrichtingsplannen (Werkgroep HELP-tabel, 1987). De HELP-tabellen geven voor combinaties van bodemtype en grondwatertrappen percentages van opbrengstderving voor verschillende gewassen als gevolg van hydrologische omstandigheden.

De genoemde bodemgeschiktheidskaarten van de provincie Noord-Brabant en van Nederland zijn echter niet actueel en ook niet meer reproduceerbaar. Om deze reden heeft Wageningen Environmental Research (WENR) meegewerkt aan de ontwikkeling van een nieuw systeem, namelijk Waterwijzer Landbouw (WWL)⁵, een instrument voor het bepalen van het effect van veranderingen in hydrologische condities op gewasopbrengsten. De bodemgeschiktheid voor landbouw kan met Waterwijzer Landbouw worden uitgedrukt in relatieve opbrengsten van gewassen, zoals die geschat worden in gegeven omstandigheden van klimaat, bodem en variatie in de diepte van de grondwaterspiegel. De relatieve gewasopbrengst uit Waterwijzer Landbouw is de opbrengst van het gewas ten opzichte van een maximaal haalbare opbrengst in de landbouwpraktijk.

Dit rapport bevat de resultaten van de toepassing van de WWL-tabel (een variant van Waterwijzer Landbouw) op het grondgebied van de provincie Noord-Brabant en een beschrijving van de gebruikte methoden en gegevens. Het project is uitgevoerd door WENR in de periode van juni t/m oktober 2022.

1.1 Doel

De doelen van dit project zijn:

1. Het maken van bodemgeschiktheidskaarten voor de provincie Noord-Brabant.
2. Het maken van de bodemgeschiktheidskaarten op een manier waarop de provincie in de toekomst zelf aanpassingen kan (laten) doorrekenen.

¹ <https://www.brabant.nl/onderwerpen/aanpak-stikstof/gebiedsgerichte-aanpak>

² Eén van de doelen van het [Regionaal Water- en Bodemprogramma van de provincie voor de periode 2022-2027](#)

³ WIB-C (Werksysteem Interpretatie Bodemkaarten, stadium C) is een systeem voor bodemkwaliteitsbeoordeling op basis van bodemgerelateerde beoordelingsfactoren, zoals vochtleverend vermogen, stevigheid van de bovengrond, stuifgevoeligheid. De methode is beschreven in Ten Cate e.a. (1995).

⁴ De bodemgeschiktheidskaarten voor Nederland zijn benaderbaar op <https://bodemdata.nl/themakaarten>. WENR werkt aan nieuwe bodemgeschiktheidskaarten. Deze zullen de oude kaarten vervangen.

⁵ <https://waterwijzer.nl/achtergronden/de-waterwijzer-landbouw>

1.2 Onderzoeksvragen

De volgende onderzoeksvragen worden op verzoek van de provincie Noord-Brabant behandeld in het project:

1. Hoe is de bodemgeschiktheid in het grondgebied van de provincie voor land- en tuinbouwgewassen in de huidige situatie van klimaat, bodemgesteldheid en grondwaterdynamiek?
2. Op welke manier kan de provincie zelf berekeningen maken van de effecten op gewasopbrengsten als gevolg van veranderingen in de diepte van de grondwaterspiegel en in klimaat, om daarmee kaarten te maken voor het ondersteunen van de ontwikkeling en uitvoering van beleid? De gezochte effecten zijn veranderingen in relatieve opbrengsten van gewassen en exploitatierisico's voor landbouwgronden.

1.3 Projectafbakening

Doelgebied

In het project wordt de begrenzing van de provincie Noord-Brabant gebruikt. Als bodemkundige invoer voor het doelgebied worden de eenheden gebruikt van de Bodemfysische Eenhedenkaart van Nederland (BOFEK)⁶ die daar voorkomen (Heinen e.a., 2021).

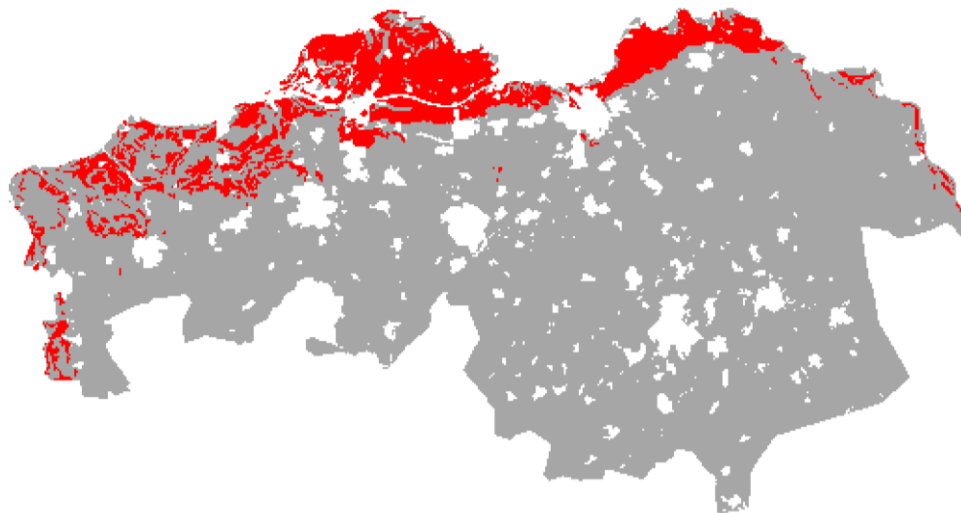
Beperkingen in Waterwijzer Landbouw

Het project gebruikt het instrumentarium van Waterwijzer Landbouw (WWL)⁷ voor het kwantificeren van de bodemgeschiktheid. De beperkingen die voor WWL gelden, gelden dus ook voor dit project. Het betreft bijvoorbeeld resultaten voor onrealistische situaties zoals de combinatie van akkerbouwgewassen met een ondiepe grondwaterspiegel. Op de website <https://waterwijzerlandbouw.wur.nl/> zijn alle waarschuwingen en tekortkomingen na te lezen.

Voor eenheden in de Bodemfysische Eenhedenkaart (BOFEK)⁶ met zware tot zeer zware klei in het bodemprofiel (Staringreeks-bouwstenen O12 en O13) kan Waterwijzer Landbouw onrealistische resultaten geven. Van deze BOFEK-eenheden is bekend dat de droogtestress door Waterwijzer Landbouw wordt overschat. De bouwstenen O12 en O13 lijken te resulteren in een onderschatting van de capillaire nalevering. Dit zorgt voor uitdroging van de wortelzone in droge perioden. Ook onder hydrologisch natte omstandigheden wordt hierdoor een aanzienlijke droogtestress gesimuleerd. In dit onderzoek is ervoor gekozen om de resultaten van de simulaties voor deze bodemeenheden niet te presenteren. De bodemeenheden waarvoor dit geldt, zijn in rood weergegeven in Figuur 1.1.

⁶ <https://www.wur.nl/nl/show/bodemfysische-eeenhedenkaart-bofek2020.htm>

⁷ <https://waterwijzerlandbouw.wur.nl>



Figuur 1.1 Afbakening van de modelresultaten van Waterwijzer Landbouw: bodemeenheden met zware tot zeer zware klei in het bodemprofiel in de provincie Noord-Brabant zijn in rood weergegeven.

De problemen die worden ondervonden bij bodemeenheden met zware tot zeer zware klei in het bodemprofiel komen niet alleen voor in Waterwijzer Landbouw, maar ook in andere simulatiemodellen voor interacties tussen bodem en gewas. De bron voor deze problemen is gelegen in de invoergegevens voor de modellen en in de procesbeschrijving. Alleen door verbeteringen door te voeren bij de invoergegevens en de procesbeschrijving is het mogelijk om een juiste wisselwerking tussen bodem, water, plant en atmosfeer te simuleren. Bij de verdere ontwikkeling van Waterwijzer Landbouw gaat in 2022 aandacht uit naar nieuwe modelconcepten voor de wateropname en de wortelontwikkeling. De nieuwe modelconcepten zullen worden doorgevoerd in de toekomstige versie van Waterwijzer Landbouw.

Tot slot wordt in Waterwijzer Landbouw geen rekening gehouden met gewasschade die een andere oorzaak heeft dan de hydrologische omstandigheden, zoals nutriëntenbeschikbaarheid of ziekten en plagen. De website van WWL geeft hierover meer informatie.⁸

Gebruikte WWL-variant en beschouwde gewassen

In dit project wordt de variant *WWL-tabel* van Waterwijzer Landbouw toegepast, waarbij de WWL-metarelaties 3.0.0 worden bevroegd. De WWL-tabel bevat de resultaten van een groot aantal afgeleide metamodellen voor de gewassen gras (intensief en extensief beheerd), snijmais, wintertarwe, zomergerst, aardappelen en suikerbieten, op basis van SWAP-WOFOST-modelresultaten. Er zijn ook metamodellen afgeleid met een eenvoudige gewasmodule voor zaaiuien, tulp, appelbomen en laanbomen. In dit project beperken we ons tot de analyse en rapportage van relatieve gewasopbrengst en opbrengstderving voor grasland (beheerd met beweiding of maaien), een beperkt aantal akkerbouwgewassen (snijmais, zomergerst, consumptieaardappelen, suikerbieten) en boomteelt (appel- en laanbomen).

Irrigatie

In de toepassing van de WWL-tabel voor deze studie wordt geen irrigatie van gewassen verondersteld. Het is mogelijk om irrigatie toe te passen in de WWL-tabel, maar in de praktijk is soms niet bekend of er sprake is van beregening en in welke mate. In deze studie wordt de WWL-tabel gebruikt om indicaties te geven over de bodemgeschiktheid voor landbouw. Als we daarbij rekening zouden houden met irrigatie, beïnvloeden we de mate van droogtestress.

Maatwerkberekeningen niet inbegrepen

Om meer inzicht te krijgen in hoe een bepaalde relatieve gewasopbrengst tot stand is gekomen, is het mogelijk om maatwerkvarianten van WWL, genaamd *WWL-Maatwerk* of *WWL-Regionaal*, toe te passen. Met maatwerkberekeningen kan meer gedetailleerde informatie over lokale omstandigheden worden meegenomen, zoals lokale weergegevens, bodemfysische gegevens en het verloop van de

⁸ <https://www.waterwijzerlandbouw.wur.nl/>, menu-optie: toepasbaarheid | waarschuwingen.

grondwaterspiegeldiepte. Ook kan gedetailleerde uitvoer worden verkregen, bijvoorbeeld op dagbasis. Om de doorlooptijd van de studie beperkt te houden, vormen berekeningen met de varianten voor maatwerk van Waterwijzer Landbouw geen onderdeel van dit project.

Klimaatscenario's

Bij het doorrekenen van scenario's van toekomstig klimaat (klimaatscenario W_H van de KNMI'14-klimaatscenario's⁹; toegelicht in paragraaf 2.2.2) wordt rekening gehouden met een verandering in meteorologische condities (temperatuur en straling), die leiden tot een andere gewasontwikkeling en daarmee tot een andere watervraag door het gewas. Daarnaast wordt rekening gehouden met een verandering in meteorologische condities die leiden tot een ander wateraanbod (neerslag). De relatieve gewasopbrengst voor een klimaatscenario is alleen beschikbaar voor een langjarige periode (2036-2065).

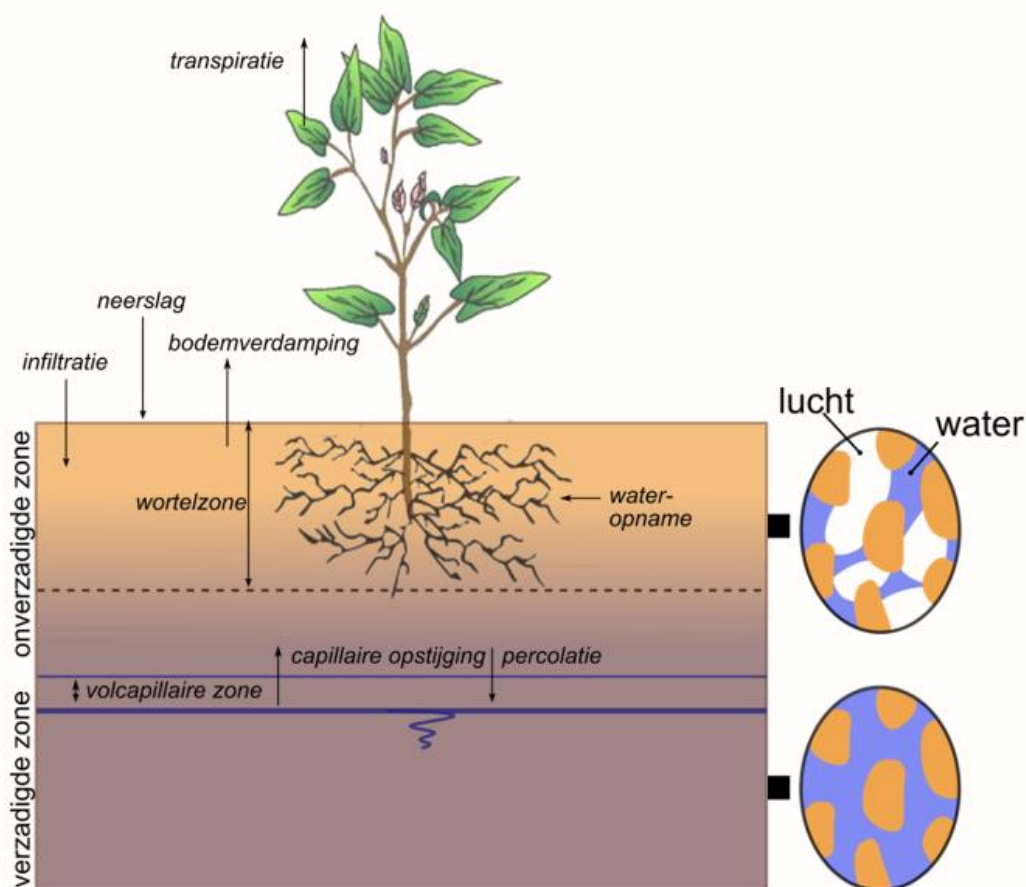
Er kan rekening worden gehouden met een verandering in de grondwaterspiegeldiepte door klimaatverandering (en daarmee het wateraanbod), als deze beschikbaar is in de vorm van modelinvoer. Informatie over de toekomstige verandering van de grondwaterspiegeldiepte is echter niet beschikbaar en wordt daarom niet meegenomen in dit project.

⁹ W_H : sterke temperatuurstijging (warm), hoge waarde verandering luchtstromen. Bron: <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/achtergrond/knmi-14-klimaatscenario-s> het W_H -klimaatscenario.

2 Methoden

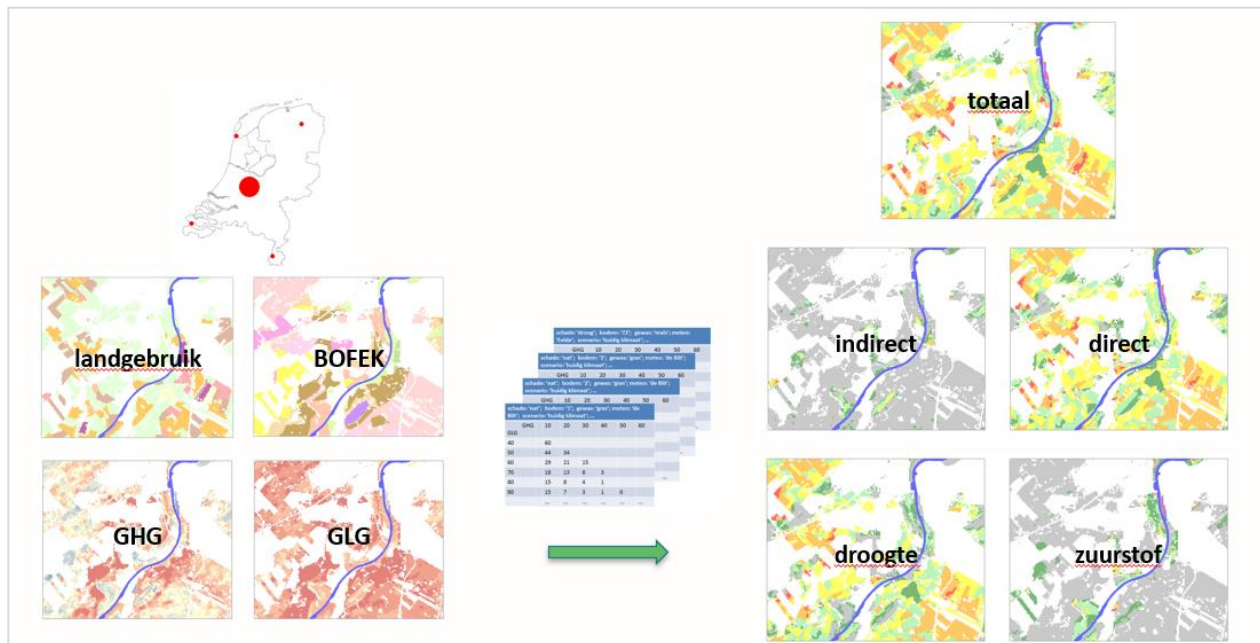
2.1 Waterwijzer Landbouw

Voor het vervaardigen van actuele bodemgeschiktheidskaarten wordt in dit project gebruikgemaakt van Waterwijzer Landbouw (WWL) (Werkgroep Waterwijzer Landbouw, 2018). Waterwijzer Landbouw is een instrument voor het bepalen van het effect van veranderingen in hydrologische omstandigheden op gewasopbrengsten. Deze veranderingen kunnen worden veroorzaakt door waterbeheer, herinrichtingsprojecten, (drink)waterwinningen, maar ook door veranderingen in het klimaat. Gewassen en de agrarische bedrijfsvoering stellen specifieke eisen aan de waterhuishouding. WWL geeft een reproduceerbare inschatting van het effect van de verandering in de waterhuishouding. Deze wordt weergegeven als een schade aan de opbrengst van het gewas door droge of natte omstandigheden.



Figuur 2.1 Processen gesimuleerd in de modellen SWAP en WOFOST en geïmplementeerd in Waterwijzer Landbouw. Aangepast naar Bartholomeus e.a. (2010).

Waterwijzer Landbouw heeft meerdere varianten. Voor de doelstelling van dit project, het vervaardigen van bodemgeschiktheidskaarten, wordt gebruikgemaakt van de variant *WWL-tabel* (ook wel genoemd *WWL-metarelaties 3.0.0*). De *WWL-tabel* maakt gebruik van een metamodel binnen Waterwijzer Landbouw (Figuur 2.2). De tabel is gebaseerd op ongeveer een miljoen berekeningen met de gecombineerde modellen SWAP-WOFOST voor 2 klimaatperiodes, 5 weerstations, 79 bodemfysische eenheden en ongeveer 50 grondwaterregimes, uitgevoerd voor de meest voorkomende landbouwgewassen in Nederland. De *WWL-tabel* geeft veranderingen in de gewasopbrengst in cijfers door directe of indirecte effecten. Directe effecten zijn een gevolg van het afnemen van de gewastranspiratie tijdens het groeiseizoen, veroorzaakt door droogte- of zuurstofstress. Indirecte effecten zijn het gevolg van bijvoorbeeld te natte omstandigheden in het voorjaar of bij de oogst, waardoor een verschuiving in het groeiseizoen optreedt. Immers, onder te natte omstandigheden is grondbewerking voor zaaien of poten van gewassen en voor oogst moeilijk uitvoerbaar.



Figuur 2.2 Illustratie van de invoer, tabellen en resultaten in de *WWL-tabel*.

2.2 Modelinvoer

De invoer voor de *WWL-tabel* is openbaar toegankelijk. Dit zorgt ervoor dat de resultaten ook door de provincie Noord-Brabant gereproduceerd kunnen worden. De modelinvoer bestaat uit gegevens over bodemtype, meteorologie, fluctuatie van de diepte van de grondwaterspiegel en gewas. Deze worden hieronder toegelicht.

2.2.1 Bodemtype

De invoer voor bodemtype is afkomstig van de Bodemfysische Eenhedenkaart van Nederland (hierna genoemd BOFEK2020).¹⁰ BOFEK2020 is een GIS-bestand van bodemfysische eenheden. Dit zijn gebieden met een overeenkomstige bodemopbouw en een overeenkomstig bodemfysisch gedrag.

De eenheden op de BOFEK2020 zijn gebaseerd op de Bodemkaart van Nederland (versie 2020).¹¹ In de Bodemkaart van Nederland hebben kaarteenheden een zogenaamd 'afgeleid profiel'. Een afgeleid profiel is een beschrijving van het bodemprofiel tot 1.2 m -mv¹², gemaakt uit waarnemingen en analyses aan wanden

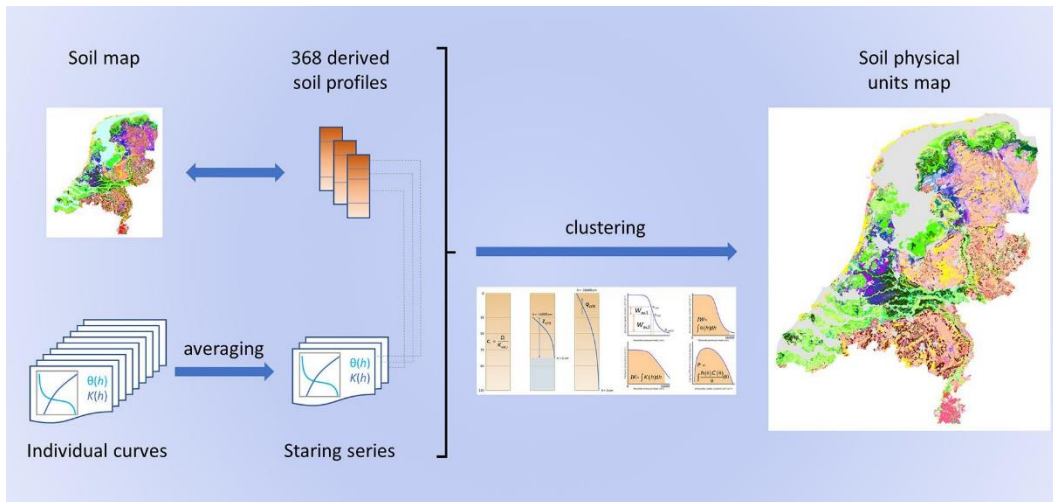
¹⁰ <https://www.wur.nl/nl/show/bodemfysische-eeenhedenkaart-bofek2020.htm> en (Heinen e.a., 2021).

¹¹ <https://basisregistratieondergrond.nl/inhoud-bro/registratieobjecten/modellen/bodemkaart-sgm>

¹² -mv: onder het maaiveld.

en boorgaten gelegen in kaartvlakken die tot dezelfde bodemeenheid op de Bodemkaart behoren (De Vries, 1999). Er zijn 368 afgeleide profielen behorend bij de Bodemkaart van Nederland (in de versies t/m 2021) (Figuur 2.3).

Aan de bodemhorizonten in ieder afgeleid profiel zijn bouwstenen uit de Staringreeks¹³ toegekend, waarvan we de waterretentie- en waterdoorlatendheidskarakteristieken kennen (Heinen e.a., 2020). Op basis van die karakteristieken zijn voor alle afgeleide profielen acht fysische kengetallen berekend. Hiermee zijn de afgeleide profielen geclusterd, waarbij profielen in hetzelfde cluster vergelijkbare fysische eigenschappen bezitten (Figuur 2.3). Het clusteren is apart gedaan voor vijf hoofdgroepen van bodems in Nederland: veengronden, moerige gronden, zandgronden, klei- en zavelgronden en leemgronden (Heinen e.a., 2021, 2022). Voor de metatabellen in de WWL-tabel wordt het bodemprofiel gekozen dat het grootste areaal bedekt in ieder cluster.



Figuur 2.3 Constructie van de Bodemfysische Eenhedenkaart van Nederland. Bron: Heinen e.a. (2022).

2.2.2 Meteorologie

De meteorologische invoer voor de WWL-tabel in de toepassing voor deze studie is afkomstig van weerstation De Bilt. De meteorologische invoer heeft betrekking op de volgende perioden:

- De langjarige periode 1991-2020 (huidig klimaat)
- Een nat jaar (1998)
- Een droog jaar (2018)

Klimaat 2050 (W_H-scenario)

Met de WWL-tabel is het mogelijk om resultaten op te vragen voor een scenario van het klimaat in de toekomst. Zo kan een beeld worden verkregen van het effect van klimaatverandering op de langjarig gemiddelde landbouwkundige gewasopbrengst.

Voor het toekomstige klimaat zijn de meteorologische condities van het W_H-klimaatsscenario van de KNMI'14-klimaatsscenario's¹⁴ gebruikt, met 2050 als zichtjaar, als weergegeven in Tabel 2.1. Het W_H-scenario heeft ten opzichte van de klimaatperiode 1981-2010 gemiddeld een stijging in temperatuur, neerslag en zonnestraling. De hoeveelheid neerslag in de zomermaanden neemt echter af (Van den Hurk e.a., 2014). Medio 2023 worden de KNMI'23-klimaatsscenario's verwacht. Deze zullen de KNMI'14-klimaatsscenario's vervangen.

¹³ De Staringreeks is een verzameling van waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland, uitgegeven sinds 1987.

¹⁴ W_H: sterke temperatuurstijging (warm), hoge waarde verandering luchtstromen. Bron: <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/achtergrond/knmi-14-klimaatsscenario-s>

Tabel 2.1 Veranderingen voor het klimaat rond 2050 (W_H -scenario (Van den Hurk e.a., 2014)).

Variabele	Indicator	Klimaat 1981-2010	Verandering voor het klimaat rond 2050
Temperatuur	gemiddelde	10.1 °C	+ 2.3 °C
Neerslag	gemiddelde hoeveelheid	851 mm	+ 5.0%
Zonnestraling	zonnestraling	354 kJ cm ⁻²	+ 1.2%

De resultaten voor een toekomstig klimaatscenario in de WWL-tabel zijn gebaseerd op modelsimulaties waarin alleen de meteorologische invoer is aangepast. Overige instellingen van groeiseizoen, bodem en drooglegging zijn dezelfde als voor de periode 1991-2020.

2.2.3 Grondwaterspiegeldiepte

Invoer over de verticale afstand van het maaiveld tot de grondwaterspiegel is belangrijk voor het beoordelen van de bodemgeschiktheid voor de teelt van gewassen. Voor gewassen en vegetaties die afhankelijk zijn van grondwater is de grondwaterspiegeldiepte relevanter dan de grondwaterstand ten opzichte van NAP (Knotters e.a., 2022). We gebruiken daarom gegevens van de grondwaterspiegeldiepte als invoer voor de WWL-tabel. Deze invoer is afkomstig van het Model Grondwaterspiegeldiepte (WDM).¹⁵ Het WDM geeft weer tussen welke dieptes ten opzichte van het maaiveld de grondwaterspiegel jaarlijks gemiddeld genomen fluctueert. Het model geeft langjarige gemiddelden van de kleinste grondwaterspiegeldiepte (GHG) en de grootste grondwaterspiegeldiepte (GLG) voor rastercellen van 50 bij 50 m. Het WDM is onderdeel van de Basisregistratie Ondergrond (BRO).¹⁶

Het Model Grondwaterspiegeldiepte is gebaseerd op metingen van de grondwaterstand in peilbuizen, een groot aantal aanvullende metingen in tijdelijke boorgaten (de zogenaamde 'gerichte opnames') en een aantal GIS-lagen, zoals maaiveldhoogte en bodemkaart. Het Model Grondwaterspiegeldiepte voor Noord-Brabant is grotendeels ontwikkeld rond het jaar 2000. De GHG en GLG zijn geconditioneerd op het klimaat (30 jaar), zodat ze minder afhankelijk zijn van situaties met extreem weer (zie De Gruijter e.a. (2004) voor meer details). Een belangrijke meerwaarde van WDM is dat het een groot aantal realisaties heeft. Dat maakt het mogelijk om samenvattende statistieken te berekenen van de GHG en GLG, zoals de mediaan (middelste waarde) en het 90%-betrouwbaarheidsinterval (het interval rond de mediaan tussen 5% en 95% van de waarden) (Knotters e.a., 2022). Als we daarvan gebruikmaken in Waterwijzer Landbouw, ontstaat een beeld van de mogelijke bandbreedte van de resultaten voor de relatieve gewasopbrengst. Dat beeld geeft aan hoe zeker we zijn over die resultaten, gegeven de betrouwbaarheid van de GHG en GLG.

Voor het scenario van het toekomstige klimaat (W_H , zie paragraaf 2.2.2) hebben we geen informatie over de karakteristieken van de grondwaterspiegeldiepte. Ook voor het toekomstige klimaat hanteren we bij het gebruik van de WWL-tabel daarom de karakteristieken van de grondwaterspiegeldiepte van het WDM. We nemen hierbij indirect aan dat het verloop van de grondwaterspiegeldiepte in de toekomst niet zal veranderen. Bij de interpretatie van de resultaten voor het klimaatscenario moet men hiermee rekening houden.

2.2.4 Gewaskeuze

De WWL-tabel wordt gebruikt voor grasland (beheerd met beweiding of maaien), het voedergewas snijmais en de akkerbouwgewassen zomergerst, consumptieaardappelen en suikerbieten en voor boomteelt (appel- en laanbomen). Er wordt geen rekening gehouden met irrigatie van gewassen.

¹⁵ <https://basisregistratieondergrond.nl/inhoud-bro/registratieobjecten/modellen/model-grondwaterspiegeldiepte-wdm/>, www.PDOK.nl, en Knotters e.a. (2022a, 2022b).

¹⁶ <https://www.broloket.nl/ondergrondmodellen>

2.3 Aansturing

In dit project zijn scripts (software) geschreven voor de aansturing van de WWL-tabel. Dit is noodzakelijk door de grote hoeveelheid realisaties van het WDM (Model Grondwaterspiegeldiepte) die als invoer worden gebruikt. Daarnaast is een script geschreven om de modelresultaten inzichtelijk weer te geven. Deze scripts zijn geschreven in R, een open source softwarepakket. De scripts zijn toegankelijk via <https://doi.org/10.4121/21524442>.

2.4 Weergave resultaten

De WWL-tabel geeft als resultaat de gewasrespons, die is weergegeven als een potentiële gewasopbrengst uitgedrukt in biomassa (kg droge stof ha⁻¹, kg ha⁻¹) en als de relatieve gewasopbrengst, uitgedrukt als massapercentage van de potentiële gewasopbrengst. Daarnaast worden resultaten weergegeven van de totale opbrengstderving, en van de afzonderlijke stressoren waaruit de totale opbrengstderving is opgebouwd. De totale opbrengstderving en de stressoren worden eveneens uitgedrukt in een massapercentage van de potentiële gewasopbrengst.

De opbrengstderving van het gewas kan worden uitgesplitst in een aandeel *indirecte effecten* en een aandeel *directe effecten*. Indirecte effecten komen bijvoorbeeld door een verschuiving in het groeiseizoen als de grond te nat is voor bewerking of door vertrapping tijdens beweiding van grasland. Directe effecten komen door een afname van de gewastranspiratie tijdens het groeiseizoen, ook wel *transpiratiereductie* genoemd. Transpiratiereductie treedt op als de gewasgroei belemmerd wordt door droogte, zuurstoftekort of een te hoog zoutgehalte. Deze belemmeringen worden in de terminologie van WWL resp. *droogtestress*, *zuurstofstress* en *zoutstress* genoemd.

De resultaten van het project zijn kaarten van de relatieve gewasopbrengst en van de totale opbrengstderving over de periode 1991-2020 voor grasland (beheerd met beweiding of maaien), snijmais, zomergerst, consumptieaardappelen, suikerbieten en boomteelt (appel- en laanbomen). Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen de indirecte en directe effecten. In de kaarten staan resultaten voor rastercellen van 250 m bij 250 m.

Voor het zichtjaar 2050 in het KNMI'14-klimaatsscenario W_H wordt de opbrengstderving alleen beschreven en niet in een kaart weergegeven. De reden hiervoor is dat de grondwaterspiegeldynamiek voor de toekomstige situatie niet bekend is, waardoor geen betrouwbare voorspelling gemaakt kan worden van de opbrengstderving in het gekozen scenario. Weergave in een kaart kan de suggestie geven dat dit wel mogelijk is.

3 Verschillen tussen WWL, HELP en WIB-C

De bodemgeschiktheid voor een bepaalde teelt kan via verschillende methoden worden vastgesteld. In het verleden werden bodemgeschiktheidskaarten voor de landbouwsector in de provincie Noord-Brabant en voor Nederland vervaardigd met behulp van de HELP-tabellen (Van Bakel e.a., 2005; Werkgroep HELP-tabel, 1987) en met varianten van het uit 1979 stammende beoordelingssysteem WIB-C (De Vries & Camarasa, 2009; Haans, 1979; Ten Cate e.a., 1995; Van Diepen e.a., 2002). In dit hoofdstuk worden verschillen tussen deze methoden en Waterwijzer Landbouw toegelicht.

3.1 Verschillen met de HELP-tabellen

Waterwijzer Landbouw (WWL) verschilt in aanpak en uitgangspunten van de HELP-tabellen waarmee de landelijke bodemgeschiktheidskaarten gemaakt werden. De belangrijkste verschillen zijn weergegeven in Tabel 3.1. De onderdelen voor WWL hebben betrekking op de variant WWL-tabel. Informatie over de methode van de HELP-tabellen is ontleend aan (Van Bakel e.a., 2005).

Tabel 3.1 Belangrijkste verschillen tussen de HELP-tabellen en de WWL-tabel voor de bepaling van bodemgeschiktheid.

Aspect	HELP-tabellen (1987, 2002, 2005)	WWL-tabel
Rekenwijze en invoergegevens		
Onderliggende modellen of concepten	Opbrengstdepressie door vochttekorten: statisch (opgelegd) groeiverloop in LAMOS Modellen MUST, MUSTLD Opbrengstdepressie door wateroverlast: expertkennis gebaseerd op veldonderzoek en daarop gebaseerde inzichten en relaties tussen grondwaterstand en invloed op draagkracht, bewerkbaarheid, luchthuishouding, stikstofmineralisatie, bodemtemperatuur en structuur van de bodem	Dynamische gewasontwikkeling en gewasopbrengst in SWAP-WOFOST
Terugkoppelingen en interacties meegenomen?	Nee; transpiratiereductie wordt gelijkgesteld aan reductie in gewasopbrengst	Ja; transpiratiereductie beïnvloedt gewasontwikkeling
Periode klimaatgegevens	1956-1986	1981-2020
Bron, periode en onzekerheid in verloop van de grondwaterspiegeldiepte	Grondwatertrappenkaart (Gt) (discreet in Gt-klassen) in HELP-bodemtypen afgeleid van kaartbladen van de Bodemkaart uit 1960-1975 Onzekerheid onbekend	WDM (continu, in cm) voor de periode 1990-2020 Onzekerheidsmaten beschikbaar uit 300 realisaties
Gewasvariëteiten	4 gewasgroepen (1987) 14 gewasgroepen	Door veredeling veranderd t.b.v. weerbaarheid tegen droogte, ziekten en plagen
Uitvoertijdstep	Decade (alleen groeiseizoen)	Dag (jaarrond)
Bodemfysische informatie	Vertaling op basis van bodemcode in: 14 HB-bodemgroepen (2002) 72 HELP-bodemtypen (2005)	Bodemfysische eenheden in: BOFEK2012 (72 eenheden) BOFEK2020 (79 eenheden)
Bodembeheer	Bedrijfseconomisch optimale teelttechnieken periode 1960-1980)	Bedrijfseconomisch optimale teelttechnieken (periode 1980-2010)

Aspect	HELP-tabellen (1987, 2002, 2005)	WWL-tabel
Modelresultaten		
Opbrengstderving	Droogteschade o.b.v. modelsimulaties, natschade o.b.v. expertkennis	Indirecte effecten, droogte- en zuurstofstress op basis van modelsimulaties
Biomassa	Langjarig gemiddelde gewasopbrengst ('praktisch' potentiële productie genoemd) wordt als bekend verondersteld en moet door gebruiker worden opgegeven	De potentiële gewasopbrengst wordt gesimuleerd en is afhankelijk van meteorologische condities. De actuele gewasopbrengst wordt daarnaast nog beïnvloed door ongunstige hydrologische omstandigheden. Met de WWL-tabel zijn de gewasopbrengsten opvraagbaar per jaar of voor een langjarig gemiddelde periode
Temporele resolutie	Langjarig gemiddelde opbrengstderving. Vertaling naar een bepaald jaar is niet mogelijk	Langjarig gemiddelde opbrengstderving voor huidige en toekomstige klimaatperiode. Opbrengstderving per jaar direct opvraagbaar voor de periode 1981–2020
Correcties	Correctiefactoren toegepast op resultaten	Geen correctiefactoren; afwijkingen verklaard of opgelost door gevoeligheidsanalyse en validatie van het modelinstrumentarium

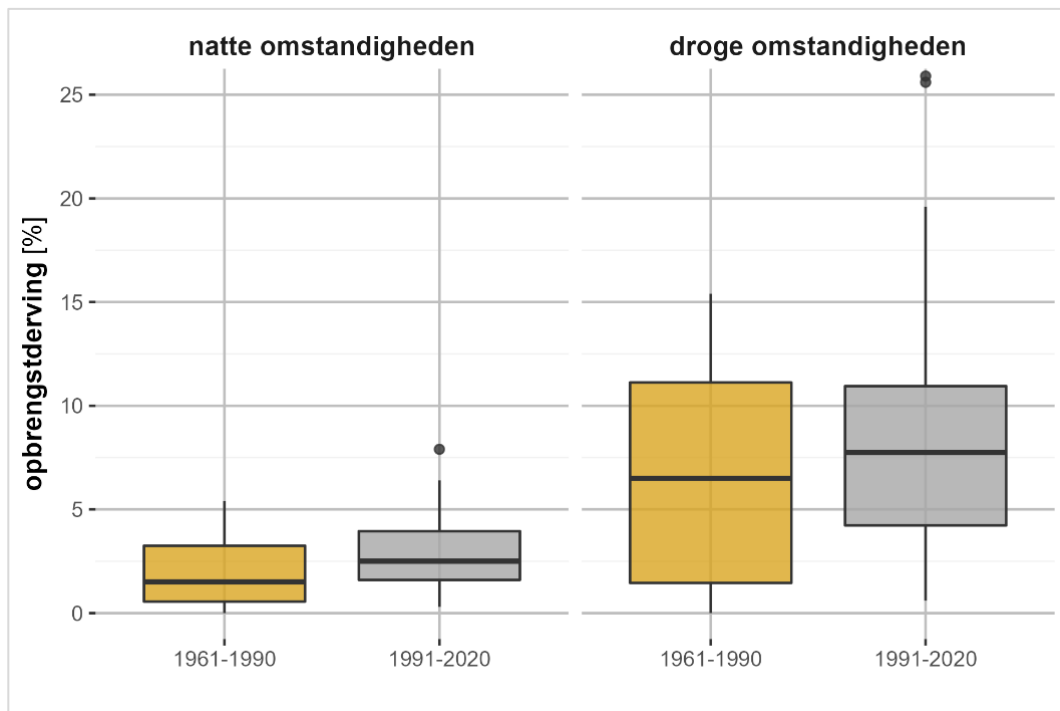
Vanwege de verschillen in aanpak en uitgangspunten tussen beide methoden zijn er verschillen in modelresultaten te verwachten. Het is feitelijk niet mogelijk om deze verschillen te verklaren, omdat informatie ontbreekt over de werkwijze waarmee de modelresultaten van de HELP-tabellen verkregen zijn. De gebruikte kennis en simulatiemodellen voor de HELP-tabellen zijn verloren gegaan of alleen gedeeltelijk opgeslagen. Daardoor is reproductie van de resultaten van de HELP-tabellen niet meer mogelijk.

Om toch enigszins inzicht te geven in waarom resultaten voor een bodemgeschiktheidsbeoordeling verschillen bij gebruik van WWL-tabel en de HELP-tabellen, kunnen we het SWAP-WOFOST-modelinstrumentarium – voor zover mogelijk – aansturen met de randvoorwaarden die gebruikt zijn bij de HELP-methodiek. Op deze manier laten we zien hoe de verandering van meteorologische condities en de duur van het groeiseizoen doorwerken in het eindresultaat van de WWL-tabel. Dit demonstreren we in de volgende paragrafen.

3.1.1 Meteorologische condities

De resultaten van de HELP-tabellen zijn gebaseerd op een andere klimaatperiode dan de resultaten van WWL, namelijk de periode 1956-1986. Om te analyseren wat het effect is van een andere klimaatperiode op de gesimuleerde opbrengstderving, zijn berekeningen met SWAP-WOFOST uitgevoerd voor de perioden 1961-1990 en 1991-2020 voor relatief natte en droge omstandigheden met grasland (intensief maaien) op een zwak lemige zandgrond (BOFEK-eenheid 3015). De meteorologische condities zijn afkomstig van weerstation De Bilt. Voor natte omstandigheden hebben we gekozen voor karakteristieken van de grondwaterspiegeldiepte van ongeveer 50 cm -mv voor de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) en van 100 cm -mv voor de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG). Voor droge omstandigheden is dit 80 cm -mv voor de GHG en 180 cm -mv voor de GLG.

In vergelijking met de klimaatperiode 1961-1990 zien we een toename in de hoeveelheid neerslag (7%), gemiddelde temperatuur (+ 1.1 °C) en zonnestraling (5%). In Figuur 3.1 is de langjarig gemiddelde opbrengstderving onder relatief natte en droge hydrologische omstandigheden weergegeven. De resultaten laten een toename zien van de gesimuleerde opbrengstderving onder zowel natte als droge omstandigheden.



Figuur 3.1 Langjarig gemiddelde opbrengstderving voor verschillende klimaatperioden onder relatief natte en droge hydrologische omstandigheden met grasland (intensief maaien) op een zwak lemige zandgrond (BOFEK-eenheid 3015); spreiding in modelresultaten wordt veroorzaakt door verschillende jaren in de gehanteerde klimaatperiode.

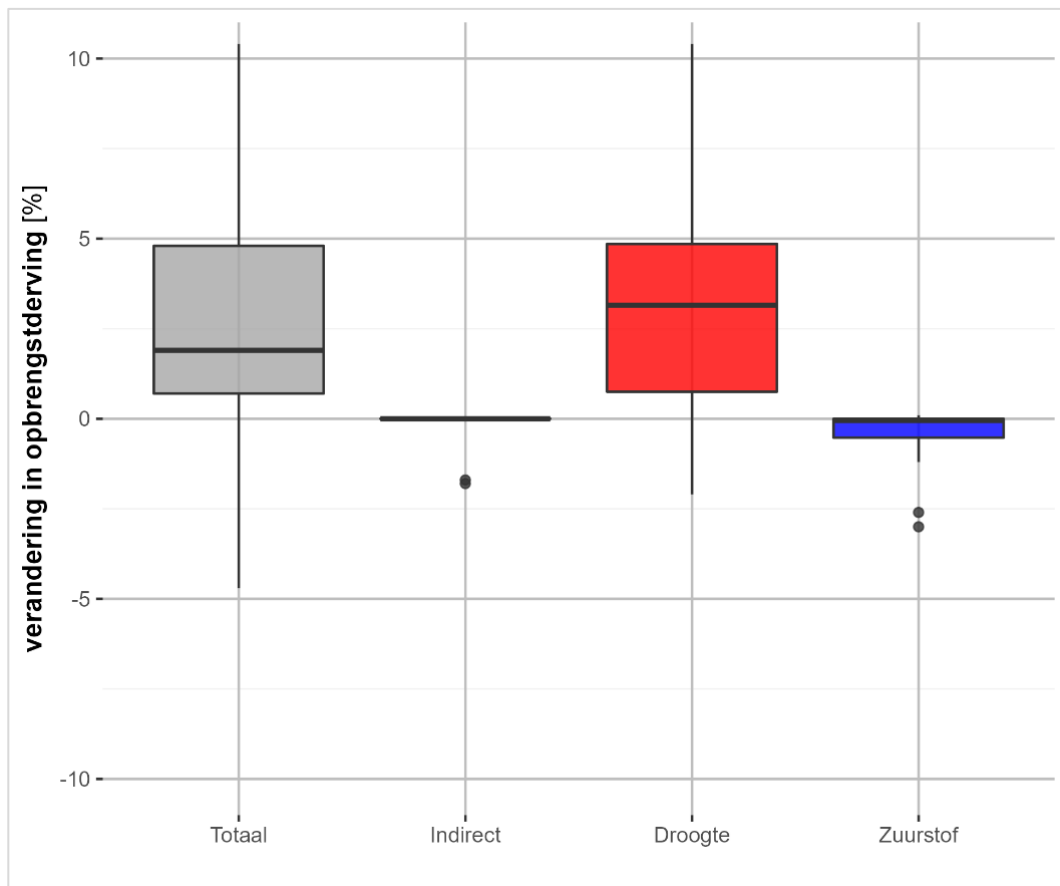
3.1.2 Groeiseizoen

Voor het afleiden van de HELP-tabellen zijn simulaties uitgevoerd voor tiendaagse perioden met het LAMOS-model, maar alleen voor de periode van het groeiseizoen. Het groeiseizoen begon in deze simulaties telkens op 1 april, waarbij de GVG¹⁷ als initiële grondwaterstand werd gehanteerd. Het groeiseizoen eindigde in de simulaties voor gebruik in de HELP-tabellen op 30 september.

In Waterwijzer Landbouw worden simulaties uitgevoerd op dagbasis voor de gehele klimaatperiode en niet voor de afzonderlijke groeiseizoenen. Zo is de diepte van de grondwaterspiegel in het voorjaar voor ieder jaar anders. In het geval van grasland is de start van de daadwerkelijke groei afhankelijk van de temperatuur in het voorjaar. Eind oktober wordt de totale oogst van grasland vastgesteld en wordt er geen rekening meer gehouden met ongunstige hydrologische condities. Het groeiseizoen waarover stress wordt geregistreerd, is daarmee langer dan verondersteld in de HELP-tabellen.

In Figuur 3.2 is de verandering in opbrengstderving weergegeven als met Waterwijzer Landbouw wordt gerekend met een groeiseizoen dat loopt van 1 april tot en met 30 september. De spreiding in resultaten – weergegeven met een boxplot – wordt veroorzaakt door de verschillende jaren in de klimaatperiode 1991-2020. De simulatie is uitgevoerd voor grasland (intensief maaien) op een zwak lemige zandgrond (BOFEK-eenheid 3015) en met meteorologische condities afkomstig van weerstation De Bilt onder relatief droge hydrologische omstandigheden (GHG 80 cm -mv en GLG 180 cm -mv). Als rekening wordt gehouden met een vast groeiseizoen, zien we een toename van de totale opbrengstderving van gemiddeld 2%. Deze wordt vooral veroorzaakt door een toename in droogtestress. Incidenteel kan dit verschil oplopen tot ongeveer 10% meer schade.

¹⁷ Gemiddelde grondwaterstand in het voorjaar.



Figuur 3.2 Verandering in opbrengstderving voor de periode 1991-2020 voor de situatie waarin het groeiseizoen start vanaf 1 april en eindigt op 30 september, gesimuleerd voor grasland (beheerd met intensief maaien) op een zwak lemige zandgrond (BOFEK 3015) onder relatief droge omstandigheden (met GHG 80 cm -mv en GLG 180 cm -mv); spreiding in modelresultaten wordt veroorzaakt door verschillende jaren in de klimaatperiode 1991-2020.

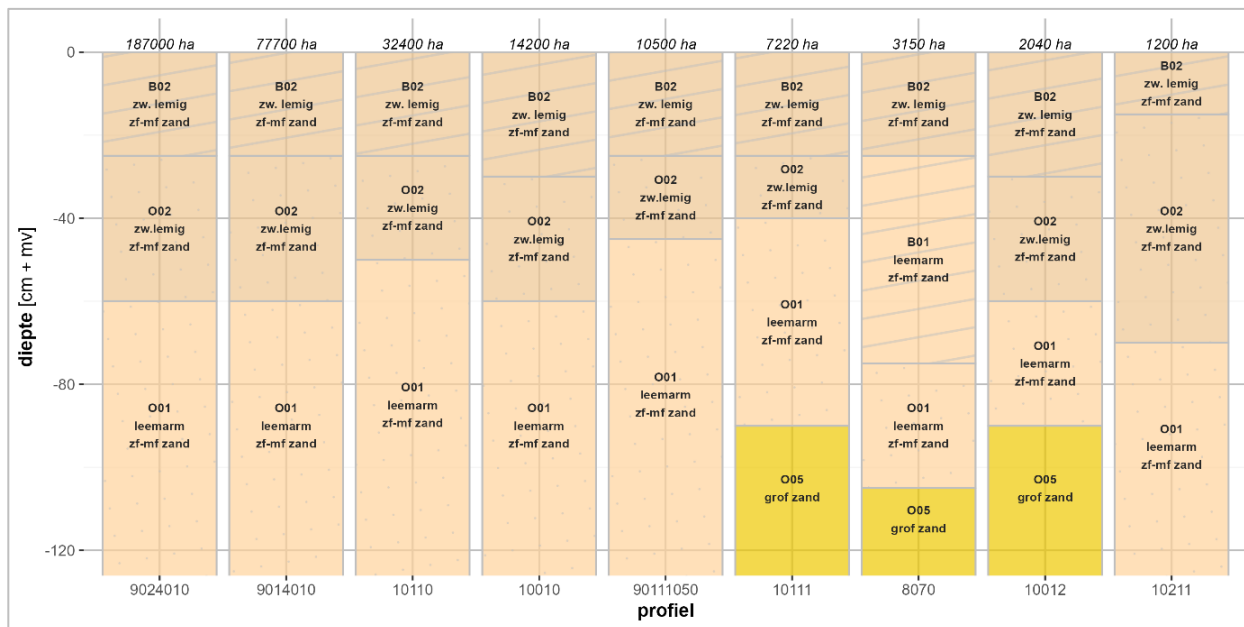
3.1.3 Bodemschematisatie

De WWL-tabel en de HELP-tabellen geven de opbouw en samenstelling van de bodem op verschillende manieren weer. Voor bodemeenheden van de Bodemkaart van Nederland (versie 2020) kan een vertaling worden gemaakt naar zowel bodemtypen zoals gebruikt in de WWL-tabel, als naar bodemtypen gebruikt in de HELP-tabellen. Dit geeft verschillende bodemtypen voor de twee methoden. Bij regionale studies kan het daardoor voorkomen dat één bodemtype van de WWL-tabel wordt vergeleken met verschillende bodemtypen van de HELP-tabellen en andersom.

Bodemschematisatie in WWL

De WWL-tabel (versie 3.0.0) maakt gebruik van bodemfysische informatie die is afgeleid van de Bodemkaart van Nederland in de vorm van de Bodemfysische Eenhedenkaart (BOFEK2020). De procedure die hiervoor is gebruikt, staat beschreven in paragraaf 2.2.1.

In BOFEK2020 zijn de 368 afgeleide bodemprofielen geclusterd op basis van bodemfysische eigenschappen (Heinen e.a., 2021; 2022). Dit heeft geresulteerd in een clustering tot 79 eenheden. Per cluster wordt het bodemprofiel gekozen dat het meest voorkomt (over de grootste oppervlakte) voor de weergave van Figuur 3.3.



Figuur 3.3 Afgeleide bodemprofielsschetsen in cluster 3015 van BOFEK2020; gesorteerd naar voorkomen in Nederland.¹⁸

Bodemschematisatie in de HELP-tabellen

Bij de HELP-methode worden 72 verschillende bodemeenheden onderscheiden. Van deze bodemeenheden ontbreekt in de HELP-tabellen een profielschets, maar de bodemcode die verwijst naar de Bodemkaart van Nederland is wel bekend. Op basis van de bodemcode kan een koppeling worden gemaakt met de bodemprofielsschetsen van de Bodemkaart van Nederland.¹⁹ In Tabel 3.2 zijn de bodemprofielsschetsen behorend bij cluster 3015 in BOFEK2020 weergegeven met een vertaling naar HELP-bodemeenheden.

Tabel 3.2 Bodemprofielsschetsen behorend bij cluster BOFEK 3015 vertaald naar HELP-bodemeenheden.

Profielcode	HELP-bodemeenheid
9024010	58
9014010	58
10110	39
10010	39
90111050	35
10111	71
8070	47
10012	71
10211	35

Resultaten met bodemschematisatie HELP-tabellen

In Tabel 3.2 is te zien dat de bodemprofielsschetsen binnen het cluster BOFEK 3015 behoren tot vijf verschillende HELP-bodemtypen. Voor deze bodemtypen kunnen resultaten worden opgevraagd van de HELP-tabel onder relatief natte en relatief droge omstandigheden. In Tabel 3.3 zijn hiervan de resultaten weergegeven voor het gewas grasland (zonder kosten van herinzaai). Voor relatief natte omstandigheden is gekozen voor een Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG) van 50 cm -mv en een Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) van 100 cm -mv. Voor relatief droge omstandigheden is gekozen voor een GHG van 80 cm -mv en een GLG van 180 cm -mv. De totale opbrengstderving volgens de HELP-tabel varieert onder

¹⁸ Bodemprofielsschetsen 9024010 en 9014010 hebben een verschillend landgebruik, maar wel dezelfde opbouw.

¹⁹ Hoewel er 72 verschillende HELP bodemeenheden beschikbaar zijn, worden 50 unieke HELP bodemeenheden gekoppeld als alle bodemeenheden van de Bodemkaart van Nederland worden vertaald (bron: <http://help200x.alterra.nl>).

natte omstandigheden tussen 2 en 26%. Onder droge omstandigheden varieert de opbrengstderving tussen 15 en 33%.

Tabel 3.3 Langjarig gemiddelde opbrengstderving (%) voor bodemprofielchetsen van bodemcluster BOFEK 3015 onder relatief natte en droge hydrologische omstandigheden, bepaald met de HELP-tabel.

HELP-bodemcode	Totaal (%)	Natschade (%)	Droogteschade (%)
<i>Natte omstandigheden</i>			
35	7.5	0.0	7.5
39	3.8	0.0	3.8
47	2.4	0.2	2.2
58	3.4	0.0	3.4
71	25.3	6.0	20.5
<i>Droge omstandigheden</i>			
35	29.4	0.0	29.4
39	22.7	0.0	22.7
47	15.8	0.0	15.8
58	19.5	0.0	19.5
71	32.1	3.0	30.0

Resultaten met bodemschematisatie WWL

Op een vergelijkbare wijze kunnen we ook de analyse doen geredeneerd vanuit een HELP-bodemeenheid. 8 van de 368 beschikbare bodemprofielchetsen worden vertaald naar HELP-bodemcode 58. In Tabel 3.4 zijn de bodemprofielchetsen behorend bij HELP-bodemeenheid 58 weergegeven met een vertaling naar een eenheid uit BOFEK2020. In totaal wordt er een vertaling gemaakt naar vijf verschillende BOFEK-eenheden.

Tabel 3.4 Bodemprofielchetsen behorend bij HELP-bodemeenheid 58, vertaald naar BOFEK-eenheden.

Profielcode	BOFEK
9024010	3015
9014010	3015
9034010	3014
4140	3019
9023010	3009
10241	3019
9013010	3009
4015	3016

De resultaten van de WWL-tabel (WWL-metarelaties 3.0.0) voor deze BOFEK-eenheden zijn onder relatief natte en droge omstandigheden weergegeven in Tabel 3.5. De resultaten zijn hierbij weergegeven voor het gewas grasland (beheerd met intensief maaien), waarbij de meteorologische condities afkomstig zijn van het weerstation De Bilt.

Tabel 3.5 Langjarig gemiddelde opbrengstderving voor bodemprofielchetsen behorende bij HELP-bodemeenheid 58 onder relatief natte en droge hydrologische omstandigheden, bepaald met de WWL-tabel (WWL-metarelaties 3.0.0).

BOFEK-eenheid	Totaal	Indirecte effecten	Zuurstofstress	Droogteschade
<i>Natte omstandigheden</i>				
3009	4.4	0.4	1.6	2.4
3014	14.4	0.4	0.9	13.1
3015	4.9	0.4	1.5	3.0
3016	3.6	0.3	3.1	0.2
3019	10.7	0.2	0.8	9.7
<i>Droge omstandigheden</i>				
3009	9.1	0.1	0.4	8.6
3014	27.1	0.0	0.3	26.8
3015	9.8	0.1	0.3	9.4
3016	2.9	0.0	0.4	2.5
3019	29.3	0.0	0.0	29.3

De totale opbrengstderving gegeven door de WWL-tabel varieert onder natte omstandigheden tussen 3 en 15% en onder droge omstandigheden tussen 2 en 30%.

3.1.4 Dynamische gewasmodule in Waterwijzer Landbouw

De opbrengstderving voor de meest voorkomende akkerbouwgewassen en grasland wordt in WWL gesimuleerd met een dynamische gewasmodule.²⁰ De simulatie van de potentiële gewasontwikkeling is hierbij afhankelijk van de meteorologische condities en verschilt dus van jaar tot jaar. De simulatie van de actuele gewasontwikkeling wordt daarnaast ook beïnvloed door ongunstige hydrologische condities, zoals te droge of te natte omstandigheden. Doordat de gewasontwikkeling wordt beïnvloed, zal ook de watervraag van het gewas in het resterende deel van het groeiseizoen worden beïnvloed. We spreken dan van een hydrologische terugkoppeling.

Voor boomteelt is er geen dynamische gewasmodule beschikbaar en maakt WWL gebruik van een statische gewasmodule. Bij een statische gewasmodule wordt de gewasontwikkeling van tevoren opgelegd en wordt de gewasontwikkeling niet beïnvloed door meteorologische condities of ongunstige hydrologische omstandigheden. Bij een statische gewasmodule is er dan ook geen sprake van een hydrologische terugkoppeling.

Bij het afleiden van de HELP-tabellen voor het kwantificeren van de droogteschade is in alle gevallen een statische gewasmodule gebruikt.

Als de groei van het gewas wordt beschreven met een statische gewasgroei-module, wordt een direct verband verondersteld tussen de gesimuleerde transpiratiereductie en een reductie in de gewasopbrengst. Een voorbeeld van een dergelijke beschrijving is onderstaande vergelijking (Vergelijking 3.1), die is gebaseerd op een publicatie van FAO (Steduto e.a., 2012). De potentiële gewasopbrengst wordt hierin bekend verondersteld.

$$\left(1 - \frac{Y_{act}}{Y_{pot}}\right) = K_Y \left(1 - \frac{T_{act}}{T_{pot}}\right)$$

Waarbij:

Y_{pot}	: Potentiële gewasopbrengst	[kg _{ds} ha ⁻¹] ²¹
Y_{act}	: Actuele gewasopbrengst	[kg _{ds} ha ⁻¹]
K_Y	: Gewasresponsfactor	[-]
T_{pot}	: Potentiële transpiratie	[mm]
T_{act}	: Actuele transpiratie	[mm]

Vergelijking 3.1 Statische beschrijving van gewasgroei, gebaseerd op Steduto e.a. (2012).

²⁰ WWL maakt hierbij gebruik van WOFOST voor akkerbouwgewassen en GRASS (afgeleide van WOFOST) voor grasland.

²¹ Kg_{ds}: kg droge stof.

Om het aandeel aan van de verschillende stressoren in de totale opbrengstderving te bepalen, wordt in Waterwijzer Landbouw gekeken naar de verhouding van de transpiratiereductie die wordt veroorzaakt door de verschillende stressoren. Voor de bepaling van droogtestress gaat dat als volgt (Vergelijking 3.2):

$$S_{dry} = 100 \frac{Y_{pot} - Y_{act}}{Y_{pot}} \left(\frac{\sum T_{reddry}}{\sum T_{reddry} + \sum T_{redwet}} \right)$$

Waarbij:

S_{dry}	: droogtestress	[%]
Y_{pot}	: Potentiële gewasopbrengst	[kg _{ds} ha ⁻¹]
Y_{act}	: Actuele gewasopbrengst	[kg _{ds} ha ⁻¹]
T_{reddry}	: Transpiratiereductie als gevolg van droogtestress	[mm]
T_{redwet}	: Transpiratiereductie als gevolg van zuurstofstress	[mm]

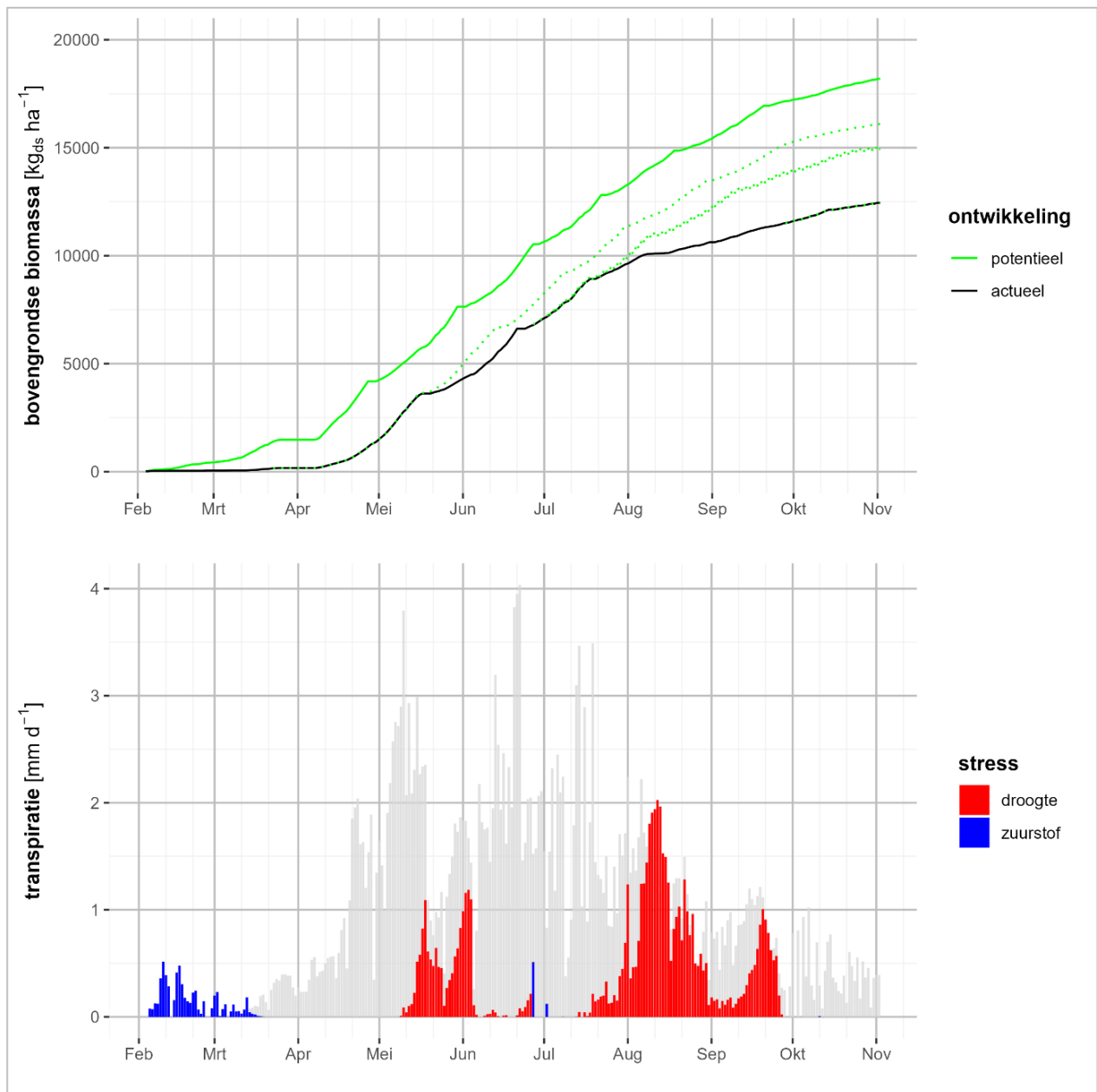
Vergelijking 3.2 *Beschrijving van droogtestress in de methodiek voor het kwantificeren van de verschillende stressoren voor gewasopbrengst in Waterwijzer Landbouw.*

Een beschrijving als in Vergelijking 3.2 past bij een statische gewasmodule, omdat er geen rekening wordt gehouden met de hydrologische terugkoppeling. Er is nog geen goede beschrijving die past bij een dynamische module. Daarom hanteren we in Waterwijzer Landbouw de beschrijving van het aandeel van de verschillende stressoren voor gewasopbrengst ook bij de dynamische gewasmodule. Het aandeel van de verschillende stressoren in de totale opbrengstderving, vastgesteld met de bovenstaande methodiek, kan dan in WWL met dynamische gewasgroeimodellering slechts als indicatie worden gebruikt.

Er is wel een manier om bij de specificatie van de opbrengstderving rekening te houden met de hydrologische terugkoppeling. Daarvoor is een rekenintensieve methode beschikbaar. Als voorbeeld kijken we naar een simulatie die is uitgevoerd in het stroomgebied van de Raam in de studie van Mulder e.a. (2021). We richten ons in dit voorbeeld alleen op het jaar 2020. In Figuur 3.4 zijn de resultaten van de simulatie weergegeven.

Gedurende dit jaar wisselen perioden van ongunstige hydrologische condities elkaar af. Aan het begin van het groeiseizoen is er voornamelijk zuurstofstress als gevolg van zeer natte omstandigheden. Vanaf half maart tot half mei zijn de omstandigheden gunstig voor gewasgroei. Daarna volgen twee droge perioden (eind mei–begin juni en half augustus–eind september; rood in de onderste grafiek), met tussendoor een gunstige periode als gevolg van neerslag. De potentiële gewasopbrengst ligt net iets boven 18.200 kg_{ds} ha⁻¹ en de gesimuleerde opbrengstderving komt uit op 31.5%.

Als we het aandeel van droogtestress en zuurstofstress in de totale opbrengstderving kwantificeren met behulp van Vergelijking 3.2, komen we uit op 28.5% droogtestress en 3.1% zuurstofstress.



Figuur 3.4 Gesimuleerde gewasontwikkeling van bovengrondse delen, inclusief oogst (boven) en de potentiële transpiratie (onder), gegeven de actuele gewasontwikkeling en transpiratiereductie als gevolg van te natte en te droge omstandigheden in de wortelzone. *Figuur boven: groen: potentiële gewasontwikkeling; zwart: actuele gewasontwikkeling. Groene gestippelde lijnen: potentiële gewasontwikkeling na een periode met ongunstige omstandigheden voor het gewas. Figuur onder: blauw: transpiratiereductie als gevolg van zuurstofstress; rood: transpiratiereductie als gevolg van droogtestress; lichtgrijs: potentiële transpiratie.*

Om te bepalen hoe de ongunstige perioden met transpiratiereductie doorwerken in de totale opbrengstderiving, zijn alternatieve berekeningen uitgevoerd met de dynamische gewasmodule. Nadat een ongunstige periode heeft plaatsgevonden, wordt een gewasontwikkeling gesimuleerd die vanaf dat moment niet meer wordt beïnvloed door de ongunstige omstandigheden. Het gewas groeit dan volgens een beschrijving van de potentiële gewasontwikkeling (volgens de groene stippellijn weergegeven in Figuur 3.4).

Aan het einde van het groeiseizoen kunnen we de reductie in gewasopbrengst als gevolg van te droge en te natte perioden optellen. We komen dan uit op een opbrengstreductie van 3564 kg_{ds} ha⁻¹ als gevolg van droogtestress (19.6%) en 2179 kg_{ds} ha⁻¹ als gevolg van zuurstofstress (12.0%). Het aandeel droogtestress in de totale opbrengstderiving is daarmee aanzienlijk kleiner (19.6%) dan volgens de berekeningswijze waarin geen rekening wordt gehouden met een hydrologische terugkoppeling (28.5%) (Vergelijking 3.2).

Het bovenstaande voorbeeld laat zien dat bij een dynamische gewasmodule interacties tussen stressoren optreden die van invloed zijn op de simulatie van de opbrengstderiving. Vanwege deze interactie kunnen afzonderlijke stressoren, die gesimuleerd worden met een dynamische gewasgroei-module, niet vergeleken worden met de stressoren van een statische gewasgroei-module.

3.2 Verschillen met WIB-C

Van Diepen e.a. (2002) hebben voor de kartering van de bodemgeschiktheid in de provincie Noord-Brabant de methode WIB-C gebruikt, aangevuld met informatie over milieubelastende factoren. WIB-C (Werksysteem Interpretatie Bodemkaarten) is een systeem voor bodemkwaliteitsbeoordeling op basis van bodemgerelateerde beoordelingsfactoren zoals vochtleverend vermogen, stevigheid van de bovengrond, stuifgevoeligheid, beschreven in Ten Cate e.a. (1995). Bij de interpretatieprocedure van WIB-C wordt eerst een set van bodembeoordelingsfactoren vastgesteld. De set van bodembeoordelingsfactoren varieert per landgebruiksvorm. Voor het vaststellen van de bodemgeschiktheid voor weidebouw wordt een set van drie bodembeoordelingsfactoren gebruikt: ontwateringstoestand, vochtleverend vermogen en stevigheid van de bovengrond. Voor het vaststellen van de bodemgeschiktheid voor akkerbouw worden dezelfde drie bodembeoordelingsfactoren gebruikt, aangevuld met drie nieuwe, namelijk verkrumelbaarheid, slempgevoeligheid en stuifgevoeligheid. Facultatief kunnen daar nog maximaal drie factoren bijkomen: reliëf, stenigheid en nachtvorstgevoeligheid.

Afhankelijk van het bodemtype, de grondwatertrap en de teelt wordt bij alle geldende bodembeoordelingsfactoren een gradatie vastgesteld (Ten Cate e.a., 1995). De gradatie is meestal een getal in de range van 1 (goede conditie voor de teelt) t/m 5 (slechte conditie), soms een getal in de range van 1 (goede conditie voor de teelt) t/m 3 (slechte conditie). Tezamen vormen de gradaties de invoer bij een sleuteltabel waaruit een bodemgeschiktheidsclassificatie wordt afgeleid.

Bij de bodemgeschiktheidsclassificatie worden de gronden naar hun geschiktheid voor een bepaald bodemgebruik gegroepeerd in een aantal geschiktheidsklassen. Elke vorm van bodemgebruik heeft een eigen bodemgeschiktheidsclassificatie. Deze bestaat uit drie hoofdklassen, die elk in een klein aantal, gewoonlijk twee tot vier, klassen worden onderverdeeld. De hoofdklassen zijn:

1. Gronden met ruime mogelijkheden voor ... (bodemgebruiksvorm)
2. Gronden met weinig mogelijkheden voor ... (bodemgebruiksvorm)
3. Gronden met beperkte mogelijkheden voor ... (bodemgebruiksvorm)

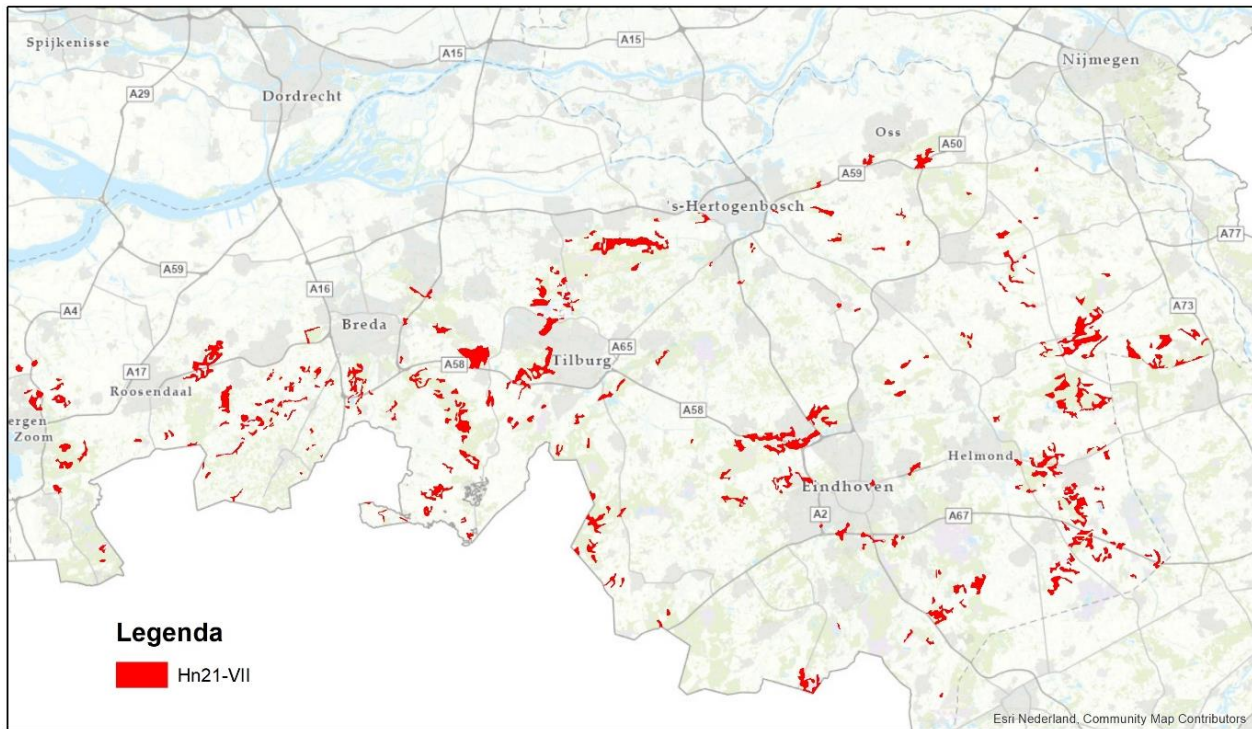
In de volgorde 1, 2 en 3 geven de hoofdklassen een afnemende geschiktheid voor de bodemgebruiksvorm aan. De volgorde binnen de klassen kan, maar hoeft geen volgorde in geschiktheid aan te geven. Een klasse kan worden onderverdeeld naar de aard van de beperking(en) van de grond. Dit kan een grond zijn met voor het betreffende bodemgebruik incidenteel enige problemen met de ontwateringstoestand (bijv. klasse 1.2).

In tegenstelling tot de HELP-tabellen en WWL-tabel is WIB-C dus geen kwantitatieve, maar een kwalitatieve methode. Deze methode is ontstaan voordat er computers beschikbaar waren voor berekeningen (Haans, 1979). De HELP-tabellen zijn ontstaan in de periode dat er eenvoudige simulatiemodellen beschikbaar kwamen, namelijk in de jaren 80 van de vorige eeuw. Kort daarna ontstonden plannen voor WIB-D, allereerst resulterend in een combinatie van kwalitatieve en kwantitatieve methoden (Van Lanen, 1991). Waterwijzer Landbouw kan beschouwd worden als de moderne versie van WIB-D.

3.3 Verschillen tussen de methoden: een voorbeeld

Toekenningen van bodemgeschiktheid die gedaan worden met verschillende methoden kunnen niet met elkaar vergeleken worden, omdat de methoden verschillende invoergegevens, rekenregels en aannamen gebruiken (zie ook Tabel 3.1). We geven hier een uitwerking van de bodemgeschiktheidsclassificatie van het bodemtype Hn21 op grondwatertrap VII voor de drie genoemde methoden (zie Tabel 3.6). Het voorkomen van deze gronden in de provincie Noord-Brabant is weergegeven in Figuur 3.5. De Bodemkaart uit 2006 is

gebruikt voor deze weergave, omdat hierin de grondwatertrap (Gt) nog impliciet was opgenomen en omdat deze gebruikt is in de bodemgeschiktheidskartering van Van Diepen e.a. (2002).



Figuur 3.5 Voorkomen van veldpodzolgronden (Hn21) met grondwatertrap VII in de provincie Noord-Brabant. Bron: Bodemkaart van Nederland, versie 2006.

Voor grasland geven de drie methoden de volgende resultaten voor de gegeven combinatie van bodemtype en grondwatertrap: WIB-C geeft een slechte score voor het vochtleverend vermogen van de bodem en een lage of matige bruto productie en de HELP-tabellen geven een droogteschade van >20% ten opzichte van de praktisch haalbare opbrengst. Waterwijzer Landbouw geeft 11% voor de totale langjarig gemiddelde gewasopbrengstderving voor grasland op de gegeven combinatie van bodemtype en grondwatertrap. Deze wordt volledig veroorzaakt door droogtestress. De opbrengstderving geschat met WWL lijkt lager dan voor de methoden WIB-C en HELP. De schatting van WWL is echter een gemiddelde voor de periode 1991-2020. Voor jaren met extreem droge situaties, zoals 2018, worden waarden tot 50% voor de totale gewasopbrengstderving gegeven.

Voor bouwland is de vergelijking van de verschillende methoden niet eenduidig te geven, onder andere omdat het gebruikte bouwplan (de gewasrotatie) van WIB-C niet bekend is. WIB-C maakt dus gebruik van een bepaald bouwplan, terwijl HELP en WWL uitspraken doen op het niveau van de teelt.

Tabel 3.6 Bodemgeschiktheid voor kaarten Hn21-VII bij toepassing van verschillende methoden. Betekenis van de scores voor WIB-C: 1: goede conditie voor de teelt; 5: slechte conditie voor de teelt.

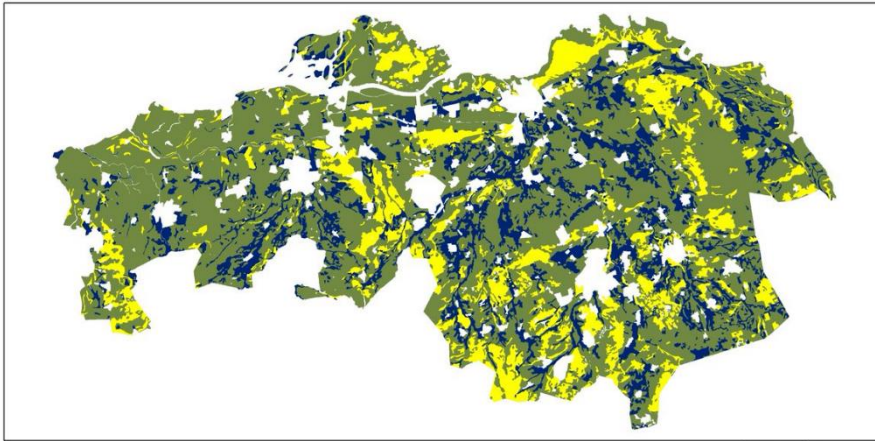
Methoden	Landgebruik	Invoer	Bodemgeschiktheid
WIB-C	Weidebouw	Ontwateringstoestand = 1 Vochtleverend vermogen = 5 Stevigheid van de bovengrond = 1	3.2 = Gronden met weinig mogelijkheden: lage of matige bruto-productie; weinig beweidingsverliezen; goed berijdbaar
WIB-C	Akkerbouw	Ontwateringstoestand = 1 Vochtleverend vermogen = 5 Stevigheid van de bovengrond = 1 Verkruimelbaarheid = 1 Slempgevoeligheid = 1 Stuifgevoeligheid = 3	3.2 = Gronden met weinig mogelijkheden: zeer groot teeltrisico; groot vochttekort
HELP-tabel, 1987	Gras	HELP-code = (t)H1a Gt = VII	Natschade = 0% Droogteschade = 22%
HELP-tabel, 1987	Bouwland	HELP-code = (t)H1a Gt = VII	Natschade = 0% Droogteschade = 21%
HELP-tabel, 2002	Gras	HELP-code = Z30 Gt = VII	Natschade = 0% Droogteschade = 25%
HELP-tabel, 2002	Aardappelen	HELP-code = Z30 Gt = VII	Natschade = 0% Droogteschade = 27%
HELP-tabel, 2006	Gras	HELP-bodemeenheden 58 GHG = 100 En GLG = 200	Natschade = 0% Droogteschade = 22%
HELP-tabel, 2006	Aardappelen	HELP-bodemeenheden 58 GHG = 100 En GLG = 200	Natschade = 0% Droogteschade = 23%
WWL	Gras	cluster BOFEK2020 = 3015 GHG = 100 En GLG = 200	Natschade = 0% Droogteschade = 11%
WWL	Aardappelen	cluster BOFEK2020 = 3015 GHG = 100 En GLG = 200	Natschade = 1% Droogteschade = 21%

3.4 Drie verschillende bodemgeschiktheidskaarten

In bovenstaande paragrafen werd duidelijk dat de drie methoden WIB-C, HELP en WWL verschillen in de invoergegevens en beslis- of rekenregels die ze gebruiken en in de manier van beoordelen van de bodemgeschiktheid (kwalitatief versus kwantitatief, gebaseerd op expertkennis of op modellen). Daardoor ontstaan verschillende kaartbeelden van de bodemgeschiktheid bij het toepassen van de drie methoden.

Een weergave voor grasland (gemaaid) is gegeven voor de provincie Noord-Brabant in Figuur 3.6. De klassegrenzen in de kaart gemaakt met WWL zijn bepaald op basis van het verloop van de cumulatieve frequentieverdeling van de totale opbrengstderving, die bekend is uit de 300 realisaties. De relatieve gewasopbrengst is weergegeven. Voor de kaart verkregen met HELP1987 zijn dezelfde grenzen gekozen om de verschillen tussen beide kaarten zo objectief mogelijk te illustreren. Voor de kaart verkregen met WIB-C is niet bekend bij welke waarden van opbrengstderving of relatieve gewasopbrengst de klassegrenzen horen.

WIB-C

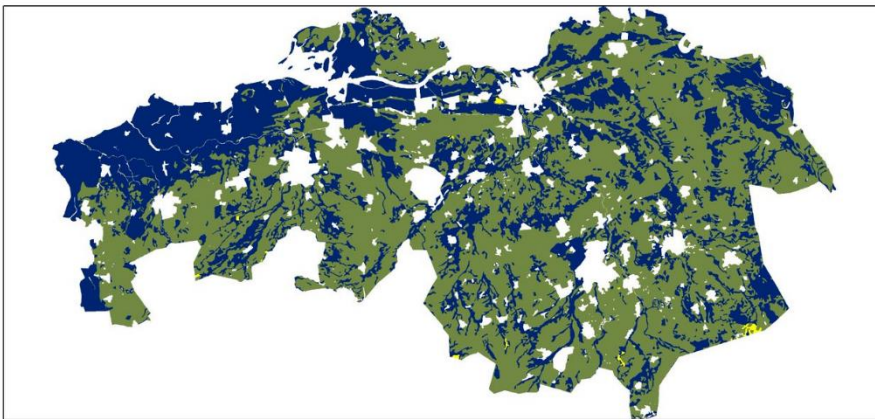


Legenda

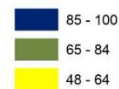


Bron: Bodemkaart van Nederland, versie 2006

HELP1987



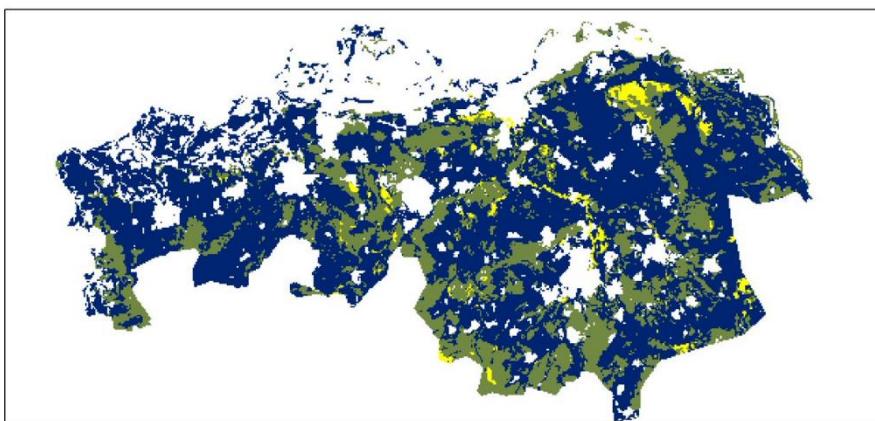
Legenda



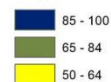
Relatieve opbrengst (%)

Bron: Bodemkaart van Nederland, versie 2006

WWL



Legenda



Relatieve opbrengst (%) voor scenario 1991-2020

Bronnen: BOFEK2020 en WDM2021

Figuur 3.6 Bodemgeschiktheidskaarten voor grasland (gemaaid) voor een 'langjarig gemiddelde situatie' gegenereerd met de methoden WIB-C, HELP1987 en WWL.

De drie kaarten van de bodemgeschiktheid voor grasland in

Figuur 3.6 verschillen. De gebieden met geringe bodemgeschiktheid in de kaart van WIB-C (gele vlakken) komen niet terug in de kaart van HELP1987, en voor een klein deel als gebieden in de laagste klasse van relatieve opbrengst in de kaart van WWL. Een mogelijke verklaring is dat bij de beoordeling van de bodemgeschiktheid in WIB-C jaren met extreem droge of natte weersomstandigheden een grotere invloed hebben dan in HELP en WWL. Gronden die gevoelig zijn voor grote veranderingen in de diepte van de grondwaterspiegel krijgen in WIB-C een lagere score voor de bodemgeschiktheid. Voorbeelden van toekenningen die leiden tot een lagere score zijn 'grote beweidingsverliezen; zeer beperkt berijdbaar' en 'groot vochttekort'.

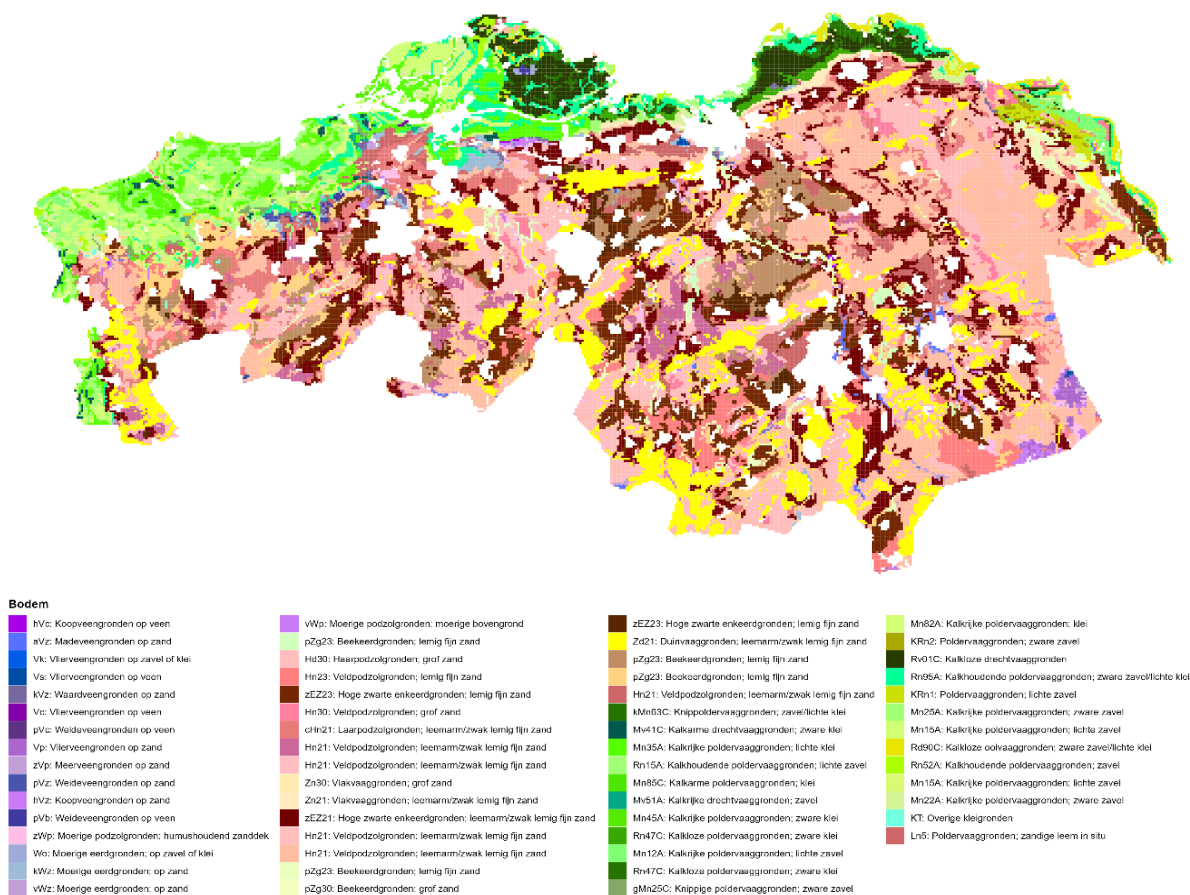
De kaart van HELP1987 geeft voor het grootste deel van de provincie een relatieve gewasopbrengst tussen 65 en 84%. De kaart van WWL geeft voor grote delen van het gebied ook waarden voor de relatieve gewasopbrengst in de klasse 85 tot 100%.

4 Resultaten

In dit hoofdstuk worden de invoerkaarten voor de WWL-tabel gepresenteerd en de resultaten voor opbrengstderiving, relatieve gewasopbrengst en bodemgeschiktheid. We presenteren niet de complete set aan resultaatkaarten, maar laten voorbeelden zien voor enkele gewassen, situaties van klimaatinvloed en van enkele uitvoervariabelen. De resultaatkaarten zijn downloadbaar via <https://doi.org/10.4121/21524442>.

4.1 Bodemschematisatie

De in de WWL-tabel gebruikte WWL-metamodellen (versie 3.0.0) zijn afgeleid voor clusters van de bodemfysische eenheden uit de Bodemfysische Eenhedenkaart van 2020 (BOFEK2020) (Heinen e.a., 2021, 2022), zoals beschreven in paragraaf 2.2.1. Een uitsnede van BOFEK2020 voor de Provincie Noord-Brabant is weergegeven in Figuur 4.1.

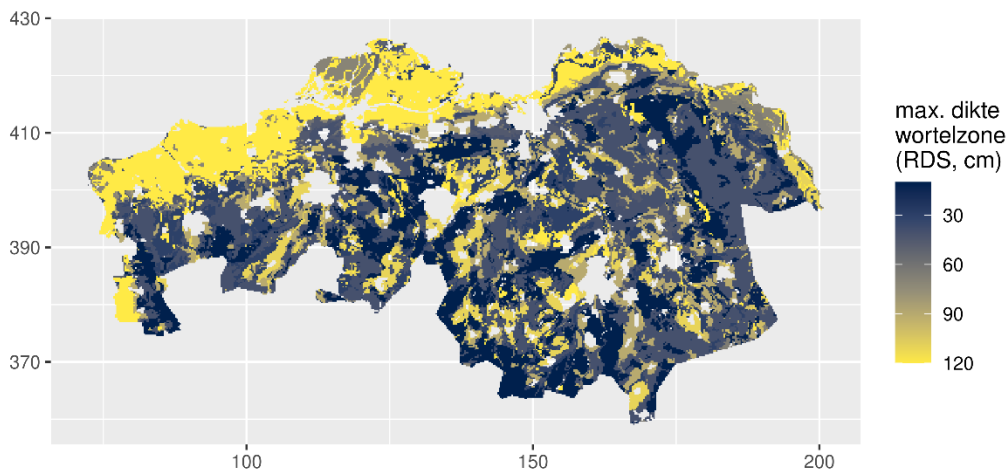


Figuur 4.1 Bodemschematisatie in BOFEK2020 voor de provincie Noord-Brabant. Bron: Heinen e.a. (2021).

In de provincie Noord-Brabant komen overwegend zandgronden (77%) voor (Figuur 4.1). Nabij de grote rivieren bevinden zich kleigronden (19%). Het meest voorkomende bodemtype is een zwak lemige zandgrond (BOFEK-eenheid: 3015).

4.2 Maximale dikte wortelzone

De maximale dikte van de wortelzone is relevant voor de simulatie van gewasgroei in WWL, omdat deze het potentiële aanbod van water aan de plant bepaalt. Figuur 4.2 geeft de ruimtelijke verdeling van de maximale dikte van de wortelzone in de provincie Noord-Brabant. De maximale dikte van de wortelzone is bepaald op basis van informatie uit bodemprofielbeschetsen. De wortelzone kan gelimiteerd worden door een te lage pH-waarde, een te hoge dichtheid, textuursprongen of aeratie.



Figuur 4.2 Ruimtelijke verdeling van de maximale dikte van de wortelzone in het doelgebied.

De volgende vuistregels zijn in WWL gehanteerd voor het bewortelbaar zijn van de bodem:

- een pH-waarde groter dan 4.0;
- een dichtheid van $1600 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ tot $1200 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, afhankelijk van het lutumgehalte (respectievelijk 20% en 65%, volgens een lineair verband).

Voor het bepalen van beperkingen in de wortelzone veroorzaakt door textuur is gekeken naar de bodemprofielbeschrijving. Er kunnen verschillende oorzaken zijn: een bodemkundige textuursprong (grofzandige lagen die dieper liggen dan de bouwvoor), blokkades in de vorm van vast gesteente (bijvoorbeeld bij kalkverweringsgronden) of het voorkomen van katteklei, knip²² of knippige klei (bodemcode gMn53C).

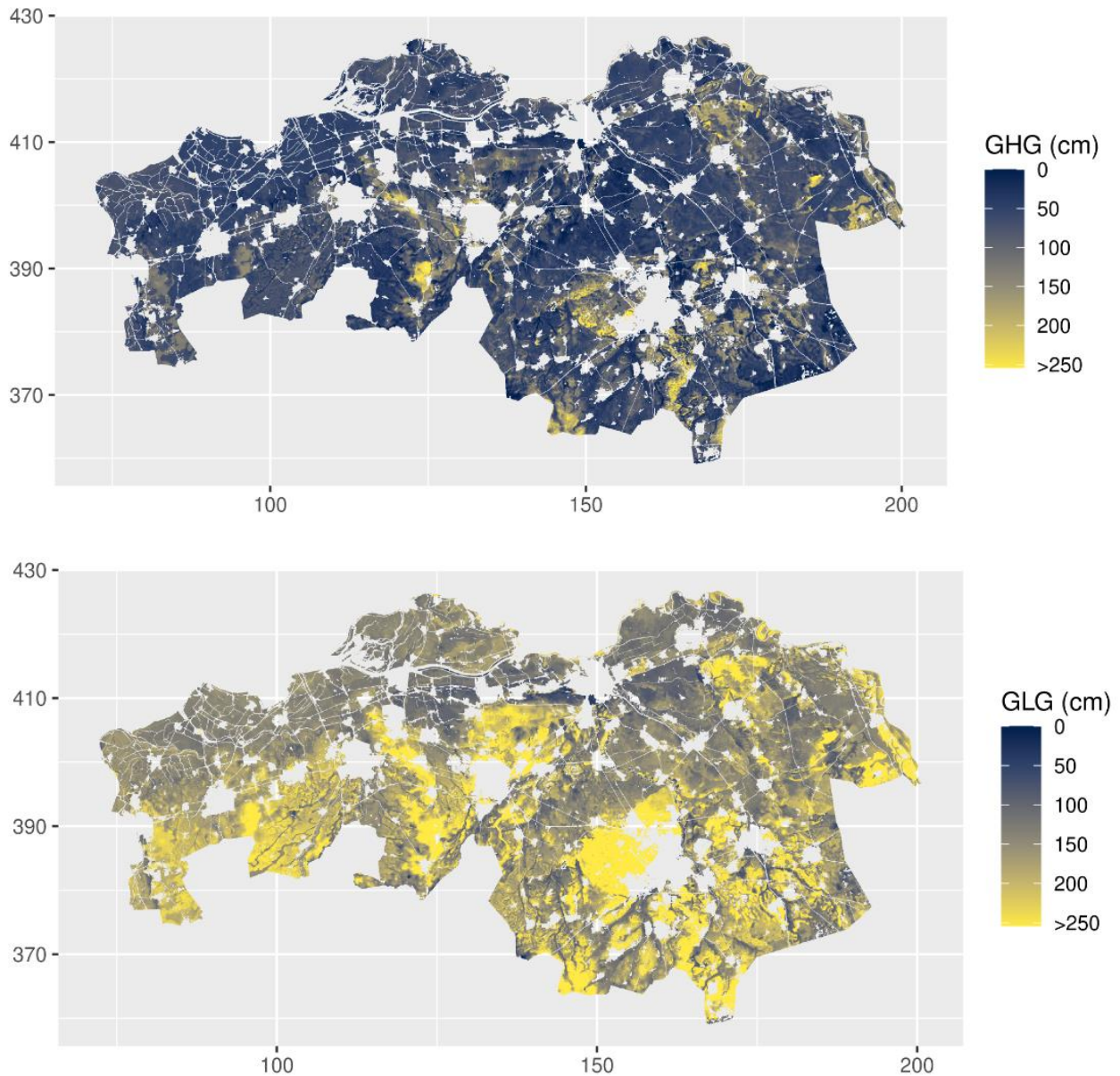
Bij luchtgehalten van minder dan 10 tot 15% wordt de beworteling sterk beperkt. Een slechte aeratie kan worden veroorzaakt door een ondiepe grondwaterspiegel, een slechte bodemstructuur of een sterke opdrachtigheid.²³ De twee laatstgenoemde oorzaken zijn nog niet meegenomen in de weergave van de maximale worteldikte. Met een slechte aeratie als gevolg van een ondiepe grondwaterspiegel wordt wel rekening gehouden in de SWAP-WOFOST modelsimulatie door de zuurstofstress aan de onderzijde van de wortelzone te monitoren. Deze beperking is daarmee afhankelijk van de tijd (en daarom niet meegenomen in Figuur 4.2). Aan het begin van het groeiseizoen begint een gewas met een initiële dikte van de wortelzone. Naarmate het gewas zich ontwikkelt, zal de dikte van de wortelzone toenemen. Deze toename wordt gestopt als er te veel zuurstofstress optreedt aan de onderzijde van de wortelzone.

²² Het Friese woord 'knip' wordt gebruikt om voor deze gronden kenmerkende eigenschappen aan te geven, zoals een grauwe, vlekkelijke kleur onder de bovengrond, een afwijkende verdeling en kleur van de roest en een wat labiele structuur. Bron: <https://legenda-bodemkaart.bodemdata.nl/begrippen>

²³ Opdrachtige grond: grond gekenmerkt door een groot capillair stijgvormogen ten gevolge van een gunstige poriënverdeling, waardoor een gewas zelfs bij lage grondwaterstanden geen last van verdroging heeft. De keerzijde voor vochtlevering aan de plant bij deze profielen is dat het luchtgehalte onvoldoende kan zijn (voor gewasgroei, *red.*). Bronnen: Ensie, Oosthoek Encyclopedie en Willy de Groot (Wageningen Environmental Research) (pers. comm.).

4.3 Grondwaterspiegeldiepte

De Gemiddeld kleinste Grondwaterspiegeldiepte (GHG) en de Gemiddeld grootste Grondwaterspiegeldiepte (GLG) zijn afkomstig van het Model Grondwaterspiegeldiepte (WDM; BROloket.nl, PDOK.nl, Knotters e.a. (2022)) (Figuur 4.3).



Figuur 4.3 Grondwaterspiegeldieptekarakteristieken GHG (boven) en GLG (onder) (medianen waarden), weergegeven voor de provincie Noord-Brabant. Bron: WDM.

4.4 Langjarig gemiddelde opbrengstderving berekend met WWL

Figuur 4.4 en Figuur 4.5 tonen de resultaten van de WWL-tabel voor de langjarige periode van klimaatgegevens 1991-2020 voor grasland dat gemaaid wordt. Figuur 4.4a geeft de mediane waarde van de totale opbrengstderving als gevolg van directe en indirecte effecten (zie paragraaf 2.4 voor uitleg van deze componenten). In iedere cel is de mediane opbrengstderving (%) weergegeven. Dat wil zeggen de

opbrengstderving waaronder en waarboven 50% van de waarden liggen die voor die cel verkregen werden met de 300 realisaties met het Grondwaterspiegeldieptemodel (WDM). Voor gebieden met donkerblauwe tinten is de opbrengstderving laag geschat, voor gebieden met bruingele tinten hoog. Resultaten van de WWL-tabel kunnen ook worden gepresenteerd als de relatieve gewasopbrengst. Dit is het complement van de totale opbrengstderving. Figuur 4.5 geeft de mediane waarde van de relatieve opbrengst voor grasland dat gemaaid wordt over de periode 1991-2020. Voor gebieden met donkerblauwe tinten is de schatting van de relatieve gewasopbrengst laag, voor gebieden met bruingele tinten hoog. Figuur 4.4b en Figuur 4.4c geven de aandelen van directe effecten en indirecte effecten in de totale opbrengstderving (opnieuw de mediane waarden voor iedere cel).

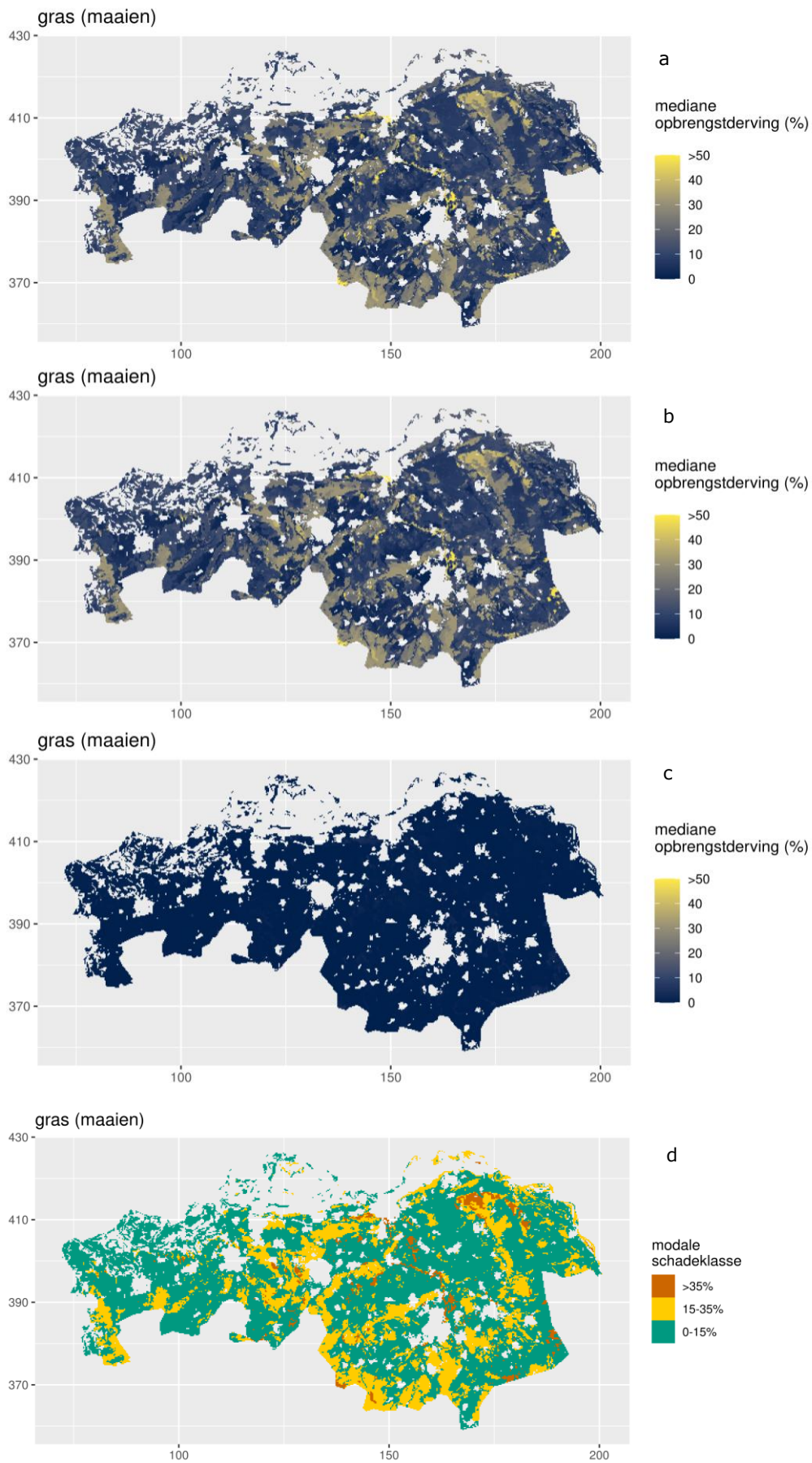
Figuur 4.4d geeft de vertaling van de totale opbrengstderving naar klassen van de bodemgeschiktheid voor grasland. De kaart geeft de meest waarschijnlijke (modale) klasse weer van de drie klassen. De rode kleur geeft gebieden met een lage geschiktheid voor grasland op grond van een opbrengstderving van meer dan 35%. De geel en groen gekleurde gebieden geven respectievelijk een gemiddelde en hoge geschiktheid voor gemaaid grasland, op grond van een opbrengstderving van resp. 15-35% en minder dan 15%. Bij het interpreteren van de resultaten is het belangrijk te beseffen dat de variatie in de resultaten tussen realisaties voor een gegeven gewas en klimaatperiode in deze figuur alleen bepaald wordt door variaties in de fluctuatie van de grondwaterspiegeldiepte, zoals deze gegeven wordt door het Grondwaterspiegeldieptemodel (WDM).

In de geel gekleurde zones geeft de dikte van de wortelzone beperkingen aan de gewasgroei. Er zijn ook gebieden waar de klassen van hoge en lage (groen en rood) geschiktheid aan elkaar grenzen, bijvoorbeeld waar enkeerdgronden voorkomen naast veldpodzolgronden, zoals ten noorden van Baarle-Nassau.

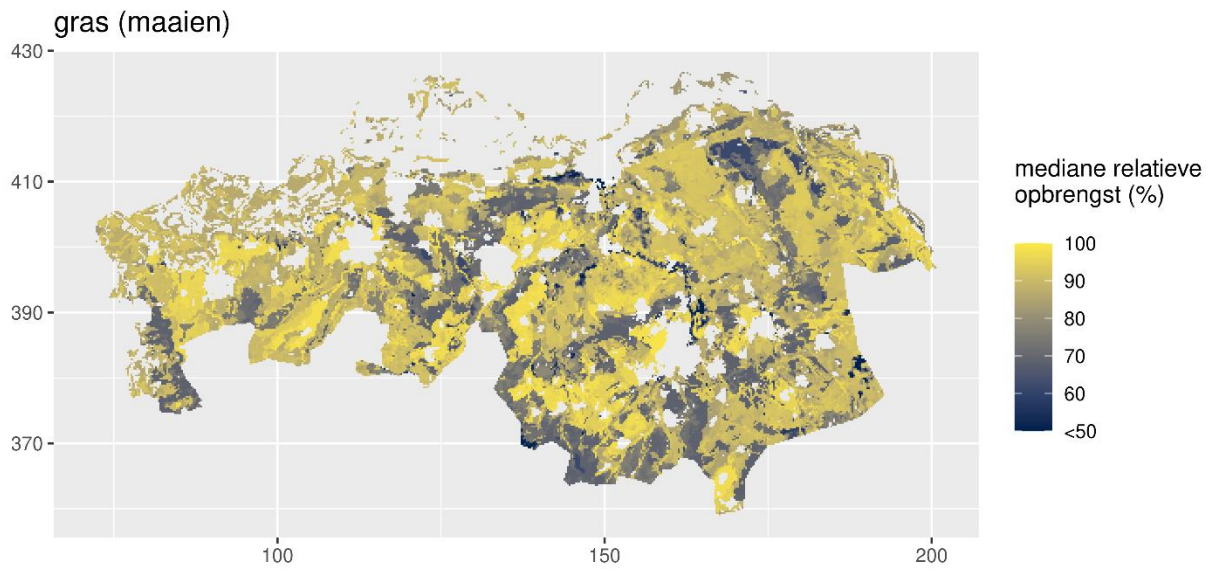
Figuur 4.6 en Figuur 4.7 tonen de percentielen (5% en 95%) en de mediane waarde van de totale opbrengstderving en van de relatieve opbrengst van de gewassen waarop de WWL-tabel is toegepast voor de periode 1991-2020. De kaarten voor de percentielen geven de grenzen aan van de totale opbrengstderving of de relatieve gewasopbrengst, waartussen 90% van de resultaten ligt die in de WWL-tabel verkregen zijn met de 300 realisaties van het Grondwaterspiegelmodel (WDM). Blauwe tinten geven lage waarden van de opbrengstderving en relatieve gewasopbrengst weer, gele tinten hoge. Hoe groter het contrast tussen de kaarten p05 en p95, hoe groter onze onzekerheid over de totale opbrengstderving of relatieve gewasopbrengst, die bepaald wordt door de fluctuatie in de diepte van de grondwaterspiegel. WDM is momenteel het enige bronbestand waarvan de betrouwbaarheid is gekwantificeerd. We kunnen dus alleen het effect van WDM op de opbrengstderving uitrekenen. De betrouwbaarheid van bijvoorbeeld de bodemkaart, de bewortelingsdiepte, de meteorologie, de fenologie of van de modellen SWAP en WOFOST is niet verdisconteerd in de opbrengstderving en in de relatieve gewasopbrengst.

De ruimtelijke patronen van de totale opbrengstderving en van de relatieve gewasopbrengst worden veroorzaakt door een wisselwerking van te droge en te natte omstandigheden. Onder droge omstandigheden spelen watervraag en -aanbod een belangrijke rol. De watervraag wordt gestuurd door de meteorologische condities en de gewasontwikkeling. Zo zal de watervraag op een warme dag hoger zijn dan op een koude dag, en zal de watervraag van een gewas dat net is ontkiemd kleiner zijn dan van een gewas dat al een volwassen stadium heeft bereikt. Het wateraanbod wordt gestuurd door de hoeveelheid water die aan de bodem kan worden onttrokken. De dikte van de wortelzone (Figuur 4.2) speelt hier een belangrijke rol, net als de toestroom van bodemwater naar de wortelzone (denk aan neerslag die in de bodem infiltreert, infiltratie vanuit het oppervlaktewater en capillaire nalevering aan de onderzijde van de wortelzone).

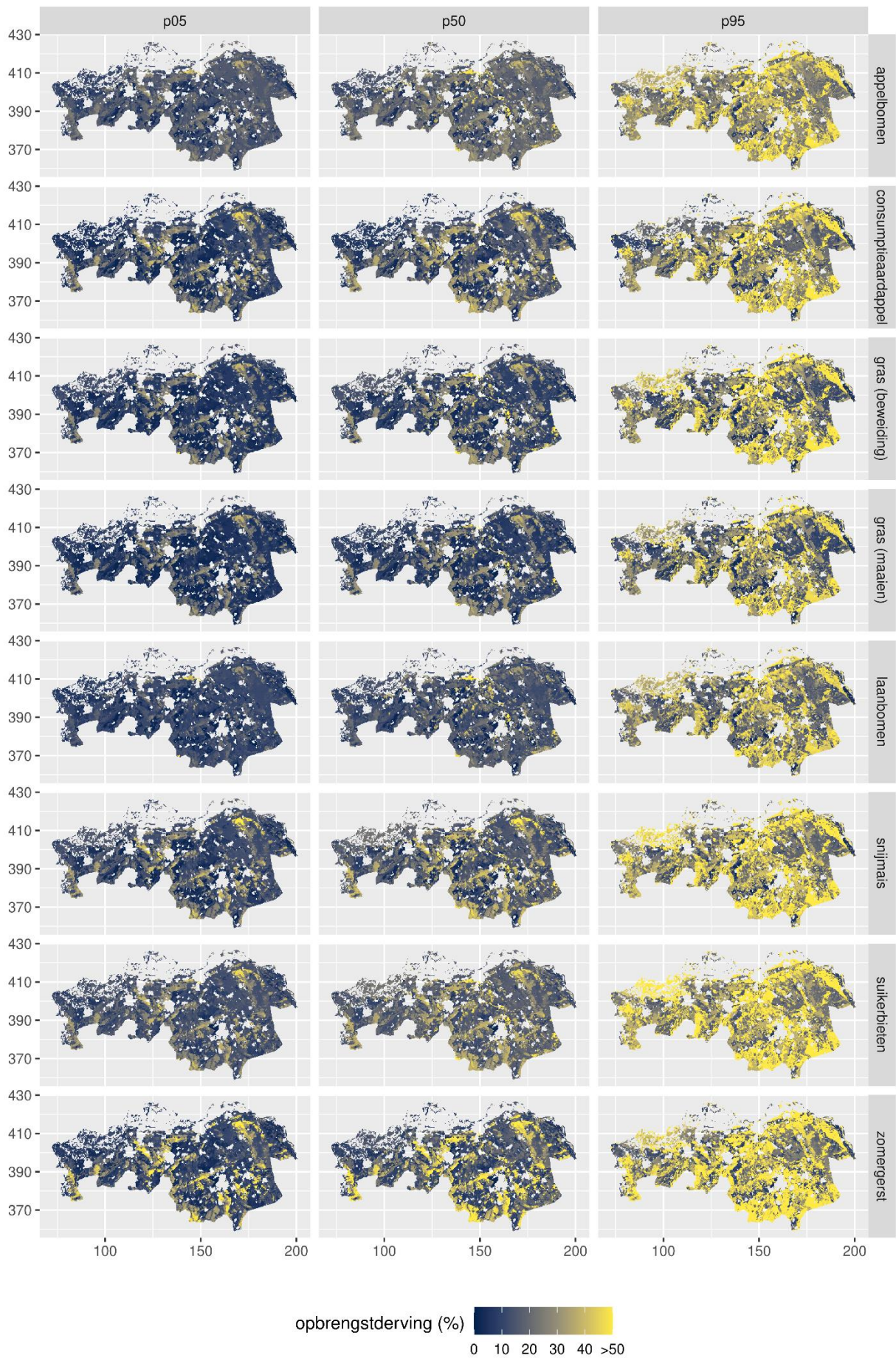
Onder natte omstandigheden is een teveel aan bodemwater in de wortelzone doorslaggevend. Te natte omstandigheden in het voorjaar zullen met name tot uiting komen in opbrengstderving als gevolg van indirecte effecten. Dit zal bij een gewas met een relatief vroeg groeiseizoen eerder optreden dan bij een gewas met een relatief laat groeiseizoen. Te natte omstandigheden gedurende het groeiseizoen worden vooral veroorzaakt door een teveel aan neerslag. De doorlatendheid van de bodem bepaalt dan in welke mate er een tekort aan zuurstof optreedt.



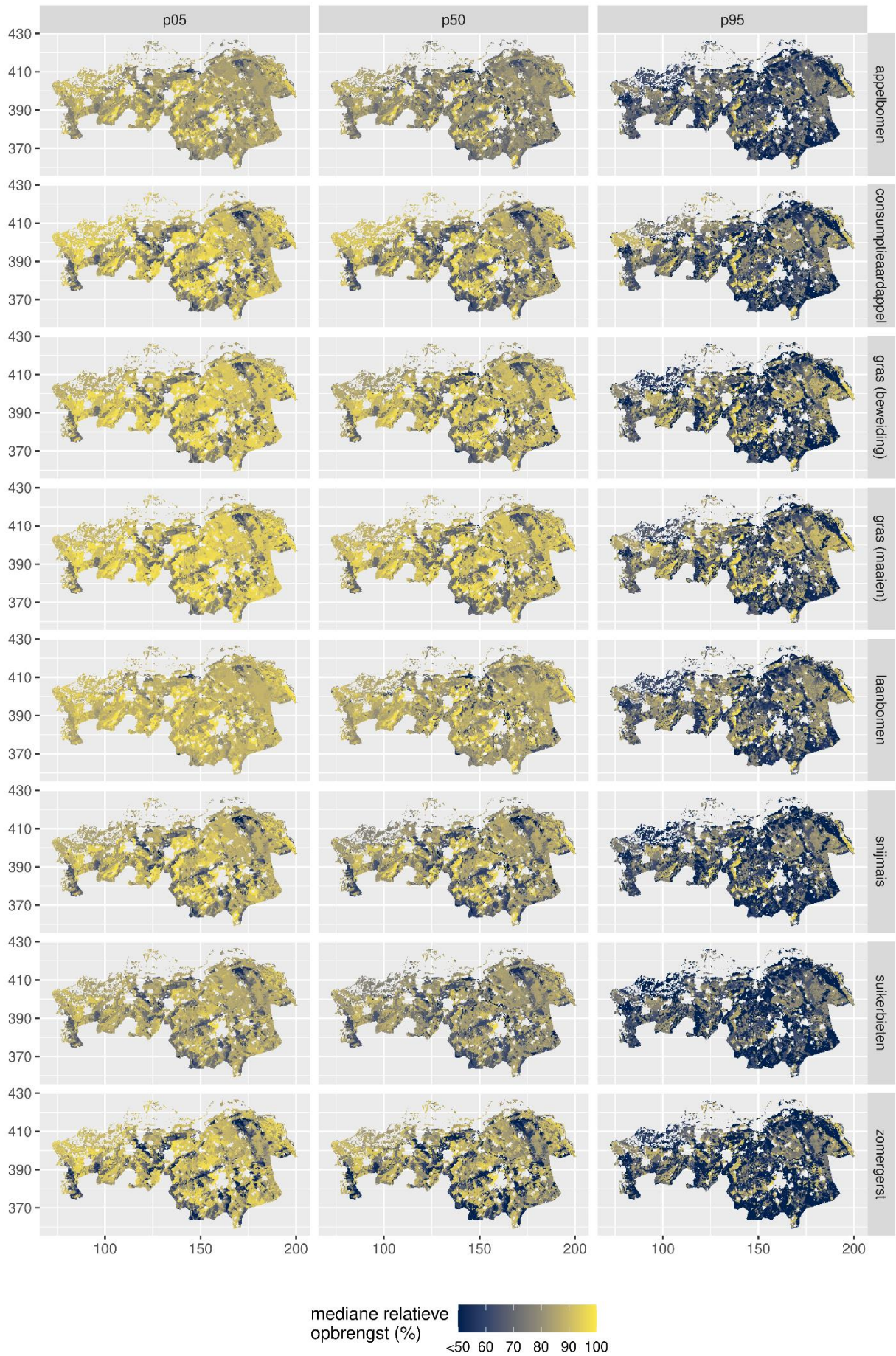
Figuur 4.4 Resultaten van de WWL-tabel voor grasland (met beheer maaien) voor de langjarige periode 1991-2020. a: totale opbrengstderving; b: directe opbrengstderving; c: indirecte opbrengstderving; d: vertaling naar bodemgeschiktheidsklassen.



Figuur 4.5 Resultaten van de WWL-tabel voor grasland (met beheer maaien) voor de langjarige periode 1991-2020: mediane relatieve gewasopbrengst.



Figuur 4.6 Percentielen (p05: 5% en p95: 95%) en mediane waarden van de totale opbrengstderiving over de periode 1991-2020 voor verschillende gewassen.



Figuur 4.7 Percentielen (p05: 5% en p95: 95%) en mediane waarden van de relatieve gewasopbrengst over de periode 1991-2020 voor verschillende gewassen.

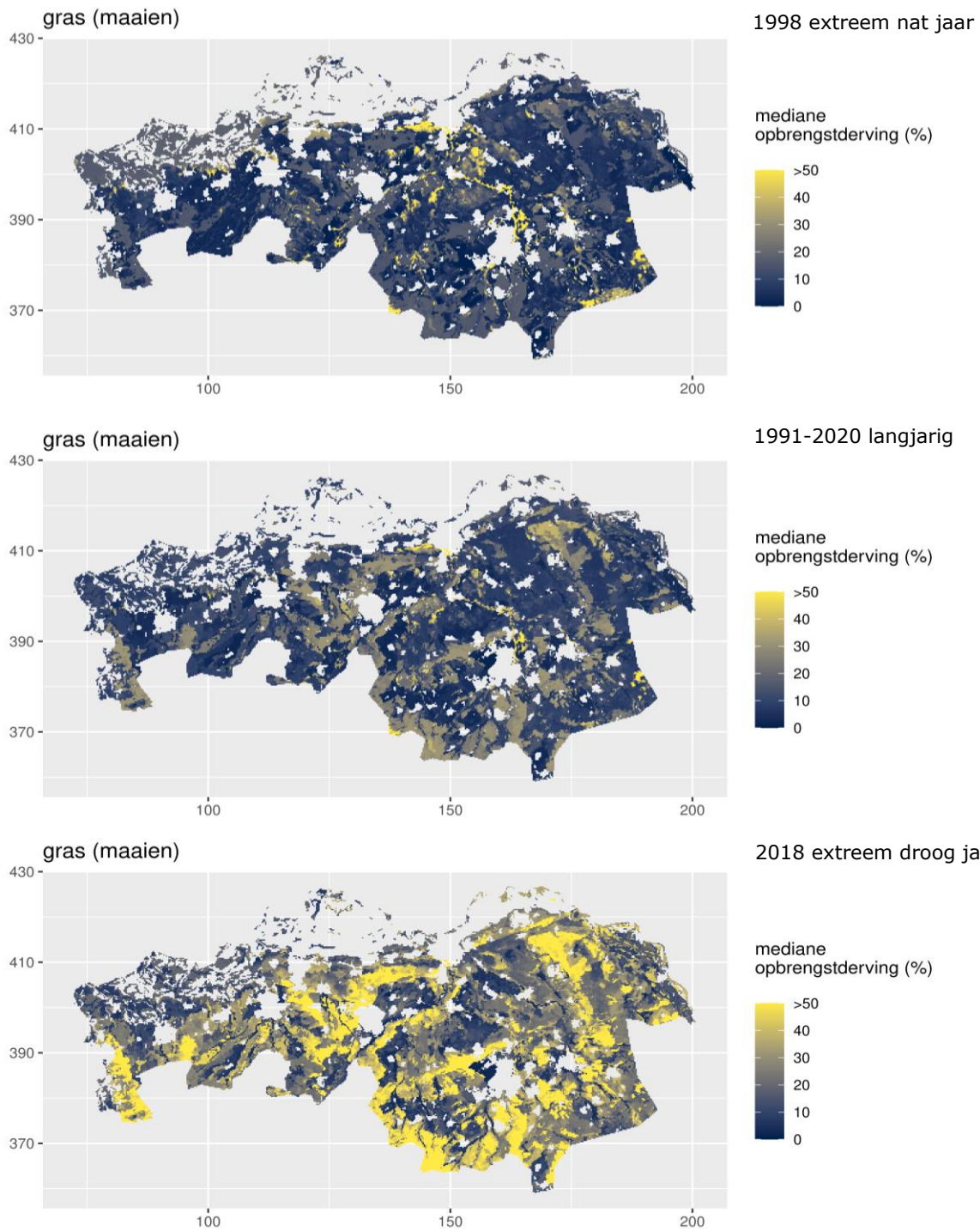
4.5 Opbrengstderving in een extreem nat en droog jaar

Om een indruk te krijgen van het effect van extreem natte of droge jaren op de opbrengstderving, is voor een aantal gewassen de opbrengstderving voor een extreem nat jaar (1998) en een extreem droog jaar (2018) vergeleken met de gemiddelde opbrengstderving over een lange periode, in dit geval 1991-2020. De resultaten voor de mediane waarden van de opbrengstderving zijn weergegeven in Figuur 4.8 t/m Figuur 4.11. Voor de relatieve gewasopbrengst zijn de resultaten gegeven in Figuur 4.12 t/m Figuur 4.15. Berekening wordt niet toegepast in de modelsimulaties.

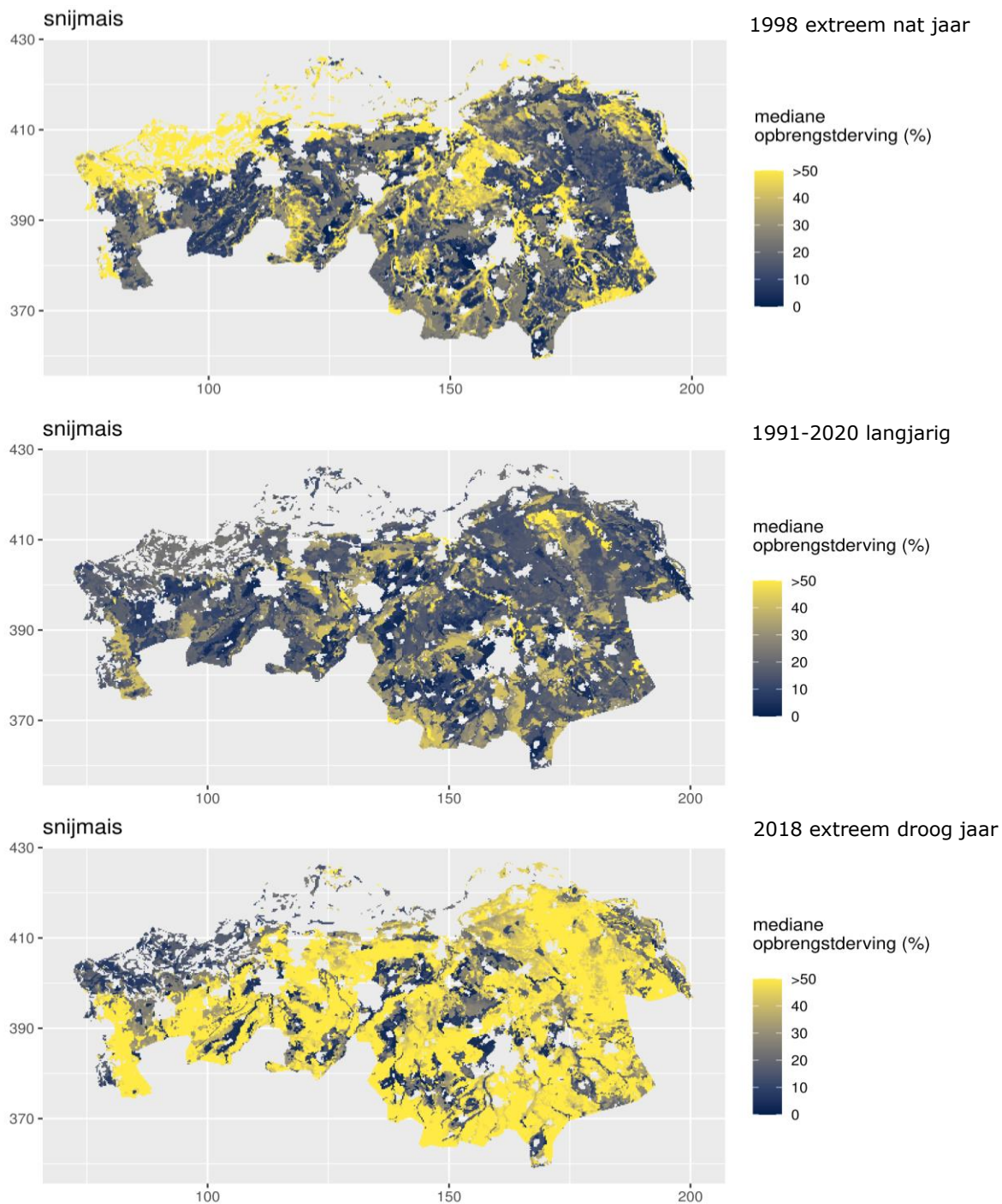
Voor grasland worden de grootste opbrengstderving en de kleinste relatieve gewasopbrengst gesimuleerd in het extreem droge jaar 2018, met waarden tot 50% voor de opbrengstderving en onder 50% in delen van de provincie. In het extreem natte jaar 1998 lijkt de mediane opbrengstderving minder groot in de gebieden waar voor de langjarig gemiddelde situatie waarden van rond de 30% opbrengstderving worden gesimuleerd (Figuur 4.8). Grasland dat gemaaid wordt, heeft in een nat jaar minder schade dan grasland dat beweid wordt. Dit komt omdat op grasland met beweiding het vee aan het begin van het groeiseizoen schade kan aanbrengen door vertrapping. In de WWL-tabel start beweiding als er voldoende biomassa op het land staat. Vanaf dat moment kan dan vertrapping plaatsvinden, en de schade is groter naarmate de bodem natter is. Bij grasland dat gemaaid wordt, is de eerste maaibeurt in april. De grondwaterspiegel staat dan dieper onder het maaiveld dan bij het begin van de beweiding.

Voor snijmais tonen de kaarten van de mediane opbrengstderving en van de relatieve gewasopbrengst grote verschillen tussen de gemiddelde langjarige situatie en de situatie in een extreem nat en droog jaar (Figuur 4.9 en Figuur 4.13). In het droge jaar 2018 geeft de WWL-tabel voor het grootste deel van de provincie waarden van de mediane opbrengstderving van meer dan 40% (gele tinten in Figuur 4.9), en van minder dan 60% voor de relatieve gewasopbrengst (Figuur 4.13). In de langjarig gemiddelde situatie komen deze waarden maar in enkele kleine gebieden voor. In het extreem natte jaar (1998) zijn er ook gebieden met een mediane opbrengstderving groter dan 40%, maar ook gebieden met nauwelijks schade (<10%, donkerblauw in Figuur 4.9), en een relatieve gewasopbrengst >90% (gele tinten in Figuur 4.13). De kaarten voor suikerbieten vertonen een vergelijkbaar patroon (Figuur 4.11 en Figuur 4.15).

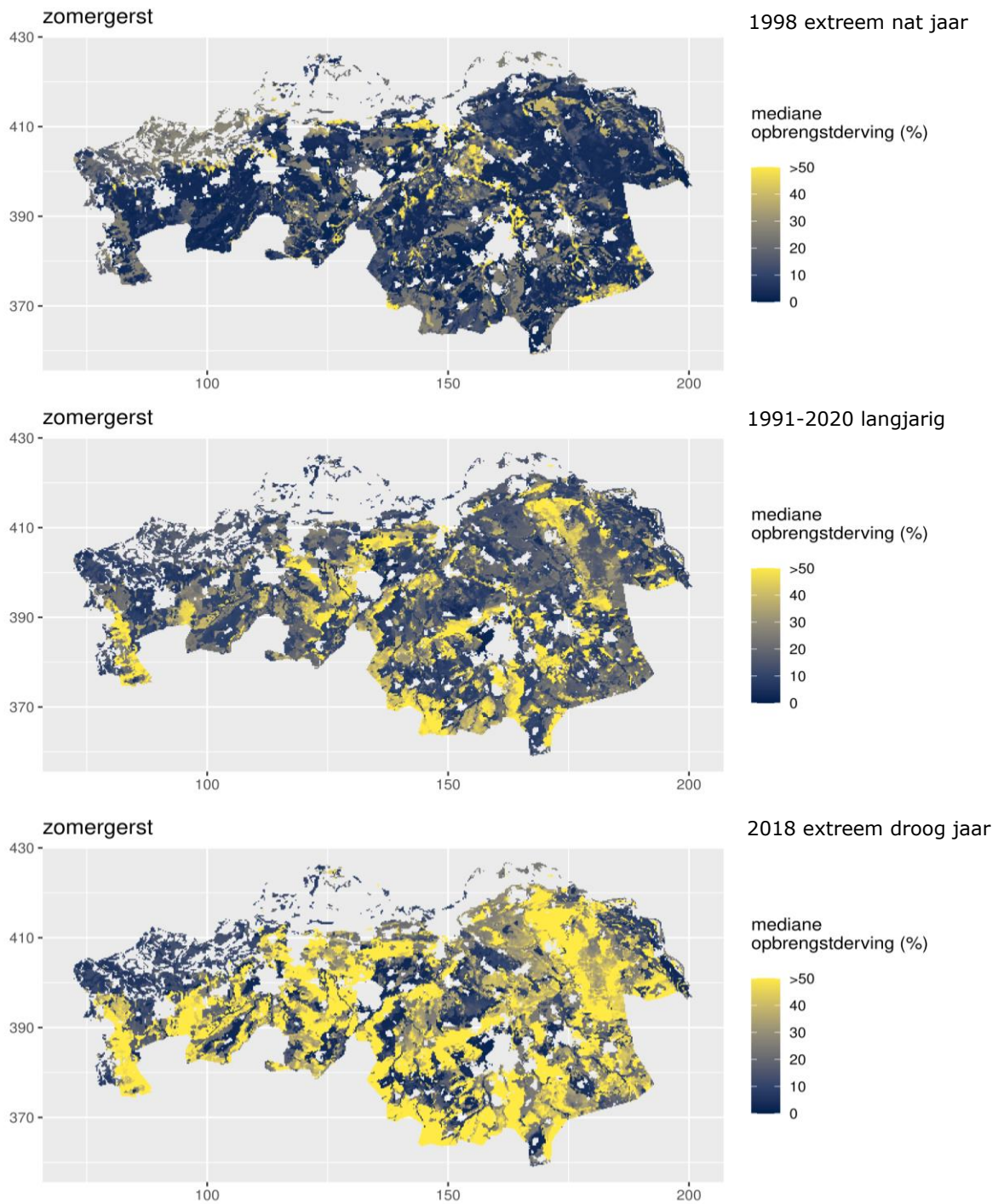
Ook voor zomergerst zijn er grote verschillen tussen de mediane opbrengstderving en de relatieve gewasopbrengst in de drie situaties (Figuur 4.10 en Figuur 4.14). Het droge jaar (2018) geeft de grootste schade, met meer dan 30% derving in een groot deel van de provincie. De natte situatie geeft relatief weinig opbrengstderving: <25% in een groot deel van het gebied (Figuur 4.10), en een relatieve gewasopbrengst van >75% (Figuur 4.14).



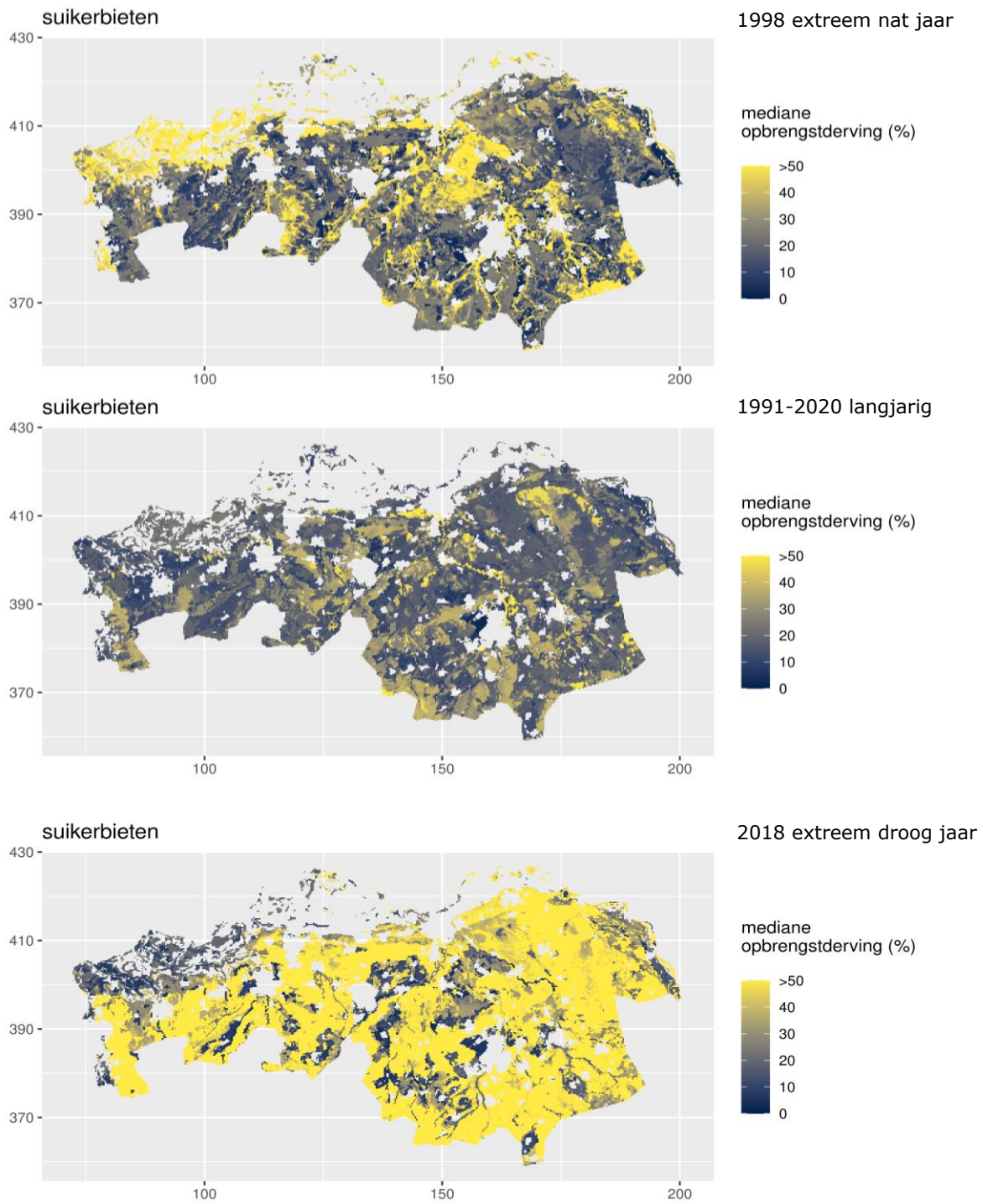
Figuur 4.8 Mediane opbrengstderving in een extreem nat (bovenste figuur) en droog jaar (onderste figuur), vergeleken met de gemiddelde situatie over 1991-2020 (middelste figuur) voor grasland (gemaaid).



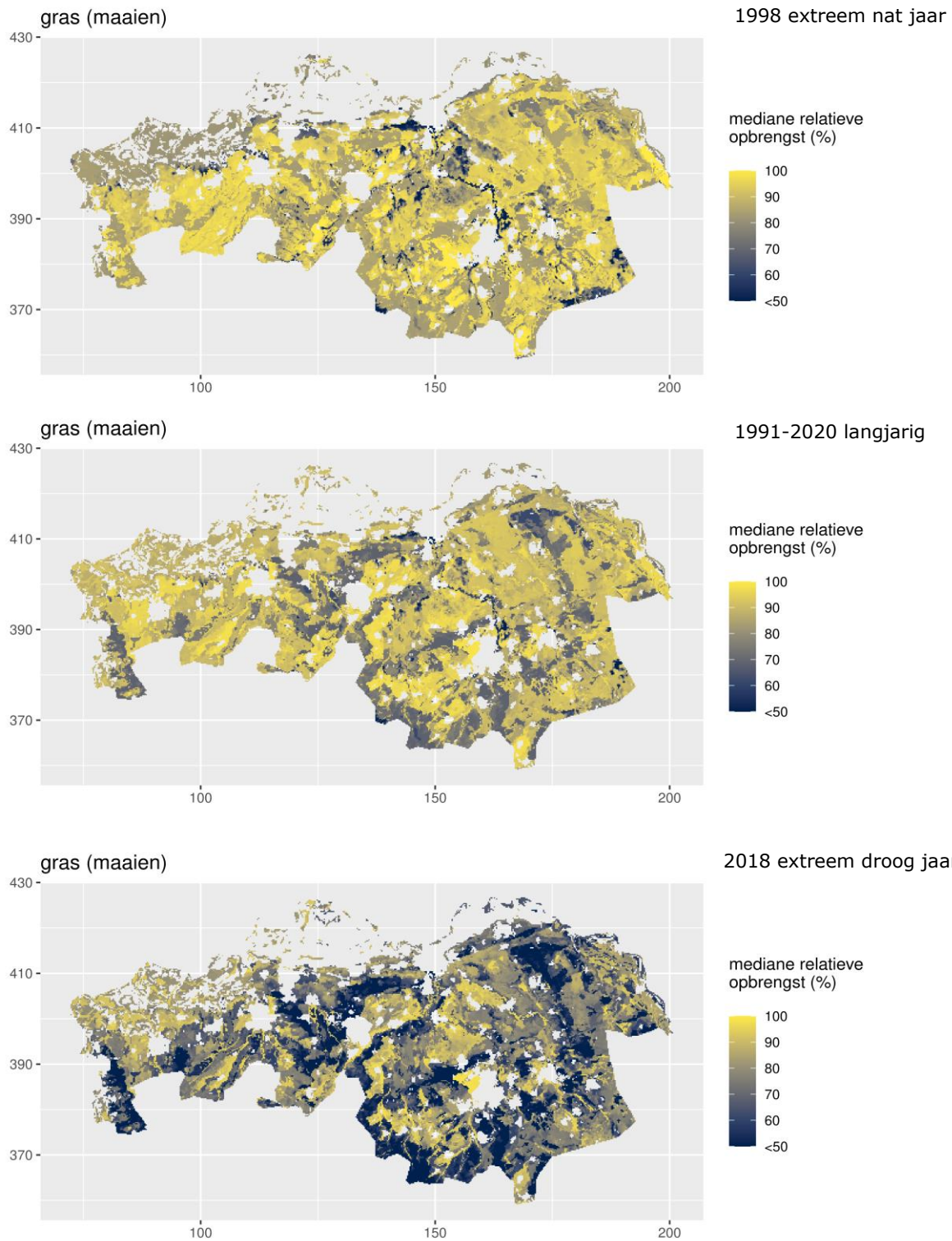
Figuur 4.9 Mediane opbrengstderving in een extreem nat (bovenste figuur) en droog jaar (onderste figuur), vergeleken met de gemiddelde situatie over 1991-2020 (middelste figuur) voor snijmais.



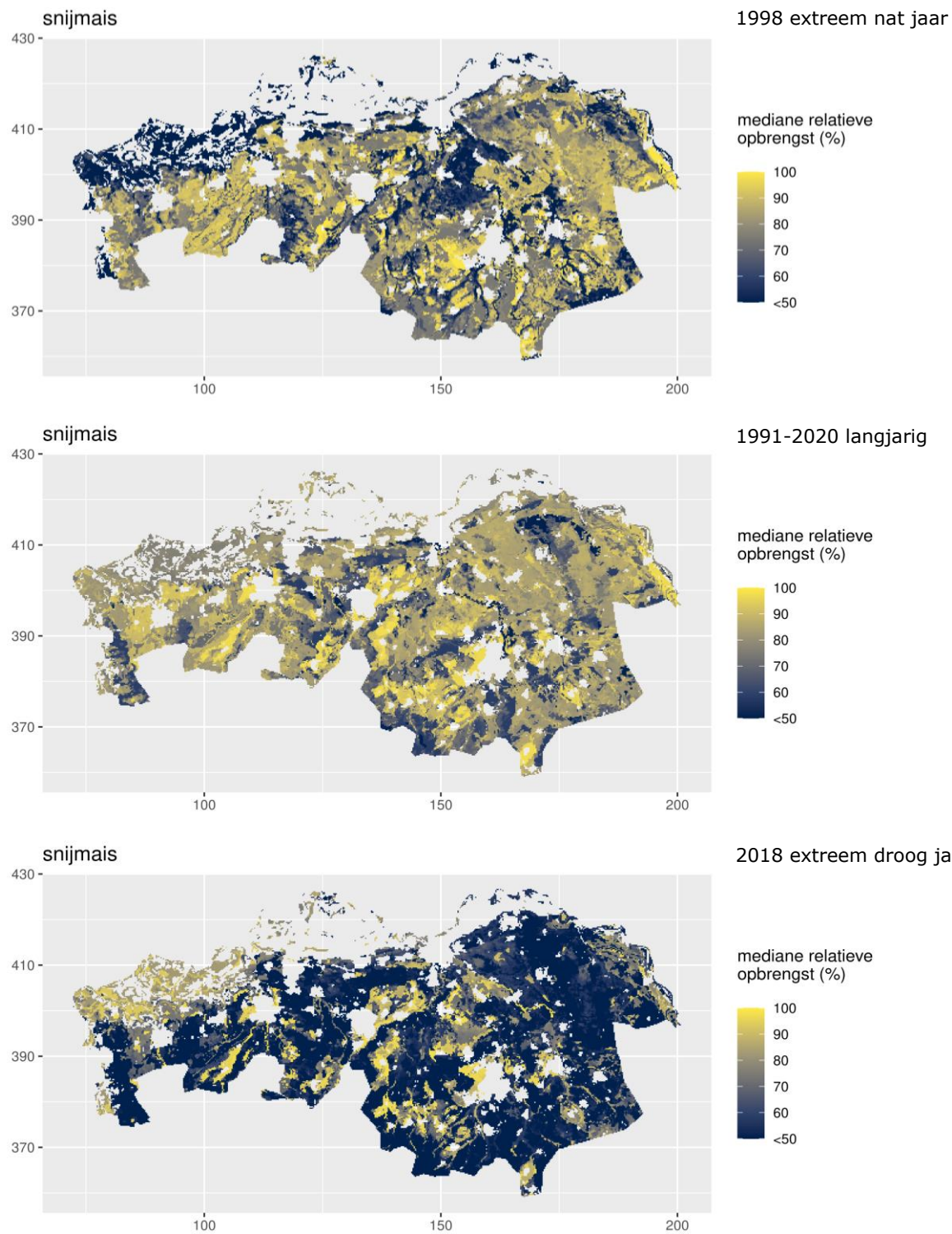
Figuur 4.10 Mediane opbrengstderving in een extreem nat (bovenste figuur) en droog jaar (onderste figuur), vergeleken met de gemiddelde situatie over 1991-2020 (middelste figuur) voor zomergerst.



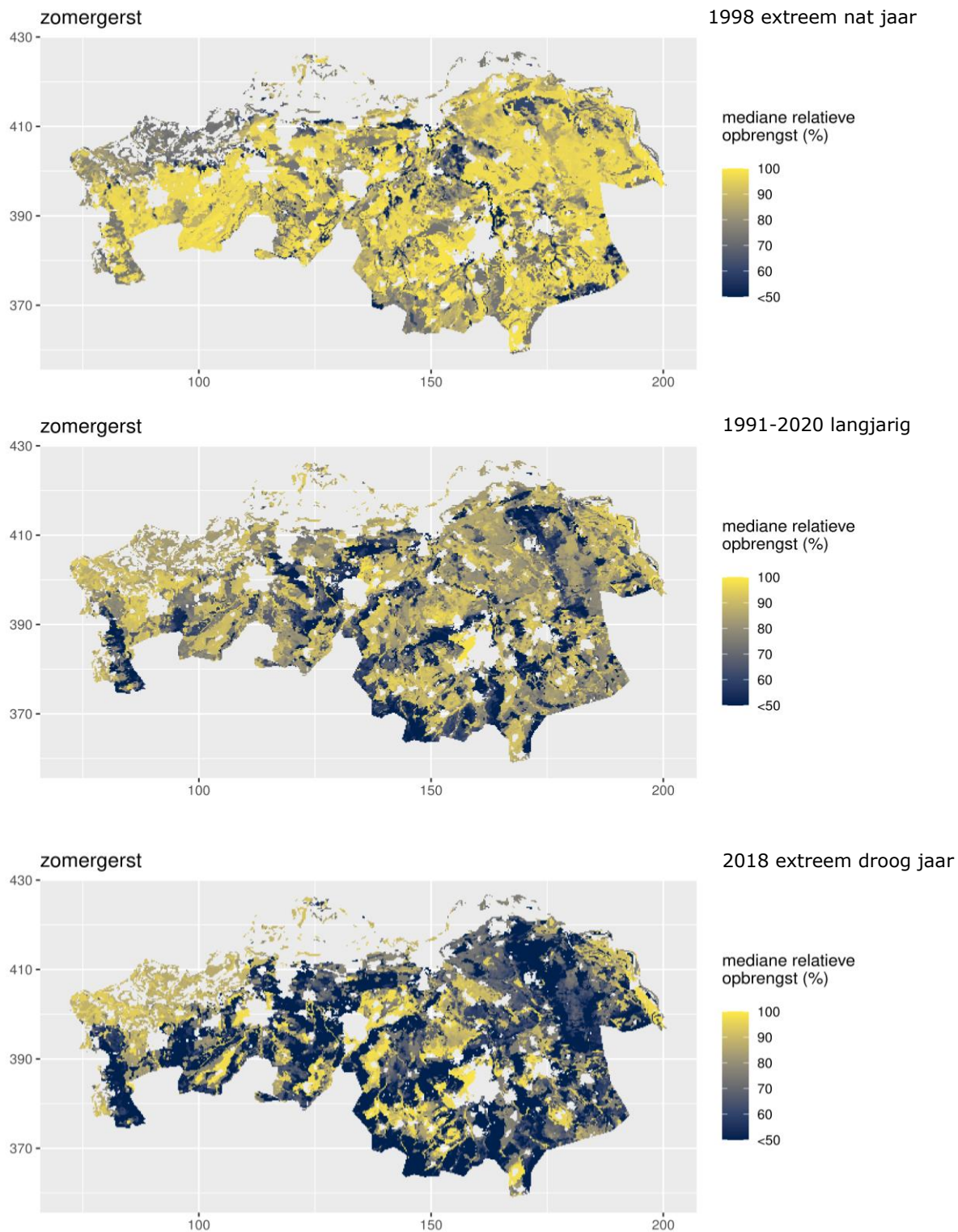
Figuur 4.11 Mediane opbrengstderving in een extreem nat (bovenste figuur) en droog jaar (onderste figuur), vergeleken met de gemiddelde situatie over 1991-2020 (middelste figuur) voor suikerbiet.



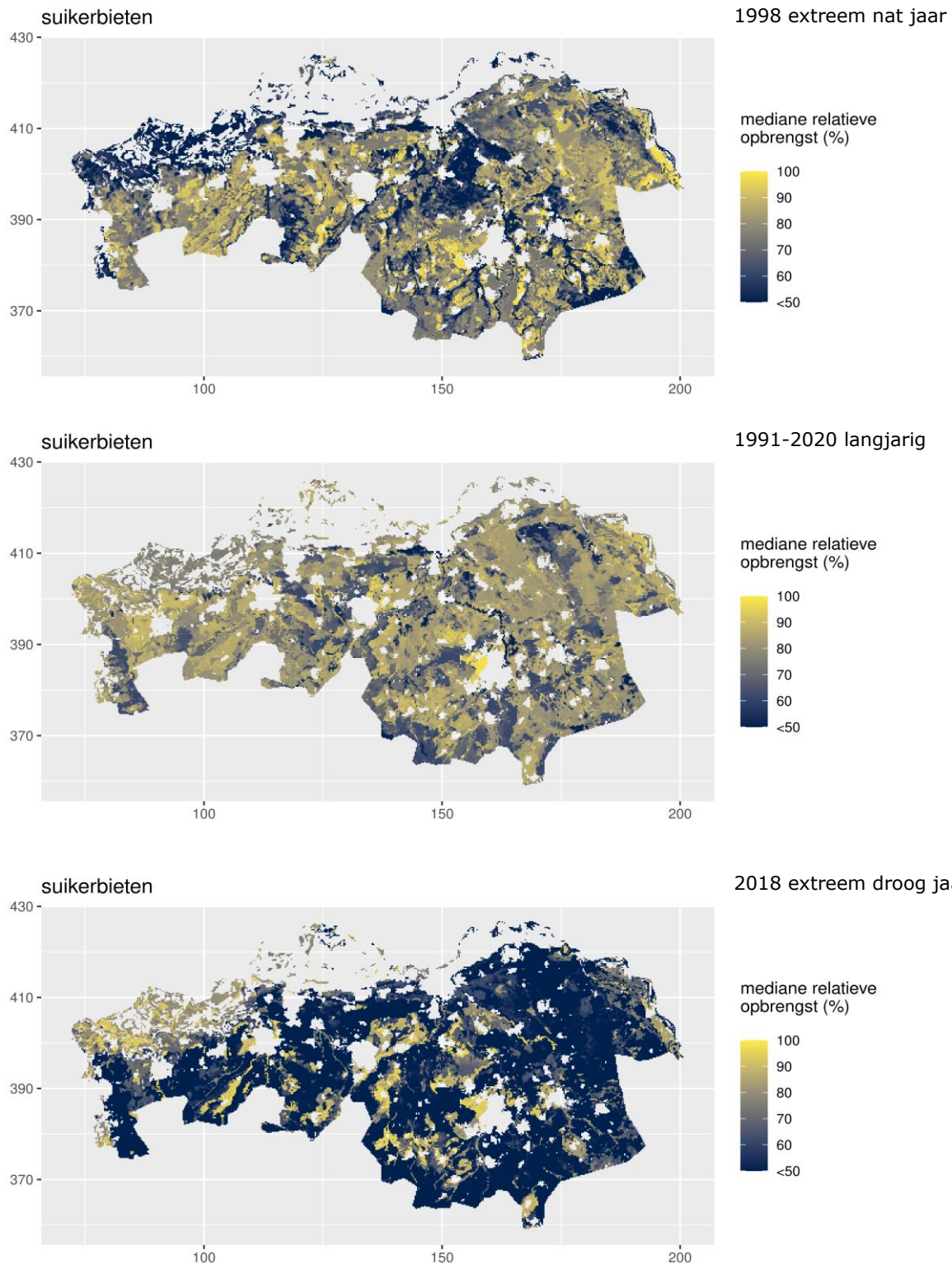
Figuur 4.12 Mediane relatieve gewasopbrengst in een extreem nat (bovenste figuur) en droog jaar (onderste figuur), vergeleken met de gemiddelde situatie over 1991-2020 (middelste figuur) voor grasland (gemaaid).



Figuur 4.13 Mediane relatieve gewasopbrengst in een extreem nat (bovenste figuur) en droog jaar (onderste figuur), vergeleken met de gemiddelde situatie over 1991-2020 (middelste figuur) voor snijmais.



Figuur 4.14 Mediane relatieve gewasopbrengst in een extreem nat (bovenste figuur) en droog jaar (onderste figuur), vergeleken met de gemiddelde situatie over 1991-2020 (middelste figuur) voor zomergerst.



Figuur 4.15 Mediane relatieve gewasopbrengst in een extreem nat (bovenste figuur) en droog jaar (onderste figuur), vergeleken met de gemiddelde situatie over 1991-2020 (middelste figuur) voor suikerbieten.

4.6 Opbrengstderving in een klimaatscenario 2050 (W_H)

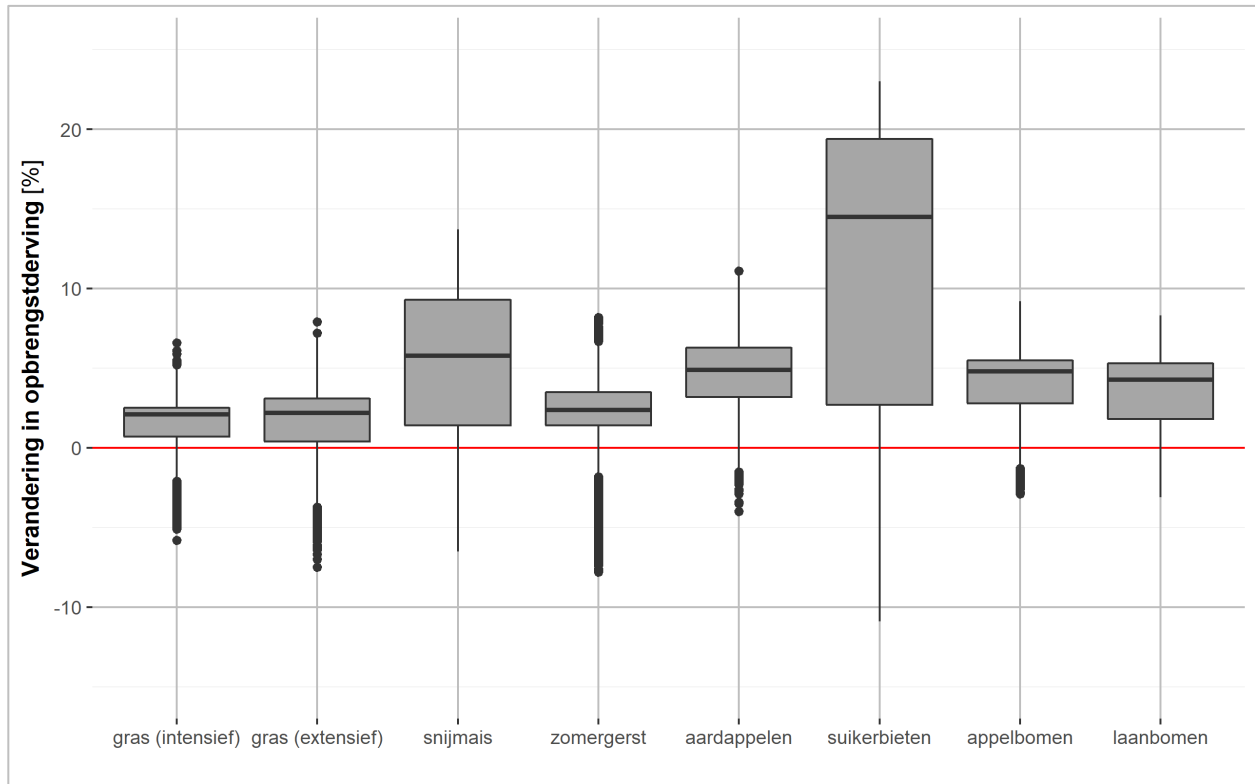
De gesimuleerde gewasontwikkeling in Waterwijzer Landbouw is afhankelijk van de meteorologische condities. Als gevolg van verandering in de meteorologische condities in het KNMI'14-klimaatscenario W_H zal de potentiële gewasopbrengst ook veranderen. De mate waarin de potentiële gewasopbrengst verandert, hangt af van het type gewas, zoals weergegeven in Tabel 4.1. Het klimaatscenario houdt ook rekening met variaties in neerslag, temperatuur en zonnestraling tussen seizoenen en jaren.

Tabel 4.1 Toename van de potentiële gewasopbrengst als gevolg van een verandering in meteorologische condities in het W_H -scenario. t_{ds} : ton droge stof.

Gewas	Potentiële gewasopbrengst ($t_{ds} \cdot ha^{-1}$)	Toename van de potentiële gewasopbrengst (%)
gras (intensief)	16.2	17
gras (extensief)	12.4	17
snijmais	20.6	0
zomergerst	7.2	7
aardappelen	13.0	4
suikerbieten	17.1	15

Door de stijging van de gemiddelde temperatuur zal de fenologische gewasontwikkeling sneller verlopen. Vooral bij grasland en suikerbieten is een sterke toename te zien van de potentiële gewasopbrengst. Door de temperatuurstijging zal grasland vaker worden geoogst. Suikerbieten hebben als eigenschap dat het gewas aan het einde van het groeiseizoen energie kan blijven stoppen in het oogstbare product (orgaan). Maar een gewas als snijmais rijpt sneller af. De maiskolf wordt gevormd in een korter tijdsbestek. Het sneller afrijpen en de vorming van biomassa zijn aparte processen. Daarom hoeft het sneller afrijpen van mais niet te leiden tot een hogere gewasopbrengst.

De verandering in meteorologische condities werkt niet alleen door in de gewasontwikkeling, maar zal ook doorwerken in de watervraag van het gewas. Deze is afhankelijk van de gewasontwikkeling en van de meteorologische condities. Door de stijging in temperatuur en zonnestraling zal de watervraag van het gewas toenemen. De opbrengstderving zal afhangen van de mate waarin aan deze watervraag kan worden voldaan. Dit wordt getoond in Figuur 4.16.



Figuur 4.16 Verandering van de langjarig gemiddelde opbrengstderving (%) als gevolg van verandering in meteorologische condities (W_H -klimaatscenario); bepaald met de WWL-metarelaties 3.0.0 ten opzichte van de periode 1991-2020.

Hoewel het met de WWL-tabel mogelijk is om resultaten op te vragen voor een toekomstig klimaatscenario, is het belangrijk om bij de interpretatie te beseffen dat het geen volledige klimaatprojectie betreft. Het grondwaterregime zal namelijk ook worden beïnvloed door de verandering in meteorologische condities. De bovenstaande resultaten houden daar geen rekening mee, omdat de realisaties van het WDM alleen betrekking hebben op de huidige klimaatperiode.

5 Discussie

De resultaten van deze studie geven een inschatting van de bodemgeschiktheid voor landbouw in de provincie Noord-Brabant. Voor een afweging van verschillende vormen van landgebruik is Waterwijzer Landbouw niet geschikt. Voor het inschatten van de potentie van gebieden voor natuur zou bijvoorbeeld Waterwijzer Natuur (WWN)²⁴ toegepast kunnen worden. Met Waterwijzer Natuur kan worden vastgesteld of de waterhuishouding in een gebied geschikt is voor natuurdoelen, in het huidige klimaat en in een ander klimaat. Waterwijzer Landbouw en Waterwijzer Natuur kunnen samen worden ingezet voor het optimaliseren van de waterhuishouding in een gebied en voor het vinden van locaties die geschikt zijn voor gewenste typen landbouwgewassen en natuurvegetaties (Bartholomeus e.a., 2018).

Tijdens de uitvoering van het onderzoek zoals beschreven in dit rapport kwam vaak de vraag naar voren waarom de resultaten zo anders zijn dan die van de oude methoden, zoals de HELP-tabellen. De verschillen in modelresultaten kunnen we inzichtelijk maken, maar we kunnen niet uitleggen waardoor de verschillen veroorzaakt worden, omdat de modelresultaten van de HELP-tabellen niet meer kunnen worden gereproduceerd. Dit was aanleiding voor de wetenschappelijke adviescommissie NHI, die in het najaar van 2021 een oordeel heeft geveld over de toepasbaarheid en validiteit van het WWL-modelinstrumentarium, om het gebruik van de 'oude' methodieken af te raden (Wetenschappelijke Adviescommissie NWM/NHI, 2022). De argumenten van de adviescommissie waren niet alleen dat de resultaten van de oudere methoden niet (meer) reproduceerbaar zijn, maar ook dat ze aantoonbaar conceptuele tekortkomingen hebben en geen rekening houden met de al optredende en verwachte klimaatverandering. De commissie adviseerde ook om de verschillen tussen de WWL-tabel en de HELP-tabellen grondiger te duiden. In de voorgaande hoofdstukken is geprobeerd om dat te doen. In dit hoofdstuk vatten we deze verschillen samen.

Verskillende methoden geven verschillende resultaten

Uitkomsten voor de opbrengstderving van gewassen verschillen tussen de methoden Waterwijzer Landbouw (WWL), WIB-C en HELP. WIB-C is een kwalitatieve methode die resultaten niet uitdrukt in opbrengstderving of relatieve gewasopbrengst, maar die bodemtypen indeelt in geschiktheidsklassen. Het verschil tussen WWL en HELP is gelegen in verschillen in invoergegevens en rekenwijze die de methoden gebruiken. De meteorologische invoergegevens zijn in HELP voor de periode 1956-1986. Het klimaat is echter veranderd. WWL gebruikt voor de toepassing van de WWL-tabel in deze studie gegevens van de periode 1991-2020. WWL kan bovendien worden toegepast voor toekomstige situaties met klimaatinvoergegevens voor scenario's en levert ook resultaten voor verschillende weerjaren. Dit kan niet met HELP of WIB-C.

Voor de simulatie van grasland en de meest voorkomende akkerbouwgewassen maakt WWL gebruik van een dynamische gewasmodule. Hierbij is de potentiële gewasontwikkeling afhankelijk van de meteorologische condities die van jaar tot jaar variëren. Door ongunstige omstandigheden voor gewasgroei kunnen het groeiseizoen en de actuele gewasontwikkeling worden beïnvloed, met een verandering in watervraag in het resterende groeiseizoen tot gevolg (zogenaamde hydrologische terugkoppeling). Op deze manier kunnen ongunstige omstandigheden in het voorjaar leiden tot een lagere watervraag later in het groeiseizoen, en daardoor ook tot een lagere droogtestress. In HELP en WIB-C wordt uitgegaan van een opgelegde gewasontwikkeling, die niet wordt beïnvloed door meteorologische condities of door ongunstige omstandigheden. Ook wordt een vast groeiseizoen gehanteerd van 150 dagen. Van hydrologische terugkoppeling is dan geen sprake.

De instellingen voor gewassen verschillen tussen de methoden. Sinds het verschijnen van de methoden HELP en WIB-C heeft gewasveredeling plaatsgevonden. De gewasparameters die gebruikt worden in de modellen SWAP en WOFOST zijn hierop aangepast in WWL.

Effecten van het berijden en bewerken van landbouwgrond onder vochtige condities worden op een andere manier meegenomen in de beoordeling van de bodemgeschiktheid in WWL dan in WIB-C en HELP. In WWL

²⁴ <https://www.kwrwater.nl/tools-producten/waterwijzer-natuur/> en <https://waterwijzer.nl/achtergronden/de-waterwijzer-natuur>

wordt de opbrengstderving berekend, die wordt veroorzaakt door het onder te natte condities bewerken en berijden van de grond. Deze wordt afzonderlijk gekwantificeerd in de schadeterm 'indirecte effecten' (zie paragraaf 2.1). In WIB-C wordt het effect op de bodemgeschiktheid kwalitatief beoordeeld op basis van bodemeigenschappen (zie paragraaf 3.3). In HELP zijn modelresultaten, praktijkkennis en literatuuronderzoek gebruikt om percentages van opbrengstderving te koppelen aan waarden van de GHG voor bodemgroepen. De Werkgroep HELP-tabel van 1987 vermeldt hierover: 'Waar dit leidde tot niet te verklaren of onrealistische verbanden werden de geschatte percentages aangepast.' Correcties op de geschatte percentages werden ook aangebracht na een vergelijking tussen de geschatte depressieniveaus van de onderscheiden bodemgroepen (Werkgroep HELP-tabel, 1987).

Perceptie van extreme waarden

De opbrengstderving berekend door WWL lijkt laag ten opzichte van de waarden die genoemd worden in de landbouwpraktijk. In de discussie van de modelresultaten werd door medewerkers van de provincie het voorbeeld genoemd van grasland op de bodemeenheid Hn21 met grondwatertrap VIId. De WWL-tabel geeft voor dit voorbeeld een langjarig gemiddelde van 11% opbrengstderving als gevolg van droogteschade, de HELP-tabellen uit 1987 en 2006 geven voor deze combinatie 22% droogteschade en de HELP-tabel uit 2002 25% (Tabel 3.6). In Hoofdstuk 3 is ingegaan op de oorzaak van dit verschil. De tijdreeks in WWL met droogteschades voor het betreffende bodemtype en hydrologische omstandigheden laat zien dat het gemiddelde weliswaar 11% is, maar dat er ook jaren voorkomen met meer dan 30% droogteschade.

In discussies over onderzoeksresultaten komt het vaak voor dat men zich extremen herinnert uit 'de praktijk', maar geen gemiddelden. Dat komt omdat langjarige gemiddelden niet kunnen worden waargenomen, alleen worden berekend. Het niet herkennen van gemiddelden geldt niet alleen voor opbrengstderving, ook andere variabelen worden door praktijkervaring systematisch overschat. Bekende voorbeelden hiervan zijn het gemiddelde percentage treinen met vertraging of het percentage van de tijd dat het regent in Nederland. Extreme (negatieve) gebeurtenissen blijven beter in onze herinnering zitten. Om de verschillen tussen extreme en langjarig gemiddelde situaties te duiden, zijn in deze studie resultaten voor een extreem droog (2018) en een extreem nat jaar (1998) ook gepresenteerd. Deze resultaten laten voor alle gewassen een grote variatie zien in de opbrengstderving (in de orde grootte van 20% voor delen van de provincie), voor 5 tot 95% van de realisaties voor het gegeven jaar.

Weergave wortelzone in WWL

In het bovengenoemde voorbeeld geeft de toepassing van de WWL-Tabel op een zwak lemige zandgrond minder droogtestress voor grasland (11%) dan voor snijmais (22%) onder vergelijkbare hydrologische omstandigheden. In de landbouwpraktijk wordt mais gezien als een gewas dat beter bestand is tegen droogte dan grasland.

Een verklaring hiervoor kan gevonden worden in de weergave van de dikte van de wortelzone en van de verdeling van de wortels over de diepte. Deze weergaven bepalen de hoeveelheid vocht die op verschillende diepten aan de bodem onttrokken moet worden voor de groei van het gewas (de watervraag). De maximale dikte van de wortelzone is in Waterwijzer Landbouw gerelateerd aan zowel gewas- als bodemeigenschappen, en bepaalt voor een groot deel het wateraanbod voor het gewas. Als de maximale dikte van de wortelzone wordt gelimiteerd door een bodemeigenschap, zoals in een zwak lemige zandgrond, dan is het gevolg dat alle akkerbouwgewassen te maken hebben met een vergelijkbaar wateraanbod. De watervraag hangt ook af van de gewasontwikkeling en daardoor van het moment in het groeiseizoen. Deze watervraag bepaalt vervolgens hoe gevoelig het gewas is voor droge omstandigheden.

Grasland en snijmais krijgen dus evenveel water uit de bodem. Maar snijmais heeft een grotere watervraag dan grasland als het volgroeid is. Dit verklaart waarom voor snijmais op een zwak lemige zandgrond een grotere opbrengstderving als gevolg van droogtestress gevonden wordt dan voor grasland.

Verschillen in bodemtypen

In WWL worden bodemtypen weergegeven van de bodemfysische eenhedenkaart van Nederland (BOFEK2020). De bodemfysische gegevens van deze eenheden worden ontleend aan afgeleide profielen voor eenheden van de Bodemkaart van Nederland, die de grootste oppervlakte hebben in de clusters van de BOFEK (zie 2.2.1), ook wel 'dominante bodemprofielen' genoemd. De gegevens van de dominante profielen

hebben dus betrekking op het voorkomen van een bodemtype in Nederland. De eigenschappen van het bodemtype uit het eerdergenoemde voorbeeld (bodemcode Hn21, veldpodzol) verschillen tussen locaties waar deze bodem voorkomt in Nederland, bijvoorbeeld in Drenthe en in Noord-Brabant. In Noord-Brabant heeft dit bodemtype minder organische stof en minder leem dan in Drenthe en kan daardoor gevoeliger zijn voor droogte dan in Drenthe. In BOFEK2020 wordt dit onderscheid niet gemaakt. Het bodemtype veldpodzol (bodemcode Hn21) beslaat een groot deel van de provincie Noord-Brabant. Met een maatwerkberekening (met de instrumenten WWL-Maatwerk of WWL-Regionaal) kan de gewasschade voor Hn21 voor de provincie Noord-Brabant worden aangepast.

Welke methode is geschikt voor bodemgeschiktheidskartering?

Voor gebruikers is het belangrijk te weten voor welke omstandigheden een methode voor bodemgeschiktheidskartering inzetbaar is en hoe betrouwbaar de resultaten zijn. Om te bepalen hoe goed de modelresultaten aansluiten bij de realiteit, is validatie nodig. Bij Waterwijzer Landbouw gaat aandacht uit naar validatie op perceel- en op regionaal niveau. Op perceelniveau gaat de voorkeur uit naar locaties die onder gecontroleerde omstandigheden zijn bepaald. Hierbij wordt informatie gebruikt over de hydrologische omstandigheden en de gewasopbrengsten (Hack-ten Broeke e.a., 2013; Kroes e.a., 2015). Op regionaal niveau kan een vergelijking gemaakt worden met bijvoorbeeld satellietbeelden die informatie bevatten over gewasopbrengsten, zoals beschikbaar in de Groenmonitor²⁵ (Mulder e.a., 2021).

We kunnen geen conclusies trekken over welke methodiek beter is voor een beoordeling van de bodemgeschiktheid voor landbouw door Waterwijzer Landbouw te vergelijken met methodieken die in het verleden zijn gebruikt. De methodieken geven namelijk allemaal modelresultaten of beoordelingen op basis van geschiktheidscriteria. De uitkomsten worden niet vergeleken met daadwerkelijk gemeten waarden van relatieve gewasopbrengst of opbrengstderving. Conclusies over de kwaliteit van een methodiek kunnen wel getrokken worden met een goede validatie.

Het modelinstrumentarium Waterwijzer Landbouw leent zich uitstekend voor validatie. Het is mogelijk om binnen het groeiseizoen de gesimuleerde gewasontwikkeling te toetsen, net als afzonderlijke deelprocessen die in het modelinstrumentarium worden beschouwd. Dit is in tegenstelling tot de 'oude' methodieken, die veelal alleen uitspraken doen over langjarig gemiddelde perioden.

²⁵ <https://www.groenmonitor.nl/>

6 Samenvatting en conclusies

- Met de WWL-tabel kunnen ruimtelijke patronen van de relatieve gewasopbrengst en van opbrengstderving weergegeven worden voor verschillende gewassen, bodemtypen, grondwaterregimes en klimaatcondities. In deze studie zijn resultaten gegenereerd voor grasland, enkele akkerbouwgewassen en boomteelten over de periode 1991-2020 en voor een extreem nat en droog jaar (1998 en 2018). Hierbij is het grondwaterregime weergegeven in 300 realisaties van de GHG en GLG volgens het Grondwaterspiegeldieptemodel voor Nederland. Ook zijn gemiddelde opbrengstdervingen gegeven voor het KNMI'14-klimaatscenario WH (zichtjaar 2050).
- De uitkomsten voor de opbrengstderving van een gewas zijn uitgedrukt in klassen van bodemgeschiktheid voor het gewas met grenzen van 0-15%, 15-35% en >35% voor de totale opbrengstderving. Op deze manier kan een indruk verkregen worden van de bodemgeschiktheid voor een gewas op basis van variaties in de klimaatvoer en van ruimtelijke variaties in het bodemtype en de fluctuatie van de grondwaterspiegel.
- WIB-C en de HELP-tabellen zijn methoden die in het verleden werden gebruikt voor het maken van bodemgeschiktheidskaarten. Indicaties over de bodemgeschiktheid voor landbouw en opbrengstderving van gewassen van deze methoden verschillen van elkaar en van resultaten verkregen met Waterwijzer Landbouw. De verschillen zijn moeilijk te duiden, omdat de methoden een andere modelvoer en rekenwijze gebruiken en omdat ze resultaten anders weergeven. Dit leidt dan ook tot verschillende bodemgeschiktheidskaarten bij gebruik van de drie methoden. Bij gebruik van een bodemgeschiktheidskaart is het daarom belangrijk om te vermelden met welke methode en invoergegevens de kaart gemaakt is.
- Waterwijzer Landbouw heeft als voordeel dat gebruik wordt gemaakt van modellen waarin bestaande en nieuw ontwikkelde proceskennis over gewasgroei en bodemwaterhuishouding voortdurend worden geïmplementeerd en waarin de recentste gegevens van bodem, grondwaterdynamiek en klimaat kunnen worden gebruikt. Door het gebruik van deze procesmodellen zijn de resultaten reproduceerbaar en transparant en kunnen ze worden uitgebreid met andere modelvoer en instellingen. Er worden geen correctiefactoren toegepast om de resultaten beter te laten overeenkomen met observaties, zoals bij de HELP-tabellen werd gedaan.
- Voor gronden met zware kleilagen konden nog geen betrouwbare resultaten worden gegenereerd met Waterwijzer Landbouw. Dit kan momenteel ook niet met andere simulatiemodellen voor interacties tussen bodem en gewas. Bij het verschijnen van een verbeterde versie van Waterwijzer Landbouw kunnen ook voor deze gronden binnen de provincie resultaten worden gepresenteerd.
- Voor een beschouwing van bodemgeschiktheid voor natuur is Waterwijzer Natuur inzetbaar. Het toepassen van Waterwijzer Landbouw en Waterwijzer Natuur geeft inzicht in de potentie van gebieden voor landbouwgewassen en voor natuurvegetaties.
- Dit rapport, de resultaten van deze studie en de scripts zijn te downloaden via de DOI's.²⁶ Met behulp van de scripts kunnen instellingen en invoergegevens voor de WWL-tabel op de resultaten worden aangepast en kunnen uitvoerbestanden worden gegenereerd voor GIS. Dit stelt gebruikers in staat om zelf nieuwe resultaten te genereren van effecten op gewasopbrengsten door veranderingen in de grondwaterspiegeldiepte en klimaat, en kaarten voor het ondersteunen van de ontwikkeling en uitvoering van beleid.

²⁶ DOI rapport: <https://doi.org/10.18174/576638>

DOI kaartlagen en scripts: <https://doi.org/10.4121/21524442>

Literatuur

- Bartholomeus, R., Hack-ten Broeke, M., Heinen, M., Mulder, H. M., Kros, J., Ruijtenberg, R. E., Runhaar, H., & Witte, J. P. M. (2018). Waterwijzers Landbouw en Natuur : Kwantificering effecten waterbeheer en klimaat. *Landschap : Tijdschrift Voor Landschapsecologie En Milieukunde*, 35(1), 14–23. <https://edepot.wur.nl/445604>.
- Bartholomeus, R. P., Witte, J. P. M., van Bodegom, P. M., & van Dam, J. (2010). Nieuwe maat voor bodemvochtregime ook geschikt onder toekomstig klimaat. *H₂O*, 3, 37–39.
- Brouwer, F., & Huinink, J. T. M. (2002). *Opbrengstdervingpercentages voor combinaties van bodemtypen en grondwatertrappen. Geactualiseerde HELP-tabellen en opbrengstdepressiekaarten*. <https://edepot.wur.nl/20145>.
- de Gruijter, J. J., van der Horst, J. B. F., Heuvelink, G. B. M., Knotters, M., & Hoogland, T. (2004). *Grondwater opnieuw op de kaart; methodiek voor de actualisering van grondwaterstands-informatie en perceelsclassificatie naar uitspoelingsgevoeligheid voor nitraat*. Alterra.
- de Vries, F. (1999). *Karakterisering van Nederlandse gronden naar fysisch-chemische kenmerken*. DLO-Staring Centrum. <https://edepot.wur.nl/298371>.
- de Vries, F., & Camarasa, M. (2009). *De Bosatlas van Ondergronds Nederland*. Noordhoff.
- Haans, J. C. F. M. (1979). *De interpretatie van bodemkaarten : rapport van de Werkgroep interpretatie bodemkaarten, stadium C* (Rapport / Stichting Voor Bodemkartering : No. 1463). Stichting voor Bodemkartering. <https://edepot.wur.nl/502886>.
- Hack-ten Broeke, M. J. D., Kroes, J. G., Hendriks, R. F. A., Bartholomeus, R. P., van Bakel, J., & Hoving, I. E. (2013). *Actualisatie schadefuncties voor de landbouw, tussenfase 2a: plausibiliteitsstoets SWAP en enkele verkennende berekeningen*. <https://edepot.wur.nl/286135>.
- Heinen, M., Bakker, G., & Wösten, J. H. M. (2020). Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks. In *Update 2018*. Wageningen Environmental Research. <https://doi.org/10.18174/512761>.
- Heinen, M., Brouwer, F., Teuling, C., & Walvoort, D. J. J. (2021). *BOFEK2020 - Bodemfysische schematisatie van Nederland : update bodemfysische eenhedenkaart*. Wageningen Environmental Research. <https://doi.org/10.18174/541544>.
- Heinen, M., Mulder, H. M., Bakker, G., Wösten, J. H. M., Brouwer, F., Teuling, K., & Walvoort, D. J. J. (2022). The Dutch soil physical units map: BOFEK. *Geoderma*, 427, 116123. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2022.116123>.
- Knotters, M., Walvoort, D., & Gerritsen, P. (2022). Mapping water table depths in wetlands and polder areas by probability sampling. *Geoderma*, 422, 115928. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2022.115928>.
- Kroes, J. G., Bartholomeus, R. P., van Dam, J. C., Hack-ten Broeke, M. J. D., Supit, I., Hendriks, R. F. A., de Wit, A. J. W., van der Bolt, F. J. E., Walvoort, D. J. J., Hoving, I. E., & Bakel, J. (2015). *Waterwijzer Landbouw, fase 2; Modelleren van het bodem-water-plantsysteem met het gekoppelde instrument SWAP-WOFOST*. www.stowa.nl.
- Mulder, M., Meijninger, W., & Hack-ten Broeke, M. (2021). *Validatie waterwijzer landbouw vergelijking modelresultaten groenmonitor, gram en help*. Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA). <https://edepot.wur.nl/556066>.
- Steduto, P., Hsiao, Th. C., Fereres, E., & Raes, D. (2012). Crop Yield Response to Water. *Irrigation and Drainage Paper*, 66.
- ten Cate, J. A. M., van Holst, A. F., Kleijer, H., & Stolp, J. (1995). *Handleiding bodemgeografisch onderzoek; richtlijnen en voorschriften. Deel D: interpretatie van bodemkundige gegevens voor diverse vormen van bodemgebruik*. SC-DLO. <https://edepot.wur.nl/380637>.
- van Bakel, J., Huinink, J., Prak, H., & van der Bolt, F. (2005). *HELP-2005. Uitbreiding en actualisering van de HELP-tabellen ten behoeve van het Waterlood-instrumentarium*. <http://help200x.alterra.nl/HELP2005.pdf>.
- van den Hurk, B., Siegmund, P., & Klein Tank, A. (2014). *KNMI'14: Climate Change scenarios for the 21st Century-A Netherlands perspective*. www.climate-scenarios.nl.

-
- van Diepen, C. A., Vissers, H. J. S. M., Schoumans, O. F., Boogaard, H. L., Brouwer, F., de Vries, F., & Wolf, J. (2002). *Verkenning van bodemgeschiktheid ter identificatie van kansrijke gebieden voor de landbouwsector in Noord-Brabant*. Alterra. <https://edepot.wur.nl/38846>.
- van Lanen, H. A. J. (1991). *Qualitative and quantitative physical land evaluation: an operational approach*. [Ph.D.-thesis, Wageningen University]. <https://edepot.wur.nl/201270>.
- Werkgroep HELP-tabel. (1987). *De invloed van de waterhuishouding op de landbouwkundige productie*. <http://www.debakelsestroom.nl/wp-content/uploads/HELP-rapport.pdf>.
- Werkgroep Waterwijzer Landbouw. (2018). *Waterwijzer Landbouw: instrumentarium voor kwantificeren van effecten van waterbeheer en klimaat op landbouwproductie*. <https://edepot.wur.nl/464525>.
- Wetenschappelijke Adviescommissie NWM/NHI. (2022). *Advies toepassing Waterwijzer Landbouw - 2.3 Definitief*. Wetenschappelijke Adviescommissie NWM/NHI. <https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/NIEUWS/Nieuwsdocs%202022/20220308%20Advies%20Wetenschappelijke%20adviescie%20NHI%20WWL.pdf>.




Wageningen Environmental Research
Postbus 47
6700 AA Wageningen
T 0317 48 07 00
wur.nl/environmental-research

Wageningen Environmental Research
Rapport 3206
ISSN 1566-7197



De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 7.200 medewerkers (6.400 fte) en 13.200 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.



To explore
the potential
of nature to
improve the
quality of life

Wageningen Environmental Research
Postbus 47
6700 AB Wageningen
T 0317 48 07 00
wur.nl/environmental-research

Rapport 3206
ISSN 1566-7197

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 7.200 medewerkers (6.400 fte) en 13.200 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

