



Effecten klimaatverandering op landbouw

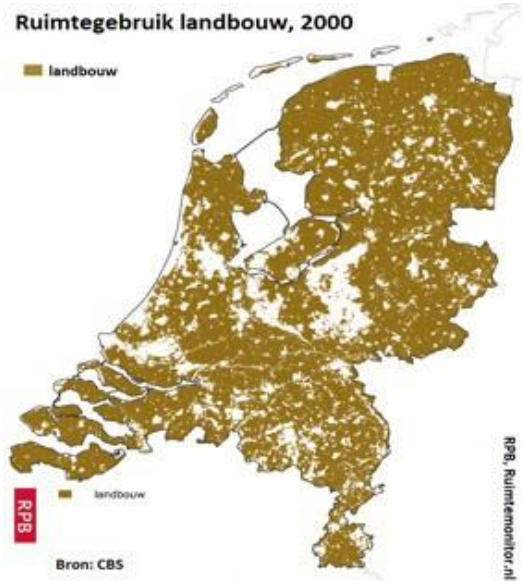
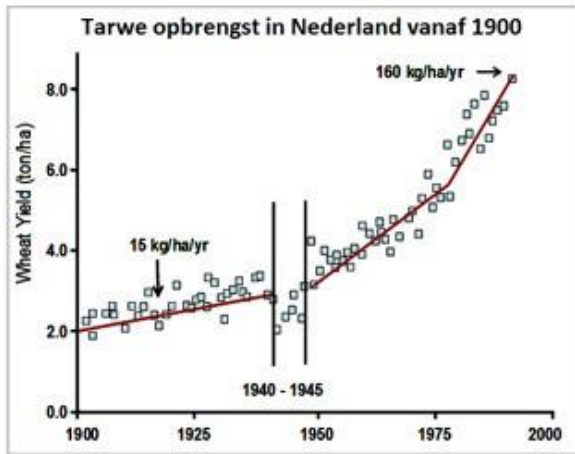
In deze Deltafact wordt ingegaan op klimaatverandering, de effecten daarvan op gewasopbrengsten in de landbouw, de rekenmethodes en modellen die worden toegepast om effecten te voorspellen en mogelijkheden voor klimaatadaptatie.

1. INLEIDING
2. GERELATEERDE ONDERWERPEN EN DELTAFACTS
3. KLIMAATVERANDERING
4. GEWASOPBRENGSTEN
5. REKENMETHODES GEWASOPBRENGSTEN
6. KLIMAATEFFECTEN LANDBOUWGEWASSEN
7. ADAPTATIEMOGELIJKHEDEN LANDBOUW
8. GOVERNANCE
10. KOSTEN EN BATEN
11. KENNISLEEMTEN
12. ONDERZOEKEN KLIMAATEFFECTEN LANDBOUW
13. BRONNEN & LINKS
14. DISCLAIMER

1. Inleiding

Landbouw is een belangrijke pijler van de Nederlandse economie door de productie van voedsel en de export van landbouwproducten. De fysieke opbrengsten van gewassen in de landbouw zijn de afgelopen eeuw enorm toegenomen, in economische zin bedroeg de bijdrage van de Nederlandse land- en tuinbouw in 2015 slechts 1,5% van en had de jaarlijkse export van agrarische producten een waarde van ongeveer € 85 miljard (CBS, 2016). Landbouw beslaat de meeste ruimte (1,8

	middeleeuwen (1400)	Begin 20ste eeuw (1910)	End 20ste eeuw (2000)
Opbrengst (kg/ha)	800	1800	9000
Arbeidsuren /ha	500-700	300-400	8-15
N output / N input	0,2	0,6	0,7
N input (indu) kg/ha	-	20	150



Figuur 1. Ontwikkelingen in Nederlandse landbouw en ruimtegebruik.

miljoen hectare in 2012) in Nederland en is daarmee ook een belangrijke leverancier van maatschappelijke en ecologische diensten, zoals landschapskwaliteit, recreatie en biodiversiteit. Het landbouwareaal is tussen 2000 en 2012 afgenomen met c.a. 0,2 miljoen hectare (CBS, 2017).

De verandering van het klimaat kan grote gevolgen hebben voor de landbouw, niet alleen door direct veranderende omstandigheden voor gewassen (zachte winters, meer droogte, CO₂-concentratietoename e.d.), maar ook door indirecte effecten, zoals nieuwe ziekten en plagen, behoeften aan andere teelten (bijvoorbeeld biobrandstoffen) en risico's van bedrijfsvoering (oogstzekerheid). Zowel voor de sector als voor overheden is het belangrijk om goed te anticiperen (adaptatie) op de risico's en kansen.

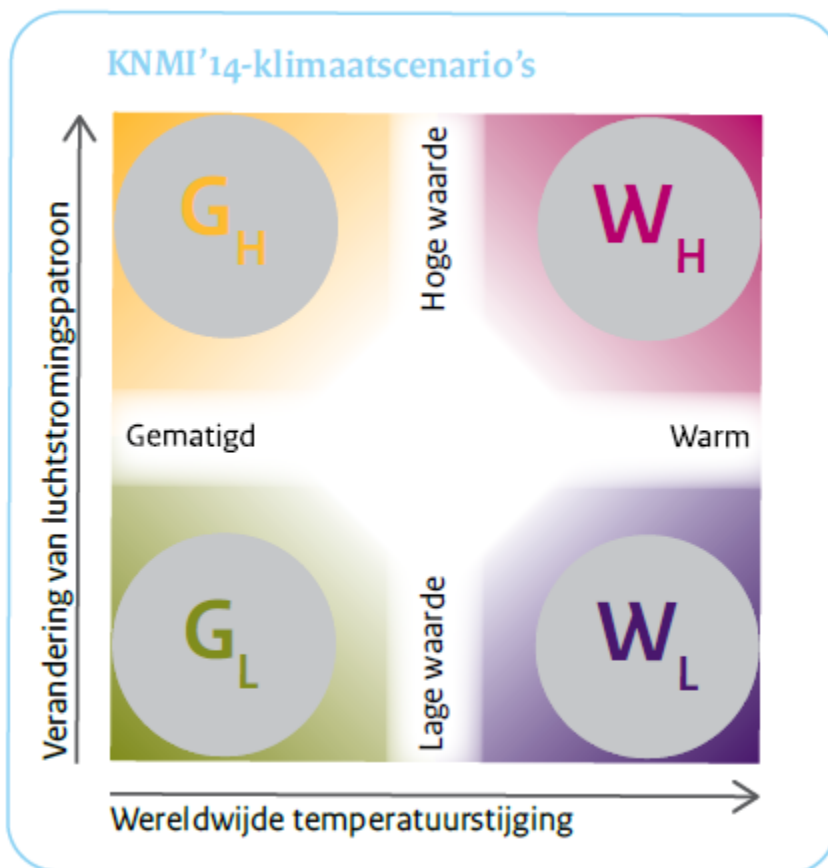
In deze deltafact wordt ingegaan op klimaatverandering, de effecten daarvan op gewasopbrengsten in de landbouw, de rekenmethodes en modellen die worden toegepast om effecten te voorspellen en mogelijkheden voor klimaatadaptatie. Veel van de informatie is ontleend aan de onderzoeksprogramma's [Klimaat voor Ruimte](#) en [Kenniss voor Klimaat](#). Mitigatie van klimaatverandering door de landbouw valt buiten het kader van deze deltafact.

2. Gerelateerde onderwerpen en Deltafacts

Gerelateerde deltafacts: [Effecten klimaatverandering op terrestrische natuur](#), [Bodem als buffer](#), [Zouttolerantie van teelten](#)

3. Klimaatverandering

De verwachte veranderingen voor het klimaat in Nederland betreffen temperatuur, neerslag, verdamping en weerextremen. Hoe het klimaat verandert is vooral afhankelijk van de wereldwijde temperatuurstijging en van veranderingen in de stromingspatronen van de lucht in onze omgeving (West-Europa), en de daarmee samenhangende veranderingen in de windsnelheid en eventueel windrichting. In 2014 heeft het KNMI vier klimaatscenario's (figuur 2) voor Nederland opgesteld,



Figuur 2. Overzicht van de vier klimaatscenario's van 2014 van het KNMI (Bron: (KNMI, 2015))

deze vier scenario's (GL, GH, WL en WH) beschrijven samen de hoekpunten waarbinnen de klimaatverandering in Nederland zich waarschijnlijk zal voltrekken. Ze geven de verandering rond 2050 en 2085 weer ten opzichte van het klimaat in de periode 1981-2010. De KNMI-scenario's zijn bedoeld als instrument voor het berekenen van gevolgen van klimaatverandering of voor het ontwikkelen van mogelijkheden en strategieën voor adaptatie. De klimaatscenario's tonen niet alleen de door de mens veroorzaakte klimaatverandering, maar ook de natuurlijke variaties in het klimaat. Bedacht moet worden dat de klimaatscenario's geen uitspraken doen over het weer op een bepaalde datum, maar alleen over het gemiddelde weer en de

kans op extreem weer in de toekomst. In 2021 komen er nieuwe klimaatscenario's van het IPCC en een nieuwe update van de KNMI-scenario's wordt verwacht in 2023 ([KNMI, 2018](#)).

Samengevat zeggen de klimaatscenario's over temperatuur, neerslag en verdamping het volgende:

Temperatuur: volgens alle 4 scenario's zal de temperatuur blijven stijgen (voor gemiddelde jaartemperatuur rond 2050 met +1,0 °C in GL en 2,3 °C in WH), de toename in de winter is gemiddeld het grootst. Zachte winters en hete zomers zullen vaker voorkomen.

Neerslag: in alle scenario's neemt de neerslag in alle seizoenen toe, met uitzondering van de zomer. Dit komt vooral doordat bij een opwarmend klimaat de hoeveelheid waterdamp in de lucht toeneemt. De winterse neerslag neemt volgens scenario's GL rond 2050 toe met slechts 3% en volgens WH met 17%. De modelberekeningen zijn niet eenduidig over de gemiddelde neerslag in de zomer: volgens GL en WL neemt de neerslag in de zomer rond 2050 gemiddeld iets toe (+1,2% en +1,4%), terwijl volgens GH en WH deze juist afneemt met respectievelijk -8% en -13%.

Verdamping: de potentiële verdamping neemt gemiddeld met enkele procenten toe rond 2050 (3% volgens GL, 7% volgens WH). In de zomers is deze toename nog sterker (4–11%). Deze stijging komt door meer zonnestraling en een hogere temperatuur. De verandering van de werkelijke verdamping kan afwijken van de potentiële, omdat de werkelijke verdamping beperkt kan worden door de beschikbaarheid van water in de bodem.

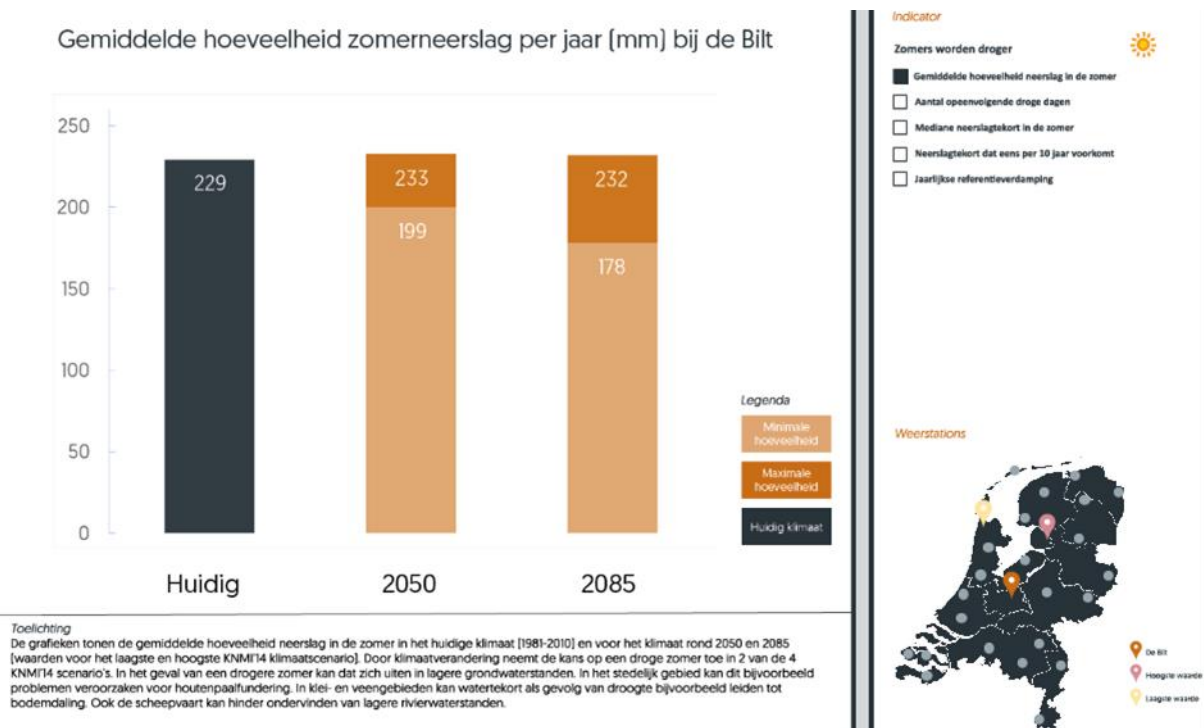
Voor de *koolzuur(CO₂)-concentratie* geeft het KNMI geen waarden bij de vier scenario's, wel geven zij een indicatie welke temperatuurstijging per representatief concentratie ontwikkelingspad van het IPCC past ([KNMI, 2014](#)). [Reidsma et al. \(2015\)](#) koppelen de vier KNMI-scenario's aan de SRES-emissiescenario's uit het IPCC-assessment-rapport van 2001. In het vijfde rapport van de IPCC (AR5) zijn deze vervangen door "Representatieve Concentratie Ontwikkelingspaden" (RCP's) voor de broeikasgasconcentratie in de atmosfeer (in plaats van emissies) ([Ligtvoet et al., 2015](#)).

Zeespiegel: De KNMI-scenario's geven aan dat de zeespiegel rond 2050 tussen de 15 tot 40 cm is gestegen. De verwachting is dat het tempo van de zeespiegelstijging zal toenemen ([Haasnoot et al., 2018](#)), maar hangt af van de wereldwijde zeespiegelstijging. De gevolgen van zeespiegelstijging voor de landbouw in laag-Nederland hangen nauw samen met de bodemdaling.

Wat betekenen de scenario's voor de landbouw?

Vooraf te natte, te droge en te zoute omstandigheden en de duur daarvan hebben een potentieel negatief effect op de landbouwkundige gewasopbrengsten.

In de zomer van 2018 veroorzaakte hoge luchtdruk boven zuidelijk Scandinavië hoge temperaturen en langdurig uitblijven van neerslag in Nederland ([KNMI, 2019](#)). De effecten van de droogte in de landbouw hangen af van het cumulatieve neerslagtekort maar ook van de aanvoer van water door de rivieren dat ingezet kan worden voor peilbeheer en beregning ([Mens en Ter Maat, 2018](#)). Op basis van trendanalyses kan niet gezegd worden dat de droogte in 2018 komt door klimaatverandering (Sluiter et al, 2019). Er is een kans dat het in de toekomst wel droger wordt. In twee van de vier KNMI-klimaatscenario's wordt Nederland droger. De andere twee scenario's geven niet of nauwelijks toename van droogte.



Figuur 3. De gemiddelde hoeveelheid zomerneerslag is een voorbeeld van ruimtelijk extrapoleerbare klimaatgegevens die beschikbaar zijn via de [klimaat-effectatlas](#) die relevant zijn voor landbouw.

De beschikbaarheid van zoetwater voor het gewas hangt af van lokale factoren op het perceel (bodemsoort, grondwaterstand, etc., gewaskeuze, bedrijfsvoering, etc.) en de aanvoer mogelijkheden van oppervlaktewater. Daarom zijn er ruimtelijke verschillen in de effecten van klimaatverandering (droogte, wateroverlast) op de gewasgroei (Figuur 3). Sinds 2014 is de klimaateffectatlas een instrument dat gebruikt wordt binnen het deelprogramma Ruimtelijke Adaptatie van het nationale Deltaprogramma. De kaarten over droogte, wateroverlast en regionale neerslagpatronen (figuur 3) zijn relevant voor klimaateffectstudies voor de landbouw (CAS, 2017).

Om effecten van klimaatverandering op landbouwopbrengsten te berekenen zijn meteorologische gegevens over het hele jaar nodig, het liefst op dag basis. Het KNMI heeft [een transformatieprogramma](#) ontwikkeld om tijdreeksen op dag basis van neerslag, referentieverdamping en temperatuur van elk willekeurig meetstation te transformeren naar het toekomstige klimaat ([Bakker en Bessembinder, 2012](#)) . Bij deze transformatie wordt niet alleen rekening gehouden met veranderingen in de hoeveelheid neerslag, maar ook met veranderingen in het aantal neerslagdagen en de verdeling van de intensiteit van neerslagbuien en verschuivingen in de neerslagverdeling over de seizoenen.

Het KNMI heeft ook veranderingscoëfficiënten bepaald voor straling en luchtvochtigheid waarmee experts in principe zelf tijdreeksen voor de toekomst kunnen maken, naast de getransformeerde tijdreeksen voor temperatuur en data over windpatronen. Met deze informatie kan bijvoorbeeld met het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium (NHI) de actuele verdamping volgens de methode Penman- Monteith worden berekend. Zo is het mogelijk om rekening te houden met terugkoppelingen tussen gewasgroei, verdamping en resulterende grondwateraanvulling in een veranderend klimaat.

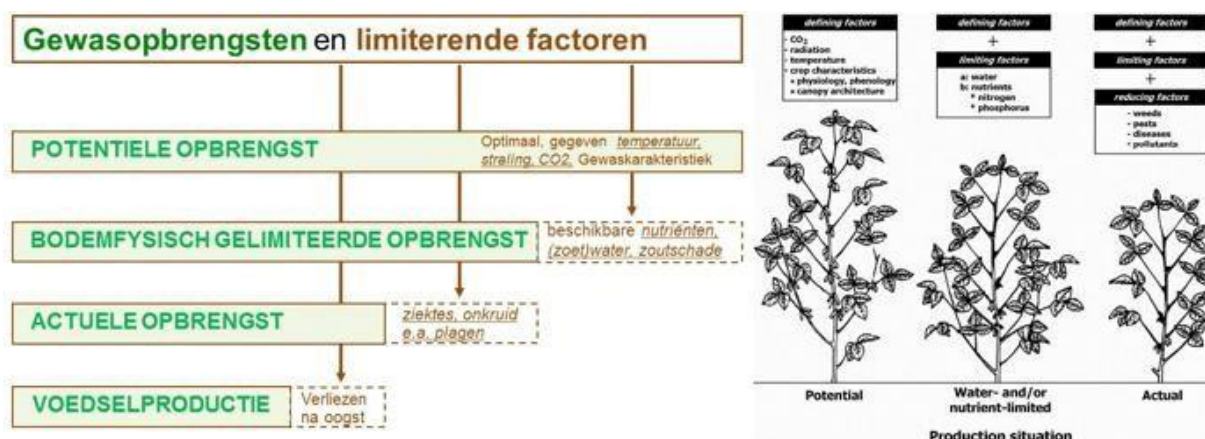
4. Gewasopbrengsten

Gewasopbrengsten en limiterende factoren

Effecten van klimaat op landbouw worden meestal uitgedrukt in effecten op gewasopbrengsten. Hierbij wordt onderscheid gemaakt in potentiële en actuele

opbrengst en soms ook in oogstbaar product (Figuur 4). De in de linker figuur onderstreepte factoren worden door klimaatverandering beïnvloed.

De potentiële opbrengst is de opbrengst die bij het gegeven klimaat in termen van CO₂-concentratie, straling en temperatuur, en de betreffende gewassenmerken gerealiseerd kan worden als het gewas optimaal wordt voorzien van water en nutriënten. De actuele opbrengst is lager omdat a) water- en nutriënten nooit optimaal beschikbaar zijn en/of schade optreedt door zout of andere verontreinigende stoffen en b) de groei beperkt wordt door ziekten, onkruiden en plagen. De potentiële opbrengst kan worden verhoogd door verbetering van rassen (plantenveredeling) en het aanpassen van de zaaidatum. Het verschil tussen de potentiële en actuele opbrengst kan verkleind worden door gebruik van (kunst)mest, bestrijdingsmiddelen, gewasrotatie, beregening, mechanisatie en andere verbeteringen in technologie en gewasmanagement.



Figuur 4. Gewasopbrengsten en limiterende factoren.

Opbrengstdepressie door droogte en wateroverlast

Landbouwgewassen produceren biomassa uit water, CO₂ en nutriënten met energie van zonlicht. In de bedrijfsvoering probeert men de omstandigheden voor deze productie te optimaliseren, zodat de planten steeds maximaal kunnen groeien. Als dit proces wordt geremd doordat de watervoorziening niet optimaal is, vertraagt de groei en is er sprake van een opbrengstdepressie. Deze depressie kan komen door te droge, te natte of te zoute omstandigheden. Te droge omstandigheden leiden tot onvoldoende watervoorziening en verminderde fotosynthese en dat betekent direct minder gewasgroei. Een te droge grond in het voorjaar kan resulteren in vertraagde kieming van zaai zaad en een slechte ontwikkeling van geplante gewassen. Te natte

omstandigheden resulteren in onvoldoende zuurstof voor het gewas. Als er geen goede gasuitwisseling (zuurstof en CO₂) tussen bodem en atmosfeer kan plaatsvinden kunnen de wortels niet meer functioneren en zelfs afsterven. Ook kan dan stikstofgebrek optreden. Te natte omstandigheden leveren ook indirecte schade doordat de draagkracht van de natte bodem onvoldoende is voor beweiding en voor het berijden en bewerken van het land met machines.

5. REKENMETHODES GEWASOPBRENGSTEN

In Nederland is een aantal rekenmodellen in gebruik voor het berekenen van landbouwopbrengsten als functie van hydrologische en weersomstandigheden zoals de HELP- tabellen (Van Bakel, 2007; van Bakel, 2011) en AGRICOM (Mulder en Veldhuizen, 2014). De bestaande methodieken worden vernieuwd en deels vervangen binnen de [Water Wijzer Landbouw](#).

HELP-2006 tabellen

De HELP 2006 tabellen gaven op basis van de bodem- en grondwatertrappenkaarten voor grasland en bouwland de langjarig gemiddelde opbrengstdepressies door vochttekort en wateroverlast. Ze worden door waterschappen o.a. gebruikt om het Gewenste Grond en Oppervlaktewater Regiem te bepalen (GGOR).

AGRICOM

AGRICOM is een acronym voor AGRiCultural COst Model. AGRICOM is een agro-economisch model dat op basis van de resultaten van een hydrologisch model kosten en baten voor de landbouwsector in Nederland berekent. Het maakt o.a. onderdeel uit van het [Nederlands Hydrologisch Instrumentarium](#).

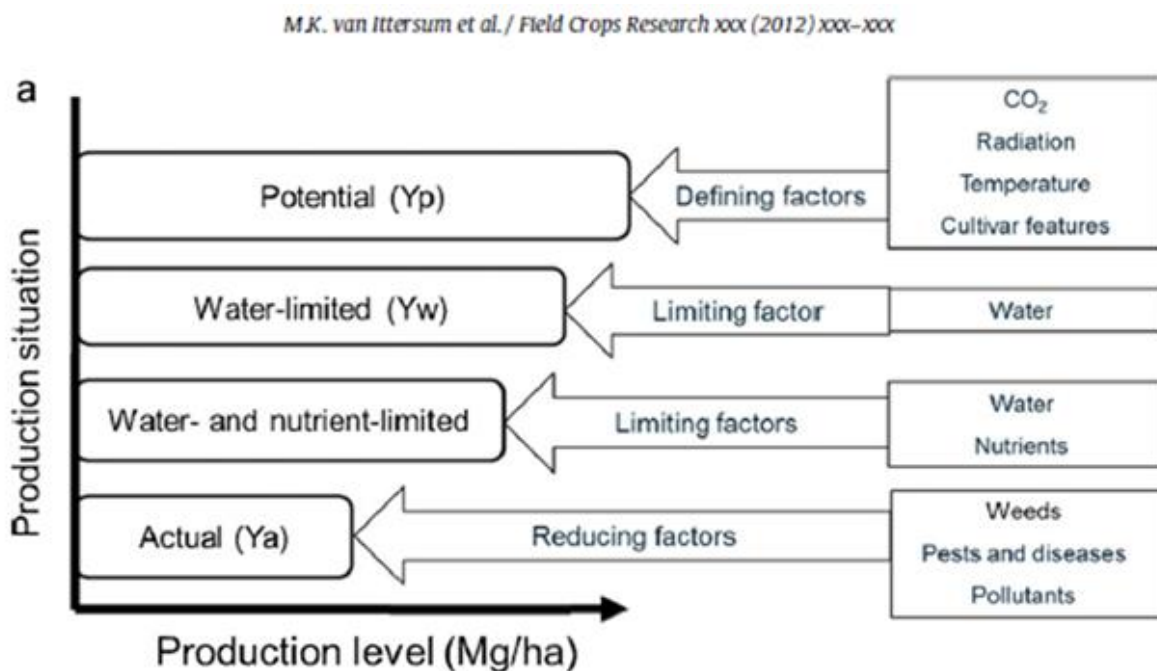
Waterwijzer Landbouw

In het project Waterwijzer Landbouw (2012-2018) is een nieuw uniform, breed gedragen en praktische methode ontwikkeld voor het bepalen van klimaatbestendige relaties tussen waterhuishoudkundige condities en (veranderingen daarin) en gewasopbrengsten. Op deze wijze kan er een betere inschatting van het effect van waterhuishoudkundige maatregelen en van klimaatverandering op landbouwkundige opbrengsten gemaakt worden, in termen van droogteschade, natschade en zoutschade (Werkgroep Waterwijzer Landbouw, 2018). Het instrument kan gebruikt worden om bijvoorbeeld de effecten van peilbesluiten, inrichtingsplannen en grondwateronttrekkingen op de gewasproductie in te schatten. Waterwijzer

Landbouw bestaat uit een modelinstrumentarium voor (a) maatwerkberekeningen en (b) een metamodel (WWL-tabel).

Maatwerkberekeningen

Als eerste is hiertoe een koppeling gemaakt tussen een agrohydrologisch model (SWAP) met het gewasgroeimodel WOFOST (Van Ittersum et al., 2012), waarbij als eerste gekeken is of met deze modelcombinatie toepasbaar is voor het inschatten van zout-, nat- en droogteschade voor grasland (Kroes en Supit, 2011). In WOFOST wordt gewasgroei berekend als functie van CO₂-gehalte in de lucht, zonnestraling, temperatuur en gewaskenmerken. De beschikbaarheid van water bepaalt de water gelimiteerde gewasproductie (Figuur 5).



Figuur 5. Opzet van de gewasgroeberekening met het model WOFOST (Van Ittersum et al., 2012).

Op basis van recente informatie over zouttolerantie van gewassen ([Deltafact Zouttolerante teelten](#), [Proefbedrijf Texel](#)) is een module ontwikkeld om zoutschade in te schatten en deze is ook met succes toegepast (Mulder et al., 2018), o.a. binnen het [programma Lumbricus](#).

Met BBPR en KWIN is het mogelijk om ook te kijken naar indirecte effecten zoals de effecten van slechte bewerkbaarheid (bij zaaien en oogsten), onvoldoende draagkracht voor beweiding of maaien, afsterven van gewassen, verhoogde onkruiddruk, structuurbederf of toename van ziekten en plagen. Ook de vertaling van de fysieke gewasopbrengstderiving naar bedrijfseconomische consequenties is daarmee mogelijk.

WWL-tabel (desktopversie)

De WWL-tabel is een metamodel binnen Waterwijzer Landbouw, gebaseerd op berekeningen met SWAP-WOFOST voor 30 jaar, 5 weerstations, 72 bodemtypen, 100 grondwaterregimes per bodemtype, enkele zoutconcentraties in beregeningswater en voor de meest voorkomende landbouwgewassen in Nederland. De tabel geeft apart gekwantificeerde resultaten voor gewasopbrengst ten gevolge van directe effecten, uitgesplitst naar droogte-, nat- en zoutschade, en indirecte effecten. De WWL-tabel is toegankelijk gemaakt via een eenvoudig toepasbare tool. Bij de WWL-tabel hoort ook de doorvertaling van gewasopbrengst-verschillen naar economische effecten.

6. Klimaateffecten landbouwgewassen

Voor het programma Kennis voor Klimaat (KvK) heeft Wageningen UR (Stoorvogel, 2009) de bestaande kennis over klimaateffecten op landbouw geïnventariseerd. Deze studie trekt in grote lijnen de volgende conclusies:

- De verwachte klimaatveranderingen betreffende de temperatuur en de verhoging van de CO₂-concentratie hebben een positief effect op de gewasproductie in Europa;
- Deze effecten verschillen per gewas en per landbouwsysteem;
- Akkerbouw in Nederland is vrij kwetsbaar voor de verwachte toename van de veranderlijkheid van het weer met daarbij lange (extreem) droge en natte perioden en extreme temperaturen, de problemen die samenhangen met toenemende verzilting en de verwachte toename van ziekten en plagen;
- De kans neemt toe dat onvoldoende zoet water via het hoofdwatersysteem kan worden aangevoerd naar polders die kwetsbaar zijn voor verzilting. In gebieden met intensieve tuinbouw kan de financiële schade dan aanzienlijk zijn;
- Effecten van klimaatverandering op ziekten en plagen zijn moeilijker te voorspellen dan gewasgroei, maar met waarnemingen uit verleden worden de

verwachtingen dat deze druk toeneemt wel bevestigd. Bijvoorbeeld, een verhoogde druk van ongedierte en ziekten als gevolg van hogere temperaturen werd al waargenomen in de relatief warme periode 1989-2004;

- Diverse veranderingen beïnvloeden elkaar. Zo neemt bij verhoogde CO₂-concentraties de transpiratie af, hetgeen een dempend effect kan hebben op de vochttekorten tijdens droogte en een versterkend effect op natschade. Stijging van de temperatuur en de CO₂-concentratie in de lucht heeft in Nederland een gunstig effect op de landbouwproductie, onder andere van grasland. In de KNMI-klimaatscenario's waarbij de luchtstroming verandert (W_h en G_h) wordt dit gunstige effect echter weer (deels) tenietgedaan door de grotere kans op een tekort aan water in de zomer. Vooral op de hoger gelegen zandgronden kan dit leiden tot lagere producties. Alle KNMI-klimaatscenario's

Klimaataspect	Effect	Consequenties voor landbouw
Verandering temperatuur patronen	Temperatuur stijging	Productieverhoging, langer groeiseizoen, introductie warmteminnende gewassen
		Toename ziekten & plagen door: <ul style="list-style-type: none"> • introductie van nieuwe soorten; • versnelling van de reproductie en verkorting van de regeneratiecyclus • doorbreken resistenties van gewassen
		Mogelijkheden tot overwinteren van ziekten en plagen
		Opkomst invasieve plantensoorten
		Onvoldoende vernalisatie. Vernalisatie is het door kou beïnvloeden van het groeiproces/-stadium, vindt doorgaans plaats bij temperaturen tussen de 0 en 10 °C en gaat het beste tussen 0 en 3 graden.
Vorst	Doodvriezen bloem(knoppen) bij vervroegde bloei	
Hittegolven	Productieverlies, gewasschade Lagere melkproductie melkveehouderij, meer energie nodig voor ventilatie van stallen, meer stankoverlast van intensieve veehouderij	
Verandering neerslag patronen	Overstromingen	Kwaliteitsverlies door langdurig onder water staan gewas (anaerobie)
		Velden onberijdbaar voor oogstmachines
		Toename ziekten & plagen
		Verlating zaaidata
	Droogte	Opbrengstderving
		Kwaliteitsverandering (osmose effecten), vooral bij mais, granen, aardappelen. Bij suikerbieten hoger suikergehalte
Plensbuien of hagel	Fysieke schade, vooral bij tuinbouw en boomteelt	
	Legering (granen)	
CO ₂ -verhoging		Productieverhoging (door stimulering van de vegetatieve groei van gewassen)

Tabel 1. Gevolgen van klimaatverandering voor de landbouw op hoge zandgronden (bron: Geertsema et al., 2011).

uit 2014 hebben ook extra natte winters, waardoor vooral in het voorjaar in laag Nederland het grasland drassiger kan zijn, wat maaien of beweiden bemoeilijkt. Tabel 1 geeft een overzicht van effecten door klimaatverandering op hoge zandgronden.

Voor Noord-Nederland is de Agroklimaatkalender ontwikkeld (Schaap, 2011). Doel hiervan is om samen met stakeholders concreter te kijken naar wat klimaatfactoren zijn die opbrengst en kwaliteit van verschillende gewassen beïnvloeden, en welke een risico zijn voor de toekomst. Op basis hiervan kan concreet een set aan adaptatiemaatregelen worden opgesteld en besproken.

De Agroklimaatkalender brengt op een eenvoudige manier in beeld welke klimaatfactoren voor gewassen in het huidige klimaat de meeste risico's op schade geven door op maandbasis een frequentie te geven van de meest schadelijke klimaatfactoren zoals bijvoorbeeld extreme weersomstandigheden en ziekten en plagen. De laatste is een voorbeeld van een klimaatfactor die gewasmodellen niet goed mee kunnen nemen. De agroklimaatkalender geeft een indicatie hoe de frequenties van risico's op gewasschade verschuiven bij een veranderd klimaat. Dit is uitgezocht voor vijftien gewassen in de huidige situatie en in 2040 en 2100. In een parallel lopend onderzoek is op basis van het gewasgroeimodel WOFOST in een iteratief proces (workshops) met agrariërs de risico's van klimaateffecten op landbouwproductie in Flevoland geëvalueerd en robuuste adaptatiemaatregelen gedefinieerd. Hierbij is ook gekeken naar de kosten en baten van de adaptatie maatregelen.

Per gewas worden de klimaatgegevens voor ieder tijdvenster en de specifieke factoren naast elkaar gelegd om de impact van klimaatverandering te schatten. Niet alle klimaatfactoren hebben een even solide basis in de wetenschap. Sommige drempelwaarden zijn terug te vinden in de literatuur, andere zijn gebaseerd op expert- en praktijkkennis. De verschillende bronnen zijn aangegeven, maar er is verder geen waardeoordeel gegeven. De agroklimaatkalender geeft:

- De frequentie van schadeveroorzakende klimaatfactoren voor een gewas in het huidige klimaat op een bepaalde locatie en
- Hoe de frequentie van schadeveroorzakende klimaatfactoren bij klimaatverandering zal verschuiven. Een voorbeeld van de resultaten wordt gegeven in tabel 2.

De Agroklimaatkalender is in principe een vrij simpel concept dat door vrijwel iedereen toe te passen is. De handreiking vraagt wel voldoende input van de

gebruiker. Allereerst zijn er naast gewaskennis en teeltkennis klimaatgegevens nodig om klimaatfactoren te karakteriseren. Vervolgens kan met KNMI-scenario's

Klimaatfactor	Periode	Impact op het gewas	Bereik van geschatte opbrengstderving (%)
Hevige regenval	mei – sept	Verrotten groot deel van de aardappeloogst	25 - 75
Hittegolf	juli – sept	Doorwas	25 - 75
Warm en nat	juli – sept	Het (vaker) voorkomen van de bacterieziekte Erwinia die natrot en stengelrot veroorzaakt waardoor oogstbederf optreedt	10 - 50
Aanhoudend nat weer	juni – sept	Spuiten tegen Phytophthora is niet mogelijk (vanwege verspreiden van ziekten) waardoor oogst verloren	50 - 100
Warme winter	dec – maart	Bewaring van aardappelen problematisch, de buitenlucht kan de aardappelen niet koelen en veroorzaakt verlies vocht en uitlopers en rot. (Dit is desastreus voor pootaardappelen).	25 - 75

Tabel 2. Klimaateffecten op aardappel (bron: [Agroklimaatkalender](#))

uitgerekend worden hoe de frequentie van klimaatfactoren in de toekomst wijzigt.

Tabel 2 is voor alle vijftien onderzochte gewassen opgesteld (De Wit et al., 2009, Schaap et al., 2009). Op de Agroklimaatkalender staan alleen deze tabellen voor aardappel, tarwe en suikerbiet.

De structurele effecten van klimaatverandering op de landbouw zijn naar verwachting voorlopig beperkt. De verwachting is dat op korte termijn technologische innovaties en aanpassingen in de agrarische bedrijfsvoering de geleidelijke klimaatverandering voor een groot deel kunnen ondervangen. Toch zal de landbouw moeten inspelen op onverwachte omstandigheden. Belangrijke leemten in kennis bestaan vooral voor veranderende risico's door extremen en de invloed van lange natte en droge perioden op ziekten en plagen.

Klimaatverandering versterkt ook de effecten van landbouw op vermesting en vervuiling. Door bijvoorbeeld meer hevige neerslag zullen meer nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen door oppervlakkige afspoeling terecht komen in oppervlaktewateren. Dit effect is relevant voor het bereiken van doelen uit de Kaderrichtlijn Water (PBL et al., 2012).

Klimaatverandering, en dan met name de temperatuurstijging, kan ook leiden tot een snellere afbraak van organische stof in de bodem waardoor het humusgehalte afneemt en de bodem minder water vast kan houden (deltafact 'bodem als buffer').

Klimaat en klimaatverandering zijn niet de enige factoren die gewasopbrengsten beïnvloeden (figuur 5). Naast andere milieufactoren heeft ook de bedrijfsvoering invloed hierop. Potentiële opbrengsten kunnen verhoogd worden door verbetering van rassen door plantenveredeling, en door het aanpassen van de zaaidatum. Het verschil tussen potentiële en actuele opbrengsten kan verkleind worden door het gebruik van (kunst)mest, pesticiden, irrigatie en een ander management dat oogstverliezen voorkomt. Het is daarom belangrijk om voor de huidige situatie het management in kaart te brengen en ook voor de toekomst hier voorspellingen over te doen.

7. Adaptatiemogelijkheden landbouw

Om in te spelen op veranderende weersomstandigheden en de uitstoot van de broeikasgassen (CH₄, CO₂ en N₂O) te beperken zal landbouw net als andere sectoren maatregelen moeten nemen. Niets doen is voor de langere termijn geen optie.

Maatregelen kunnen plaatsvinden op verschillende niveaus, variërend van het perceel- of gewasniveau tot het schaalniveau van een regio:

- Gewasniveau: adaptatie in relatie tot gewasgroei, inspelen op veranderende groeiomstandigheden zoals bodemstructuur en vochthuishouding;
- Bedrijfsniveau: adaptatie van de bedrijfsvoering, bijvoorbeeld maatregelen in de jaarplanning, gewasrotatie en zoetwatervoorziening;
- Sectorniveau: adaptatie van bedrijfssystemen, innovatieve maatregelen zoals introductie van nieuwe gewassen of teeltsystemen;
- Gebiedsniveau: integrale benadering van cross-sectorale effecten, afstemmingen van maatregelen op andere sectoren zoals natuur- en waterbeleid et cetera.

In 2016 zijn voor de landbouwsector verschillende aanpassingsmogelijkheden in beeld gebracht in het kader van de [Nationale Adaptatiestrategie](#) (NAS).

Internationaal wordt het concept '[climate smart agriculture](#)' nader vorm gegeven waarbij emissiebeperking een klimaatadaptatie hand in hand gaan op het bedrijf.

Met 'cross-sectorale effecten' wordt bedoeld dat adaptatiestrategieën door de nauwe verwevenheid van sectoren in gebieden op elkaar afgestemd moeten worden op verschillende schaalniveaus. Er kan geredeneerd worden van zowel het lagere naar het hogere schaalniveau - wat zijn de gevolgen van teeltaanpassingen voor een bedrijf, voor andere sectoren of voor een gebied als geheel -, als andersom - wat zijn de gevolgen van toekomstige marktontwikkelingen of van aanpassingen van het watersysteem voor verschillende landbouwsectoren en andere sectoren, voor afzonderlijke bedrijven of voor specifieke teelten-. Een dergelijke benadering geeft aan dat sectorale maatregelen niet los gezien kunnen worden van het grotere geheel en van maatregelen die genomen worden in andere sectoren.

Binnen Kennis voor Klimaat en Klimaat voor Ruimte ([Dossierpagina landbouw](#)) is in verschillende projecten kennis verzameld over klimaatadaptatie en de landbouwpraktijk op regionaal niveau ([Noord-Nederland](#), [Hoge Zandgronden](#), [Zuidwestelijke Delta](#), [Veenweidegebied](#)) en op bedrijfsniveau ([GO-FRESH](#), [SPAARWATER](#)). Binnen het Klimaat voor Ruimte Programma is gekeken naar de invloed van klimaatverandering en marktontwikkelingen op de landbouw in Europa ([Hermans en Verhagen, 2008](#)). Deze invloed is ingeschat voor twee klimaat-marktontwikkelingsscenario's voor aardappel, graan en melkproductie.

	Niveau	Indicatieve kosten	
		Jaarlijks (k€/ha)	Investing (k€/ha)
Langdurig droog – Opbrengstderving (juni - aug.)			
Vergroten vochtvasthoudend en vochtbergend vermogen van de bodem ¹⁾	Bedrijf	0,1 - 0,5	-
Droogteresistent ras ontwikkelen	Sector	-	1.000 - 10.000 ²⁾
Kwakkelweer - Opvriezen van de wortels (nov. - maart)			
Vroeger inzaaien	Gewas/bedrijf	nihil	-

¹⁾ zie voor mogelijke maatregelen (uitwerking) bijlage 4 van de Wit et al. (2009)

²⁾ kosten zijn niet per hectare uit te drukken

Tabel 3. Mogelijke adaptatiemaatregelen voor de teelt van wintertarwe, om schade door klimaatrisico's voor het zichtjaar 2040 (langdurige droogte, kwakkelweer) te voorkomen of te beperken. Bron: www.klimaatlandbouw.wur.nl

De hierin opgedane kennis wordt voor een groot deel gebundeld in de genoemde website www.klimaatlandbouw.nl en de daaronder beschikbare

AgroKlimaatKalender. Tabel 3, overgenomen van deze kalender, geeft voor wintertarwe mogelijke adaptatiemaatregelen om schade door klimaatrisico's te voorkomen of beperken.

Deze tabellen zijn ook voor suikerbiet en consumptieaardappel weergegeven op de website van klimaat en landbouw. Voor de andere gewassen staan deze tabellen in de genoemde literatuur ([Wit et al 2009](#), [Schaap et al 2011](#)).

8. Governance

Governance heeft betrekking op de wijze waarop overheden – samen met andere belanghebbende partijen – adaptief vermogen ontwikkelen.

Voor de agrariërs is het belangrijk om in hun bedrijfsvoering, uitbreiding en investeringen te anticiperen op de veranderingen van het klimaat. Voor de overheden is het belangrijk om het beleid voor adaptatie op klimaatverandering zodanig uit te werken dat er nieuwe kansen ontstaan voor gebiedsontwikkeling en dat de randvoorwaarden worden gecreëerd voor ruimtelijke ordening en het waterbeheer opdat de positie van de landbouw voor langere termijn veilig wordt gesteld.

Momenteel worden investeringsbeslissingen in de landbouwsector genomen op basis van trends in markt en beleid. Klimaatverandering wordt, hoewel het een additionele stress is, nauwelijks meegewogen bij belangrijke beslissingen zoals het voortzetten of uitbreiden van een bedrijf.

Effecten van klimaatverandering die doorwerken in de keten van voedselproductie

Investeringsbeslissingen op bedrijfsniveau die niet goed inspelen op toekomstige klimaatrisico's kunnen doorwerken in het financiële resultaat van de verwerkende industrieën (Voorbeelden: suikerfabriek, bierbrouwerijen, aardappelverwerkende industrie en Retail).

Klimaatadaptatie is niet alleen een taak voor de agrarische bedrijven maar een collectieve opgave voor diverse partijen omdat de effectiviteit van de maatregelen op

bedrijfsniveau afhangt van de doorwerking in de voedselproductieketen en de verdeling van natuurlijke hulpbronnen.

Verdeling van natuurlijke hulpbronnen die schaarser worden bij klimaatverandering

Op gebiedsniveau gaat het om de verdeling van natuurlijke hulpbronnen (zoals water, energie) tussen agrarische bedrijven, drinkwatervoorziening, overige economische functies en de waterbehoefte van natuur.

9. Kosten en baten

Zoals onder sectie 8 aangegeven zijn de kosten en baten van klimaatadaptatie voor de landbouwsector op een complexe manier verdeeld binnen de voedselproductieketen en de verschillende gebruikers van de natuurlijke hulpbronnen in een gebied. Er zijn verschillende instrumenten om inzicht te krijgen over de kosten en baten voor het aanpassen van de zoetwatervoorziening op bedrijfs- en gebiedsniveau in het licht van klimaatverandering die zijn toegepast in verschillende casestudies (tabel 4). Daarnaast is er in Nederland ook gewerkt aan financiële instrumenten (bijvoorbeeld subsidieregelingen, gebiedsfondsen, belasting en [beprijzing van water](#)) die klimaatadaptatie kunnen stimuleren of klimaatgevoelige investeringen kunnen remmen.

Tabel 4, voorbeelden van casestudies en instrumenten die ontwikkeld zijn om de kosten en baten van zoetwatervoorziening in beeld te brengen.

Casestudie of tool	Korte toelichting
Regioscan Zoetwatermaatregelen (Delsman et al., 2018)	De Regioscan Zoetwatermaatregelen geeft inzicht in de ruimtelijke verschillen in de kosten/baten afweging van de toepassing van zoetwatermaatregelen in de toekomst.
Kosten calculator ondergrondse waterberging (GOFRESH –II) (Oude Essink et al., 2019)	De Calculator geeft een eerste indicatie van de startinvestering en de jaarlijks kosten voor de toepassing van drie maatregelen gebaseerd op ondergrondse waterberging met een

	minimale en maximale schatting van de kosten.
Waterwijzerlandbouw (Werkgroep Water Wijzer Landbouw, 2018)	De WWL-tabel maakt ook een doorvertaling van gewasopbrengstverschillen naar economische effecten.
SPAARWATER	In dit project zijn kosten en baten van maatregelen in beeld gebracht om de zoetwatervoorziening te verbeteren bij bedrijven in de Waddenregio gebaseerd op ondergrondse waterberging, peilgestuurde drainage en druppelirrigatie. Een digitale rekenhulp 'zoetwaterberging.nl' is in ontwikkeling.

10. Kennisleemten

Internationaal

Een belangrijke kennisleemte betreft de rol van technologie en agrarische bedrijfsvoering bij het verklaren van de zogenaamde 'yield gap'. De 'Yield gap' is het verschil tussen potentiële en actuele opbrengst. Er zijn wetenschappers die verwachten dat genetische ontwikkeling van gewassen de gewasopbrengsten weinig meer kan laten stijgen, maar er zijn ook wetenschappers die verwachten dat de ontwikkelingen vanaf de Tweede Wereldoorlog zich voortzetten. Wat zeker is, is dat in de afgelopen 50 jaar genetische ontwikkeling een veel grotere invloed heeft gehad dan klimaatverandering. De snelle stijging van gewasopbrengsten in de laatste 50 jaar is ook voor een groot deel te danken aan verbetering van het gewasmanagement. Er wordt meer gebruik gemaakt van kunstmest, pesticiden, herbiciden en insecticiden, en schaalvergroting en mechanisatie hebben geleid tot betere efficiëntie.

Nationaal

- Hoe is de voedselketen in Nederland te (re)organiseren om in 2050 klimaatbestendig te zijn? Hierbij dienen de productie, verwerking, gebruik van natuurlijke hulpbronnen, de organisatie en consumptie in samenhang en

gegeven de veranderende sociaaleconomische en technologisch context tegen het licht van klimaatverandering worden gehouden.

- Hoe heeft klimaatverandering invloed is op de uitvoerbaarheid en rendabiliteit van deze plannen en welke ontwikkelingspaden zijn er? Gekoppeld hieraan is de ontwikkeling van financiële mechanismen (verzekering, subsidie, belasting, beprijzing) voor risicodeling bij transitieprocessen.
- Welke adaptatiemaatregelen (bijvoorbeeld in de glastuinbouw) zijn geschikt om te anticiperen op extreme weersomstandigheden (hagelbuien en windhozen)? Hoe kan de effectiviteit daarvan verbeterd worden met weer en seizoenvoorspellingen voor wateroverlast, -tekort en extreem weer (onweer, hagel, etc.)?
- Hoe om te gaan met gecascadeerde (klimaat)risico's in de voedselproductie gerelateerd aan ziekte en plagen, waterkwaliteit, waterschaarste en voedselveiligheid?

10. Onderzoeken klimaateffecten landbouw

Nuttige links

- [Dossierpagina Landbouw en Klimaat \(KvR programma\)](#)
- [Kennis voor Klimaat \(eindresultaten rurale gebieden\)](#)
- [Dossierpagina Landbouw en Klimaat \(Wageningen UR\)](#)
- [Dossierpagina Climate Smart Agriculture \(Wageningen UR\)](#)
- [WaterWijzer Landbouw](#)
- [Nationaal Modellen en Data Centrum voor de Leefomgeving \(NMDC\)](#)
- [NKWK Onderzoeksprogramma Water en Voedsel](#)
- [Onderzoeksprogramma Lumbricus](#)
- [KNMI Klimaatscenario's](#)
- [KNMI Transformatieprogramma](#)
- [Klimaateffectatlas](#)
- [PBL Dossier Klimaatverandering](#)

11. Bronnen & links

- [ACACIA Water](#), 2019. Spaarwater - Rendabel en duurzaam agrarisch watergebruik en waterbeheer in de verziltende Waddenregio - Hoofdrapport 2016-2018 (pp. 8-). Gouda.
- [Bakel, P.J.T. van, B. van der Waal, M. de Haan, J. Spruyt, A. Evers](#), 2007. HELP-2006. "Uitbreiding en actualisering van de help 2005 tabellen ten behoeve van het waternood-instrumentarium." Utrecht, STOWA-rapport 2007-13.
- [Bakel, P.J.T. van, V. Linderhof, C.E. van 't Klooster, A.A. Veldhuizen, D. Goense, H.M. Mulder, H.T.L. Massop](#), 2009. "Definitiestudie Agricom". Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1934.
- [Bakker, A., Bessembinder, J.](#), 2012. Time series transformation tool: description of the program to generate time series consistent with the KNMI '06 climate scenarios Technical Report/TR-326 (pp. 58). De Bilt: KNMI.
- [Bartholomeus, R., Kroes J., van Bakel P.J.T., Hack-ten Broeke, M., Walvoort, D. en Witte, F.](#), 2013. Actualisatie schadefuncties landbouw; fase 1. Op weg naar een geactualiseerd en klimaatbestendig systeem van effect van waterbeheer op gewasopbrengst. Overzicht van doorgevoerde verbeteringen in fase 1 (september 2012 – april 2013). STOWA-rapport 2013-22.
- [Brouwer, F. en J.T.M. Huinink](#), 2002. Opbrengstdervingspercentages voor combinaties van bodemtypen en grondwatertrappen. HELP-tabellen en opbrengstdepressiekaarten. Wageningen, Alterra / EC-LNV, Alterra-rapport 493.
- [CAS](#), 2017. Klimateffectatlas. Stichting Climate Adaptation Services.
- [Daniels E., Lenderink G., Hutjes R.W.A., Holtslag A.](#), 2016. Relative impacts of land use and climate change on summer precipitation in the Netherlands. Hydrology and Earth System Sciences 20 (10), 4129
- [Delsman, J., van Boekel, R., Reinhard, S., te Winkel, T., van Loon, A., Bartholomeus, R.,... Schasfoort, F.](#), 2018. Regioscan Zoetwatermaatregelen - Verkennen van het perspectief van kleinschalige zoetwatermaatregelen voor de regionale zoetwateropgave (pp. 160). Delft: Deltares.
- [De Wit, A., Boogaard, H., Fumagalli, D., Janssen, S., Knapen, R., Van Kraalingen, D., Supit, I., Van der Wijngaart, R. and Van Diepen, K.](#), 2018. 25 years of the WOFOST cropping systems model. Agricultural systems.

- [Ek, R van, G. Janssen, M. Kuijper, A. Veldhuizen, W. Wamelink, J. Mol, A. Groot, P. Schipper, J. Kroes, I. Supit, E. Simmelink, F. Van Geer, P. Janssen, J. Van der Sluijs, J. Bessembinder](#), 2012. "NMDC-Innovatieproject. Van Kritische zone tot Kritische Onzekerheden: casestudie Baakse beek," Deltares report 1205652-000.
- [Geertsema, W., H. Runhaar, T. Spek, E. Steingrover, J.P.M. Witte](#), 2011. "Klimaatadaptatie droge rurale zandgronden - Gelderland.". KvK/034/2011.
- [Geijzendorffer, I. et al](#), 2011. Gevolgen klimaatextremen voor de Nederlandse Landbouw. Noodzaak voor adaptatie? Alterra-rapport 1994.
- [Hack-ten Broeke, M., Kroes J., Hendriks R., Bartholomeus R., van Bakel P.J.T., Hoving I.](#), 2013. Actualisatie schadefuncties landbouw, tussenfase 2a: plausibiliteitstoets SWAP en enkele verkennende berekeningen. STOWA-rapport 2013-37.
- [Haasnoot, M., Bouwer, L. M., Diermanse, F., Kwadijk, J., van der Spek, A., Oude Essink, G. H. P., Delsman, J., Weiler, O., Mens, M., ter Maat, J., Huismans, Y., Sloff, K., Mosselman, E.](#), 2018. Mogelijke gevolgen van versnelde zeespiegelstijging voor het Deltaprogramma - Een verkenning (pp. 84). Delft: Deltares.
- [Hermans, T., Verhagen, J.](#), 2008. Spatial Impacts of climate and market changes on agriculture in Europe. Alterra rapport 1697.
- [Sluijter, R., Plieger, M., van Oldenborgh, G.J., Beersma, J., de Vries, H.](#), 2019. De droogte van 2018 - Een analyse op basis van het potentiële neerslagtekort. De Bilt: KNMI
- [Ligtvoet, W., Bregman, B., van Dorland, R., ten Brinke, W., de Vos, R., Petersen, A., & Visser, H. \(2015\).](#) Klimaatverandering - Samenvatting van het vijfde IPCC-assessment en een vertaling naar Nederland (pp. 135). Den Haag: PBL/KNMI.
- [Knotters., M. J. van Bakel, R. Bartholomeus, M. Hack-ten Broeke, R. Hendriks, G. Holshof, I. Hoving, J. Kroes, M. Mulder & D. Walvoort.](#) 2017. Waterwijzer landbouw fase 3: naar een operationeel systeem voor gras en maïs. Rapport 2017-07, STOWA, Amersfoort.
- [Kroes, J.G., Supit, J.](#) 2011. "Impact analysis of drought, water excess and salinity on grass production in the Netherlands using historical and future climate data". Agriculture, Ecosystems and Environment.
- Mens, M., Ter Maat, J., 2018. [Droogte in Nederland: uitdaging voor het waterbeheer](#) (website).

- [Lenderink, G., Attema J.](#), 2014. A simple scaling approach to produce climate scenarios of local precipitation extremes for the Netherlands, Environmental Research Letters 10 (8), 085001
- [Mulder, H.H. en A.A. Veldhuizen](#) (2014) AGRICOM 2.01. Theorie en gebruikershandleiding. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2576.
- [Mulder, H.M., P.J.T. van Bakel, A. de Vos, G. van Straten, M. Heinen & J.G. Kroes](#), 2018. Zouttolerantie aardappelen. SWAP-WOFOST toepassing op zilt proefbedrijf Texel. Rapport 2018-01, STOWA, Amersfoort.
- [Werkgroep Water Wijzer Landbouw](#), 2018. Waterwijzer landbouw: Instrumentarium voor kwantificeren van effecten van waterbeheer en klimaat op landbouwproductie (pp. 71). Amersfoort.
- [Oude Essink, G., Pauw, P., Van Baaren, E., Zuurbier, K., De Louw, P., Veraart, J. A., \[...\], Groen, M.](#), 2019. GO-FRESH: Valorisatie kansrijke oplossingen voor een robuuste zoetwatervoorziening - Rendabel en duurzaam watergebruik in een zilte omgeving (pp. 177). Utrecht: Deltares.
- [Reidsma P, MM Bakker, A Kanellopoulos, SJ Alam, W Paas, J Kros](#), 2015. Sustainable agricultural development in a rural area in the Netherlands? Assessing impacts of climate and socio-economic change at farm and landscape level. Agricultural Systems 141, 160-173
- [Schaap, B., Blom-Zandstra, M., Hermans, C., Meerburg, B., Verhagen, J.](#), 2011. "Impact changes of climatic extremes on arable farming in the north of the Netherlands." Regional Environmental Change: 1-11.
- [Schaap, B., Blom-Zandstra, G., Geijzendorffer, I., Hermans, T., Smidt, R., Verhagen, A.](#), 2009. Klimaat en landbouw Noord-Nederland. Rapportage van fase 2. Plant Research International & Alterra, Wageningen UR, Wageningen.
- [Schipper, P. N. M., P. Bogaart, A. Groot, J. G. Kroes, J. P. Mol-Dijkstra, M. Mulder, I. Supit, P. Verweij, P. E. V. Van Walsum, E. Van Baaren, R. Van Ek, G. O. Essink, F. Sanchez, A. Bakker, J. Bessembinder, P. Janssen, M. F. Van Geer, E. Simmelink, and J. van der Sluijs](#), 2013. "Integraal Waterbeheer - kritische zone en onzekerheden. Integraal hoofdrapport. Alterra-rapport 2443,"
- [Stoorvogel. J.J.](#), 2009. "Adapting Dutch agriculture to climate change". KfC rapport KvK/016/09
- [De Wit, J., Swart, D., Luijendijk, E.](#), 2009. "Klimaat en landbouw Noord-Nederland: nu, in 2040 en 2100. Fase 2: overzicht relevante klimaatfactoren,

impact schade van 15 landbouwgewassen en 2 diersoorten en mogelijke adaptatiemaatregelen". Houten.

Auteurs:

- J. Veraart (Wageningen Environmental Research)
- Pytrik Reidsma (WU Plantwetenschappen),

Deze factsheet is opgesteld door Wageningen Environmental Research, December 2011, en geactualiseerd in september 2012, maart 2014, april 2015, januari 2018 en juli 2019.

12. Disclaimer

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