



## 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.

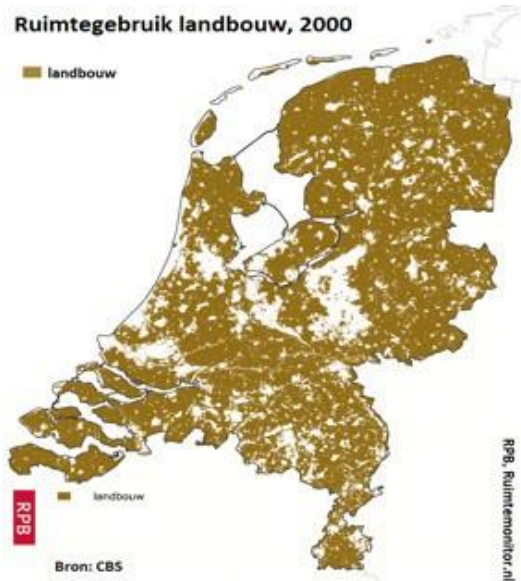
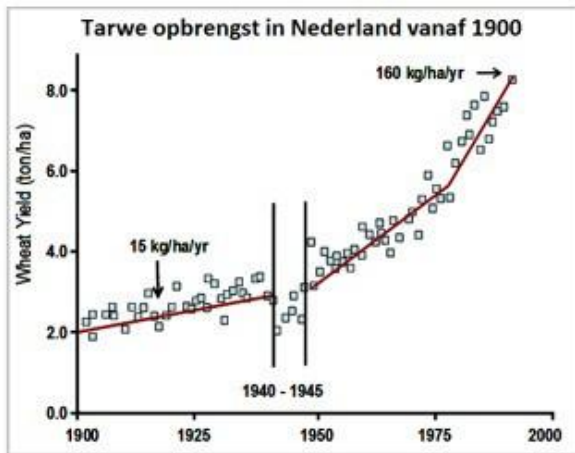
1. INLEIDING
2. GERELATEERDE ONDERWERPEN EN DELTAFACTS
3. KLIMAATVERANDERING
4. GEWASOPBRENGSTEN
5. REKENMETHODES GEWASOPBRENGSTEN
6. KLIMAATEFFECTEN LANDBOUWGEWASSEN
7. ADAPTATIEMOGELIJKHEDEN LANDBOUW
8. GOVERNANCE
9. KENNISLEEMTEN
10. ONDERZOEKEN KLIMAATEFFECTEN LANDBOUW
11. BRONNEN & LINKS
12. DISCLAIMER

### 1. Inleiding

Landbouw is een belangrijke pijler van de Nederlandse economie door de productie van voedsel en de export van landbouwproducten. De opbrengsten van gewassen in de landbouw zijn de afgelopen eeuw enorm toegenomen. De Nederlandse land- en tuinbouw droeg in 2015 1,5% bij aan het BNP. Volgens het CBS had de jaarlijkse export van agrarische producten een waarde van ongeveer € 85 miljard in 2016. Landbouw beslaat de meeste ruimte (1,8 miljoen hectare in 2012) in Nederland en is daarmee ook



	middeleeuwen (1400)	Begin 20ste eeuw (1910)	Eind 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.

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, CO<sub>2</sub>-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 Kennis voor Klimaat. Mitigatie van klimaatverandering door de landbouw valt buiten het kader van deze deltafact.

Klimaat voor Ruimte (2005-2012) bestudeerde de gevolgen van klimaatverandering en manieren om daarmee om te gaan, toegesneden op het ruimtegebruik en ter ondersteuning van de besluitvorming over de toekomstige inrichting van ons land.

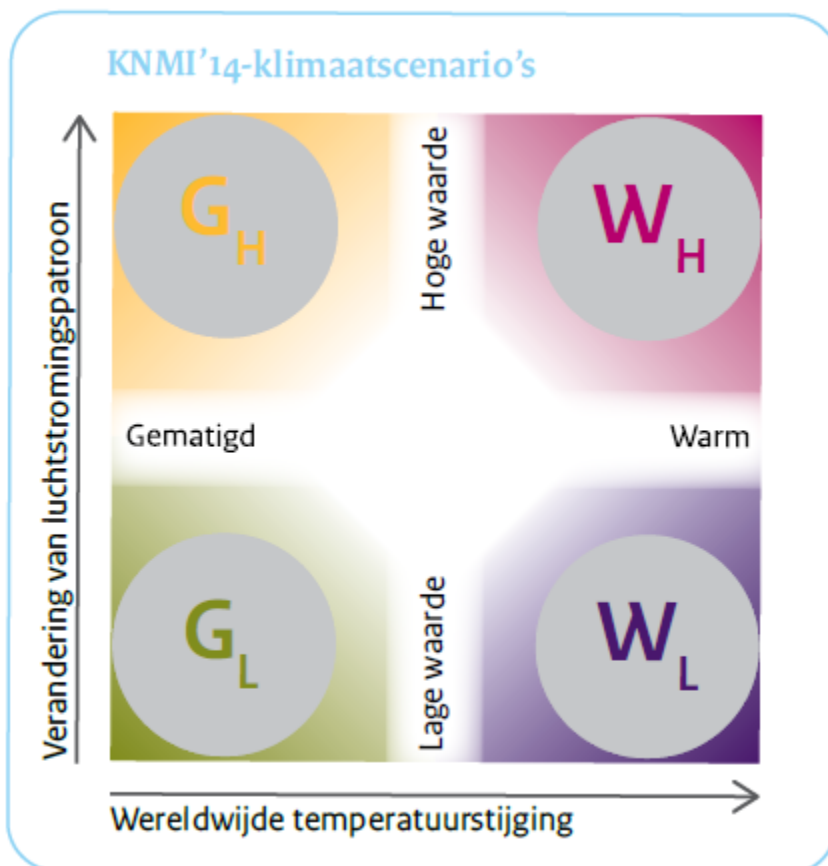
Kennis voor Klimaat (2010-2014) richtte zich vooral op kennis en de organisatie van kennis om Nederland 'climate proof' (klimaatbestendig) te maken. De ambitie daarbij is om de bijbehorende kennis en ervaring te etaleren ter versterking van het vestigingsklimaat en de exportpositie van klimaat- en deltatechnologie.

## 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, welke de KNMI 2006-scenario's vervangen (website). Er zijn in 2014 vier scenario's



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

ontwikkeld (GL, GH, WL en WH) en deze vier scenario's 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. Een nieuwe update van de scenario's wordt verwacht in 2021(KNMI-website).

Samengevat zijn de voorspellingen voor de temperatuur, neerslag en verdamping als volgt:

*Temperatuur:* volgens alle 4 scenario's zal de temperatuur blijven stijgen (voor het klimaat rond 2050 met +1,1 °C in GL en 2,7 °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 gemiddeld iets toe (+1,2% en +1,4%), terwijl volgens GH en WH deze juist afneemt met respectievelijk -8% en -13%.

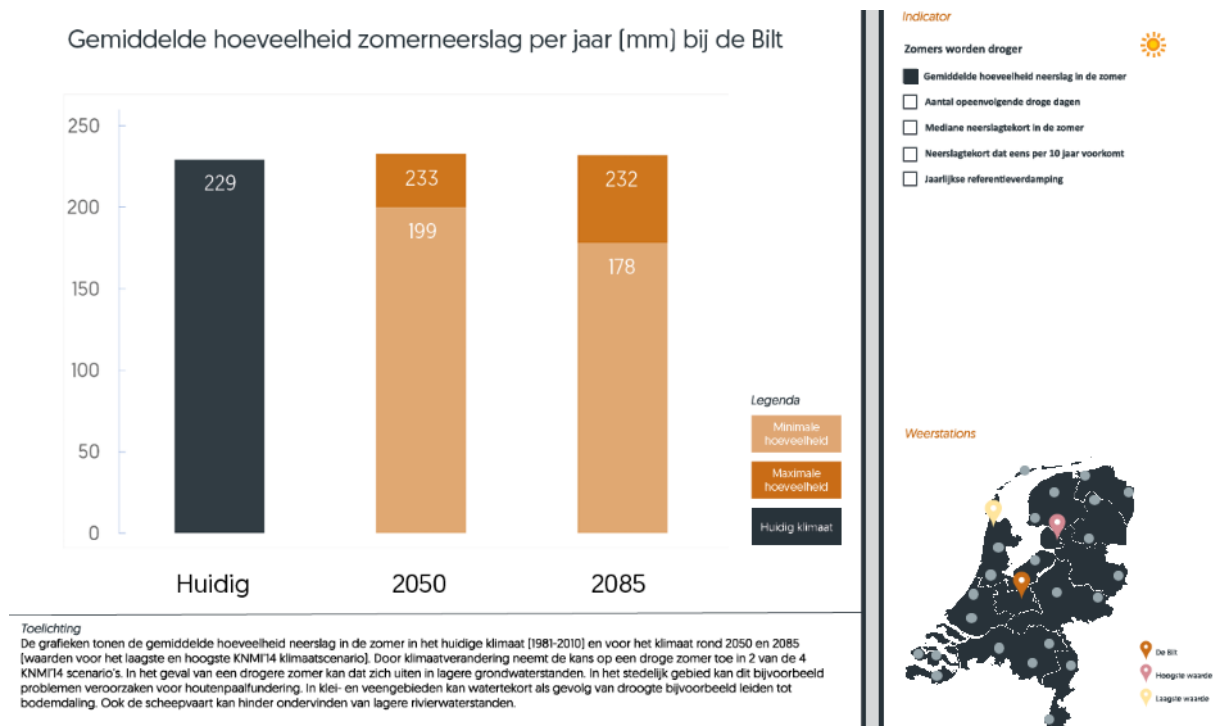
*Verdamping:* de potentiële verdamping neemt gemiddeld met enkele procenten toe (3% volgens GL, 7% volgens WH). In de zomers is deze toename nog sterker (4-11%). Deze stijging komt door meer zonnestraling en een hogere temperatuur. De verandering van de werkelijke verdamping kan afwijken van de potentiële,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

Voor de *koolzuur*(CO<sub>2</sub>)-concentratie geeft het KNMI geen waarden bij de vier scenario's. Reidsma et al. (2015) koppelen de vier KNMI-scenario's aan de SRES-emissiescenario's in het IPCC-assessment-rapport van 2001.

*Zeespiegel:* De KNMI scenario's geven aan dat de zeespiegel rond 2050 tussen de 15 tot 40 cm is gestegen. Het tempo van de zeespiegelstijging neemt toe, 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. 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 oppervlakte water. Daarom zijn er ruimtelijke verschillen in de effecten van klimaatverandering (droogte, water overlast) op de gewasgroei. In 2008 is begonnen met de ontwikkeling van de klimaateffectatlas waarmee deze ruimtelijke verschillen gevisualiseerd kunnen worden voor regionale gebiedsontwikkeling. Sinds 2014 is de klimaateffectatlas een instrument dat gebruikt wordt binnen het deelprogramma Ruimtelijke Adaptatie van het nationale



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

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 dagbasis. Het KNMI heeft tools (o.a. de climate explorer) ontwikkeld om tijdreeksen op dagbasis van neerslag, referentieverdamping en temperatuur van elk willekeurig meetstation te transformeren naar het toekomstige klimaat (Lenderink et al., 2014). Bij deze transformatie wordt niet alleen rekening gehouden met veranderingen in de hoeveelheid neerslag, maar ook met veranderingen in de verdeling van de intensiteit van neerslagbuien en verschuivingen in de neerslagverdeling over de seizoenen en de verschillende typen landgebruik en vegetatie (Daniels et al., 2016).

Voor het Nationaal Modellen en Data Centrum (NMDC) ontwikkelde het KNMI tools waarmee op eenzelfde wijze ook gegevens over straling, luchtvochtigheid, windsnelheid en temperatuur worden uitgeleverd zodat met het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium (NHI) de actuele verdamping volgens de methode Penman- Monteith kan worden berekend. Zo is het mogelijk om rekening te houden met terugkoppelingen tussen gewasgroei, verdamping en resulterende grondwateraanvulling in een veranderend klimaat. Het KNMI heeft ook regionale prognoses ontwikkeld voor verandering van neerslagpatronen gedifferentieerd voor de kuststrook en het binnenland. Deze regionale verschillen worden door het KNMI ook gebruikt bij het transformeren van de klimaatreeksen.

## 4. Gewasopbrengsten

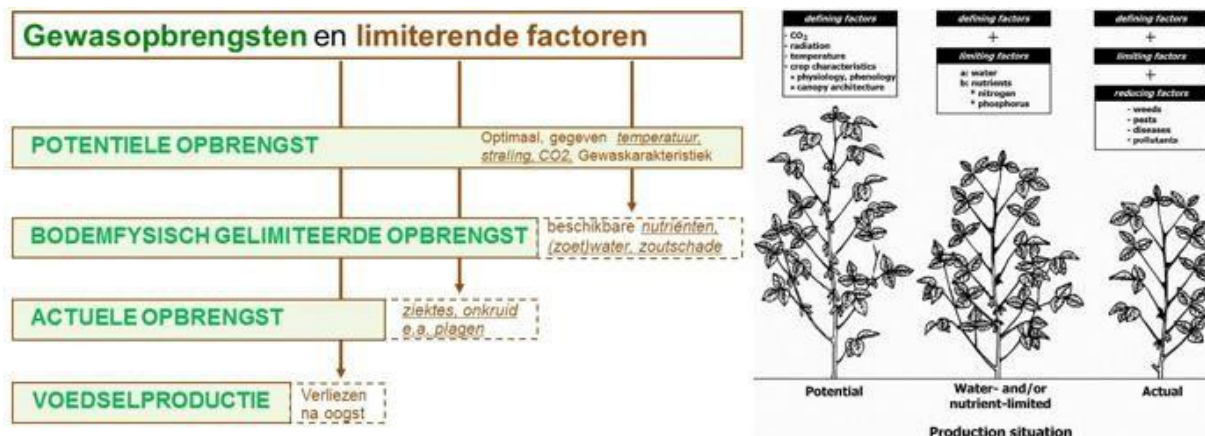
### **Gewasopbrengsten en limiterende factoren**

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 CO<sub>2</sub>-concentratie, straling en temperatuur, en de betreffende gewaskarakteristieken 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, CO<sub>2</sub> 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 of te natte 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 zaaizaad en een slechte ontwikkeling van geplante gewassen. Te natte omstandigheden resulteren in onvoldoende zuurstof voor het gewas. Als er geen goede gasuitwisseling (zuurstof en CO<sub>2</sub>) 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) en AGRICOM (Mulder en Veldhuizen, 2014), beiden onderdeel van het Nationaal Hydrologisch instrumentarium. De bestaande methodieken worden vernieuwd en deels vervangen binnen de Water Wijzer Landbouw.

Deze rekenmethodes worden hieronder kort toegelicht.

### **HELP-2006 tabellen**

De HELP-tabellen zijn opgesteld om effecten van waterhuishoudkundige werken op de opbrengst van landbouwgewassen vast te stellen ter evaluatie van landinrichtingsprojecten (Werkgroep HELP-tabel, 1987). De HELP 2006 tabellen gaven op basis van de bodem- en grondwatertrappenkaarten voor grasland en bouwland de langjarig gemiddelde opbrengstdepressies door vochttekort en wateroverlast.

De HELP-tabellen zijn in 2006 voor het Waternoodinstrumentarium uitgebreid met meer gewassen en meer bodemtypes, semi-continu gemaakt en als GIS-applicatie beschikbaar gemaakt. Ze ondersteunen zo de bepaling van het Gewenste Grond en Oppervlaktewater Regiem (GGOR).

De HELP-tabellen zijn om meerdere redenen niet geschikt om effecten van klimaatverandering te berekenen (van Bakel, 2011), maar vooral omdat ze gebaseerd zijn op oude, niet reproduceerbare berekeningen met weersgegevens uit de jaren 1950-1980.

### **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. Dit betreft de effecten van te droge, te natte of te zoute omstandigheden op de Nederlandse landbouw. De kosten en baten analyse wordt per jaar of over een langjarig gemiddelde periode uitgevoerd. Het AGRICOM model dient ter ondersteuning bij beleidsvragen als: wat zijn kansrijke maatregelen om landbouwschade te voorkomen, wat zijn de neveneffecten voor de

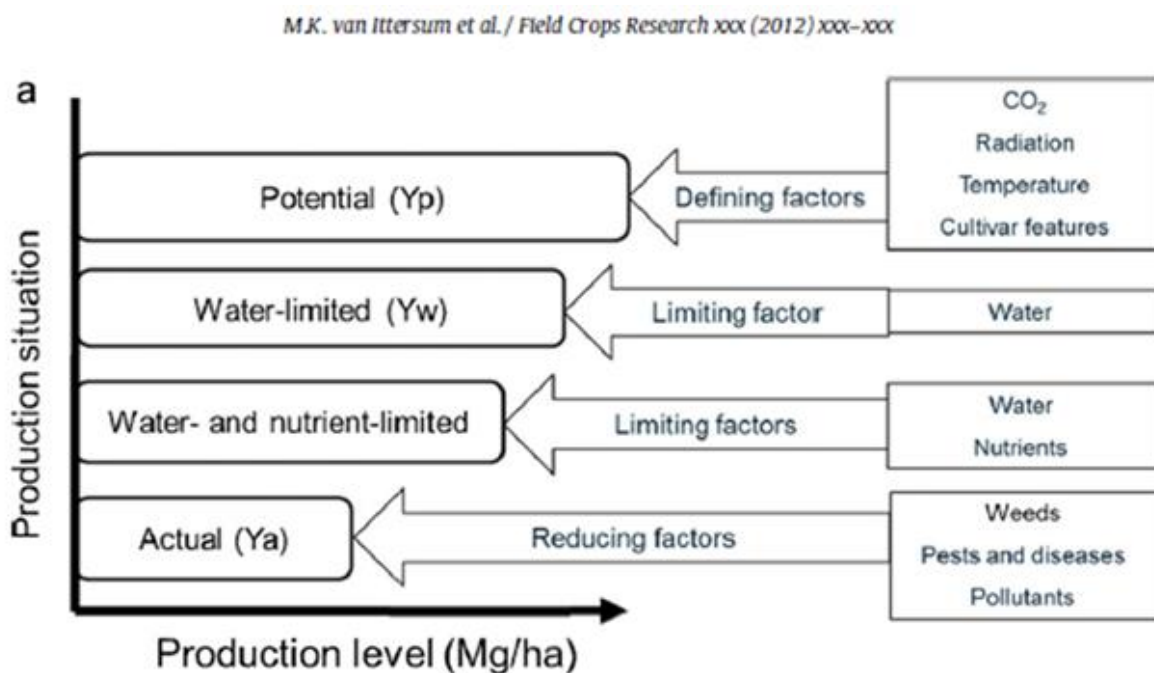


landbouw van anti-verdrogingsmaatregelen in natuurgebieden en hoe efficiënt is berekening.

AG RIC OM berekent ook de gewasopbrengstverandering voor een langjarige situatie op basis van de HELP-2006 tabellen. Daarom is ook Agricom niet geschikt om effecten van klimaatverandering te berekenen. Voor de droogteschade wordt dit ondervangen door de gewasopbrengsten met gewasgroeimodellen te berekenen.

### WaterWijzer Landbouw

In het project Waterwijzer Landbouw (2012-2018) wordt 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 op landbouwkundige opbrengsten gemaakt worden, in termen van droogteschade, natschade en zoutschade (Bartholomeus et al., 2013; Hack-ten Broeke et al., 2013). Het instrument kan gebruikt worden om bijvoorbeeld de effecten van peilbesluiten, inrichtingsplannen en grondwateronttrekkingen op de gewasproductie in te schatten. Hiertoe is een koppeling gemaakt met het gewasgroeimodel WOFOST, welke eerst is toegepast voor grasland (Kroes en Supit, 2011). In WOFOST (Van Ittersum et al., 2012) wordt gewasgroei berekend als functie van CO<sub>2</sub>-gehalte in de lucht, zonnestraling,



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

temperatuur en gewassenmerken. De beschikbaarheid van water bepaalt de watergelimiteerde gewasproductie (Figuur 5).

Behalve een koppeling met gewasgroeimodellering beoogt WaterWijzer Landbouw om indirecte effecten van droogte-, nat- en zoutschade te kwantificeren. Mogelijke indirecte effecten zijn de effecten van slechte bewerkbaarheid (bij zaaien en oogsten), van onvoldoende draagkracht voor beweiding of maaien, van afsterven van gewassen, van verhoogde onkruiddruk, structuurbederf of toename van ziekten en plagen.

Op basis van recente informatie over zouttolerantie van gewassen ([Deltafact Zouttolerante teelten](#), [Proefbedrijf Texel](#)) is een module ontwikkeld om zoutschade in te schatten. In 2017-2018 wordt gewerkt aan o.a. de parameterisatie van gewassen waarvoor geen toetsdata beschikbaar zijn en toetsing van de modelresultaten aan de praktijk binnen het [programma Lumbricus](#). Wanneer dit gereed is zullen de HELP tabellen definitief vervangen kunnen worden.

## 6. Klimaat effectenlandbouwgewassen

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 CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>-concentratie in de lucht heeft in Nederland een gunstig effect op de landbouwproductie, onder andere van grasland. In de klimaatscenario's uit 2006 en 2014 waarbij de luchtstroming verandert (W<sub>h</sub> en G<sub>h</sub>) wordt dit gunstige effect echter weer (deels) teniet gedaan 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 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.

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"> <li>• introductie van nieuwe soorten;</li> <li>• versnelling van de reproductie en verkorting van de regeneratiecyclus</li> <li>• doorbreken resistenties van gewassen</li> </ul>
		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 (anaërobie)
		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 <sub>2</sub> -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).

Voor Noord-Nederland is de Agroklimatekalender 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 Agroklimatekalender 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 agroklimatekalender 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 agroklimatekalender geeft 1) de frequentie van schadeveroorzakende klimaatfactoren voor een gewas in het huidige klimaat op een bepaalde locatie en 2) hoe de frequentie van schadeveroorzakende klimaatfactoren bij klimaatverandering zal verschuiven. Een voorbeeld van de resultaten wordt gegeven in tabel 2.

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

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](#))

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. Adaptatie mogelijkheden landbouw

Om in te spelen op veranderende weersomstandigheden en de uitstoot van de broeikasgassen CO<sub>2</sub> en N<sub>2</sub>O 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 en gewasrotatie
- 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. De benadering van schaalniveaus biedt een kader voor te nemen maatregelen. 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](#)), op bedrijfsniveau (GO-FRESH). Binnen het Klimaat voor Ruimte Programma is ook gekeken naar de invloed van klimaatverandering en marktontwikkelingen op de landbouw in Europa ([Hermans en Verhagen, 2008](#)). Deze invloed is ingeschat voor twee klimaat-markt-ontwikkelingsscenario's voor aardappel, graan en melkproductie.

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

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

<sup>2)</sup> kosten zijn niet per hectare uit te drukken

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

De hierin opgedane kennis wordt voor een groot deel gebundeld in de genoemde website [www.klimaatlandbouw.nl](http://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

Momenteel worden beslissingen in de landbouwsector genomen op basis van trends in markt en beleid. Klimaatverandering wordt hoewel het een additionele stress is niet meegewogen bij belangrijke beslissingen zoals het voortzetten of uitbreiden van een bedrijf. Hierin schuilt het gevaar van verkeerde of verlate beslissingen en investeringen met eventueel schadelijke gevolgen die door kunnen werken in de verwerkende en aanleverende industrieën.

Klimaatadaptatie is niet alleen een taak voor de agrarische bedrijven maar een collectieve opgave voor diverse partijen.

Governance heeft betrekking op de wijze waarop overheden – samen met andere belanghebbende partijen – adaptief vermogen ontwikkelen. In Kennis voor Klimaat is binnen het thema [Governance of Adaptation](#) ruim aandacht besteed aan de governance aspecten van adaptatie.

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.

## 9. Kennisleemten

### **Technologische ontwikkelingen**

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.

### **Yield-gap: verschil potentiële en actuele gewasopbrengsten**

Uit het onderzoek dat is en wordt uitgevoerd om het modelinstrumentarium SWAP-WOFOST verder te ontwikkelen en valideren, is naar voren gekomen dat in Nederland weinig adequate veldexperimenten beschikbaar zijn om de met het model berekende potentiële en actuele gewasopbrengsten te toetsen aan de praktijk. Het ontbreekt vooral aan experimenten waarin het verloop in de tijd van zowel de gewasopbrengsten als de vochtinhouding in de onverzadigde zone van de bodem is gemeten.

## 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](#)
- [Klimaateffectatlas](#)
- [PBL Dossier Klimaatverandering](#)

## 11. Bronnen & links

- [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](#)

[behoefte 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.](#)
- [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. Klimaateffectatlas. 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](#)
- [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, and J. Bessembinder, 2012. "NMDC-Innovatieproject. Van Kritische zone tot Kritische Onzekerheden: case studie 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 rapportnummer 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.](#)
- [Hermans, T. en J. Verhagen 2008, Spatial Impacts of climate and market changes on agriculture in Europe. Alterra rapport 1697.](#)
- [Kroes, J.G. en J. Supit 2011. "Impact analysis of drought, water excess and salinity on grass production in the Netherlands using historical and future](#)

[climate data". Accepted for publication in Agriculture, Ecosystems and Invironmen November 2011.](#)

- 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.
- 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.](#)

*Deze factsheet is opgesteld door Wageningen Environmental Research (Alterra), December 2011, en geactualiseerd in september 2012, maart 2014, april 2015 en januari 2018.*

**Auteurs:**

- P. Schipper (Alterra),

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

## 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.