



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. STRATEGIE
4. SCHEMATISCHE WEERGAVE
5. WERKING
6. KOSTEN EN BATEN
7. RANDVOORWAARDEN EN KANSRIJKE LOCATIES
8. GOVERNANCE
9. PRAKTIJKERVERARINGEN
10. KENNISLEEMTEN
11. OVERZICHT LOPENDE INITIATIEVEN EN ONDERZOEKEN
12. BRONNEN EN LINKS
13. COLOFON

1. Inleiding

Landbouw heeft een belangrijke rol in de Nederlandse economie en de productie van voedsel. De landbouwsector beslaat een groot deel van de ruimte in het Nederlandse landschap (1,8 miljoen hectare in 2023) in Nederland in vergelijking met andere sectoren (figuur 1). Dit maakt de sector een belangrijke speler in de ruimtelijke ordening en het beheer van natuurlijke hulpbronnen. Ondanks zijn economische bijdrage (met een waarde van €731.4 miljard ([CBS, 2023](#))), waaronder de export van agrarische producten ter waarde van €122,3 miljard in 2022 ([Rijksoverheid, 2023](#)), staat de landbouw onder toenemende druk. Niet alleen door concurrentie op

het gebied van landgebruik, zoals voor woningbouw en natuurontwikkeling, maar ook door de uitdagingen die klimaatverandering met zich meebrengt.

Het landbouwareaal is tussen 2000 en 2023 afgenomen met c.a. 0,17 miljoen hectare ([CBS, 2023](#)). Elk jaar verandert er gemiddeld 50 à 60 km² landbouwgrond naar een ander soort bodemgebruik ([CBS, PBL, RIVM & WUR, 2024](#)) (tabel 1). In de huidige maatschappelijke discussie staat de toekomst van de landbouw steeds meer ter discussie. Waar voorheen de nadruk lag op productie en export, verschuift de aandacht nu naar de ecologische voetafdruk van de sector en de noodzaak om op lange termijn weerbaarder te worden tegen de gevolgen van klimaatverandering. Dit vraagt om een heroverweging van hoe we het landschap inrichten en hoe verschillende functies – zoals voedselproductie, natuurbeheer en waterhuishouding – beter in balans kunnen worden gebracht.



Bron: CBS, Kadaster

Figuur 1. Bodemgebruik in Nederland in 2017. Bron: [CBS, Kadaster 2023](#).

Tabel 1. Agrarisch grondgebruik van 1996 t/m 2017. Bron: CBS, PBL, RIVM & WUR, 2024.

Jaartal	1996	2003	2010	2012	2015	2017
Agrarisch terrein (km²)	23 604	23 041	22 644	22 500	22 353	22 304

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, behoefte aan andere teelten en risico's van het klimaat op de bedrijfsvoering. Zowel voor de sector als voor overheden is het belangrijk om goed te anticiperen op de risico's en kansen door middel van

adaptatie. 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. Klimaatadaptatie in de landbouw verwijst naar maatregelen die in de sector genomen kunnen worden om de sector aan te passen aan de gevolgen van klimaatverandering, zoals het beperken van schade door droogte of extreme neerslag. Mitigatie, zoals het verminderen van de uitstoot van broeikasgassen door duurzamere landbouwmethoden, 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](#), [Berekening](#), [Zoetwater zelfvoorzienendheid van de landbouw](#), [Natte teelten](#), [Zoetwatervoorziening](#).

3. Strategie – Toekomstige klimaatscenario's

Hoe het klimaat verandert is vooral afhankelijk van de mate waarin de uitstoot van broeikasgassen beperkt wordt en het type klimaat wat daarmee gepaard gaat. Er zijn verschillende scenario's opgesteld die inzicht geven in het toekomstige klimaat.

KNMI-Klimaatscenario's

In 2023 heeft het KNMI vier [klimaatscenario's](#) voor Nederland opgesteld (figuur 2) ([KNMI, 2023](#)). In de vier klimaatscenario's wordt de toename van extremen, zoals hitte en extreme neerslag maar ook zeespiegelstijging weergegeven. De vier scenario's betreffen: 1) een lage uitstoot met een verdrogend klimaat (Ld), 2) een lage uitstoot met een vernattend klimaat (Ln), 3) een hoge uitstoot met een verdrogend klimaat (Hd) en 4) een hoge uitstoot met een vernattend klimaat (Hn). 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.



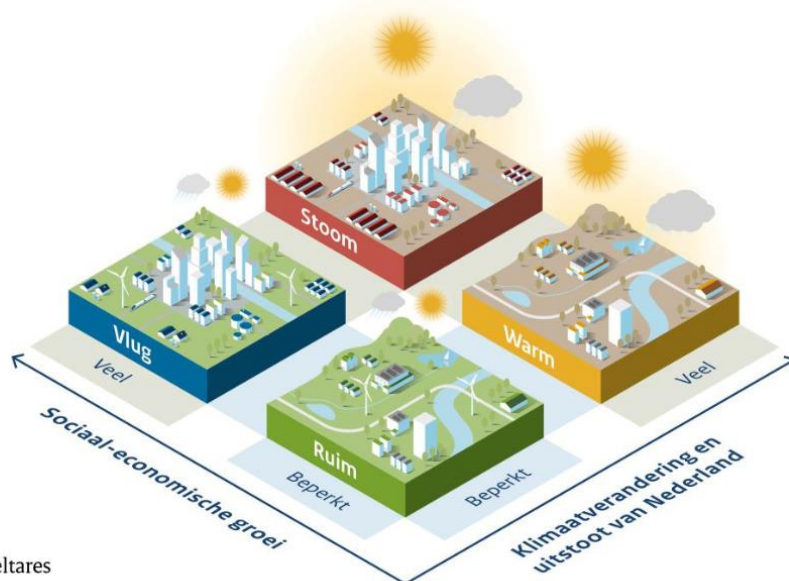
Figuur 2. Overzicht van de vier klimaatscenario's van 2023 van het KNMI (Bron: (KNMI, 2023))

Samengevat zeggen de KNMI-klimaatscenario's het volgende:

Rond 2050 en 2100 zal de opwarming (+0.9 °C in Ld en +1,6 °C in Hd in 2050) in Nederland het grootst zijn in de zomer, met meer hittegolven, zomerse dagen en tropische nachten, terwijl het in de winter minder koud zal zijn met minder ijs- en vorstdagen. De winters worden natter (+4% in Ld en +7% meer neerslag in 2050) en de zomers (langdurig) droger (+13% in Ln en +35% in Hd hoger maximaal neerslagtekort tussen april en september in 2050), met hevigere regenbuien (+4% in Ld en +9% Hn extra overschrijding van een daagse neerslagsom van 63 mm) als het in de zomer toch regent. Doordat de lucht in Europa sinds de jaren 80 steeds schoner is geworden en er minder stofdeeltjes in de lucht zitten en er daarnaast steeds minder wolken zullen zijn, zal de zon vaker schijnen. Hierdoor wordt de opwarming versterkt. Hoewel de kans op stormvloed door stormen niet verandert, zorgt de stijgende zeespiegel wel voor hogere stormvloed in de toekomst. De zeespiegel stijgt steeds sneller en zal dat eeuwenlang blijven doen door het smelten van de ijskappen, vooral op de Zuidpool. De uiteindelijke zeespiegelstijging hangt af van toekomstige CO₂-uitstoot.

Deltascenario's

Binnen het Nationaal Deltaprogramma zijn deltascenario's geschetst specifiek voor de wateropgaven in 2050 en 2100 (figuur 3). De vier deltasenario's hebben betrekking op de sociaal-economische groei en de klimaatverandering en uitstoot van Nederland: 1) het ruime scenario waarin de sociaal-economische groei en klimaatverandering beperkt blijven, 2) een warm scenario waarin de sociaal-economische groei beperkt blijft, maar er veel klimaatverandering plaatsvindt, 3) een vlug scenario met een grote sociaal-economische groei, maar een beperkte klimaatverandering en 4) het stoom scenario, waarin zowel de sociaal-economische groei als klimaatverandering toenemen.



Bron: Deltares

Figuur 3. Deltascenario's 2024. Bron: [Deltares, 2024](#).

Samengevat zeggen de deltasenario's het volgende:

De deltasenario's laten zien dat de uitdagingen op het gebied van zoetwaterbeschikbaarheid, wateroverlast en waterveiligheid in 2050 en 2100 substantieel toenemen, wat alle gebieden en watergebruikers raakt.

Klimaatverandering, bevolkingsgroei, verstedelijking en veranderingen in landgebruik verergeren deze problemen, met name in gebieden waar nu al knelpunten zijn. De mondiale temperatuur stijgt in alle scenario's, met de grootste stijging in het "Stoom en Warm" scenario. Dit leidt tot hogere winter- en zomertemperaturen in Nederland, waarbij zomers extremer worden. De zeespiegel stijgt in alle scenario's, wat zorgt voor grotere waterveiligheidsuitdagingen en de noodzaak om rivierafvoer aan te passen, vooral in het "Stoom en Warm" scenario. Neerslagpatronen veranderen ook, met toename van extreme buien en een grotere kans op wateroverlast. De zoetwaterbeschikbaarheid neemt af door minder regen en meer verdamping in de

zomer en een afnemende rivierafvoer, terwijl de vraag naar zoetwater stijgt door verzilting en bevolkingsgroei. De gecombineerde wateropgaven, waaronder vaker hoogwater en verhoogde risico's voor vitale infrastructuur, vragen om regionale en nationale oplossingen, waarbij adaptief beleid en robuuste strategieën noodzakelijk zijn (Knelpuntenanalyse Deltaprogramma Zoetwater, 2024).

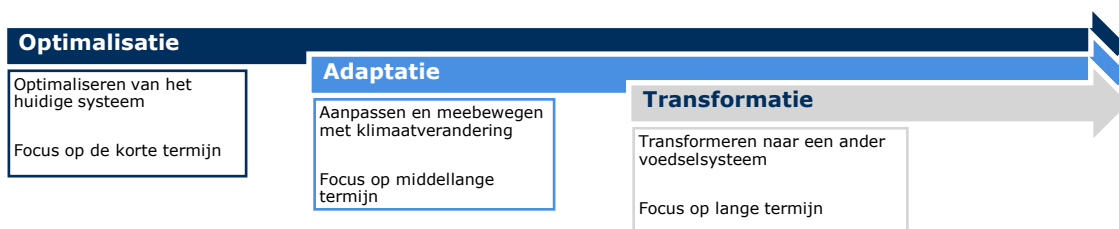
Recente klimaatextremen in relatie tot klimaatscenario's

2018, 2019 en 2020 waren drie droge en warme zomers op een rij. Dit past naadloos bij de verwachting dat droogte vaker voor zal komen als gevolg van klimaatverandering. In de zomer van 2018 veroorzaakte hoge luchtdruk boven zuidelijk Scandinavië hoge temperaturen en daarmee het langdurig uitblijven van neerslag in Nederland ([KNMI, 2019](#)). De effecten van de droogte in de landbouw hangen af van het cumulatieve neerslagtekort en de actuele gewasverdamping, maar ook van de aanvoer van water door de rivieren dat ingezet kan worden voor peilbeheer en beregning ([Mens & Ter Maat, 2018](#)). Op basis van trendanalyses kan niet gezegd worden dat de droogte in 2018 komt door klimaatverandering ([Sluiter et al., 2018](#)). Er is een kans dat het in de toekomst wel vaker droog wordt. In twee van de vier KNMI-klimaatscenario's en in de deltasenario's wordt Nederland droger in de zomer. De andere twee KNMI-scenario's laten in mindere mate een toename van droogte zien. Het jaar 2023 was daarentegen het natste jaar ooit gemeten in Nederland. Wateroverlast zorgde voor opbrengstderving en vertraging van werkzaamheden, maar kan ook de algemene waterveiligheid in het geding brengen. In de toekomstscenario's komt terug dat extreme neerslag in de zomer en nattere winters vaker kunnen voorkomen.

Adaptatiestrategie - van optimalisatie naar transformatie

Om als agrarische sector met klimaatverandering om te gaan, kan op strategische wijze worden gekozen voor adaptatie. De agrarische sector heeft een sterke adaptatiecapaciteit ([Kranendonk et al., 2022](#)). Zo maken agrarisch ondernemers strategische keuzes voor klimaatadaptatie op bedrijfsniveau. Daarnaast kan beleid de sector stimuleren om zich aan te passen aan een veranderend klimaat. Lees meer over adaptatiemaatregelen in Hoofdstuk 7 - Randvoorwaarden en kansrijke locaties.

Adaptatie kan plaatsvinden op zowel de korte, middellange als lange termijn (figuur 4) ([AWTI, 2023](#); [Hill & MacRae, 1996](#)). Op de korte termijn ligt de focus op optimalisatie, zoals het intensiveren van beregening, het efficiënter omgaan met water of de teelt van tolerante en resistente rassen. Voor de middellange termijn zet de sector in op adaptatie, zoals de implementatie van druppelirrigatie en het aanpassen van gewaskeuzes en het bouwplan om beter bestand te zijn tegen klimaatvariaties. Op de lange termijn is transformatie nodig, waarbij structurele veranderingen in de landbouwpraktijken, zoals de herziening van teeltsystemen en waterbeheerstrategieën, essentieel zijn om de sector duurzaam en weerbaar te maken tegen toekomstige klimaatveranderingen. Maatregelen die gaan over optimalisatie van het systeem kunnen tegelijkertijd plaatsvinden met maatregelen die gaan over transformatie. Dit is afhankelijk van de mate waarin klimaat een risico vormt voor de sector en de keuze van de sector om te focussen op de korte of de lange termijn.



Figuur 4. Van optimalisatie naar transformatie. Adaptatiestrategieën van de agrarische sector van optimalisatie van het huidige systeem tot transformatie naar een ander voedselsysteem (gebaseerd op de theorie van [Hill & MacRae, 1996](#)).

4. Schematische weergave – effect van klimaat op de landbouw

Wat betekenen de scenario's voor de landbouw?

Vooral te natte, te droge en te zoute omstandigheden en de duur daarvan zijn het meest bepalend voor een potentieel negatief effect op gewasopbrengsten in de landbouw. 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 maximaal kunnen groeien. Als dit proces wordt geremd, doordat de watervoorziening niet optimaal is, vertraagt de groei en is er sprake van een opbrengstdepressie. Zo kunnen ongunstige omstandigheden gedurende het groeiseizoen leiden tot een verminderde fotosynthese en die de gewasontwikkeling kunnen remmen. Ongunstige

omstandigheden kunnen ook het groeiseizoen zelf beïnvloeden. Een te droge grond in het voorjaar kan bijvoorbeeld resulteren in vertraagde kieming van zaaizaad en een slechte ontwikkeling van geplante gewassen. Studie door [Stokkers et al. \(2018\)](#) en [Ecorys \(2019\)](#) toonden aan dat met name akkerbouwbedrijven op de Hoge Zandgronden en het Zuidwestelijk kleigebied de grootste opbrengstderving ondervonden in het droge jaar van 2018. Het inkomsteneffect van met name zetmeelbedrijven (-56%), melkrundveehouderij (-39%) was door de droogte het grootst.

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.

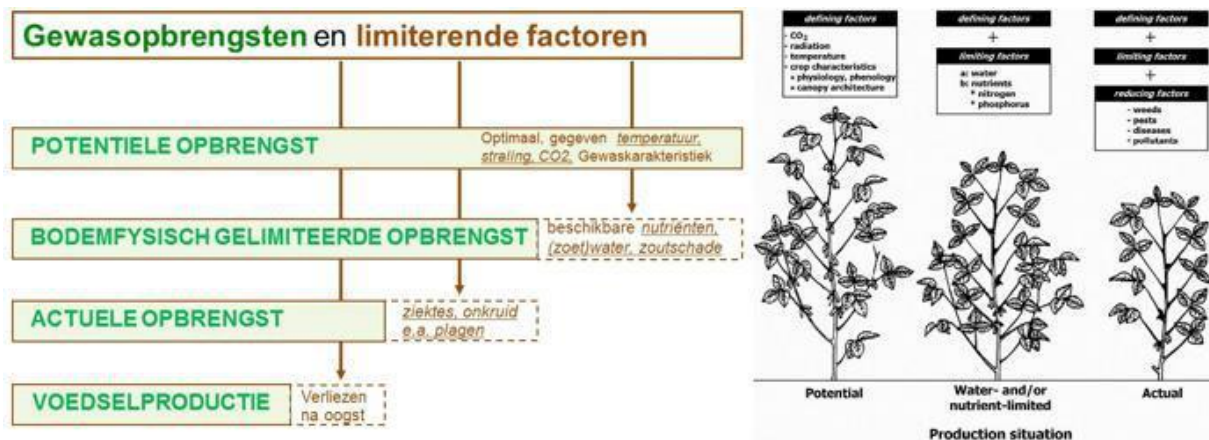
Aan de andere kant zou de toename van CO₂ in de atmosfeer en warmere omstandigheden voor een lichte positief effect kunnen zorgen op de groei van gewassen ([Stoorvogel, 2009](#)).

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 5). 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 gewaskenmerken 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 5. Gewasopbrengsten en limiterende factoren.

5. Werking – Modellen & tools

Om de uitwerking van klimaateffecten op de landbouwsector in beeld te krijgen is in Nederland 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 & van den Eertwegh, 2011](#)), AGRICOM ([Mulder & Veldhuizen, 2014](#)) en [Waterwijzer Landbouw](#). Daarnaast zijn tools ontwikkeld die de effecten van klimaat zichtbaar maken voor de landbouw, zoals de [Klimaateffectatlas](#), [Agroklimatekalender](#) en [Stresstest](#).

Waterwijzer Landbouw

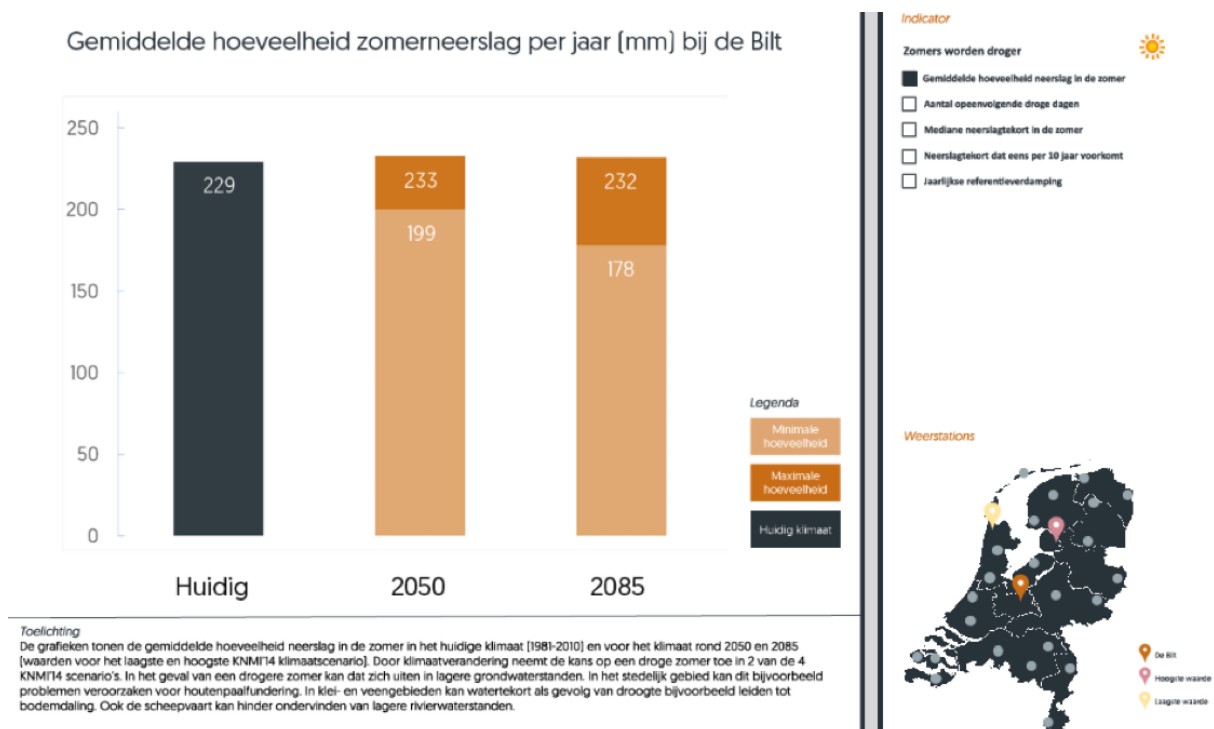
Waterwijzer Landbouw (WWL) is een nieuw uniform, breed gedragen en praktische methode voor het bepalen van klimaatbestendige relaties tussen waterhuishoudkundige condities, veranderingen daarin, en gewasopbrengsten. Hiervoor maakt Waterwijzer Landbouw gebruik van de gekoppelde procesmodellen SWAP (Soil-Water-Atmosphere-Plant; [Hack-ten Broeke et al., 2013](#); [van Dam et al., 2008](#); [Kroes et al., 2017](#)) en WOFOST (World Food Studies; [De Wit et al., 2019](#)) waarin de essentiële processen die de wisselwerking tussen bodem, water, atmosfeer en gewasgroei beschrijven expliciet beschouwd worden. Op deze wijze kan er een betere inschatting van het effect van waterhuishoudkundige maatregelen en van klimaatverandering op landbouwkundige opbrengsten worden berekend ([Werkgroep Waterwijzer Landbouw, 2018](#)). Het instrument kan gebruikt worden om bijvoorbeeld de effecten van peilbesluiten, inrichtingsplannen en grondwateronttrekkingen op de gewasproductie in te schatten. De [Adviescommissie Schade Grondwater \(ACSG\)](#)

[heeft onlangs besloten](#) (2023) om de WWL te gebruiken voor het berekenen van schade aan landbouwgewassen.

De WWL is bedoeld ter vervanging van de veelvuldig toegepaste systemen, zoals de HELP- en TCGB-tabellen, AGRICOM en Waterlood.

Klimaat-effectatlas

De beschikbaarheid van zoetwater is essentieel voor de landbouwsector voor een goede opbrengst en kwaliteit van gewassen. De beschikbaarheid van zoetwater voor het gewas hangt af van lokale factoren op het perceel (bodems soort, grondwaterstand, gewaskeuze, bedrijfsvoering, etc.) en de aanvoermogelijkheden van oppervlaktewater. Daarom zijn er ruimtelijke verschillen in de effecten van klimaatverandering (droogte, wateroverlast) op de gewasgroei. Figuur 6 laat een voorbeeld uit de [Klimaat-effectatlas](#) zien, waarin de zomerneerslag voor de huidige, en twee toekomstige scenario's zichtbaar is. Het huidige en toekomstige effect van klimaat kan daarnaast voor verschillende weerstations in Nederland worden bekeken. Sinds 2014 is de Klimaat-effectatlas een instrument dat gebruikt wordt binnen het deelprogramma Ruimtelijke Adaptatie van het nationale Deltaprogramma. De [kaarten](#) over [droogte](#), wateroverlast en regionale neerslagpatronen zijn relevant voor klimaat-effectstudies voor de landbouw.



Figuur 6. De gemiddelde hoeveelheid zomerneerslag is een voorbeeld van ruimtelijk extrapoleerbare klimaatgegevens die beschikbaar zijn via de [klimaat-effectatlas](#) die relevant zijn voor landbouw.

Agroklimaatkalender

Voor Noord-Nederland is de [Agroklimaatkalender](#) ontwikkeld ([Schaap, 2011](#)). De Agroklimaatkalender brengt op een eenvoudige manier in beeld welke klimaatfactoren voor gewassen in het huidige klimaat de meeste risico's op schade geven. De risico's worden inzichtelijk gemaakt door op maandbasis een frequentie te geven van de meest schadelijke klimaatfactoren, zoals bijvoorbeeld extreme weersomstandigheden en ziekten en plagen. 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 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.

Klimaatstresstest

Klimaatverandering beïnvloedt de toekomst van succesvolle teelt. Om de effecten van klimaatverandering inzichtelijk te maken voor een aantal gewassen tot op het niveau van bouwplannen van akkerbouwbedrijven is in een [vorig project](#) van de Stresstest het gevolg van klimaatverandering doorgerekend voor verschillende regio's in Nederland ([Verstand et al., 2020](#); Agroklimaatkalender). Om de risico's van klimaatverandering op individueel bedrijfsniveau inzichtelijk te maken, wordt in projectvorm (2024-2025), samen met de (landbouw)praktijk, een [klimaatstresstesttool](#) ontwikkeld. De resultaten van de tool geven boeren inzicht in de effecten van klimaatverandering op hun eigen bouwplan en bedrijf, en geven suggesties voor adaptatiemaatregelen die de effecten van klimaatverandering kunnen verminderen of voorkomen. Daarnaast dienen de resultaten als basis voor gesprekken tussen adviseurs en boeren over klimaatadaptatie.

6. Kosten en baten

Klimaat effecten op landbouwgewassen

De klimaat effecten op landbouwgewassen zijn in verschillende projecten in beeld gebracht. Zo is in opdracht van het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) een studie uitgevoerd naar de huidige effecten van klimaatverandering (droogte en extreme neerslag) op de landbouw ([Van Klaveren et al., 2024](#)). Droogte en extreme neerslag hebben allebei negatieve effecten gehad op de landbouwpraktijk tussen 1991-2021. Droogte zorgde voor gewasverliezen tot 20% en de economische impact was significant, maar beheersbaar. Extreme neerslag zorgde ook voor opbrengstverliezen met een grote variatie in de impact op verschillende grondsoorten en de uiteindelijke duur van de neerslag. De impact van extreme neerslag kan met name lokaal groot zijn.

Daarnaast is een inventarisatie gedaan naar de risico's, knelpunten en kansen van klimaatverandering voor de land- en tuinbouw ([Kranendonk et al., 2022](#)). Hieruit komt naar voren dat alle sectoren in de land- en tuinbouw zowel positief als negatieve effecten ondervinden van klimaatverandering. Opwarming zorgt voor de meeste positieve effecten op de sector, maar natte omstandigheden, zoals extreme regenval of lange perioden met regenval, zorgen vooral voor negatieve effecten. Ook zijn in de studie van Kranendonk *et al.* (2022) de effecten van klimaat voor een aantal regio's in Nederland uiteengezet. Hieruit valt af te leiden dat iedere regio andere effecten van klimaatverandering ondervindt, gerelateerd aan de meest geteelde gewassen in deze regio.

De structurele effecten van klimaatverandering op de landbouw in de huidige situatie zijn voorlopig beperkt ([van Klaveren et al., 2024](#)). 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. Op de lange termijn zullen daarom structurele keuzes nodig zijn om de landbouw weerbaar te houden tegen klimaatverandering.

Impact van landbouw op de omgeving door klimaatverandering

Klimaatverandering versterkt ook de effecten van landbouw op vermesting en vervuiling. Bijvoorbeeld, door intensievere neerslag kunnen meer nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen via oppervlakkige afspoeling in oppervlaktewateren

terechtkomen. Dit effect is relevant voor het bereiken van doelen uit de [Kaderrichtlijn Water](#).

Klimaatverandering, en dan met name de temperatuurstijging, kan ook leiden tot een snellere afbraak van organische stof in de bodem. Hierdoor kan het humusgehalte afnemen, waardoor de bodem minder water kan vasthouden ([deltafact 'bodem als buffer'](#)). Een verminderd watervasthoudend vermogen van de bodem kan in tijden van droogte potentieel zorgen voor een toename van irrigatie en kan daarmee de druk op de zoetwaterbeschikbaarheid vergroten.

Casestudies en instrumenten

De kosten en baten van klimaatadaptatie voor de landbouwsector zijn op een complexe manier verdeeld binnen de voedselproductieketen en de verschillende gebruikers van de natuurlijke hulpbronnen in een gebied. Er zijn een aantal instrumenten die inzicht geven in 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, zoals Regioscan Zoetwatermaatregelen ([Delsman et al., 2018](#)), [kosten calculator ondergrondse waterberging](#) ([Oude Essink et al., 2019](#)), [Waterwijzer Landbouw](#), [Klimaatstresstest](#) en [SPAARWATER](#). Daarnaast is er in Nederland ook gewerkt aan financiële instrumenten (bijvoorbeeld [subsidieregelingen](#), [gebiedsfondsen](#), en [beprijzing van water](#)) die klimaatadaptatie kunnen stimuleren of klimaatgevoelige investeringen kunnen remmen.

Bedrijfsvoering

Klimaat en klimaatverandering zijn niet de enige factoren die gewasopbrengsten beïnvloeden. Naast andere milieufactoren heeft ook de bedrijfsvoering invloed hierop. Potentiële opbrengsten kunnen verhoogd worden door verbetering van rassen door plantenveredeling, maar ook 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. In de praktijk wordt onder andere onderzoek gedaan naar de [economische effecten van beregening](#) ([Saarloos et al., 2024](#)). Hierbij wordt onderzocht op welk moment waterbeschikbaarheid voor gewassen cruciaal is om de schade van

waterstress te minimaliseren in periodes waarin de zoetwaterbeschikbaarheid door klimaatverandering onder druk staat. Dit geeft waterbeheerders inzicht in de economische schade van waterallocaties bij (dreigend) watertekort volgens de systematiek van de [verdringingsreeks](#) (zie hoofdstuk 8. Governance).

7. Randvoorwaarden en kansrijke locaties – aanpassen aan een veranderend klimaat

Adaptatiemogelijkheden landbouw

Om in te spelen op veranderende weersomstandigheden zal de 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.

Adaptatiestrategie

Voor het ontwikkelen van een strategie om klimaatadaptatie in de praktijk toe te passen, zijn handvatten ontwikkeld. Zo is in een studie van [Verstand et al. \(2023\)](#) een methodiek ontwikkeld om knelpunten en synergiën van klimaatadaptatiemaatregelen te identificeren. Een maatregel kan namelijk op het ene schaalniveau een andere uitwerking hebben dan op een ander schaalniveau. Zo kan een maatregel bijvoorbeeld op regionaal niveau veelbelovend zijn, maar op bedrijfsniveau juist negatieve effecten hebben. Uit de studie kwam naar voren dat het essentieel is om maatregelen op verschillende schaalniveaus te vergelijken en verbinden om klimaatadaptatie zo optimaal mogelijk in te zetten. De ontwikkelde

methodiek uit de studie kan onder andere worden toegepast in gebiedsprocessen, waar klimaatadaptatie onderdeel van is.

In het kader van de [Nationale Adaptatiestrategie](#) (NAS) zijn diverse aanpassingsmogelijkheden voor de landbouwsector onderzocht, waarbij '[climate smart agriculture](#)' emissiebeperking en klimaatadaptatie op bedrijfsniveau combineert. Vanwege de nauwe verwevenheid van sectoren moeten adaptatiestrategieën op verschillende schaalniveau's worden afgestemd. In projecten zoals [KLIMAP](#), [GO-FRESH](#), [SPAARWATER](#), het [Deltaprogramma Agrarisch Waterbeheer \(DAW\)](#) en [Klimaatadaptatie Open Teelten](#) is kennis verzameld over klimaatadaptatie in de landbouw. Studies van [Kranendonk et al., 2022](#), [Verstand et al., 2020](#) (open teelten) en [de Vries et al., 2023](#) (melkveehouderij) geven inzicht in maatregelen, zoals rassenkeuze, bodemstructuurverbetering, nutriëntenbeheer, gewasbescherming, bedrijfsinrichting en managementmaatregelen.

De balans tussen water vasthouden en wateroverlast

De agrarische sector staat door klimaatverandering voor de uitdaging om een balans te vinden tussen het vasthouden van water en het voorkomen van wateroverlast ([WUR, 2021](#); [Kaandorp, 2024](#)). Enerzijds is het essentieel om voldoende water op te slaan voor gebruik tijdens droge periodes om gewassen te beschermen tegen droogte. Anderzijds kan het vasthouden van water leiden tot wateroverlast bij extreme regenval, wat schade kan veroorzaken aan gewassen en infrastructuur. Het is cruciaal om deze balans te behouden en de sector weerbaar te maken tegen de toenemende extremen van het klimaat.

8. Governance – Samenwerking en verdeling van natuurlijke hulpbronnen

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. Het ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur (LVVN) heeft in 2020 een [Actieprogramma Klimaatadaptatie Landbouw \(APKAL\)](#) opgesteld om de Nederlandse landbouwsector beter in te laten spelen op de gevolgen van klimaatverandering. Het actieprogramma biedt richtlijnen om de landbouw veerkrachtiger te maken op het gebied van waterbeheer & droogtebestrijding,

bodemkwaliteit & biodiversiteit, innovatie & kennisdeling en risicobeheer & verzekeringen.

Momenteel worden investeringsbeslissingen in de landbouwsector genomen op basis van trends in markt en beleid. De effecten van klimaatverandering worden voor de sector steeds duidelijker zichtbaar. Hierdoor ondernemen boeren steeds vaker actie om de effecten van klimaatverandering te beperken. Uit het rapport van [Verstand et al. \(2023\)](#) blijft het noodzakelijk te zijn om samen met agrariërs en gebiedspartijen, publiek en privaat, te werken om adaptatie effectief op verschillende schaalniveaus vorm te geven.

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 financieel resultaat van de verwerkende industrieën, zoals suikerfabrieken, bierbrouwerijen, aardappelverwerkende industrieën en de retail.

Klimaatadaptatie is niet uitsluitend de verantwoordelijkheid van agrarische bedrijven, maar een gezamenlijke inspanning van meerdere partijen. Dit komt omdat de effectiviteit van de maatregelen op bedrijfsniveau afhankelijk is van hun impact op 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 en energie) tussen agrarische bedrijven, drinkwatervoorziening, overige economische functies en de waterbehoefte van natuur. In de Nationale [Verdringingsreeks](#) is bijvoorbeeld vastgelegd welke functies voorrang krijgen op zoet water in een periode van extreme droogte en zoetwatertekort (figuur 7).



Figuur 7. Nationale verdringsreeks - volgorde waarin zoet water in Nederland verdeeld moet worden bij een zoetwatertekort. Bron: [Drinkwaterplatform, 2023](#).

9. Praktijkervaringen

Op het [kennisportaal klimaatadaptatie](#) zijn verschillende voorbeelden te vinden van praktijkervaringen gerelateerd aan klimaatadaptatie. Ook wordt in verschillende projecten in de praktijk onderzoek gedaan naar de effectiviteit van adaptatiemaatregelen op regionaal en bedrijfsniveaus. Hieronder worden een paar voorbeelden genoemd.

Gebiedsproces Lauwersmeer

In [gebiedsproces Lauwersmeer](#) wordt tussen natuur en landbouw samengewerkt aan de klimaatrobustheid van het gebied. Focus ligt hierbij op de zoetwaterbeschikbaarheid voor landbouw en natuur.

KLIMAP

Het [KLIMAP](#)-project (Klimaatadaptatie in de praktijk) richt zich op de ontwikkeling van klimaatbestendige landbouw en natuur op Nederlandse zandgronden. Het project, dat wordt uitgevoerd in samenwerking met 24 partijen, inclusief overheden en kennisinstellingen, onderzocht werd hoe water- en bodemsystemen kunnen worden ingericht voor klimaatbestendigheid.

Klimaat- en waterrobuust Laag NL

Het project [Laag Nederland 2050](#) (2021-2024) onderzoekt hoe een toekomstbestendig water- en bodemsysteem de inrichting van laag Nederland kan verduurzamen. In plaats van uit te gaan van het huidige landgebruik, kijkt het project naar nieuwe, flexibele oplossingen die beter aansluiten op uitdagingen zoals maaiveldval, zeespiegelstijging, verzilting en droogte. Dit proces, gebaseerd op

het “water- en bodemsturend” principe, richt zich op het concreet vormgeven van toekomstige landschappen in Friesland, Waterland-Oost en Schouwen-Duivenland.

PPS Klimaatadaptatie Open Teelten

De [PPS Klimaatadaptatie Open Teelten](#) had als doel om de risico's op opbrengstderving door extreme weersomstandigheden te verkleinen. Dit doel kan worden bereikt door onder andere het verbeteren van de bodemkwaliteit, het nemen van teeltmaatregelen en een efficiënt watergebruik. Daarom zijn verschillende adaptatiemaatregelen onderzocht in de praktijk. Resultaten uit het project zijn weergegeven in een inspiratiesheet ([Knol et al., 2024](#)).

Climate Farm Demo

In het [Climate Farm Demo](#) project onderzoeken demobedrijven uit heel de Europese Unie (1500 totaal, waarvan 60 in Nederland) de werking van adaptatie- en mitigatiemaatregelen in de praktijk en delen ze hun opgedane kennis met andere stakeholders om de landbouwsector aan te passen aan het veranderende klimaat.

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 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. Het gebruik van kunstmest, gewasbeschermingsmiddelen, de schaalvergroting, mechanisatie en precisietechnieken hebben geleid tot een grotere gewasefficiëntie.

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 te worden gehouden.

- Hoe doen verschillende vormen van landbouw het in het toekomstige klimaat? Zoals biologische landbouw, agroforestry of kringlooplandbouw.
- Welke adaptatiemaatregelen zijn geschikt om te anticiperen op extreme weersomstandigheden, zoals hagelbuien en windhozen? Hoe kan de effectiviteit van maatregelen verbeterd worden met weer- en seizoensvoorspellingen voor wateroverlast, -tekort, verzilting 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?
- Op welke wijze beïnvloedt klimaatverandering in omliggende landen en wereldwijd de landbouw in Nederland?
- Inzicht in de effecten van klimaat op 'overige gewassen', zoals de tuinbouw, bollensector, fruit en boomkwekerij naast de veelvoorkomende gewassen zoals de ui, aardappel, tarwe, gras en mais waar meer onderzoek naar is verricht.
- Wat zijn ontwikkelende en toekomstige risico's van klimaatverandering op gewasgezondheid?
- Welke bijdragen kan stadslandbouw leveren aan klimaatadaptatie van de stad?
- Hoe kan kennis over klimaatverandering en adaptatie vanuit glastuinbouw, andere sectoren en landen worden samengebracht en toegespitst voor toepassing in de open teelten?
- Wat zijn de veranderende risico's door extremen en de invloed van lange natte en droge perioden op ziekten en plagen?
- Wat zijn de praktische handvatten, zoals kosten, baten en toepassingscriteria voor implementatie en opschaalbaarheid van adaptatiemaatregelen door boeren? Er is veel kennis beschikbaar, maar directe implementatie van adaptatiemaatregelen op bedrijfsniveau blijft een uitdaging. Voor kennisleemten rond het onderwerp klimaatadaptatie, zie [Whitepaper – Onderzoeksonderwerpen klimaatadaptatie open teelten](#).
- Voor kennisleemten rond het onderwerp 'verzilting', zie [Onderzoekagenda verzilting en zoute landbouw - WUR](#).

11. Overzicht van lopende initiatieven en projecten

Nuttige links

- [Dossierpagina Landbouw en Klimaat \(KvR programma\)](#)
- [Kennis voor Klimaat \(eindresultaten rurale gebieden\)](#)
- [Deltascenario's](#)
- [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](#)
- [Klimaat-effectatlas](#)
- [KLIMAP](#)
- [PBL Dossier Klimaatverandering](#)

12. Bronnen

- [ACACIA Water \(2019\). Spaarwater - Rendabel en duurzaam agrarisch watergebruik en waterbeheer in de verziltende Waddenregio - Hoofdrapport 2016-2018 \(pp. 8-\). Gouda.](#)
- [Adviesraad voor wetenschap, technologie en innovatie \(AWTI\) \(2023\). Advies: In dienst van de toekomst – Van optimalisatie naar transformatie.](#)
- [Bakel, J., van & van den Eertwegh, G. \(2011\). Nieuwe mogelijkheden voor herziening van de HELP-tabel. H 2 O, 44\(18\), 31.](#)
- [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 waterlood-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.](#)

- [Boogaard, H.L., A.J.W. de Wit, J.A. te Roller & C.A. van Diepen \(, 2011\). User's guide for the WOFOST Control Center 1.8 and WOFOST 7.1.3 crop growth simulation model. Wageningen.](#)
- [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.](#)
- [CBS, PBL, RIVM, WUR \(2024\). Veranderingen bodemgebruik, 1996 - 2017 \(indicator 0060, versie 12, 8 juni 2023\) www.clo.nl. Centraal Bureau voor de Statistiek \(CBS\), Den Haag; PBL Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag; RIVM Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven; en Wageningen University and Research, Wageningen.](#)
- [Dam, J.C. van, Groenendijk, P., Hendriks, R.F.A. & Kroes, J.G \(, 2008\). Advances of Modeling Water Flow in Variably Saturated Soils with SWAP. Vadose Zone Journal, 7\(2\), 640–653.](#)
- [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.](#)
- [Driessen, P., Vellinga, P., Van Deelen, C. L., Slegers, M. F. W., Dopp, S. P., Heinen, M., ... & Van Nieuwaal, K. \(2015\). Kennis voor Klimaat 2008-2014: Verantwoording en Resultaten.](#)
- [Ecorys \(2019\). Economische schade door droogte in 2018. In opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.](#)
- [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., Runhaar, H., Spek, T., & Steingröver, E. G. \(2011\). Klimaatadaptatie droge rurale zandgronden-Gelderland. Programmabureau Kennis voor Klimaat.](#)
- [Geijzendorffer, I. R., Smidt, R. A., Engelbertink, R. B. J., Hermans, C. M. L., Schaap, B. F., Verhagen, A., & Blom, M. \(2011\). Gevolgen van klimaatextremen voor de Nederlandse landbouw: noodzaak voor adaptatie? \(No. 1994\). Alterra.](#)
- [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 23 versnelde zeespiegelstijging voor het Deltaprogramma - Een verkenning \(pp. 84\). Delft: Deltares.](#)
- [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., Verhagen, J. \(2008\). Spatial Impacts of climate and market changes on agriculture in Europe. Alterra rapport 1697.](#)
- [Hill, S. B., & MacRae, R. J. \(1996\). Conceptual framework for the transition from conventional to sustainable agriculture. Journal of sustainable agriculture, 7\(1\), 81-87.](#)
- [Ittersum, M. K. van, Cassman, K. G., Grassini, P., Wolf, J., Tittone, P., & Hochman, Z. \(2013\). Yield gap analysis with local to global relevance—a review. Field Crops Research, 143, 4-17.](#)
- [Klaveren, S. van, Knol, E., Dankers, R., & Arumugam, P. \(2024\). Huidige klimaatrisico's voor de land-en tuinbouw: twee factsheets over de gevolgen van droogte en extreme neerslag voor de land-en tuinbouwsector in ons huidige klimaat \(1990-nu\).](#)
- [Kaandorp, V. \(2024\). Water vasthouden en bergen op landbouwpercelen. STOWA deltafact.](#)
- [Knol, E., van Opstal, J., & Toren, M. \(2024\). Hoe kun je als akkerbouwer inspelen op het veranderende klimaat? Hoe beperk je risico's bij extreme droogte of juist veel neerslag?](#)
- [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.](#)

- [Kranendonk, R., Verstand, D., & de Boer, T. \(2022\). Inventarisatie Actieprogramma klimaatadaptatie landbouw: Risico's, knelpunten en kansen: de stand van zaken \(No. 3175\). Wageningen Environmental Research.](#)
- [Kroes, J. G., van Dam, J. C., Bartholomeus, R. P., Groenendijk, P., Heinen, M., Hendriks, R. F. A., van Walsum, P. E. V. \(2017\). SWAP version 4; Theory description and user manual. \(Report 2780\), Wageningen Environmental Research, Wageningen, The Netherlands.](#)
- [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.](#)
- [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](#)
- [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.](#)
- [Mens, M. & Ter Maat, J., 2018. Droogte in Nederland: uitdaging voor het waterbeheer \(website\).](#)
- [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.](#)
- [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.](#)
- [Saarloos, A., van Opstal, J., Knol, E., Mulder, M., Veldhuizen, A., Hoving, I., & Verhoeven, J. \(2024\). Economische effecten van beregening: Inventarisatie van beregeningspraktijken in Nederland \(No. WPR-OT 1088\). Wageningen Plant Research.](#)

- [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.](#)
- [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.](#)
- [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.](#)
- [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](#)
- [Stokkers, R., Prins, H., van der Meer, R. W., & Jager, J. H. \(2018\). Effecten droogte en hitte op inkomens land- en tuinbouw: Update begin oktober \(No. 2018-014\). Wageningen Economic Research.](#)
- [Stoorvogel, J.J. \(2009\). Adapting Dutch agriculture to climate change. KfC rapport KvK/016/09.](#)
- [Verstand, D., Schaap, B., Schoorlemmer, H., de Wolf, P., van Balen, D., & Verhagen, J. \(2020\). Klimaatadaptatie in de open teelten: Inventarisatie van klimaatrends, risico's en adaptatiemaatregelen voor boerenbedrijven inde open teelten \(No. WPR 824\). Wageningen Plant Research.](#)
- [Verstand, D., de Graaf, M., Knol, E., & Woolderink, H. \(2023\). Knelpunten en synergieën van klimaatadaptatie op regionaal en bedrijfsniveau \(No. 3305\). Wageningen Environmental Research.](#)
- [Vries, M. de, Hoving, I., van Dixhoorn, I., Ruijter, D., & Zom, R. \(2023\). Maatregelen voor klimaatadaptatie in de melkveehouderij: een literatuuronderzoek naar klimaatrisico's en mogelijkheden voor klimaatadaptatie van melkveebedrijven in de Achterhoek \(No. 1442\). Wageningen Livestock Research.](#)
- [Werkgroep Waterwijzer Landbouw \(2018\). Waterwijzer Landbouw: Instrumentarium voor kwantificeren van effecten van waterbeheer en klimaat op landbouwproductie \(pp. 71\). Amersfoort. 24](#)
- [Wit, A. de, 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.](#)

- [Wit, J. de, 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.](#)
- [Wageningen University & Research \(WUR\) \(2021\). Water afvoeren én vasthouden vanwege klimaatverandering. Weblog.](#)

13. Colofon

Deze deltafact is opgesteld door Wageningen Environmental Research, December 2011, en geactualiseerd in september 2012, maart 2014, april 2015, januari 2018, juli 2019, 2021 en voor het laatst in oktober 2024.

Auteurs:

E.E. Knol, Wageningen Plant Research
Review uitgevoerd door J. Delsman, Deltares

Versie:

November 2024

14. 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.