



# 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)

Sverre van Klaveren, Emma Knol, Rutger Dankers & Ponraj Arumugam



**WAGENINGEN**  
UNIVERSITY & RESEARCH



# 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)

Sverre van Klaveren<sup>1</sup>, Emma Knol<sup>2</sup>, Rutger Dankers<sup>1</sup> & Ponraj Arumugam<sup>1</sup>

1 Wageningen Environmental Research

2 Wageningen Plant Research

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Environmental Research en Wageningen Plant Research. Het is gefinancierd door het Planbureau voor de Leefomgeving, in het kader van het onderzoekthema 'Herijking Klimaatrisico's' (projectnummer 5200047249).

Wageningen Environmental Research  
Wageningen, februari 2024

---

Gereviewd door:

Daan Verstand, onderzoeker Klimaatadaptie Landelijk Gebied (Wageningen Environmental Research)

Akkoord voor publicatie:

Annemarie Groot, teamleider van Climate Resilience

Rapport 3327  
ISSN 1566-7197

---

Van Klaveren, E.S., Knol, E.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)*. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 3327. 88 blz.; 37 fig.; 15 tab.; 182 ref.

Trefwoorden: 'klimaatverandering', 'klimaatrisico', 'landbouw', 'tuinbouw', 'droogte', 'neerslag', 'schade'

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/640935> of op [www.wur.nl/environmental-research](http://www.wur.nl/environmental-research) (ga naar 'Wageningen Environmental Research' in de grijze balk onderaan). Wageningen Environmental Research verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

© 2024 Wageningen Environmental Research (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Wageningen Research), Postbus 47, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 07 00, [www.wur.nl/environmental-research](http://www.wur.nl/environmental-research). Wageningen Environmental Research is onderdeel van Wageningen University & Research.

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

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



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

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

Wageningen Environmental Research Rapport 3327 | ISSN 1566-7197

Foto omslag: Corné Lugtenburg (Wageningen Plant Research/Open Teelten)

---

# Inhoud

<b>Verantwoording</b>	<b>5</b>
<b>Hoofdboodschappen</b>	<b>7</b>
<b>1 Inleiding &amp; Vraagstelling</b>	<b>9</b>
<b>2 Methodologie</b>	<b>11</b>
2.1 Conceptueel Kader	11
2.2 Afbakening: keuze voor subsectoren en selectie van klimaatrisico's	14
2.3 Afbakening: selectie van gewassen	16
2.3.1 Akkerbouw	16
2.3.2 Tuinbouw	17
2.4 Kwaliteitsborging	18
2.4.1 Transparantie, aggregatie en afbakening	18
2.4.2 Onzekerheid & Betrouwbaarheid	20
2.4.3 Gebruik van kwalitatieve data	20
2.4.4 Gebruik van expertbeoordeling	20
2.5 Eindrisico bepalen	21
<b>3 Factsheet: Schade aan akkerbouw- en tuinbouwgewassen door (meteorologische) droogte</b>	<b>23</b>
3.1 Inleiding	23
3.2 Klimaatrisico-analyse	23
3.2.1 Klimaatdreiging	23
3.2.2 Secundaire Effecten	26
3.2.3 Blootstelling	28
3.2.4 Gevoeligheid	30
3.2.5 Adaptatiecapaciteit	32
3.2.6 Impact	37
3.2.7 Cascade-effecten	43
3.3 Eindrisico	44
3.3.1 Mens & Cultuur	44
3.3.2 Natuur & Milieu	44
3.3.3 Economie	44
3.4 Aanpassingen met ongewenste gevolgen en/of doodlopende adaptatiepaden	48
3.5 Aanknopingspunten voor adaptatiebeleid	49
<b>4 Factsheet: Schade in de akkerbouw door extreme neerslag</b>	<b>50</b>
4.1 Inleiding	50
4.2 Klimaatrisico-analyse	50
4.2.1 Klimaatdreiging	50
4.2.2 Secundaire effecten	54
4.2.3 Blootstelling	56
4.2.4 Gevoeligheid	58
4.2.5 Adaptatiecapaciteit	59
4.2.6 Impact	61
4.2.7 Cascade-effecten	64
4.3 Eindrisico	64
4.3.1 Mens en cultuur	64
4.3.2 Natuur en milieu	64
4.3.3 Economie	64
4.3.4 Wildcards en Kantelpunten	66

---

4.4	Aanpassingen met ongewenste gevolgen en/of doodlopende adaptatiepaden	66
4.5	Aanknopingspunten voor adaptatiebeleid	66
<b>5</b>	<b>Aanvullende context</b>	<b>67</b>
5.1	Bestuurlijke situatie	67
5.2	Samenhang met andere transitie en beleid	68
5.3	Rechtvaardigheid	69
5.4	Kennishiaten	71
<b>Literatuur</b>		<b>72</b>
<b>Bijlage 1</b>	<b>Frequentie-analyse voorkomen gewasspecifieke drempelwaarden in de weersextremen 1990-2022</b>	<b>81</b>

---

# Verantwoording

Rapport: 3327

Projectnummer: 5200047249

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

Akkoord referent die het rapport heeft beoordeeld,

functie: Onderzoeker Klimaatadaptatie landelijk gebied

naam: Daan Verstand

datum: 22-12-2023

Akkoord teamleider voor de inhoud,

naam: Annemarie Groot

datum: 29-01-2024



---

# Hoofdboodschappen

Klimaatverandering heeft consequenties voor Nederland. Dit rapport brengt twee urgente huidige klimaatrisico's in kaart: droogte en extreme neerslag, en doet dit voor de landbouw en de vollegrondse tuinbouw. Dit rapport geeft een 'nulmeting' van de huidige situatie (1990-2022) en kan zodoende worden vergeleken met de klimaatrisico analyse voor het toekomstige klimaat (2050, 2100). Het rapport presenteert kwetsbaarheden, schat de omvang van risico's en draagt bouwstenen aan voor adaptatie. Dit wordt gedaan op een door het PBL (2023) aangepast methodiek van het IPCC (2014) en maakt gebruik van bestaande literatuur. Klimaatrisico's worden uitgedrukt in een standaard categorisering (laag, middel, hoog) op basis van risico en impact.

## Droogte

Droogte heeft een effect op de landbouwproductie percelen-, bedrijfs- en sectorniveau. In de akkerbouw treedt dit vanaf grofweg vanaf 300 mm; dit heeft een herhalingsperiode van 1/30 jaar. Gewasverliezen kunnen oplopen tot zo'n 20 procent. Er zijn in Nederland zo'n 23.000 mensen voor hun inkomen direct afhankelijk van akkerbouw. Studies naar economische impacts van droogte kennen grote onzekerheid. Hogere prijzen in tijden van beperkte productie compenseren soms opbrengstverlies, afhankelijk van of agrariërs voor de wereldmarkt of de regionale markt produceren. De droogte van 1976 heeft de Nederlandse economie 227 miljoen euro gekost; in een studie van Langeveld et al. (2003) wordt het economisch risico van droogte ingeschat op 255 miljoen. Individuele boeren of specifieke sectoren kunnen lijden onder droogte maar op landelijke schaal, op basis van de categorisering van het PBL, valt het economische risico van droogte binnen ons huidige klimaat in de bandbreedte 'laag risico'.

De vollegrondse tuinbouw is kapitaalintensief, waardoor het een groter economisch risico loopt bij extreme droogte. Vollegrondstuinbouw heeft een productiewaarde van 2.695 miljoen per jaar; 5% droogteschade betreft zo'n om 135 miljoen (orde van grootte). Daarom valt het economische risico van droogte op de tuinbouw binnen het huidige klimaat ook in de bandbreedte 'laag risico'. Tegelijkertijd heeft droogte weldegelijk invloed, met name de kleine bedrijven. De tuinbouwsector is divers, met een segment kleinschalige bedrijven, waarvan een flink deel (30% van 5700) onder de armoedegrens zit. Prijseffecten zullen door deze boeren anders gevoeld worden dan door grootschaligere bedrijven, dat de schaalvergroting verder zal opdrijven.

Adaptatie van de sector zorgt ervoor dat de fysieke impact van droogte op de landbouwsector nog gering blijft. Tot nu toe wordt door de sector vooral ingezet op beregning, maar zuinig omgaan met water wordt wel urgenter (bijvoorbeeld d.m.v. druppelirrigatie). Sinds de droogte van 2018 zijn steeds meer bedrijven gaan beregenen, waardoor meer zoet water is gebruikt. Dit vertroebelt het beeld van kwetsbaarheid van individuele gewassen, de kwetsbaarheid op bedrijfsniveau en de kwetsbaarheid van de sector. Bedrijven met kapitaalintensieve gewassen hebben over het algemeen meer capaciteit voor adaptatie/irrigatie dan in de akkerbouw. Er zijn echter wel grenzen aan adaptatie, met name in de algemene waterbeschikbaarheid.

## Extreme Neerslag

Extreme neerslag zorgt voor opbrengstverlies. De mate waarin kent relatief veel onzekerheid. Er worden grote spreidingen in opbrengstverlies in de literatuur aangeduid – bijvoorbeeld 25 tot 75% opbrengstverlies voor aardappels en tussen de 10-75% opbrengstverlies voor mais. Deze spreiding hangt af van de duur van vernatting/neerslag, type grond en andere factoren.

De impact van buien is vaak lokaal; de nationale impact laag. De risicoschatting is gedaan op basis van een bui vanaf 45/50 mm (ondergrens) en 100 mm (extremere bui) in 1 dag. De impact van extreme neerslag (frequentie van 1/125 jaar) heeft een lokaal karakter (1/20<sup>e</sup> deel van het land). De impact kan hoog zijn voor een gebied of individuele boer. Op nationale schaal is de impact (veel) lager.

---

Nederland is ingericht voor afwatering, maar extreme neerslag komt steeds vaker voor. De risico-inschatting in dit rapport is gedaan op basis van drempelwaardes; dit is arbitrair, omdat er ook onder de drempelwaarde al schade op kan treden. Als de impact (extreme neerslag) al heeft plaatsgevonden, is het lastig voor een boer om deze te herstellen. Het kan bijvoorbeeld jaren duren voordat de bodem van bodemverdichting en -verslemping hersteld is na een extreme bui.

### **Vooruitblik**

Naarmate het klimaat verder verandert, zullen gelijkelijke aanpassingen plaatsvinden, die uiteindelijk onvoldoende zullen zijn, waardoor er (wellicht te laat) een behoefte ontstaat aan meer systemische of transformationele veranderingen. Hoe, wanneer en in welke mate is niet duidelijk; het IPCC rapporteert hier een middelmatige consensus over (Porter et al., 2014).

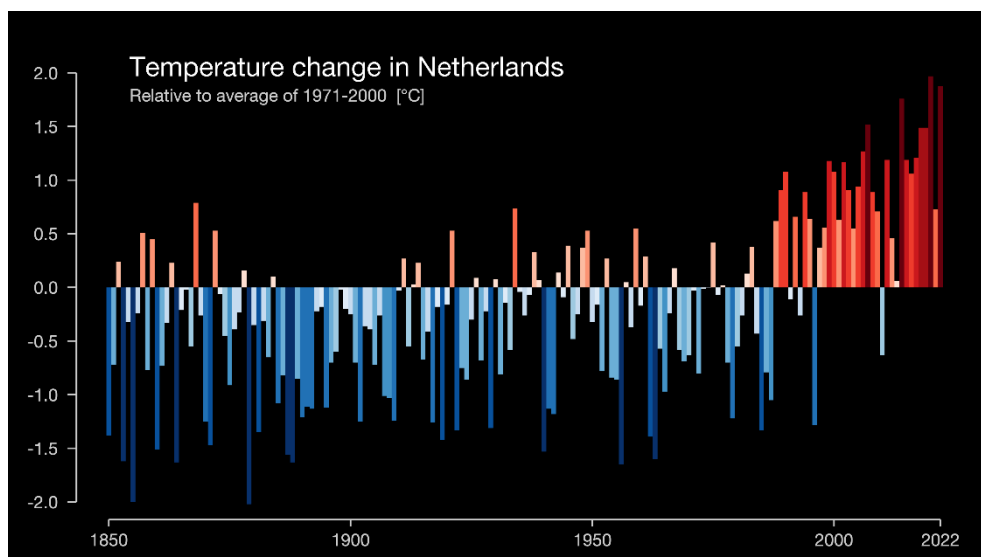
### **De waarde van een risicobenadering**

Dit document werkt twee klimaatrisico's systematisch uit volgens de IPCC-risicobenadering (2014, bewerking PBL, 2023) voor het huidige klimaat (1990-2022). Een klimaatrisico-analyse kan de complexiteit van klimaatverandering niet benaderen. De keten van effecten (bijv. een nat voorjaar en dan een droge zomer) kan leiden tot grotere impact op een sector dan wanneer deze gebeurtenissen zich afzonderlijk in verschillende jaren voordoen, maar over de keteneffecten is vaak weinig bekend. De hieronder beschreven hoofdboodschappen zijn de uitkomsten van de eindrisico-benadering; dit reflecteert niet de beleving van klimaatrisico's op de individuele boer.

De klimaatrisico's zijn ingeschat op basis van drempelwaarden voor schade aan gewassen. Droogte en extreme neerslag is geïdentificeerd door middel van 153 vrijwillige waarnemingsstations met een volledige tijdreeks tussen 1991 en 2020. Bij het interpreteren van de resultaten moet in gedachten worden gehouden dat de frequentie of waarschijnlijkheid van een klimaatdreiging op één locatie niet hetzelfde is als de kans dat er over een groter gebied of op sectorniveau impacts optreden.

# 1 Inleiding & Vraagstelling

Het klimaat verandert. De jaargemiddelde temperatuur in Nederland neemt sinds de jaren 70 toe met ruim 0,4°C per tien jaar. In de periode 1901-2020 is de jaargemiddelde temperatuur met 2,3°C toegenomen; vergeleken met de periode 1971-2020 is het nu ruim een graad warmer (Figuur 1). Het KNMI-klimaatssignaal van 2021 vertelt ons dat de neerslag sinds 1961-1990 met 70 mm per jaar is toegenomen, het aantal ijsdagen is gehalveerd van 10 naar 5 per jaar, en verdamping met 40 mm is toegenomen.



**Figuur 1** Temperatuursverandering in Nederland sinds 1850. De grafiek geeft de relatieve temperatuur van een jaar ten opzichte van de gemiddelde temperatuur tussen 1971 en 2000 (Hawkings, n.d.).

Het veranderende klimaat zal gevolgen hebben voor Nederland. Het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) heeft in 2015 een uiteenzetting van klimaatimpacts- en risico's voor Nederland gepubliceerd. Om deze analyse te actualiseren aan de hand van nieuwe inzichten en nieuwe klimaatscenario's in 2023, doorloopt het PBL een traject om de klimaatrisico's en -impacts te herijken ('de Herijking'). Dit traject voedt de actualisatie van de Nationale Adaptatie Strategie (NAS).

De doelstellingen van de Nationale Klimaatrisicoanalyse 2022-2026 (de 'herijking'), beperkt tot waar dit rapport aan bijdraagt, zijn als volgt:

1. Nulmeting:
  - Uitvoeren van een nulmeting als referentie voor periodieke klimaatrisicoanalyses. De 'nulmeting' omvat de huidige situatie (1990-2022) en verwachte situaties in de 21e eeuw onder de voorziene klimaatveranderingen, sociaaleconomische en ruimtelijke ontwikkelingen, met implementatie van adaptatiebeleid.
2. Identificatie van kwetsbaarheden, inschatting van omvang van risico's en bouwstenen voor prioritering van adaptatie:
  - Inzicht verkrijgen in factoren die bepalend zijn voor blootstelling aan, gevoeligheid voor en adaptatiecapaciteit tegen klimaatdreigingen.
  - Identificeren van kennislacunes.
  - Aangeven waar snel actie nodig is en de noodzaak aantonen voor het ontwikkelen van adaptatiecapaciteit bij bepaalde sectoren.

- 
3. Identificatie van aangrijpingspunten voor adaptatie aan klimaatverandering:
- Helpen bij het identificeren van mogelijke adaptatiemaatregelen.
  - Ondersteunen van adaptatiebeleid door handreikingen te bieden voor verschillende adaptatiestrategieën.

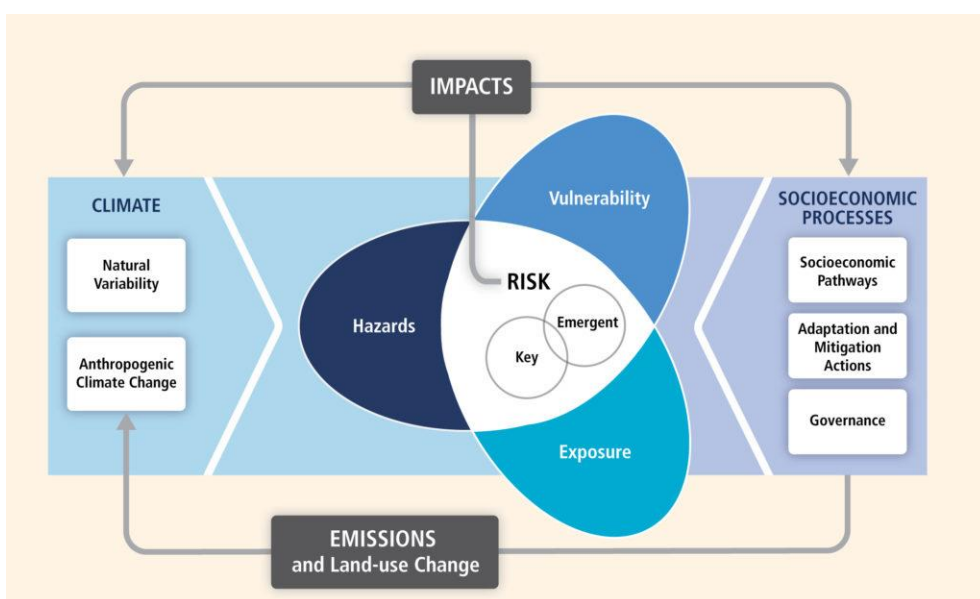
Het eerste doel, de nulmeting, is opgesteld door het PBL om te anticiperen op langdurige monitoring en structurele risicoanalyse van klimaatadaptatie. De nationale klimaatrisicoanalyse 2022-2026 zal extra aandacht besteden aan een transparante systematiek voor analyse, zodat methoden en keuzes herleidbaar en herhaalbaar zijn. De resultaten zijn vergelijkbaar voor toekomstige klimaatrisicoanalyses.

In het kader van de Herijking heeft PBL in 2021 aan Wageningen Environmental Research (WENR) gevraagd om relevante kennis en projecten voor de sector landbouw in kaart te brengen, en een eerste plan van aanpak te formuleren. Daaropvolgend heeft het PBL in 2022 WENR gevraagd een analyse te doen van de huidige klimaatrisico's en -kansen in de land- en tuinbouw. Voorliggend rapport beschrijft de meest urgente huidige klimaatrisico's droogte en extreme neerslag in de landbouw en de vollegrondse tuinbouw.

## 2 Methodologie

### 2.1 Conceptueel Kader

De manier waarop we klimaatrisico's definiëren heeft een grote stap voorwaarts gemaakt bij de publicatie van het vijfde IPCC-rapport in 2014 (IPCC, 2014), doordat er consensus is bereikt over een aantal standaard definities voor de verschillende subonderdelen voor klimaatrisico-analyse. Figuur 2 geeft de schematische weergave van deze definities weer in de interactie tussen het fysieke klimaatsysteem, blootstelling en kwetsbaarheid die risico's veroorzaken (IPCC, 2014). Het figuur visualiseert de verschillende termen en concepten in dit rapport gebruikt worden. Het risico op klimaatimpacts ontstaat door de interactie van klimaatdreigingen (inclusief gevaarlijke gebeurtenissen en trends) met de kwetsbaarheid en blootstelling van menselijke en natuurlijke systemen.



**Figuur 2** Interactie tussen het klimaatsysteem, blootstellingen en kwetsbaarheid die zorgen voor een risico. Het risico op klimaatgerelateerde gevolgen is het resultaat van de interactie tussen gevaren, kwetsbaarheid en blootstelling van menselijke en natuurlijke systemen (Oppenheimer et al., 2014).

Ter verduidelijking worden hieronder de verschillende onderdelen gedefinieerd (overgenomen van IPCC, 2014):

- Hazard (Dreiging). De effecten van klimaatverandering op geofysische systemen, waaronder overstromingen, droogtes en zeespiegelstijging, worden in dit rapport als uitgangspunt genomen, als 'Climate Hazard', ofwel klimaatdreiging. In dit rapport verwijst de term 'dreiging' meestal naar klimaatgerelateerde fysieke gebeurtenissen of trends of hun fysieke effecten.
- Exposure (Blootstelling): De Aanwezigheid van mensen, middelen van bestaan, soorten of ecosystemen, milieufuncties, diensten en hulpbronnen, infrastructuur, of economische, sociale of culturele activa op plaatsen en omgevingen die nadelig beïnvloed kunnen worden.
- Vulnerability (Kwetsbaarheid): De neiging of voorbeschikking om nadelig beïnvloed te worden. Kwetsbaarheid omvat verschillende concepten en elementen, waaronder gevoeligheid of vatbaarheid voor schade en het ontbreken van adaptatiecapaciteit om te kunnen omgaan en aanpassen. Een breed scala aan factoren, zoals rijkdom, sociale status en geslacht, bepaalt de kwetsbaarheid en blootstelling aan klimaatgerelateerde risico's.

- Impacts (Gevolgen, Uitkomsten): De effecten op natuurlijke en menselijke systemen. De impacts verwijzen over het algemeen naar de effecten op levens, middelen van bestaan, gezondheid, ecosystemen, economieën, samenlevingen, culturen, diensten en infrastructuur. Effecten worden ook wel aangeduid als gevolgen en uitkomsten.
- Risk (Risico): Risico wordt gedefinieerd als de waarschijnlijkheid van het optreden van gevaarlijke gebeurtenissen of trends vermenigvuldigd met de gevolgen als deze gebeurtenissen of trends zich voordoen. Risico resulteert uit de interactie van kwetsbaarheid, blootstelling, en de waarschijnlijkheid van gebeurtenissen of trends.

### Methodiek Nationale Klimatrisicoanalyse 2022-2026

Het Planbureau voor de Leefomgeving heeft de bovenstaande uitgangspunten uitgewerkt in een analysemethodiek (PBL, 2023). Deze methodiek is gehanteerd in dit rapport. Figuur 3 geeft de aangepast methodiek.



**Figuur 3** Aangepaste risicobenadering door het planbureau voor de leefomgeving (PBL, 2023).

Het PBL heeft de risico-methodiek aangepast en werkbaar gemaakt om uitgevoerd te worden door diverse kennisinstituten voor de herijking. Onderstaande elementen zijn daarbij toegevoegd en gedefinieerd:

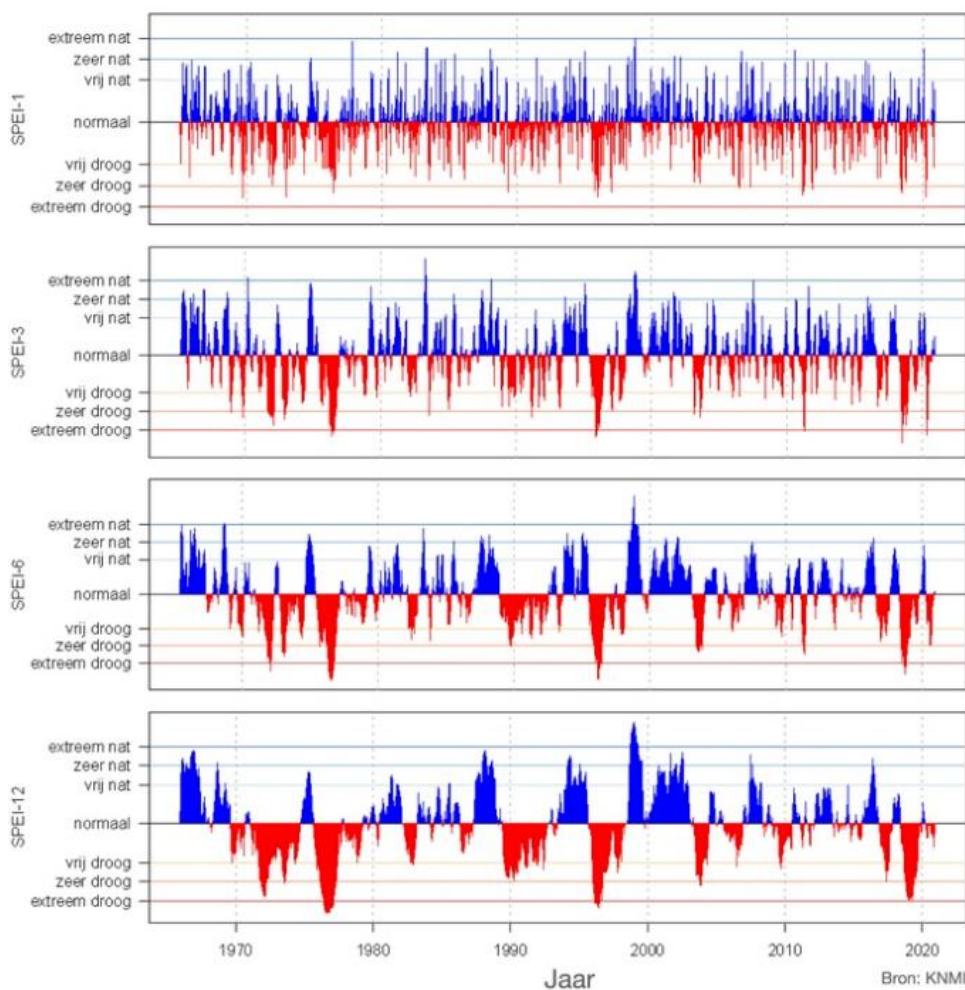
- Keten- en cascade-effecten: Een klimaat gerelateerd gevaar kan directe en indirecte impacts hebben die doorwerken in een systeem. Keten-effecten beschrijven een lineaire, cumulatieve doorwerking.
- Eindrisico's: impacts kunnen het directe gevolg zijn van klimaatgebeurtenissen, of het indirecte gevolg van een keten of ketens van gebeurtenissen. Voor het vergelijken van klimaatrisico's is het belangrijk om de uiteindelijke impact van zo'n keten te bepalen, gedefinieerd als 'eindrisico'.
- Sectoren: voor de Nederlandse klimatrisicoanalyse worden onder het begrip 'sector' zowel economische sectoren als beleidssectoren verstaan. Voorliggend rapport betreft de sector landbouw.

### Droogte definiëren en meten

Wereldwijd zijn er talloze indicatoren om droogte te definiëren en te meten, afhankelijk van het doel en beschikbare informatie. De conceptuele definitie van droogte onderscheidt een tekort aan neerslag (meteorologische droogte), een tekort aan bodemvocht (landbouwdroogte), een tekort aan water in meren en stromen (hydrologische droogte) en een tekort aan water voor gebruik door de maatschappij (Mukherjee, 2018). Elke vorm van deze droogte is relevant voor landbouw als sector, dan wel via directe impacts, dan wel via adaptiecapaciteit. In deze factsheet wordt ingegaan op de schade aan gewassen door meteorologische droogte. Er wordt gewerkt met meteorologische droogte, omdat het meeste nationale en internationale onderzoek om de effecten van droogte op gewassen op een regionale en/of landelijke schaal te duiden hiermee werkt. Het KNMI daarentegen gebruikt al tientallen jaren het 'potentieel neerslagtekort'. Dit is het verschil tussen de hoeveelheid neerslag die er valt en de hoeveelheid vocht die verdampt. KNMI publiceert data van neerslagtekort van o.a. de mediaan en de 5% droogste jaren voor de periode 1906-2019. Het nadeel van het

neerslagtekort is dat deze alleen in het zomerhalfjaar zinvol is, en dat de langjarige impact van droogte slecht benaderd wordt. Het neerslagtekort is wat veel literatuur in de Nederlandse context gebruikt, zeker in de context van landbouw. Dit heeft helaas slechts een indirect verband met temperatuur.

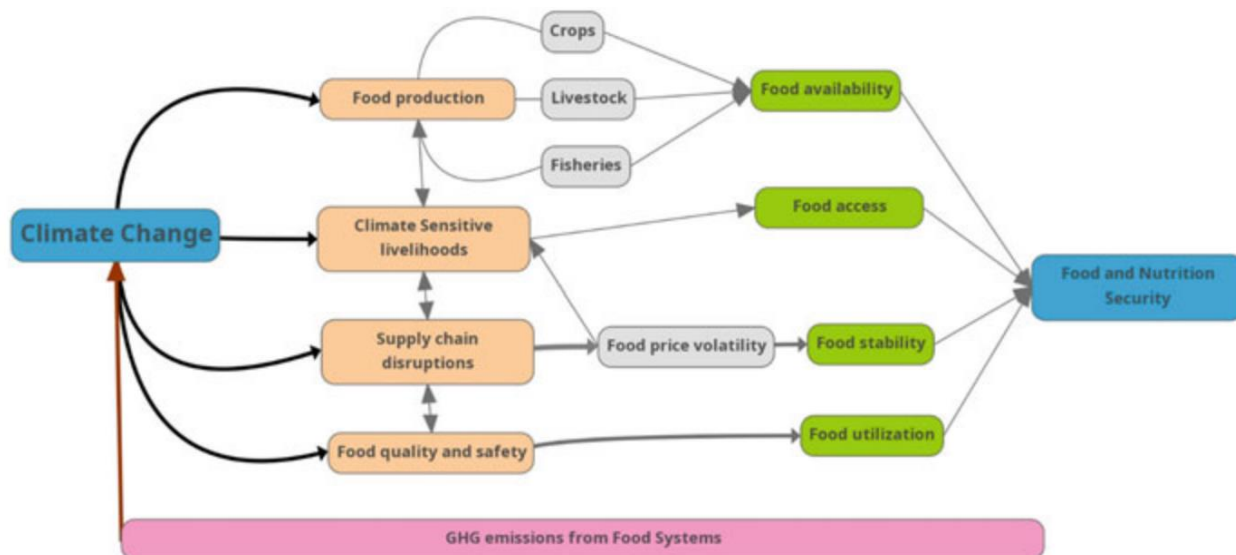
Soms wordt ook verwezen naar de Standardized Precipitation–Evapotranspiration Index (SPEI) om de gevolgen van droogte te duiden. Om goed te kunnen vergelijken tussen historische gegevens en toekomstmodellen, en daarbij wat te kunnen zeggen over zowel de uitkomsten voor gewassen als niet-landbouweffecten, zou het gunstig zijn als nieuwe kennis gekoppeld zou worden aan de SPEI. Deze index kan zowel gewasproductiviteit benaderen (Potop et al., 2012) als bodemvocht (Afshar et al., 2022), en laat zich goed modeleren met de uitkomsten van klimaatmodellen. Hiermee kan zowel agrarische droogte als langjarige hydrologische droogte als natte omstandigheden gelijkwaardig benaderd worden. Daarmee kan waardevol zijn voor de systematische indexering van de klimaatrisico's om gebruik te maken van de SPEI, hoewel tegelijkertijd het verband tussen de SPEI en Nederlandse gasopbrengsten nog onvoldoende bekend zijn (Figuur 4).



**Figuur 4** Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index (SPEI) tijdreeksen voor Nederland op verschillende tijdschalen.

### Frictie tussen klimaatrisico-analyse en het voedselsysteem

Wageningen hanteert in haar onderzoek naar landbouw en het voedselsysteem vaak de 'Food Systems Approach', een holistische benadering noodzakelijk om het voedselsysteem te begrijpen. Deze manier van kijken wringt met de relatief lineaire conceptuele benadering van de IPCC-klimaatrisicoanalyse, waarbij dit document vooral naar opbrengstderving en inkomensschade voor de boer kijkt. Door dit nu te benadrukken in het conceptueel kader hopen we dat de lezer de analyse op de juiste waarde weet te schatten, en dat de lezer de food systems approach kan gebruiken om verder naar te zoeken indien verder informatie over de relatie tussen klimaat en het voedselsysteem gewenst is.



**Figuur 5** Verbanden tussen klimaatverandering en voedselsystemen (Mirzabaev et al., 2023).

## 2.2 Afbakening: keuze voor subsectoren en selectie van klimaatrisico's

Binnen de scope van het project konden niet alle subsectoren en alle klimaatrisico's geanalyseerd worden. Er is daarom in samenspraak met het PBL een selectie gemaakt van te analyseren klimaatrisico's. Deze afbakening als volgt gegaan.

De NAS2016 beschrijft de volgende urgente klimaatrisico's:

- **Extreem weer:**
  - Meer hittestress bij mensen;
  - Vaker uitval van delen van vitale en kwetsbare functies;
  - Frequentere oogstschade en andere schade in de land- en tuinbouw.
- **Geleidelijke klimaatverandering:**
  - Biodiversiteitsverlies door verschuiving klimaatzones;
  - Gezondheidsverlies, arbeidsverlies en kosten door een mogelijke toename van allergieën en infecties.
- **Cumulatieve effecten**

De land- tuinbouwsector kan op verschillende manieren worden ingedeeld. In de analyse van Wageningen Plant Research International in 2014 is gekeken naar de klimaatrisico's en -kansen voor akkerbouw, Tuinbouw (bedekt, onbedekt), melkveehouderij en de intensieve veehouderij (Schaap et al., 2014). Aanvullend is gekeken naar Dierziekten en Waterbeheer. Dit onderzoek neemt dezelfde sector indeling over, met waar mogelijk binnen een sector een onderscheid in risico's tussen subsectoren of gewassen. Hieronder een volledig overzicht van de sectoren die destijds onderscheiden zijn:

- **Akkerbouw**
- **Tuinbouw** (bedekt, onbedekt)
  - Inclusief fruit
  - Groenten
  - Bollen (sierteelt)
- **Melkveehouderij**
  - Koeien
  - Veevoer productie: Gras en mais
- **Intensieve veehouderij**

De keuze voor een combinatie van subsector en klimaatrisico is gemaakt op basis van urgentie.

Er zijn verschillende bronnen beschikbaar die de klimaatrisico's van de landbouw in beeld gebracht hebben (Schaap et al., 2014; Verstand et al., 2020, Bijker & Verstand, 2020; De Boer, Verstand 2022; Kranendonk, Verstand & De Boer, 2022). Op basis hiervan zijn in het voortraject van dit project de volgende urgente klimaatdreigingen geïdentificeerd.

- **Hittegolven.** Uit eerder werk in de akkerbouw blijkt dat hittegolven bij optreden 25-75% flinke opbrengstderving teweegbrengen in aardappelen (Verstand et al., 2020, Bijker & Verstand 2020). Tevens kunnen dieren last hebben van hittestress tijdens hittegolven, waardoor de productie van bijvoorbeeld melk voor een langere poos lager uit kan vallen (Kranendonk, Verstand & De Boer, 2022, Timmerman et al. 2018). Hitte in fruit vormt ook een probleem. Hittebestrijding (waar mogelijk) is essentieel. In droge warme jaren is dat lastig door een beperkte waterbeschikbaarheid of beregeningsverboden (Kranendonk, Verstand & De Boer 2022). Meerjarige teelten, zoals fruitbomen kunnen verzwakt worden (lagere weerstand) waardoor ook seizoenen daarna nog effecten optreden.
- **Droogte/watertekort.** Droogte heeft op verschillende gewassen een effect. De omvang en moment van droogte is daar essentieel in. Zo kan droogte in de kiemfase, in het voorjaar, ervoor zorgen dat gewassen niet goed opkomen en daardoor niet hun potentiële opbrengst zullen gaan halen. Met name gewassen met een beperkt wortelstelsel, zoals zaaiuien, zijn ook kwetsbaar voor droogte later in het groeiseizoen (Bijker & Verstand 2020). Een vergelijkbaar beeld treedt op bij een analyse studie na de droogte in 2018 (Van Asseldonk et al., 2020). Daaruit blijkt ook dat hogere prijzen voor de producten de opbrengstverliezen kunnen compenseren. Ook mais heeft last van droogte, omdat de groei erdoor wordt afgeremd (Verstand et al., 2022).
- **Warme en natte omstandigheden** faciliteren ziekten, plagen. Zo kan in aardappel rot optreden, met flinke opbrengstdervingen als gevolg (10-50%), en in uien schimmelinfecties (Bijker & Verstand 2020). Ook in fruit zijn dit risicovolle omstandigheden (Kranendonk, Verstand & De Boer 2022).
- **Extreme neerslag** kan zorgen voor lokale wateroverlast en daarmee schade aan verschillende gewassen zoals aardappels, zaaiuien en peen (Bijker & Verstand 2020). Er treedt rot op in de gewassen als er veel water op het land staat in het groeiseizoen. In 2020 is er bij de Boerderij van de Toekomst veel schade opgetreden door extreme neerslag in augustus. De effecten van extreme neerslag op de landbouw verschilt per moment van optreden (binnen of buiten groeiseizoen) en is ook afhankelijk van factoren als grondsoort (hoelang blijft het water staan op het land).

De keuze voor de klimaatrisico's is beredeneerd op basis van een multi-criteria analyse middels expert-judgement. Voor de vier urgente risico's is de impact (huidige schade door blootstelling, adaptatiecapaciteit etc.) op de vier sectoren beoordeeld met een cijfer. Vervolgens is deze opgeteld bij het schaalniveau waarop het risico zich voordoet en de frequentie (en ook recente toename van de frequentie) van voorkomen (Tabel 1).

**Tabel 1** Multi-Criteria Selectie van Klimaatrisico's.

	Impact				Frequentie (verleden/nu)
	Akkerbouw	Tuinbouw	Melkvee	Intensieve veehouderij	
	1 = klein, 5 = groot				1 = weinig, 5 = vaak
<b>Hitte</b>	5	4	2	3	3
<b>Droogte</b>	4	4	1	1	4
<b>Extreme neerslag</b>	4	2	1	1	5
<b>Warm en nat</b>	3	3	3	3	2

Eindresultaat*			
Akkerbouw	Tuinbouw	Melkvee	Intensieve veehouderij
9	8	6	7
9	9	6	6
10	8	7	7
6	6	6	6

\*eindresultaat is 1 hoger dan de optelsom, omdat de schaal overall 1 heeft gekregen.

---

In overleg met het PBL is gekozen voor de volgende factsheets:

- Extreme neerslag in akkerbouw
- Droogte in akkerbouw
- Droogte in tuinbouw

De twee factsheets over droogte zijn in dit rapport samengevoegd tot een enkel factsheet.

## 2.3 Afbakening: selectie van gewassen

Landbouw en tuinbouw zijn geen eenduidige aangepast, maar bestaan uit diverse teelten en bijbehorende teeltsystemen. Dit maakt de risicoanalyse zich feitelijk moet opsplitsen voor ieder teeltsysteem, omdat de kwetsbaarheid veranderd afhankelijk van het gewas en teeltsysteem. In dit onderzoek is gefocust op gangbare teeltsystemen, omdat deze het meest voorkomend zijn in Nederland. Omdat landbouw en grondgebonden tuinbouw veel land in gebruik hebben, en dus een hoge blootstellingsgraad kennen, is gekozen voor een startpunt op basis van blootstelling. Op basis van de open database van het CBS zijn de meest voorkomende gewassen voor de akkerbouw en tuinbouw geselecteerd om te behandelen in de factsheets. De meest voorkomende gewassen in Nederland ondervinden namelijk de grootste blootstelling aan klimaatverandering, waardoor klimaatrisico's voor deze teelten ontstaan. Hieronder beschrijven we de gewaskeuze die voor de akker- en tuinbouw is meegenomen in de factsheets.

### 2.3.1 Akkerbouw

Gewaskeuze akkerbouw op basis van de open database van het CBS (2023a):

- Pootaardappelen
- Consumptieaardappelen
- Suikerbiet
- Zaaiui
- Gerst
- Tarwe
- Snijmais

Dit sluit aan op de gewassen die normaliter geanalyseerd worden in klimaat effecten op de landbouw (Van Asseldonk et al., 2021).

#### **Waarom nemen we mais mee in de benadering voor de akkerbouw?**

Bij mais heeft droogte een aantoonbaar negatief effect op de gewasproductie (Daryanto et al., 2016; Verstand et al., 2022). In Nederland wordt ca. 183.000 ha snijmais (CBS, 2023a) verbouwd voor de veehouderij, wat een flink aandeel is van de Nederlandse landbouwgrond. Mais is kwetsbaar voor droogte; de gegevens van de rassenproeven in Overijssel tonen dat de productie met 1 ton per hectare daalt per 50 mm extra neerslagtekort (Verstand et al., 2022), hoewel dit sterk verschilt per maisras. Tegelijkertijd kan droogte kan slechts een kwart van de opbrengstverschillen van mais in Europa verklaren (Webber et al., 2018). Dezelfde studie laat zien dat onder sterke klimaatverandering (RCP 8.5) in onze klimaatzone droogte een opbrengstderving tot 30% in mais zal geven – tot de helft minder dan in Zuid-Europa.

#### **Gevoeligheid & Drempelwaardes**

Voor de gevoeligheid is gewerkt met drempelwaardes per gewas. Dit zijn waardes, waarvan ofwel internationale wetenschappelijke literatuur ofwel eigen WUR-onderzoek van heeft gevonden dat een significant effect optreedt bij een gewas, wanneer de waarde overschreden wordt. Elke boer runt zijn eigen boerenbedrijf en kiest daarmee voor een bepaald teeltsysteem met bijbehorende gewassen en gewasrotatie. De gevoeligheid van een boerenbedrijf voor een bepaalde klimaatdreiging is daarmee niet rechtstreeks te baseren op de gevoeligheid van een gewas voor een bepaalde klimaatdreiging. Sommige studies lossen dit op door een modelboerderij te definiëren, die exemplarisch dient te zijn voor een gebied, maar in onze sectorbenadering is ervoor gekozen om het aantal arealen (en dus de blootstelling) leidend te laten zijn.

Breed onderzoek in Nederland laat zien dat het voorkomen 200 mm neerslagtekort eind juli eigenlijk sowieso een reductie in opbrengst met zich meebrengt, en dat het voorkomen van 250 mm neerslagtekort eind september een hoge impact heeft (Van Oort et al., 2023). Verder baseert dit onderzoek op gewasspecifieke drempelwaardes (Bijker & Verstand, 2020; Schaap et al., 2014).

De drempelwaarden voor extreme droogte en neerslag zijn weergegeven in respectievelijk Tabel 2 en Tabel 3.

**Tabel 2** Specifieke drempelwaarden wanneer akkerbouwgewassen lijden onder droogte.

Gewas	Drempelwaarde	Opmerkingen
Pootaardappel	-	Voorlast van hitte, of hitte in combinatie met vochttekort
Consumptieaardappel	-	Voorlast van hitte, of hitte in combinatie met vochttekort
Suikerbiet	Minimaal 30 dagen met een neerslagsom gelijk aan of minder dan 5 mm in maart-april.	
Zaaiui	Minimaal 30 dagen met een neerslagsom gelijk aan of minder dan 5 mm in feb-april  Minimaal 30 dagen met een neerslagsom gelijk aan of minder dan 10 mm in juni-juli.	
Gerst (zomer)	Minimaal 40 dagen met een neerslagsom gelijk aan of minder dan 10 mm in juni-aug.	
Tarwe (winter)	Minimaal 40 dagen met een neerslagsom van minder of gelijk aan 10 mm in juni-aug.	

**Tabel 3** Specifieke drempelwaarden wanneer akkerbouwgewassen lijden onder extreme neerslag.

Gewas	Drempelwaarde	Opmerkingen
Pootaardappel	Meer dan 45 mm in één dag. Meer dan 60 mm in 3 dagen in mei-sept.	
Consumptieaardappel	Meer dan 45 mm in één dag. Meer dan 60 mm in 3 dagen in mei-sept.	
Suikerbiet	Minimaal 30 dagen met een neerslagsom gelijk aan of minder dan 5 mm in maart-april.	
Zaaiui	Minimaal 10% van de 28 dagen met een dagelijkse neerslag groter of gelijk aan 10 mm in aug-sept. Minimaal 75% van de 14 dagen met een dagelijkse neerslag van groter of gelijk aan 0,5 mm in april-juli.	Heeft alleen last van lange natte perioden.
Gerst (zomer)	Meer dan 45 mm in één dag in mei-jul	
Tarwe (winter)	Meer dan 45 mm in één dag in mei-jul	

### 2.3.2 Tuinbouw

De tuinbouw is voor dit onderzoek opgesplitst in groente en fruit. Opnieuw is gewerkt met blootstelling. Appels en peren vormen samen veruit het meeste aantal hectares en zijn goed voor 85% van de Nederlandse fruitteelt (CBS, 2017). Dit onderzoek laat daarbij de steenvruchtbomen en het kleinfruit achterwege.

Groente in de tuinbouw zijn divers en onderscheiden zich in tuinbouwmatige teelt en akkerbouwmatige teelt. Dit maakt dat groepen van gelijksoortige groente soms nog steeds weinig kunnen zeggen over de kwetsbaarheid. Desalniettemin is voor de grote lijnen gekozen voor de volgende groepen op basis van CBS (2023b):

- Knol- en wortelgroente (bos en waspeen, knolselderij, rode biet, radijs, schorseneer, uit en winterpeen)
- Blad- en stengelgroente (andijvie, asperges, knolvenkel, prei, selderij, kropsla, ijsbergsla, overige sla, spinazie, witlof)
- Koolsoorten (bloemkool, boerenkool, broccoli, Chinese kool, groene kool, rode kool, spitskool, spruiten, witte kool)
- Peulvruchten (doperwten, sperziebonen, tuinbonen)

---

## Sierteelt

Ook de sierbollenteelt is onderdeel van de tuinbouwsector. De sierteelt kent een hoge economische opbrengst per hectare – zo’n vijftigduizend euro (De Wit et al., 2009). In Nederland worden voornamelijk tulpen en lelies gekweekt – deze zijn prominent genoeg aanwezig om opgenomen te zijn in de Agro Climate Calendar, maar in de wetenschappelijke literatuur is er nauwelijks iets te vinden over de impact van droogte (en temperatuur) op de sierteelt. De sector zelf claimt daarentegen in het droge jaar 2018 een schade van 25 miljoen euro (Van de Velde et al., 2019); afgezet tegen het aantal hectares bloembollen in Nederland in 2018; 27.000 (Agrimatie, 2023a) was de schade gemiddeld zo’n 900 euro per hectare, zo’n 2% van de regulier opbrengst van een hectare. Onduidelijk is in welke mate dit gecompenseerd is door prijsfluctuaties. Het ontbreken van gedegen wetenschappelijke informatie over de droogte impact op sierteelt is een kennishiaat. Dit hiaat kan wellicht verklaard worden door de focus van de telers zelf. Ten eerste ligt de focus bij bolgewassen vooral ligt bij vocht, waarvoor zij zeer gevoelig zijn. Natte zomers zijn goede omstandigheden voor schimmels en ziektes, die een grote bedreiging vormen voor sierteelt (Schaap et al., 2014). Een lelieteelt kan doordoor tot 75% van de oogst verliezen (Verstand et al., 2020) mede daarom is in de bollenteelt het pesticidegebruik het hoogst per hectare (de Jong, 2001). Daarnaast wordt er in de sierteelt berekend wanneer nodig. Zolang er voldoende water beschikbaar is, is het voor de teler niet relevant te laten onderzoeken wat de gevoeligheid voor droogte is (Van Balen, 2023), terwijl bollen wél heel gevoelig kunnen zijn. Het ontbreken van informatie, en de verwachting dat droogteschade beperkt blijft de komende jaren, bepaalt dat de sierteelt daarom niet verder is meegenomen in deze factsheet over droogte. Gezien de verziltingsrisico’s in de kuststreken waar bollen geteeld worden, en daarmee het potentieel beperkt worden van zoetwater om te irrigeren is dit in de toekomst wel een kennishiaat.

## 2.4 Kwaliteitsborging

### 2.4.1 Transparantie, aggregatie en afbakening

Bij de analyse van de klimaatdreigingen (zie 3.1.1) is een aantal afwegingen en keuzes gemaakt die hier kort worden toegelicht. Bij het berekenen van de waarschijnlijkheid van bepaalde risico’s in het huidige klimaat, kan worden gekeken naar de frequentie waarmee deze gebeurtenissen in het recente verleden hebben plaatsgevonden. Dit kan zowel op basis van de eind-impacts (de “gerealiseerde risico’s”) als op basis van de klimaatgebeurtenissen (de “klimaatdreigingen”) zelf. Omdat opgetreden impacts in de landbouwsector (zoals opbrengstverliezen of economische schade) vaak van meerdere factoren afhankelijk zijn, richten wij ons in de huidige analyse hoofdzakelijk op de waarschijnlijkheid van de klimaatdreigingen.

### Gebruikte data

Op basis van de literatuur en bestaande kennis zijn voor verschillende gewassen een aantal drempelwaarden vastgesteld waarboven of waaronder schade aan deze gewassen waarschijnlijk is (zie Tabel 2 & Tabel 3). De meeste van deze drempelwaardes zijn gerelateerd aan te veel of te weinig neerslag in cruciale periodes van het jaar.

We kunnen dit onderzoek niet berusten op verzekeringsclaims. Slechts 7% van de boeren heeft een brede weersverzekering (Berkhout et al., 2016). Data over verzekeringsclaims worden niet standaard door verzekeraars gedeeld; het verbond van verzekeraars heeft hier in 2018 nog wel toe opgeroepen (VVV, 2018). Boeren hebben niet standaard een brede weersverzekering, uit financiële overwegingen, en omdat uitkering pas bij minstens 20% opbrengstderving wordt uitgekeerd (Berkhout et al., 2016). Daarnaast wordt niet in alle situaties uitgekeerd. Op het moment van schrijven zitten de aardappelen nog in de grond vanwege de te natte omstandigheden om te rooien – deze opbrengstderving wordt niet uitgekeerd. Omdat er Europese subsidie is voor verzekeringen heeft RVO hier uiteraard wel data over, maar deze kan niet uitgesplitst worden op droogte of neerslag.

### Frequentie-analyse

Voor het analyseren van de frequentie, intensiteit, duur en eventuele geografische verschillen waarmee deze drempelwaarden worden over- of onderschreden maken we gebruik van de dataset “gridded daily precipitation sum in The Netherlands” van het KNMI<sup>1</sup>. Het KNMI stelt verschillende datasets beschikbaar die

---

<sup>1</sup> Beschikbaar via <https://dataplatform.knmi.nl/dataset/rd1-5>

---

een beeld geven van de ruimtelijke verdeling van neerslag over Nederland, onder meer op basis van radarbeelden, maar de meeste hiervan omvatten niet de volledige periode waar wij naar kijken (30 jaar, van 1991 tot 2020) en/of niet de gegevens op dagbasis die nodig zijn om de over- en onderschrijdingen van de drempelwaarden te berekenen. De gebruikte dataset is gebaseerd op waarnemingen op ongeveer 300 vrijwillige stations verspreid over heel Nederland, en geïnterpoleerd naar een grid van 1 bij 1 km. Omdat in de ruimtelijke gegevens een sterk interpolatiepatroon zichtbaar is, beperken wij hier onze analyse op de locatie van de waarnemingsstations zelf. Door het hoge aantal stations geeft deze dataset wel een gedetailleerder beeld dan alleen de 34 officiële KNMI-stations.

Het aantal vrijwillige waarnemingsstations varieert door de tijd heen, in deze analyse beperken wij ons tot de 153 stations met een volledige tijdreeks tussen 1991 en 2020. Voor elk station is op basis van de daggegevens gekeken in hoeveel jaren van deze periode de drempelwaarden in Tabel 2 & Tabel 3 zijn over- of onderschreden. Hierbij worden meerdere overschrijdingen in één jaar dus ook maar één keer meegeteld. Hiervoor is gekozen om dubbeltellingen te voorkomen, omdat het in veel gevallen gaat om drempelwaardes over meerdaagse of langere periodes, en één enkele weersgebeurtenis in verschillende van deze periodes kan vallen. In de meeste gevallen wordt de frequentie van de klimaatdreiging hier dus uitgedrukt als het percentage van de jaren in de periode 1991-2020 waarin de betreffende drempelwaarden op de locatie van het station is over- of onderschreden.

Naast de frequentie-analyse op weerstationsbasis zijn de resultaten ook geaggregeerd over grotere gebieden, waarbij gekozen is voor de groepen van landbouwgebieden van het CBS (n.d.). Afhankelijk van het doel, kan deze aggregatie op verschillende manieren worden gedaan. Hier is gekozen om te kijken in welke jaren er op één of meerdere stations die in een landbouwgebied vallen een drempelwaarde is over- of onderschreden. De resultaten geven hiermee een indicatie hoe vaak ergens in een landbouwgebied een klimaatdreiging optreedt, onafhankelijk van de locatie. Met name hevige neerslag kan vaak het gevolg zijn van lokale buien, waarbij de precieze plek waar deze vallen in meer of mindere mate toevallig is. Over grotere gebieden geeft deze manier van aggregeren dus een zinvolle indicatie dat er ergens in het gebied een event optreedt.

### **Frequentie & waarschijnlijkheid**

De waargenomen frequentie van gebeurtenissen in het (recente) verleden geeft een indicatie van de (huidige) kans op een dergelijke gebeurtenissen, maar is – zeker bij gebeurtenissen die minder vaak voorkomen – lang niet altijd een goede schatting van de waarschijnlijkheid. Dit wordt bijvoorbeeld duidelijk uit de frequentie van extreme neerslaghoeveelheden op één dag. Op de meeste stations is een neerslag van 100 mm of meer op één dag niet waargenomen. Dit betekent echter niet dat de kans op dergelijke hoeveelheid daar nul is: een enkele bui die in het verleden veel neerslag opleverde in bijvoorbeeld Zuid-Holland, had voor hetzelfde geld misschien ook wel 50 km noordelijker of zuidelijker kunnen trekken. Met name voor de extremere (minder waarschijnlijke) gebeurtenissen die minder vaak voorkomen, kan er wellicht een robuustere schatting van de waarschijnlijkheid worden gemaakt, door gebruik te maken van gespecialiseerde statistische methodes (zoals extreme value statistics). Dit is echter een vakgebied dat nog volop in ontwikkeling is en in de huidige analyse zijn deze technieken daarom niet toegepast. Vanwege de (in de meeste gevallen) kleine sample size is er ook geen rekening gehouden met eventuele trends in de frequentie van de klimaatdreigingen in de afgelopen decennia, hoewel deze waarschijnlijk wel aanwezig zijn.

### **Van waarschijnlijkheid naar impact**

Bij het interpreteren van de resultaten moet in gedachten worden gehouden dat de frequentie of waarschijnlijkheid van een klimaatdreiging op één locatie niet hetzelfde is als de kans dat er over een groter gebied of op sectorniveau impacts optreden. Dit is met name het geval bij hevige neerslag: de kans dat één bepaald perceel door een hevige bui wordt getroffen, is niet hetzelfde als de kans dat zo'n zelfde bui zich ergens in een groter gebied voordoet, of ergens in alle gebieden in Nederland waar een bepaald gewas wordt verbouwd.

Daarnaast is, bij het vertalen naar de impact van een klimaatdreiging op sector- of regioniveau, ook de schaal van een gebeurtenis belangrijk. Voor de eindimpact op sectorniveau maakt het nogal uit of bijvoorbeeld een hevige bui zich beperkt tot één enkele locatie, of zich over het hele land uitspreidt. In het eerste geval is de lokale impact misschien groot, maar de impact op sectorniveau klein; in het tweede geval is de impact op sectorniveau waarschijnlijk veel groter. Bij droogte speelt dit verschil minder, omdat droogte

---

zich in de regel wel over grotere gebieden tegelijkertijd voordoet. In de huidige analyse is niet gekeken naar de schaal van individuele gebeurtenissen (i.e. worden drempelwaardes op verschillende stations op hetzelfde moment of in hetzelfde jaar over- of onderschreden), hoewel de gegevens dat wel zouden toelaten. De analyse op het niveau van landbouwgebieden geeft in dit opzicht mogelijkserwijs een betere indicatie van de mate van impact op sectorniveau. Een betere inschatting zou verkregen kunnen worden door ook te kijken naar de blootstelling (i.e. het aantal percelen binnen een gebied), waarbij wel bedacht moet worden dat deze van jaar tot jaar kan verschillen.

#### 2.4.2 Onzekerheid & Betrouwbaarheid

##### **Drempelwaarden gevoeligheid akkerbouwgewassen**

Wetenschappelijke literatuur die opbrengstderving analyseert, laat variabiliteit zien in opbrengstdervingen. Het is niet zo dat bij elk neerslagtekort dezelfde opbrengstderving optreedt, omdat er veel factoren invloed hebben op een perceel. Deze onzekerheid geldt bij uitstek bij specifieke drempelwaardes voor bepaalde gevoeligheden. Omdat deze drempelwaardes goed werken voor een frequentie-analyse, maar het is natuurlijk niet zo dat een effect plotsklaps optreedt bij overschrijding van de drempelwaarde – en niet vlak daaronder. Omdat in dit onderzoek de drempelwaarden wel op deze manier gebruikt zijn, werkt deze onzekerheid zich door in de impact-analyse.

##### **Adaptive capacity**

Bij het bepalen van de adaptatiecapaciteit is met experts van Wageningen Plant Research gekeken naar de praktijken die nu toegepast worden in de sector én welke kansen zij zien voor de sector. Daarbij is de daadwerkelijke capaciteit van een agrariër om een maatregel toe te passen niet benaderd. Financiële drempels maar ook gebrek aan kennis of expertise kunnen ervoor zorgen dat een maatregel, die in theorie beschikbaar is, niet toegepast wordt. Het vermogen tot aanpassen van individuen is een eigen discipline binnen de klimaatadaptatie, dat dicht aan zit tegen de kwetsbaarheid van groepen/personen. We gaan er in dit onderzoek vanuit dat adaptatie die op dit moment gangbaar is, voor elke individuele agrariër toepasbaar is. Wanneer beperkingen in het vermogen bepaalde adaptatiemaatregelen door te voeren sectorbreed ervaren worden deze wél genoemd. Denk hierbij bijvoorbeeld aan rasbehoud in fruitteelt.

#### 2.4.3 Gebruik van kwalitatieve data

In voorliggende klimaatrisico-analyse is gebruik gemaakt van kwalitatieve data. Dit betreft grotendeels informatie van de geraadpleegde WUR-experts (zie ook 'gebruik van expertbeoordeling'). Overige kwalitatieve data komen uit wetenschappelijke literatuur en is gerefereerd in de tekst. De oorsprong van deze kwalitatieve informatie is zodanig terug te zoeken. De type kwalitatieve informatie uit de literatuur betreft vooral kennishiaten en potentiële onderbelichte risico's.

#### 2.4.4 Gebruik van expertbeoordeling

Experts zijn bevraagd in persoonlijke interviews. WUR heeft historisch gezien vele landbouwexperts in huis die hun hele leven lang meedraaien in een enkele subsector, vaak als specialist in een enkele teelt, plaag, of teeltmanier. Zij zijn daarnaast generalist binnen hun subsector. Deze experts bundelen vaak in een enkel individu decennia aan praktijk- en onderzoekservaring, en zijn vaak van hun afstuderen tot pensioen in dienst van de WUR. Dit maakt dat bij het raadplegen van een experts het aanbevolen aantal experts (6-12) niet gehaald kan worden – er is immers maar één of enkele experts op specifieke gebieden zoals bijvoorbeeld rijst, groenbemesters, aaltjes of tomatenkassen.

De expertbeoordeling is met name gebruikt om de verschillende onderdelen van het klimaatrisico te duiden. Met name als het gaat om blootstelling, gevoeligheid en adaptatiemogelijkheden. Dit betreft dus informatie omtrent gevoelige gewassen, teeltsystemen en voedselketens. In dit onderzoek is getracht geen kwantitatieve of 'orde van grootte' beoordeling te vragen aan de experts. De experts hebben uitsluitend meegedacht over inhoud van de factsheet, onderverdeling van subsectoren en het voorkomen dat belangrijke factoren gemist werden. Door hen globaal te bevragen en te vragen om wetenschappelijke literatuur aan te dragen is getracht de betrouwbaarheid van expertinput hoog te houden. Een kwantitatieve

---

of oordelende benadering zou een te hoge onzekerheid met zich mee zou brengen, die moeilijk gecontroleerd kunnen worden bij andere experts.

### **Daan Verstand**

Onderzoeker Klimaatbestendigheid bij Wageningen Environmental Research. Daan heeft zo'n zes jaar ervaring binnen WUR en heeft een groot gedeelte hiervan gewijd aan de relatie tussen klimaat en de effecten op perceelsniveau. Daan heeft meegedacht over de selectie van de klimaatrisico's en heeft de documenten inhoudelijk gecontroleerd voor oplevering. Daan heeft gedurende het project op expertisebasis relevante stukken aangedragen.

<https://research.wur.nl/en/persons/daan-verstand>

### **Rutger Dankers**

Onderzoeker Klimaatbestendigheid bij Wageningen Environmental Research. Rutger heeft meegedacht over de selectie van de klimaatrisico's en heeft bijgedragen aan de frequentie-analyse. Rutger heeft ruime ervaring in de modelering van oogstverlies door klimaatdreigingen.

<https://research.wur.nl/en/persons/rutger-dankers>

### **Rien van der Maas**

Hij is sinds 1987 werkzaam bij Wageningen Plant Research bij het onderdeel Open Teelten en de voorlopers daarvan. Hij heeft sinds het begin van zijn afstuderen fruit onderzoek gedaan, en heeft daarmee inmiddels 46 jaar wetenschappelijke ervaring over de bedrijfssystemen van fruitteelers. In een persoonlijk gesprek heeft Rien breed geadviseerd over het invullen van de factsheet, o.a. blootstelling, kwetsbaarheden, impact en adaptatiecapaciteit.

<https://research.wur.nl/en/persons/rien-van-der-maas>

### **Derk van Balen**

Onderzoeker bedrijfssystemen en bodem bij Wageningen Plant Research. Sinds de millenniumwisseling heeft Derk bijgedragen aan wetenschappelijk onderzoek rond akkerbouw en vollegrondsgroente teelt zoals bodemverbetering, teeltsystemen, bemesting, ziekte/plagen, en klimaatdreigingen. In een persoonlijk gesprek heeft Derk breed geadviseerd over het invullen van de factsheet, o.a. blootstelling, kwetsbaarheden, impact en adaptatiecapaciteit.

<https://research.wur.nl/en/persons/derk-van-balen>

## **2.5 Eindrisico bepalen**

Om een eindrisico te kunnen destilleren uit de factsheets, is een expertsessie met het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) en Wageningen Research (WR) georganiseerd op 23 november 2023. Tijdens deze sessie zijn, door middel van discussies, de eindimpacts voor mens & cultuur, natuur & milieu en economie bepaald voor de klimaatrisico's extreme droogte en neerslag. Hierbij zijn de door het PBL aangewezen klassen gebruiken om in te delen (PBL, 2023). Aanwezig tijdens deze sessie waren vanuit het PBL: Frank van Gaalen, Frédérique Kirkels, Jelle van Minnen en Marijke Vonk. Vanuit WR waren aanwezig: Sverre van Klaveren, Emma Knol en Rutger Dankers.

De sessie omvatte de volgende opbouw:

- Het doornemen van de klimaatrisico-analyses
- Bespreken van de trend in tijd
- Ruimtelijke verschillen
- Impact
- Bandbreedte van de risico's
- Hoog-risico elementen
- Dilemma's en onzekerheden

Uit het bespreken van voorgaande punten werden de eindimpacts en betrouwbaarheden voor ieder klimaatrisico ingeschat. Hieronder wordt een weergave geschetst van de beoordelingen van de eindimpacts. Nadruk in het gesprek lag met name op de eindimpact economie.

---

## **Mens & Cultuur**

Het eindrisico voor het effect van extreme droogte in de akker- en tuinbouw op mens & cultuur kon als volgt worden ingeschaald:

- Laag: < 10.000 getroffen mensen, 0 – 10 ernstig gewonden/doden, lokaal en/of omkeerbare cultuurschade
- Middel: 10.000 – 100.000 getroffen mensen, 10 – 100 ernstig gewonden/doden, regionaal en/of moeilijk omkeerbare cultuurschade
- Hoog: > 100.000 getroffen mensen, > 100 ernstig gewonden/doden, nationaal en/of omkeerbare cultuurschade

## **Natuur & Milieu**

Het eindrisico voor het effect van extreme droogte in de akker- en tuinbouw op natuur & milieu kan als volgt worden ingeschaald:

- Laag: lokaal en/of omkeerbare schade op natuur en milieu
- Middel: regionaal en/of moeilijk omkeerbare schade op natuur en milieu
- Hoog: nationaal en/of onomkeerbare schade op natuur en milieu

## **Economie**

Het eindrisico voor het effect van extreme droogte op de economie in de akker- en tuinbouw kon als volgt worden ingeschaald:

- Laag: < € 100 miljoen schade
- Middel: € 100 miljoen – 1 miljard schade
- Hoog: > € 1 miljard schade

---

# 3 Factsheet: Schade aan akkerbouw- en tuinbouwgewassen door (meteorologische) droogte

## 3.1 Inleiding

Door klimaatverandering komen lange perioden van droogte steeds vaker voor. Het voorkomen van droge zomers, zoals de zomer van 2018, neemt in een stijgende trend toe sinds 1950 (KNMI, n.d.). Het IPCC concludeerde dat met een hoge mate van zekerheid dat de landbouw negatief werd beïnvloed door klimaatverandering, waarbij droogte specifiek een belangrijke oorzaak is van voedselonzekerheid (Caretta et al., 2022). De akkerbouw is sterk afhankelijk van de weersomstandigheden en de daarmee gepaard gaande zoetwaterbeschikbaarheid. Droogte brengt daarom risico's voor de akkerbouwsector met zich mee (Schaap et al., 2014). De afgelopen jaren is droogte veel in het nieuws geweest. Sinds 1900 zijn er zes droogtes geweest die intenser en langduriger waren dan de droogte die begon in 2018 (KNMI, 2021). Het KNMI classificeert sinds 1990 twee jaren als zeer droog: 2003 (SPEI (Standardised Precipitation Evapotranspiration Index) -1.7) en 2018 (SPEI -1.9) (KNMI, sd). In 2003 was er 250 mm neerslagtekort (het verschil tussen neerslag en de noodzakelijke verdamping van gewassen) (KNMI, 2003) en in 2018 was dat meer dan 300 mm (KNMI, 2019).

Met name in 2018 maakte Nederlanders zich zorgen; het zoekgedrag van Nederlanders op Google in juli 2018 naar droogte was zo vijftig tot honderd keer meer dan op een doorsnee dag (Google, sd). Met reden; de droogte leidde tot grote schade bij landbouwgewassen en had van alle weersverschijnselen de grootste impact op de Nederlandse oogst in de afgelopen 27 jaar (Van Oort et al, 2023). Droogte in de land- en tuinbouw is daarbij de meest gerapporteerde impact van droogte in Europa (Stahl et al., 2016). De akkerbouw heeft in relatie tot de sterke weersafhankelijkheid al vele knelpunten gekend in droge groeiseizoenen van 1995, 2003, 2018 (Verhagen et al., 2018) en 2022 (KNMI, 2022a). De recente droogte in 2018 kwam in delen van het land tot aan het droogtorecord uit 1976. In 1976 leidde de aanhoudende droogte tot regionaal lagere kilogram-opbrengsten voor akkerbouwbedrijven op zandgronden (Van Asseldonk et al., 2020).

## 3.2 Klimatrisico-analyse

### 3.2.1 Klimaatdreiging

Een hogere temperatuur en een daarmee hogere potentiële evaporatie zal bij gelijke neerslag leiden tot een lagere regenwaterbeschikbaarheid. Het risico op droogteschade door meteorologische droogte wordt met name veroorzaakt door de klimaatdreigingen: het wordt droger in combinatie met het wordt warmer. Over de afgelopen eeuw hebben de toename in zomerneerslag en potentiële verdamping door stijgende temperaturen en zonnigere zomers elkaar gecompenseerd; het potentieel neerslagtekort kent geen trend (KNMI, 2018b). De dreiging van droogte verschilt echter significant tussen de kustzone en het binnenland, omdat de kustzone een trend laat zien van hogere neerslag tussen april en september in de referentieperiode van 1991 - 2020. In het binnenland, waar er geen neerslagtrend te zien is, kent daarmee nu al meer landbouwdroogte dan in 1950 (Philip et al., 2020).

Opwarming boven land leidt tot een verhoogde atmosferische verdamping en intensificeert de ernst van droogtes. De effecten van klimaatverandering op landbouw uiteten zich voornamelijk door veranderingen in de mondiale watercyclus. Zowel een teveel als een tekort aan water vergroten de kans op overstromingen en droogte, aangezien de variabiliteit van neerslag toeneemt in een opwarmend klimaat. Er is geruime tijd consensus over de aanpassingen in zowel de hoeveelheid als de seizoensgebondenheid van water als gevolg van klimaatverandering. Klimaatverandering vormt een dubbele bedreiging voor de landbouw: zowel de

---

beschikbaarheid van regionaal regenwater als de beschikbaarheid in het gehele Rijn-Maas bassin veranderen. Veranderingen in neerslag merken we in Nederland direct maar ook gletsjerafvoer, en sneeuws melt hebben invloed op andere hydroklimatologische variabelen zoals oppervlakte- en ondergrondse afvoer, en grondwateraanvulling; het effect hiervan zullen we merken in lage rivierstanden (Douville et al., 2021).

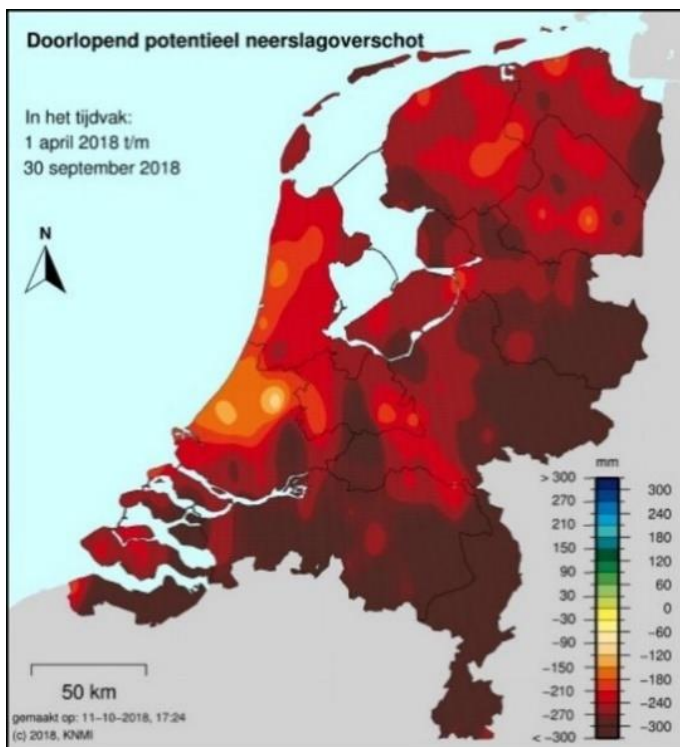
Over het algemeen kan gesteld worden dat hogere temperatuur en een hoger CO<sub>2</sub>-gehalte in de atmosfeer zal leiden tot een snellere plantgroei en hogere biomassa productie voor tuinbouwgewassen (Bisbis et al. 2018). Gewassen zullen door deze gunstigere groeiomstandigheden meer verdampen, maar ook meer last krijgen van plagen. Er is geen duidelijkheid of dit ook regionale veranderingen in de watercyclus veroorzaakt (Douville et al., 2021). Zal de waterbeschikbaarheid in de toekomst beperkter worden dan zal de impact van droogte sterk toenemen (van Oort et al., 2023).

### **Trend (en doorkijkje naar de toekomst)**

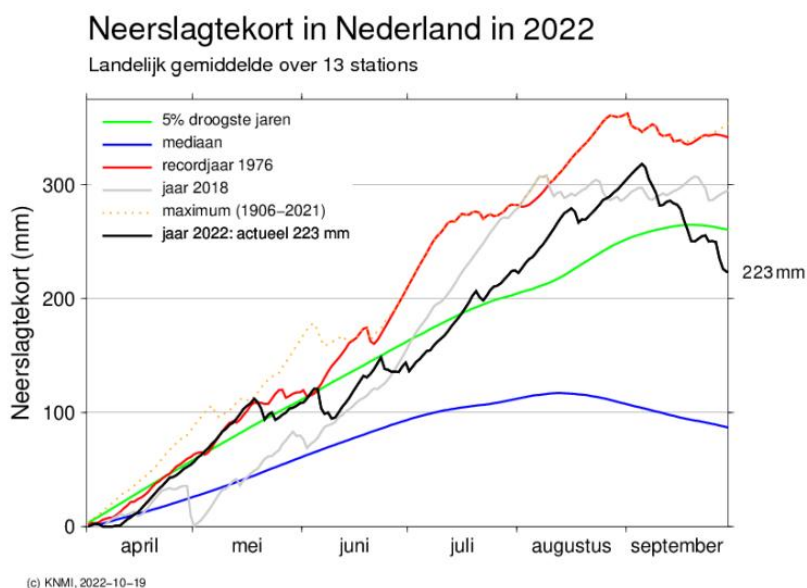
Een toenemende temperatuur en daardoor een verhoogde potentiële verdamping zullen, bij gelijke neerslaghoeveelheden, leiden tot verminderde beschikbaarheid van regenwater. Geven we een doorkijkje naar de toekomst, dan kunnen we stellen het falen van het beperken van de opwarming van de aarde tot 1,5°C in plaats van 2°C naar een verdubbeling zal geven van het aandeel van de wereldbevolking dat te maken krijgt met droogte (Douville et al., 2021). Er zijn echter aanzienlijke regionale verschillen, maar ook voor Nederland geldt dat onder alle mogelijke uitstootscenario's zowel de droogte in de lente als de zomer toe zal gaan nemen (KNMI, 2023a). Het risico op droogte varieert aanzienlijk tussen de kustzone en het binnenland, omdat de kustzone een stijgende trend in neerslag laat zien gedurende de periode van april tot september. In het binnenland, waar geen significante toename in neerslag te zien is, is er momenteel al meer kans (14%) op landbouwdroogte dan in 1950 (Philip et al., 2020).

### **Waargenomen droogte, intensiteit en geografische verschillen**

De droge jaren 1995, 2003, 2006, 2018, 2019 en 2021 hebben een negatief effect gehad op de akkerbouwsector. Figuur 6 geeft de neerslagtekorten in de zomer van 2018 weer in Nederland. Met name het zuidoostelijk deel van Nederland had te maken met grote neerslagtekorten tot wel 300 mm (KNMI, 2018b). Figuur 7 geeft inzicht in de trend in neerslagtekort in Nederland voor de mediaan, de 5% droogste jaren, recordjaar 1976, droog jaar 2018 in vergelijking met 2022 (KNMI, 2022b). 2018 had een herhalingstijd van 30 jaar; 1976 een herhalingstijd van 90 jaar. Het platform FutureWater (2023) (DroogteNL, n.d.) geeft per eenheid (provincie, waterschap, gemeente of landelijk) weer hoe droog het op verschillende locaties in Nederland is geweest, gebaseerd op het bodemvochtgehalte in de jaren 2011-2020. Droogte in de landbouw uit zich direct via het ontbreken van bodemvocht voor plantgroei. De relatie tussen neerslag, bodemvocht en plantgroei is wetenschappelijk al lang bekend (zie Veihmeyer & Hendrickson, 1950 en Baier, 1965) en is (impliciet) al bekend sinds de prehistorie (zie de mythe van Enki en Ninhursaja (UvOxford, 2006) maar ook Plinius (Mayhoff, 1906)). Wanneer droogte gepaard gaat met extreme hitte, kunnen gebieden uitdrogen en de kan het resulteren in de dood van individuele organismen (Caretta et al., 2022).



**Figuur 6** Ruimtelijke verdeling van het doorlopend neerslagtekort in april t/m september 2018 (KNMI, 2018a). Let op, er is sprake van een negatief doorlopend overschot, oftewel een tekort.



**Figuur 7** Neerslagtekort in Nederland. Gegeven de mediaan, de 5% droogste jaren, recordjaar 1976, 2018 en 2022 (KNMI, 2022b).

Omdat droogte in de landbouw de meest gerapporteerde vorm is van droogteschade in Europa, op basis van data over mislukte oogsten, verliezen of opbrengstderving, kunnen andere soorten impacts van droogte minder bekend zijn. In Nederland wordt het doorlopend potentieel neerslagoverschot berekend door het verschil te bepalen de gevallen neerslag en de berekende referentiegewasverdamping. Dit is een manier om meteorologische droogte uit te drukken, maar deze manier van droogte uitdrukken via gewasverdamping sluit daarmee goed aan op een landbouwperspectief (en daarmee een economisch perspectief), in plaats van een andere conceptuele visie van droogte zoals bijvoorbeeld hydrologische tekorten (Stahl et al., 2016) of schade aan natuur en milieu.

## Toekomstige klimaatdreiging - waterbeschikbaarheid

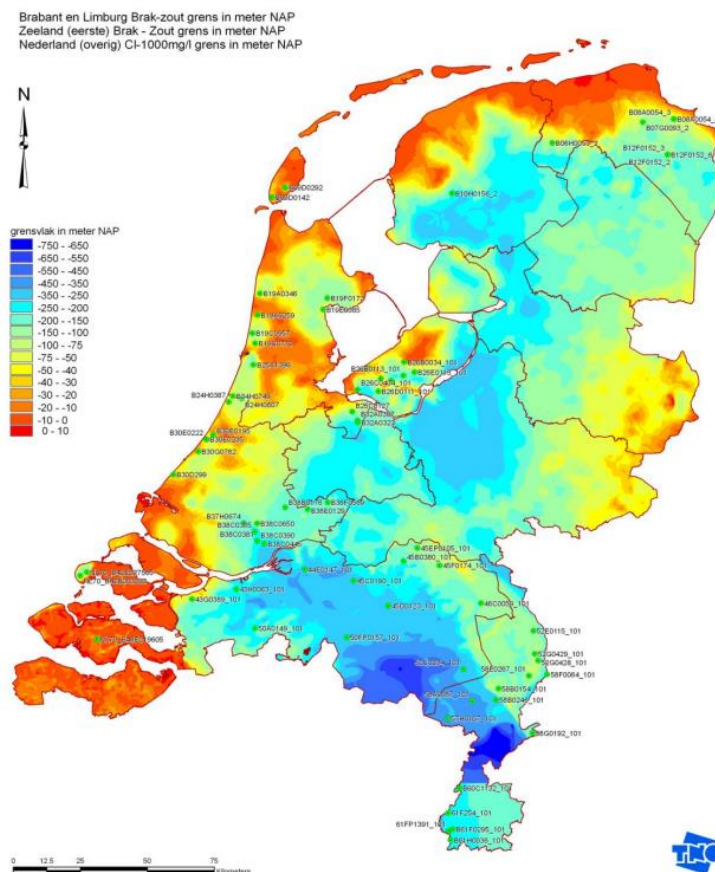
Het is in de toekomst niet ondenkbaar dat oppervlaktewater minder beschikbaar zal zijn in droge zomers. Het is de verwachting dat de Rijn meer karakteristieken zal gaan vertonen van een regenrivier: De laagwaterafvoeren (maandgemiddelden) in de nazomer bij Lobith zullen in extremere klimaatscenario's iets zakken; de Maas zal sterker afnemen (Klein et al., 2015). Vooral de variabiliteit zal toenemen, waardoor er periodes zullen zijn waar er weinig water ons land binnen zal komen (KWR, 2021); dat betekent vaker keuzes maken of water naar irrigatie gaat of naar andere doelen.

### 3.2.2 Secundaire Effecten

Secundaire effecten die door de klimaatdreigingen het wordt droger en het wordt warmer ontstaan hebben betrekking op het Nederlandse bodem- en watersysteem. Hieronder worden de secundaire effecten per effect omschreven.

#### Verzilting

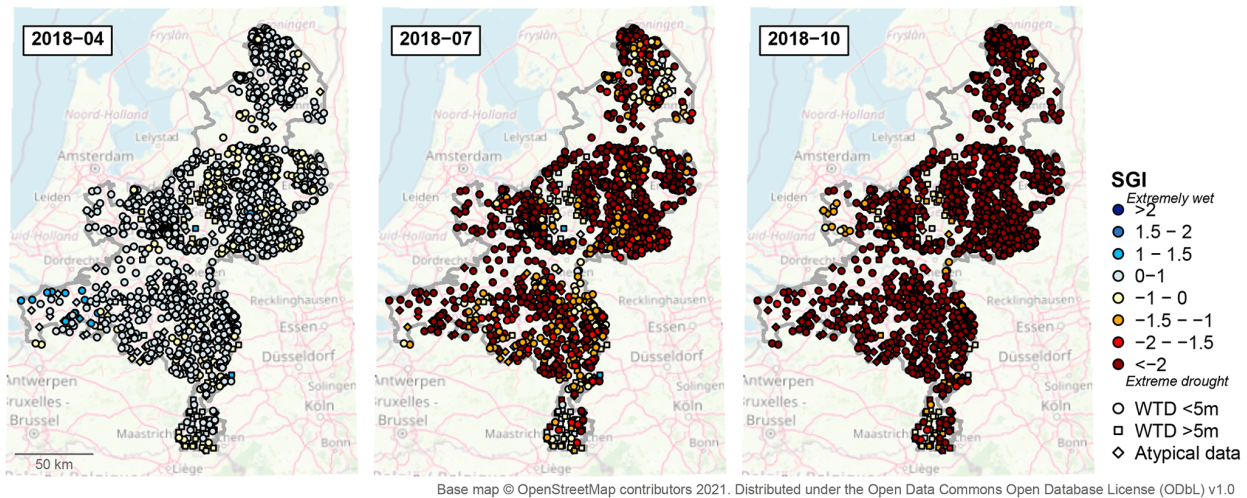
Door droogte ontstaat een afnemende tegendruk van zoetwater op het zoute grondwater en is er niet voldoende water om oppervlaktewateren voldoende tegen zout water door te spoelen. Hierdoor neemt de kans op verzilting in de akkerbouw langs de kustgebieden toe. Hieronder een kaart met de diepteligging van brak- en zoutwater in Nederland (Figuur 8). De rode locaties langs de kust vormen het grootste risico op verzilting (Stuurman & Oude Essing, 2007). Verzilting van grond- en oppervlaktewater is met name een probleem voor de akkerbouw, omdat dit water van te slechte kwaliteit is om mee te beregenen in droge perioden.



**Figuur 8** De diepteligging van het brak-zout grensvlak met de door de stroomgebiedcomités aangewezen meetpunten 'zoutmonitoring' (Stuurman & Oude Essink, 2007).

## Daling van de grondwaterstand

De droogte van 2018 zorgde onder ander voor het dalen van de grondwaterstanden (Brakkee et al., 2022). Onderstaand Figuur 9 toont de daling van de grondwaterstanden tussen april, juli en oktober van het jaar 2018 op basis van gesimuleerde reeksen. Door de daling van het grondwater wordt de capillaire opstijging van water in de bodem richting de plantenwortels verminderd, waardoor opbrengstderving en een lagere biomassa-productie van gewassen ontstaat (Van Lanen & Peters, 2000). Daling van de grondwaterstand vormt met name in oost-Nederland een knelpunt voor de akkerbouw, omdat deze gebieden grondwaterafhankelijk zijn voor de gewasopbrengst (Witteveen & Bos, 2013).



**Figuur 9** Ontwikkeling droogte door zakkend grondwater in 2018: Gestandaardiseerde grondwaterindex (SGI) van gesimuleerde reeksen in april, juli en oktober 2018. WTD geeft de diepte van de grondwaterspiegel aan (Brakkee et al., 2022).

In het veenweidegebied zijn veel veehouders gevestigd. Dit betekent dat maisteelt op deze gronden voorkomt. Daling van de grondwaterstand in het veenweidegebied zorgt voor extra veenoxidatie. Een studie van Wesselink et al. (2019) toont het verloop van de grondwaterstand in het seizoen van 2018 in de Friese veenweiden, waarin is te zien dat de grondwaterstand uitzakt tot 1.20 m. De laatste neerslagpiek werd vastgesteld eind mei/begin juni. Pas half augustus viel de eerste neerslag. Deze neerslag zorgde enkel voor een kleine tijdelijke verhoging van de grondwaterstand. Door de verdroging van het veen werd de neerslag niet opgenomen maar direct afgevoerd via de scheuren die door de droogte in de bodem waren gevormd. De exacte veenoxidatie die in de droge jaren heeft plaatsgevonden is moeilijk te achterhalen. Op langere termijn zorgt veenoxidatie voor extra CO<sub>2</sub>-emissie en bodemdaling, waardoor hoogteverschillen in percelen kunnen ontstaan. De directe impact van veenoxidatie en het ontstaan van hoogteverschil op de gras- en maisteelt in het veenweidegebied is niet bekend.

## Waterkwaliteit

Over het algemeen hebben droogteperioden ingrijpende gevolgen te hebben voor de waterkwaliteit. Deze effecten variëren uiteraard afhankelijk van de kenmerken van de waterlichamen langs akkerbouwpercelen en gebieden, en het grotere stroomgebied. Eerder in dit factsheet werd verzilting al genoemd als secundair effect, maar er zijn meer waterkwaliteitseffecten. Temperatuurstijgingen en versterkte stratificatie treden tijdens de droogte soms op, waardoor de kansen op algen en giftige bacteriën toeneemt (Mosley, 2015). Dit kan regionaal deels afgevangen worden door een stabiele grondwatertoevoer (Wilbers et al., 2009). Temperatuurstijging zal ook leiden tot een toename plagen en daarmee herbicide spuiten. De combinatie warmer en droger kan de waterkwaliteit sterk gaan beïnvloeden. In combinatie met andere neerslagextremen zal de uitspoeling van nutriënten leiden tot eutrofiering van oppervlaktewater (Rozemeijer et al., 2021).

### 3.2.3 Blootstelling

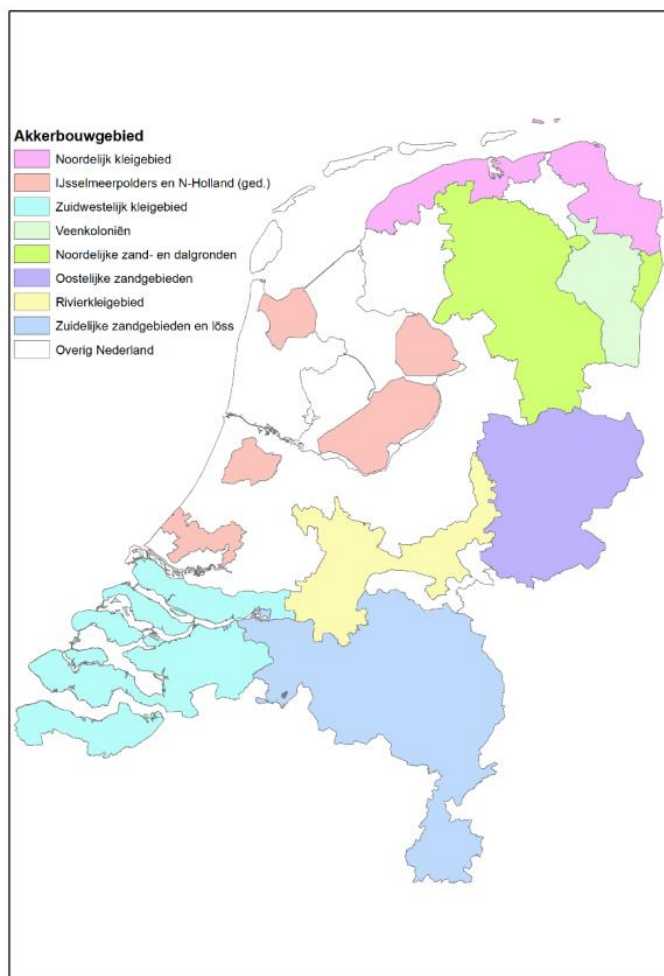
#### 3.2.3.1 Akkerbouw

In Nederland is rond de 535.000 hectare akkerbouwgrond (CBS, 2023d). Dit komt neer op ongeveer 13% van de totale oppervlakte in Nederland. De productiewaarde van de akkerbouw in 2022 was bijna 4,2 miljard euro (Verhoog, 2022). Het productvolume is de afgelopen jaren van vrijwel alle belangrijke akkerbouwproducten, zoals graan, suikerbiet, aardappel en voedergewassen, gestegen. De landbouw draagt in totaal 1,4% (€ 29 miljard in 2019) bij aan ons bruto binnenlands product (CBS, 2020a).

Gewassen die (in 2022) in de akkerbouwsector het meeste zijn geteeld zijn (CBS, 2023b):

- Snijmais – ca. 183.000 ha
- Tarwe – ca. 124.000 ha
- Suikerbiet – ca. 82.000 ha
- Consumptieaardappel – ca. 77.000 ha
- Pootaardappel – ca. 43.000 ha
- Gerst – ca. 37.000 ha
- Zaaiui – ca. 27.000 ha

Figuur 10 toont de acht akkerbouwgebieden in Nederland. Figuur 11 toont de gewasarealen binnen de landbouwgebieden op basis van de perceelregistratie van de CBS-landbouwgebiedsindeling (RVO, 2021). Droogte is een nationale blootstelling aan de akkerbouw die ervoor zorgt dat gebieden waarin veel akkerbouwgewassen worden geteeld extra gevoelig zijn voor droogte vergeleken met andere gebieden in Nederland.



**Figuur 10** Aanduiding van de acht akkerbouwgebieden in Nederland (Smit & Jager, 2018).

---

### 3.2.3.2 Tuinbouw

De tuinbouw betreft zo'n 45.000 hectare in Nederland (ongeveer 1% van ons totale landoppervlak, en ongeveer 2% van ons totale landbouwareaal), (Berkhout et al., 2022) en heeft inclusief glastuinbouwgroente een bruto productiewaarde van ruim 10 miljard (Agrimatie, 2022a). De productiewaarde is daarmee twee en een half keer zo hoog als de akkerbouw en de exportintensiteit van groente- en fruitproductie ligt rond de 60%. De land- en tuinbouw draagt in totaal 1% bij aan ons bruto binnenlands product (Afrian et al., 2020). In Figuur 11 staat de Basisregistratie Gewaspercelen verdeelt over haar drie sectoren landelijk verdeeld.

De tuinbouw kan verdeeld worden in twee relevante subsectoren: fruit en groente.

#### Subsector: fruit

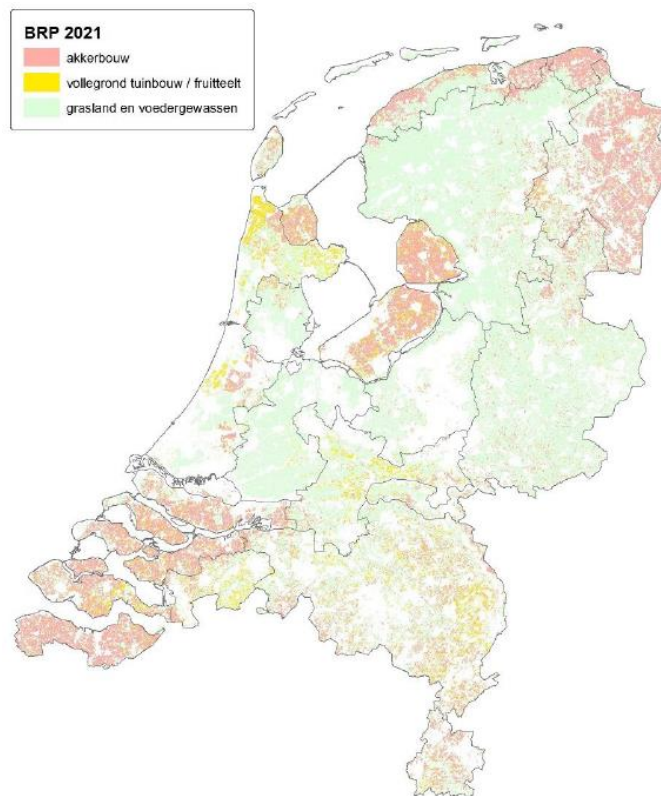
In Nederland wordt zo'n 20.000 hectare aan fruit geteeld (CBS, 2017). Het overgrote aandeel (tweederde) hiervan betreft vollegrondse appel en peer. De fruitteelt wordt hoofdzakelijk bedreven in Zuid-Beveland (Zeeland) en het rivierengebied in de Betuwe en de Stichtse Rijnlanden. Daarnaast is zo'n 10% in Zuid-Limburg. Het areaal met appelteelt daalt, terwijl dat van peer stijgt. Nederland heeft gunstige klimaatomstandigheden (in het huidige klimaat) voor de conference-peer, die hoofdzakelijk geëxporteerd wordt. Hiermee is de peer de teelt waar de sector financieel het meeste op leunt (Van der Maas, 2023).

#### Subsector: groente

Het aantal groenten in de tuinbouw is divers. De vier grootste teeltgroepen (CBS, 2023b) zijn knol- en wortelgroente (bos en waspeen, knolselderij, rode biet, radijs, schorseneer, ui en winterpeen), blad- en stengelgroente (andijvie, asperges, knolvenkel, prei, selderij, kropsla, ijsbergsla, overige sla, spinazie, witlof), koolsoorten (bloemkool, boerenkool, broccoli, Chinese kool, groene kool, rode kool, spitskool, spruiten, witte kool) en peulvruchten (doperwten, sperziebonen, tuinbonen).

#### Blootstelling fruit en groente

Figuur 11 geeft weer waar de vollegrondse tuinbouw/fruitteelt in Nederland plaatsvindt. De binnenlandse teelten, waar een negatieve trend in neerslag is, op de hoge zandgronden (Brabant/Limburg) hebben de grootste directe blootstelling, maar ook de Betuwe is blootgesteld wanneer Rivierwater niet meer gebruikt mag worden om te irrigeren. In de kuststreek is vooral Zeeland, dat slecht kan terugvallen op grondwater vanwege verzilting blootgesteld. De kop van Noord-Holland en West-Friesland heeft daarmee de minste blootstelling. Ook hier kan gekozen worden om IJsselmeerwater te gebruiken voor andere doelen dan tuinbouw: bijvoorbeeld wanneer de verdringingsreeks in werking treedt.



**Figuur 11** Basisregistratie Gewaspercelen (2021) ingelegd in de 14 groepen van landbouwgebieden van het CBS (n.d.).

### Trend in akkerbouwmatige tuinbouwgroente

Er is een geleidelijke verschuiving van vollegrondsgroente die op tuinbouwmatige wijze geteeld worden naar een vollegrondsgroente die op akkerbouwmatige wijze geteeld worden (Van Balen, 2023), d.w.z. een verschuiving van groente waarbij kleine arealen worden beplant met zaailingen, naar teeltsystemen met grotere arealen, toegenomen mechanisatie en gebruik van zaaigoed in plaats van zaailingen. Dit onderscheid creëert twee typen bedrijven, enerzijds de tuinbouwmatige bedrijven en anderzijds akkerbouwmatige bedrijven, die een verschillende blootstelling, kwetsbaarheid en adaptatiecapaciteit kennen. De keuze voor een bepaald teeltsysteem hangt ook samen met de afzetmarkt. Spinazie voor het versschap zal tuinbouwmatig vanaf zaailing geproduceerd worden, waarbij spinazie voor het vriesvak als zaaigoed wordt ingezaaid en machinematig wordt geoogst, en dus akkerbouwmatig wordt geteeld. Soms worden verschillende onderdelen van één teelt zowel tuinbouwmatig als akkerbouwmatig geteeld: de witlofwortels worden akkerbouwmatig geteeld, om vervolgens de krop trek tuinbouwmatige te doen in de kenmerkende overdekte ruimtes.

## 3.2.4 Gevoeligheid

### 3.2.4.1 Akkerbouw

De gevoeligheid van gewassen die voor de factsheet van belang zijn worden hieronder besproken. De specifieke drempelwaarden per gewas zijn beschreven in §2.3.

#### Aardappel

De groei van aardappelen wordt bevorderd bij temperaturen tussen de 20 en 25 °C. Zodra de temperatuur boven de 30 °C komt, neemt de fotosynthese echter af (Verstand et al., 2021). Door deze stagnatie van de fotosynthese wordt de knolvorming geremd en neemt de potentiële opbrengst af (Bus et al., 2003; Veerman, 2003). Droogte en temperatuurstijging gaan de afgelopen jaren hand in hand. De afgelopen acht van de tien jaar lag de gemiddelde temperatuur boven het normaal (gebaseerd op het gemiddelde van de jaren 1991 – 2020 in De Bilt) (KNMI, 2022b). Een kortere periode van droogte heeft over het algemeen een geringe invloed op de drogestof- en knolproductie van de aardappel. Echter wordt met name de kwaliteit van de

---

aardappelen negatief beïnvloedt door droogte. Dit betreft met name de knolgrootteverdeling en de vorm van de knol. Vochttekort tijdens de knolaanzet leidt tot een verlaging in het aantal knollen. Hevige droogte in de knolgroei leidt tot een stilstand in de opbrengst. Zodra na de droge periode regen valt, leidt dit vaak tot doorwas, wat ervoor zorgt dat de aardappelknollen onregelmatig worden van vorm (Haverkort & Goudriaan, 1993).

Daarnaast wordt de druk van plaaginsecten door stijgende temperaturen vergroot (Yamamura & Kiritani, 1998). De plaaginsecten kunnen zich vaker voortplanten in warmere en drogere perioden, maar ook raken planten gevoeliger voor plaaginsecten door de droogtestress die zij ervaren (Sconiers & Eubanks, 2017). Tot noch toe vormen met name ziekten en plagen vanuit aardappelopslag (de aardappelen die na de oogst in de grond achterblijven) een risico voor opvolgende teelten.

#### *Suikerbiet*

Suikerbieten zijn in vergelijking met de andere akkerbouwgewassen minder gevoelig voor droogte (Van Oort et al., 2023). Hogere temperaturen in het voorjaar kunnen daarbij een positief effect hebben op de gewasontwikkeling, omdat de kans op nachtvorst en koude periodes in de ontwikkelingsfase van de suikerbiet afneemt (Verstand et al., 2021). Bij hoge temperaturen en droogte in het verdere groeiseizoen kan echter de productie van droge stof in de suikerbieten teruglopen door droogtestress in de suikerbiet, waardoor risico's op opbrengstderving ontstaan.

#### *Zaaiui*

Uien zijn door hun oppervlakkige en schaarse bewortelingspatroon gevoelig voor droogte (Van de Broek, 2003). Bij een kort vochttekort kan de plant ervoor zorgen dat de verdamping beperkt wordt. Echter zal dit ten koste gaan van de opbrengst. Een analyse van de gevolgen van droogte in 2018 toont aan dat uien aanzienlijk meer schade ondervinden dan andere gebruikelijke gewassen in de akkerbouw, met een schadepercentage tot wel 50% vergeleken met het gemiddelde opbrengstverlies (Stokkers et al., 2018; Van Oort et al., 2023).

Verder kan de druk van de schimmel *Fusarium* toenemen door droogte, waardoor de ui wordt aangetast en rot wordt veroorzaakt (Verstand et al., 2021).

#### *Gerst*

Gerst heeft in de droge jaren 2003, 2006, 2018 en 2019 weinig negatieve effecten ondervonden, omdat de gerst veelal geoogst werd voor de start van de extreme droogte in deze jaren (Van Asseldonk et al., 2020). Een geringe droogte kan zelfs zorgen voor extra korrelvorming in de plant, waardoor de opbrengst iets hoger kan uitvallen. Ook is de kans op schimmelziekten en schot in gerst iets minder groot in droge periodes, waardoor minder oogst verloren gaat (Van Asseldonk et al., 2020; De Boer, 2002).

#### *Tarwe*

Door droogte in het voorjaar kan tarwe achterblijven in groei. In combinatie met hitte kan de droogte zorgen voor versnelde bladafsterving en een lagere fysieke opbrengst (Verstand et al., 2021). Ziektes als meeldauw kunnen vaker voorkomen onder droge omstandigheden, waardoor de opbrengst van tarwe kan dalen.

#### *Snijmais*

Op een proeflocatie waar niet beregend werd, werd aangetoond dat de opbrengst van het maisareaal 25% lager was dan in het 5-jarig gemiddelde. In het voorjaar kan geringe droogte juist de wortelvorming van mais stimuleren. Echter is het in een later stadium van het groeiseizoen, bij de vorming van de kolfzetting, essentieel dat de maisplant voldoende water tot zijn beschikking heeft om opbrengstderving te voorkomen. Mais is dus, zonder de mogelijkheid tot beregening, gevoelig voor droogte.

### **3.2.4.2 Tuinbouw**

#### **Gebruik van irrigatie vertroebelt het beeld van gevoeligheid van de akker- en tuinbouw**

Om gewassen te beschermen tegen de droogte is beregening in een groot aantal akkerbouwgebieden toegenomen (Stokkers et al., 2022). Toename van beregening en vaker voorkomende droogte zijn de laatste jaren steeds meer tegengesteld geworden. In Nederland kan op ongeveer 70% van het areaal worden

beregend (Stokkers et al., 2018). De invloed van een neerslagtekort, binnen de huidige landbouwpraktijken, is daarmee duidelijk, maar de kwetsbaarheid niet. Gegevens over de gevoeligheid van gewassen zijn daarom niet beschikbaar, simpelweg omdat de urgentie tot het ontwikkelen van deze kennis nog niet bestaat voor de telers, zolang dat er water beschikbaar is om te irrigeren (Van Balen, 2023). Veel fruit-, groente- en meerjarige gewassen zijn ook onvoldoende bestudeerd (Von Braun et al., 2023). Juist deze gewassen, die van groot belang zijn voor de menselijke gezondheid, zoals fruit en groenten, verdienen meer onderzoek (Springmann et al., 2016). Dit is een urgent kennishiaat, zeker als men kijkt naar wereldwijde voedselzekerheid. Manners & Van Etten (2018) laten zien dat de huidige investeringen in onderzoek meestal samenhangen met de huidige energieopbrengst van gewassen; wanneer de voedingswaarde van gewassen toeneemt, neemt de hoeveelheid onderzoek af. Van de zetmeelrijke gewassen ontvangen maïs, gerst en rijst aanzienlijk meer investeringen voor onderzoek dan gerechtvaardigd wordt door hun huidige nutriëntenoutput.

### **Akkerbouwmatige teelt tuinbouwgewassen kwetsbaarder**

De toenemende trend van akkerbouwmatige teelt van tuinbouwgewassen creëert een gevoeligheid voor droogte in het voorjaar. Akkerbouwmatig geteelde gewassen, vooral die met klein zaad zoals uien en peen, hebben weinig reserves, en zullen bij droogte in het voorjaar slecht opkomen omdat de wortelstelsels nog niet ontwikkeld zijn (Van Balen, 2023). Gezien het feit dat dit tussen 1990 en 2022, met name in Zeeland en het zuiden van het land in 1 op de 5 jaar voorkomt (Figuur 18), zal een relatieve toename van het areaal met kwetsbaardere akkerbouwmatige teelten leiden tot een grotere gevoeligheid van de sector. Omdat akkerbouwmatige teelt, grotere arealen tegelijkertijd inzaait, is wanneer de droogte optreedt, de impact groter.

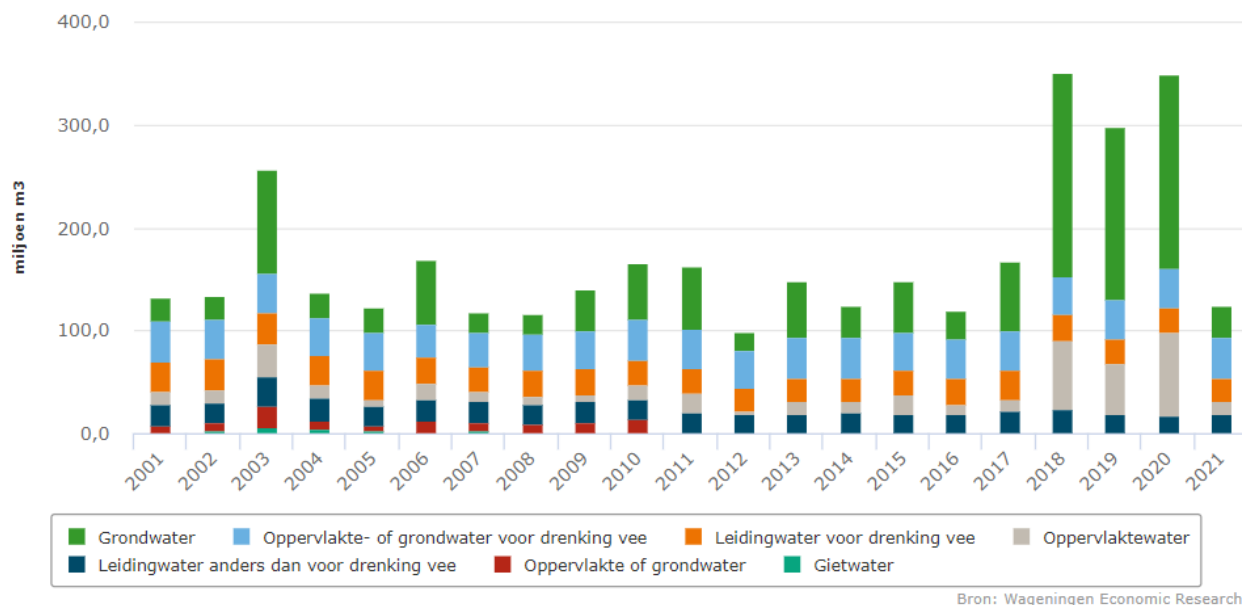
### **3.2.5 Adaptatiecapaciteit**

Droogteschade wordt door boeren zo veel mogelijk beperkt. Wanneer het droog is zullen boeren gaan irrigeren. De gewasberegening is drastisch toegenomen in de afgelopen jaren (Stokkers et al., 2022).

Door droogte en een tekort aan voldoende zoetwater zijn daarnaast beregeningsverboden van kracht gegaan in verschillende delen van Nederland, bijvoorbeeld in 2018 (Waterschap Rivierenland, 2018). Deze hebben doorgaans een negatief effect teweeggebracht op het inkomen van de boer (Stokkers et al., 2018).

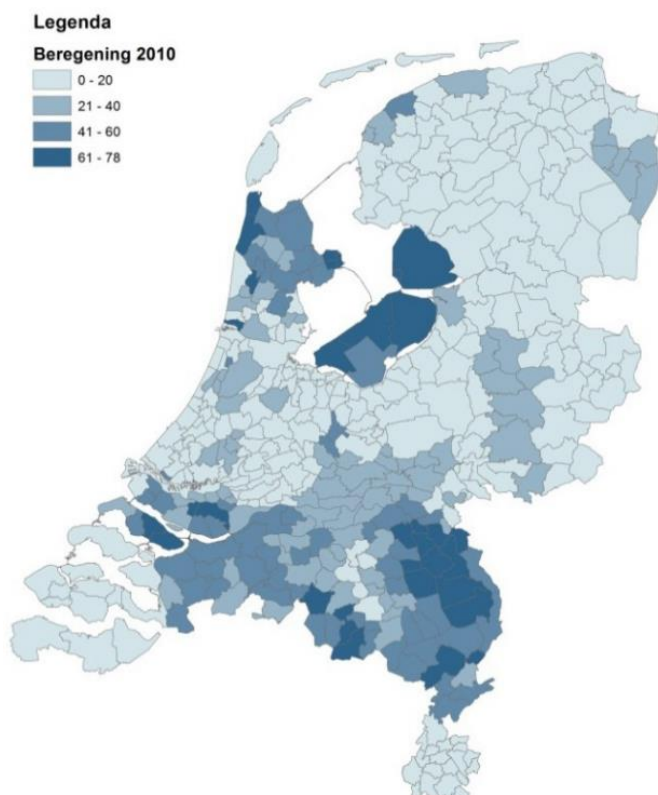
### **Door irrigatie blijft de gevoeligheid van de sector onzeker (kennishiaat)**

De invloed van de droogte in 2018, 2019 en 2020 leidde tot verdriedubbeling van het totale watergebruik van de land- en tuinbouwsector in Nederland (Van der Meulen, 2023; Van der Meer, 2022). Water is voor het grootste deel gebruikt voor het beregenen van gewassen. Beregeningswater werd voornamelijk onttrokken uit het grondwater (Figuur 12). In totaal momenteel kan zo'n 70% van het landbouwareaal in Nederland worden beregend (Stokkers et al., 2018). Gebieden waar niet kan worden beregend, zijn afhankelijk van hemelwater of kunnen niet beregenen (uit oppervlaktewater) door de kans op bruinrot. Doordat een groot oppervlak kan worden beregend is het effect van droogte op de landbouw in Nederland kleiner dan bijvoorbeeld in België en Duitsland, waar minder mogelijkheden zijn voor beregening. Toenemende beregening en frequentere droogtes zijn de laatste jaren tegenstrijdiger geworden. Doordat de afgelopen droge jaren in de meeste akkerbouwgebieden in Nederland nog net voldoende zoetwater beschikbaar was, blijft de ontwikkeling van kennis en urgentie van droogte in de sector wat achter (Van Balen, 2023; Sterk & Wamelink, 2019). Echter hebben de recentste droge jaren wel gezorgd voor een extra kennisbehoefte en -verspreiding bij akkerbouwers. Het zal in de toekomst niet ondenkbaar zijn dat beregeningswater in grote delen van het land niet meer beschikbaar is (KNMI, 2014).



**Figuur 12** Watergebruik in de land- en tuinbouw (Van der Meulen, 2023).

In een studie van Massop et al. (2013) is een overzichtskaart gemaakt van het percentage cultuurgrond die in 2010 werd beregend (Figuur 13). Hier is te zien dat met name beregend is in de kop van Noord-Holland, Flevoland en het zuiden van Nederland.

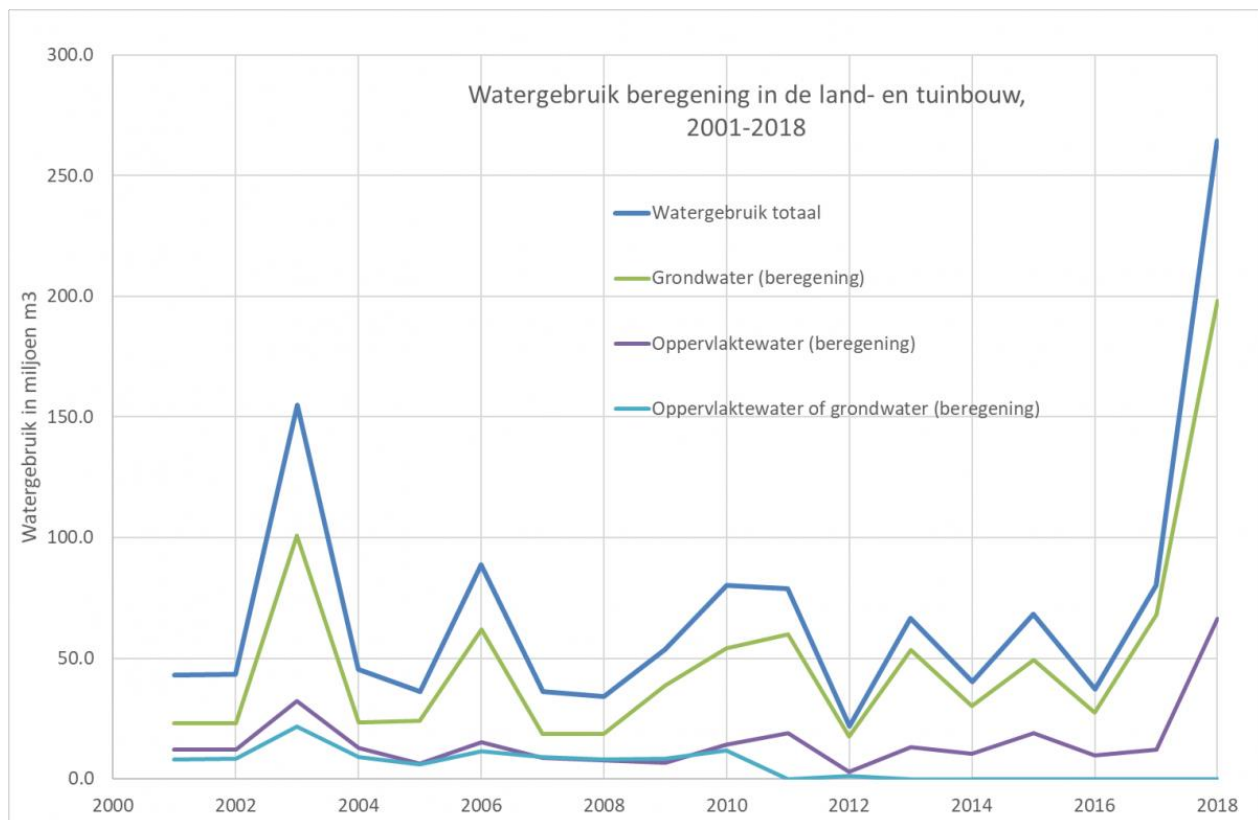


**Figuur 13** Percentage van de oppervlakte cultuurgrond die wordt beregend (Massop et al., 2013).

Wanneer een normaal jaar wordt vergeleken met een droog jaar is te zien dat het watergebruik in droge jaren aanzienlijk hoger is (De Louw et al., 2020) (Tabel 4). In Figuur 14 is de trend weergegeven van het waterverbruik in de land- en tuinbouw tussen 2001 en 2018 (Van der Meer, 2020).

**Tabel 4** Beregend areaal in 2012 (gemiddeld tot nat jaar) en 2018 (droog jaar) weergegeven in hectares (De Louw et al., 2020).

Deelstroomgebieden Kaderrichtlijn Water	Jaar	
	2012	2018
Eems	4647	52975
Rijn-Noord	1470	50709
Rijn-Oost	13593	194552
Rijn-Midden	11551	149036
Rijn-West	3697	140883
Schelde	1205	90908
Maas	62318	471296
<b>Totaal</b>	<b>98481</b>	<b>1150359</b>



**Figuur 14** Watergebruik in de land- en tuinbouw van 2001 t/m 2018 (Van der Meer, 2020).

Niet elke regio heeft dezelfde adaptatiecapaciteit. Als gevolg daarvan heeft de Provincie Zeeland de grootste negatieve impact ondervonden van de droogte in 2018 (Van Oort et al., 2023). Noord-Holland, een provincie met eenzelfde grondsoort als Zeeland, ondervond vele malen kleinere impact van de droogte. Dit verschil wordt met name veroorzaakt door de betere zoetwaterbeschikbaarheid van Noord-Holland voor beregening in verhouding tot Zeeland. In Zeeland speelt hier met name verzilting een grote rol in opbrengstderving.

### 3.2.5.1 Adaptatiemaatregelen vanuit de sector

#### **Toenemende beregening (Reactieve adaptatie) en zuiniger met water omgaan (Preventieve adaptatie)**

In de droge jaren is beregening van essentieel belang geweest om de impact van droogte op gewassen te beperken. Dit heeft echter extra kosten met zich meegebracht. Kleinere bedrijven zonder beregeningsinstallatie hebben het in tijden van droogte moeilijker dan grote bedrijven met veel beregeningscapaciteit (Van Asseldonk et al., 2020). Bij een standaard kostenniveau van 0,20 euro per kubieke meter water voor irrigatie, bedragen de bijkomende kosten voor irrigatie in de droge jaren van 2018 en 2019 gemiddeld € 2.705 euro per akkerbouwbedrijf in vergelijking met de vier voorgaande jaren.

Kosten voor het beregenen met een haspel, druppelirrigatie of peilgestuurde drainage is weergegeven in Tabel 5 (Van der Burgt & Verstand, 2021).

**Tabel 5** Beregeningskosten per hectare per jaar in worst case (5x beregenen) en best case (2x beregenen) (Van der Burgt & Verstand, 2021).

Kosten per hectare per jaar	Haspel	Druppelirrigatie	Samengestelde peil-gestuurde drainage
Worst case	€ 187,5 - € 440	€ 1303 - € 2040	€ 1700 - € 2300
Best case	5 135 - € 296	€ 1303 - € 2040	€ 1700 - € 2300

## Irrigatie (Reactieve adaptatie)

### Irrigatie in de akkerbouw

In recente tijden van droogte hebben meer agrariërs geïnvesteerd in beregeningstechnieken om opbrengstderving te voorkomen. Dit valt o.a. af te leiden uit cijfers uit Tabel 4 over de toegenomen beregening. Ook van der Meer (2020) en Eertwegh et al. (2020) concluderen dat het aantal beregeningsinstallaties en het potentieel beregend oppervlak in de droge jaren sterk is toegenomen. Een voorbeeld hiervan is druppelirrigatie (Verstand et al., 2020). Druppelirrigatie is een efficiëntere benutting van beschikbaar zoetwater vergeleken met regulier beregenen met behulp van een haspel. De maatregel is door het aanleggen en verwijderen voor éénjarige gewassen een kostbare maatregel, maar wordt in hoog salderende gewassen in de huidige situatie al toegepast. Toepassing van druppelirrigatie vormt een kans om efficiënter met water om te gaan door gewassen gericht van water te voorzien. Dit kost boeren tussen de 150 euro (haspel) en 2000 euro (druppelirrigatie) per hectare per jaar (van den Burgt & Verstand, 2021). Het verschilt sterk per bedrijf, bedrijfstype, locatie, teelt en bedrijfsgrootte of en hoeveel irrigatie is toegepast. Daarmee wordt de adaptatiemaatregel al toegepast, maar is dit voor sommige bedrijven nog steeds een nieuwe adaptatiemaatregel. De eindigheid van dit watergebruik is in eerste instantie een politieke keuze middels de verdringingsreeks, wanneer water schaarser wordt. Deltares schat in dat dit knelpunt als eerste in Zeeland duidelijk zal worden (Klijn et al., 2012)

Er is echter een kennishiaat rond de impact van het beregenen van gewassen en het bijkomende voordeel vergeleken met het helemaal niet beregenen van gewassen. Ook wel: de kosten en baten van het beregenen in tijden van droogte in vergelijking met het niet beregenen in tijden van droogte. In de PPS Klimaatadaptatie Open Teelten is wel gekeken naar het effect van niet beregenen van gewassen in vergelijking met een aantal beregeningsmethoden. Hier zijn echter vanwege de proefopzet nog geen goede resultaten uit naar voren gekomen. Ook in het project Economische Effecten van Beregening (in opdracht van het ministerie van LNV) zal de komende jaren onderzoek verrichten naar de economische effecten van beregening in de akkerbouw en de afwegingen en keuzes die boeren maken omtrent beregening. Boeren ondervinden weldegelijk schade door beregeningsverboden maar hoeveel is niet bekend.

### Irrigatie in de fruitteelt

Voor de fruitteelt in Zeeland bestaat op dit moment een zoetwaterpijpleiding door Zuid-Beveland heen. Deze bedient vooral boeren met driplines (van der Maas, 2023). Deze voert zoetwater aan met zo'n 1000 m<sup>3</sup>/uur en bedient het riviereiland tot aan de haven van Vlissingen. Eerder onderzoek heeft kosten en baten in kaart gebracht om deze pijpleiding door te trekken naar Walcheren. Dit zou ongeveer 10.000 euro per hectare kosten en ongeveer 600 hectare bedienen (Witteveen & Bos, 2021). Daarnaast leeft de vraag waar het extra water vandaan moet komen, met name als de vraag het hoogste is in de zomer. Een uitbreiding van de lijn, plus de installatie van extra driplines of percelen die nu nog niet geïrrigeerd worden is een interessante adoptiemogelijkheid. Telers zijn juist gebaad bij ietwat droge omstandigheden, waarbij de juiste dosis water toegediend kan worden met irrigatie, omdat dit de productie van de vruchten verhoogd (Boesveld et al., 2006).

In de Betuwe zijn al sprinklers tegen nachtvorst – hiermee beregenen telers in koude nachten hun bomen om zo de temperatuur boven het vriespunt te halen/houden. Een relatief eenvoudige adaptatiemaatregel zou

---

kunnen zijn om naast de sprinklers enkele of zelfs dubbele driplines te leggen. Dit zal de watervraag echter verhogen en zal tot problemen leiden wanneer de watertoevoer wordt stopgezet, zoals in 2018 (Waterschap Rivierenland, 2018) of wanneer er geconcentreerd moet worden met de drinkwaterbehoefte (zie ook van der Maas & op t Hof (2006). Driplines worden, vanwege hun efficiëntie en vermeende laag-watergebruik, echter vaak uitgesloten van beregeningsverboden (Van der Maas, 2023). Het is onduidelijk of dit in de toekomst ook zal zijn.

#### *Irrigatie in de groenteteelt*

Irrigatie van vollegronds groente gebeurt al. De invloed van de droogte in 2018, 2019 en 2020 leidde tot verdriedubbeling van het totale watergebruik van de land- en tuinbouwsector in Nederland (Stokkers et al., 2022; van der Meer, 2021; Agrimatie, 2023b). Het gebruik van druppelirrigatie zal de norm worden in gevoelige teelten, zoals zaaiuien, en ook fertigatie zal toenemen (Van Balen, 2023).

#### **Droogteresistente gewassen in diverse teeltsystemen** *(Preventieve adaptatie)*

Daarnaast wordt in de praktijk gezocht naar droogteresistente gewassen die minder zoetwater nodig hebben voor een optimale groei (Nieuwe Oogst, 2023). Droogteresistente gewassen zijn minder afhankelijk van de beschikbaarheid van zoetwater, waardoor het risico op verdroging van gewassen in droge zomers kan worden verminderd. Eerder onderzoek toonde aan dat de opbrengst van sommige gewassen kan worden behouden onder droge omstandigheden door slimme keuzes te maken in de rassen, zoals droogteresistentere rassen zomertarwe en mais (Verstand et al., 2022)

#### *Rasbehoudendheid maakt kwetsbaar*

Appels en peren worden vermarkt onder een cultivar/ras; je koopt een elstar, granny smith of jonagold. Dit zorgt ervoor dat telers niet graag zullen wisselen van gewas, en daarmee niet kiezen voor gewassen die droogteresistenter zijn. Een behoud van ras prioriteren is een lock-in, wanneer dit verhindert adaptatie te ondernemen. Telers staan niet te springen voor een bouwplan met gewasdiversificatie als adaptatiemaatregel (van der Maas, 2023). Dit beperkt de adaptatiecapaciteit van fruittelers. Er zou wellicht adaptatiecapaciteit te winnen zijn als telers verleid zouden kunnen worden om alternatieve bouwplannen of teeltsystemen als strokenteelt (teelten in stroken parallel aan elkaar) of agroforestry (een combinatie van teeltsystemen) te proberen, dat leidt diversificatie in het systeem, zonder dat telers hun rassen aan te hoeven passen. Dit is wellicht een aanknopingspunt voor beleid. Telers hopen zelf op GMO-interventie om hun huidige rassen klimaatrobuster te maken, ook tegen bijv. hittede schade bij appels of ziekteresistentie.

#### *Diverse tuinbouw kan robuust zijn*

Hoewel er grote overeenstemming is over de richting van de verandering, zijn de absolute opbrengstverliezen onzeker, met name door het verschil in adaptatiemogelijkheden (IPCC, 2022). Onderzoek laat zien dat bepaalde gewassen gevoelig zijn voor droogte; gediversifieerde gebieden, met verschillende boerderijen met diverse gewassen kunnen de mogelijke gevolgen van klimaatverandering en klimaatschommelingen op gewasopbrengsten en het inkomen van boeren beperken (Reidsma et al., 2010). Juist de kleinschalige tuinbouw, dat meerdere inzaaimomenten kent per seizoen, en een diversiteit aan gewassen produceert op kleine percelen, zou robuust kunnen zijn door diversiteit.

#### *Peren vervangen langzaam appels*

In de fruitteelt stijgt het areaal van de peer, ongeveer even snel als de appel daalt. Peren verdampen meer dan appels en koelen zichzelf daarmee. Zo is de peer minder gevoelig voor hitte, zolang de zoetwatervoorraad voldoende is (Van der Maas, 2023).

#### **Wateropslag** *(Preventieve adaptatie)*

Bovengrondse wateropslag in bassins wordt al lange tijd toegepast in de glastuinbouw, maar in mindere mate in de open teelten. Wateropslag van hemelwater in bassins kan een tijdelijke oplossing zijn voor droogte (STOWA, 2018a). Nadeel is dat deze vorm van opslag veel ruimte kost. Een kans hierbij is om de boer water in de bedrijfsvoering op te laten nemen als ecosysteemdienst (STOWA, 2018b).

Daarnaast is een start gemaakt met onderzoek naar ondergrondse opslag van regenwater. Daarbij wordt zoet hemelwater of drainagewater opgeslagen en in de bodem geïnfilterd. Dit water kan dan in tijden van droogte weer worden onttrokken voor beregening (STOWA, 2020).

---

**Verbeterde bodemkwaliteit** *(Preventieve adaptatie)*

Door verbetering van de bodemkwaliteit kan de bodem klimaatrobuust worden ingericht, zodat meer water in de bodem kan worden vastgehouden (Van Balen, 2023). Het verhogen van o.a. het organische stofgehalte, bodemleven, gebruik van groenbemesters of bemesting met organische mest kan hieraan bijdragen (STOWA, 2020). Projecten van het zoals de PPS Beter Bodembeheer hebben bijgedragen aan kennis van bodemverbetering in de praktijk.

**3.2.5.2 Adaptatiemaatregelen op gebiedsniveau (vanuit beleid)****Opslag van water op gebiedsniveau** *(Preventieve adaptatie)*

Tijdens natte perioden slaan waterschappen extra water op in oppervlaktewateren. Dit gebeurt onder andere door het opzetten van het waterpeil of door rivieren en sloten te verbreden, zodat er meer water kan worden geborgen. Dit heeft eveneens effect op de grondwaterstand.

**Beregeningsverbod** *(Reactieve adaptatie)*

Vanuit overheden (waterschappen) kan een beregeningsverbod worden ingesteld, wanneer een zoetwatertekort in een regio of gebied dreigt. Door deze maatregel wordt er water bespaard wat voor andere sectoren of regio's dan nog beschikbaar blijft. In de verdringsreeks is de volgorde van voorrang per (deel)sector afgesproken (Ministerie van I&W, n.d.). Dit is in Nederland al meermaals toegepast (Waterschap Rivierenland, 2018; Delsman et al., 2018). Deze hebben doorgaans een negatief effect teweeggebracht op het inkomen van de boer (Stokkers et al., 2018). Om gewassen te beschermen tegen de droogte is beregening in een groot aantal akkerbouwgebieden echter toegenomen (Stokkers et al., 2022). Toename van beregening en vaker voorkomende droogte zijn de laatste jaren steeds tegenstrijdiger geworden.

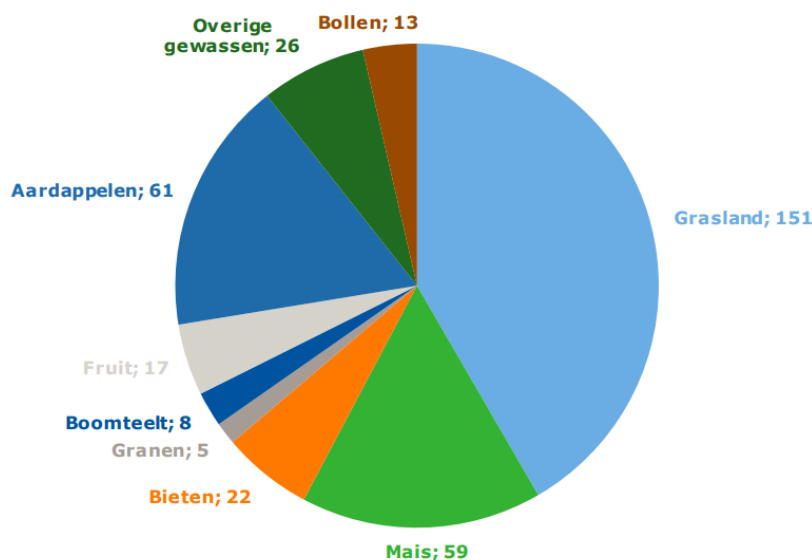
**3.2.6 Impact**

Op kleigronden was het bedrijfsresultaat door het stijgen van de prijzen van landbouwproducten juist gunstiger. Dit verschil wordt met name veroorzaakt door verschillen in bouwplan en grondsoort en bijbehorende opbrengsten en marktprijzen.

Droogte kan leiden tot prijseffecten voor zowel de landbouw (in de vorm van economische schade) als voor de maatschappij (hogere prijzen, minder aanbod, of meer publieke adaptatiekosten zoals hydrologische maatregelen gefinancierd door het waterschap). De omvang van deze effecten is afhankelijk van het gewas, de keten, sector, export, en prijselasticiteit (Reinhard et al., 2015). Er is een gebrek aan kennis over wat de invloed is van droogte op consumentenprijzen.

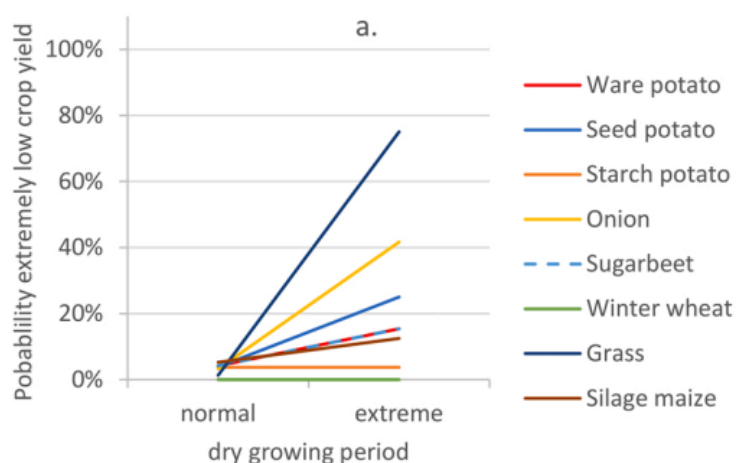
**3.2.6.1 Akkerbouw**

Droogte heeft impact op de akkerbouwsector op meerdere vlakken. Onderstaand Figuur 15 geeft inzicht in de verwachtingswaarde van het potentieel economisch effect van droogte voor een aantal gewascategorieën (in miljoenen euro's per jaar). Hierin is te zien dat van de akkerbouwgewassen aardappelen en mais het grootste economische effect teweegbrengen onder droge omstandigheden. Schade op gras kan moeilijk gemitigeerd worden omdat het effect van beregenen niet de gewenste resultaten heeft voor het herstel van de graszode (de Haan et al., 2019). Dit heeft invloed op verdienvermogen van de melkveehouder, maar dat valt buiten de scope van dit factsheet.



**Figuur 15** Potentieel economisch effect van droogte per gewascategorieën (miljoen euro/jaar) (Polman et al., 2019).

Figuur 16 geeft een overzicht van de kans op extreme opbrengstverlies in perioden van extreme droogte voor de aardappel, ui, suikerbiet, tarwe en mais. Hier is te zien dat de kans op een extreme lage gewasopbrengst onder extreme droogte het grootst is voor de pootaardappel (seed potato) en de ui.



**Figuur 16** Kans op een extreme lage gewasopbrengst onder extreme droogte voor verschillende gewassen (Van Oort et al., 2023). Let hierbij op de akkerbouwgewassen; aardappel (potato), ui (onion), suikerbiet (sugarbeet), tarwe (wheat) en mais (maize).

### Opbrengstenderving

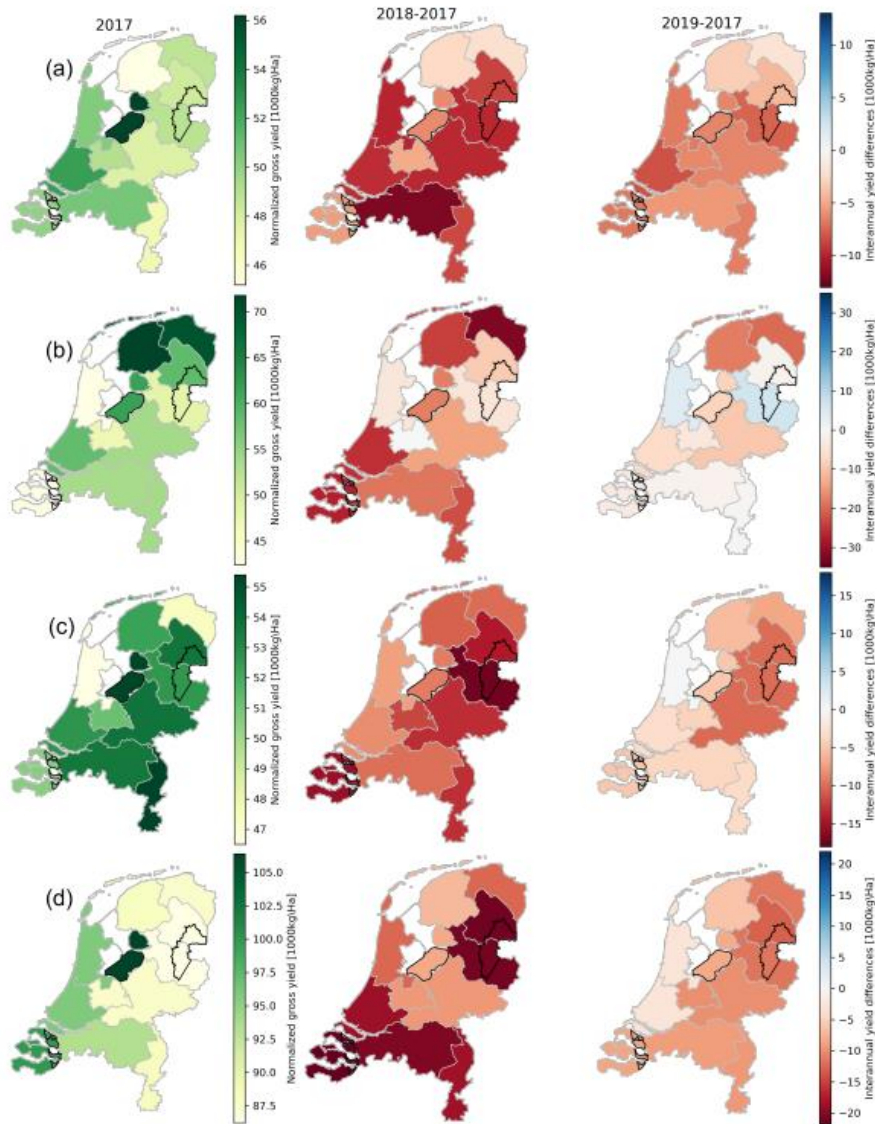
Kijkend naar de impact van extreme droogte op de gewasopbrengsten is te zien dat met name aardappel, ui en mais lijden onder droge omstandigheden (Tabel 6) (Van Asseldonk et al., 2020). De opbrengsteffecten uit Tabel 2 zijn daadwerkelijk opgetreden gemiddelde impacts in de droge jaren (2003, 2006, 2018, 2019). De droogte heeft op bedrijfsniveau geresulteerd in opbrengstenderving, variërend tussen de 3 en 15%. Uit interviews over de impact van droogte op aardappel en winter tarwe van een studie van Van Dortmont (2022) bleek dat deze gewassen met name op zandgrond extra impact ondervonden van droogte in verhouding tot kleigronden. Voor aardappel werd een gemiddelde opbrengstenderving van 5 – 63% gevonden op zandgrond en 9 – 40% op kleigronden. Deze spreiding in opbrengstenderving werd met name veroorzaakt door de mogelijkheid tot het beregenen van gewassen, waardoor de impact van de droogte op percelen waar kon

worden berekend werd gereduceerd. Wintertarwe had een opbrengstderving van 20 – 53% op zandgrond en 15 – 20% op kleigrond. Dit was met name waargenomen in de droge jaren 2018 en 2019. Uit een studie van Van Oort et al. (2023) kwam naar voren dat mais in 2018 weinig opbrengstafwijkingen kende (Figuur 14). Echter bleek uit een eerdere studie van Haan et al. (2019) dat dit te onderbouwen is door toenemende beregening op maispercelen, waardoor de opbrengst behouden is gebleven.

**Tabel 6** Opgetreden opbrengsteffect (kg) op akkerbouwgewassen en mais in de droge jaren ten opzichte van de gemiddelde kg-opbrengsten in omliggende jaren (Van Asseldonk et al., 2020).

Gewas	Gemiddeld opbrengsteffect (%)
Pootaardappel	- 3
Consumptieaardappel	- 8
Zetmeelaardappel	- 15
Suikerbiet	- 1
Zaaiui	- 15
Gerst	5
Tarwe	3
Snijmais	- 10

In een studie door Shorachi et al. (2022) is onderstaand Figuur 17 geproduceerd waarin de bruto-opbrengsten en de opbrengstverschillen tussen een 'normaal jaar' (2017) en de twee droge jaren (2018, 2019) is weergegeven voor mais (a), ui (b), aardappel (c) en suikerbiet (d). Hierin is met name te zien dat mais opbrengstderving kende in de droge jaren vergeleken met een 'normaal jaar'.



**Figuur 17** Genormaliseerde bruto-opbrengst en opbrengstverschillen per provincie uitgedrukt in 1000 kg/ha voor a) mais, b) ui, c) aardappel en d) suikerbiet. De linker kolom geeft de bruto-opbrengst voor 2017. De middelste en rechter kolom tonen het verschil van droge jaren met 2017 (Shorachi et al., 2022)

### 3.2.6.2 Tuinbouw

#### Fruit

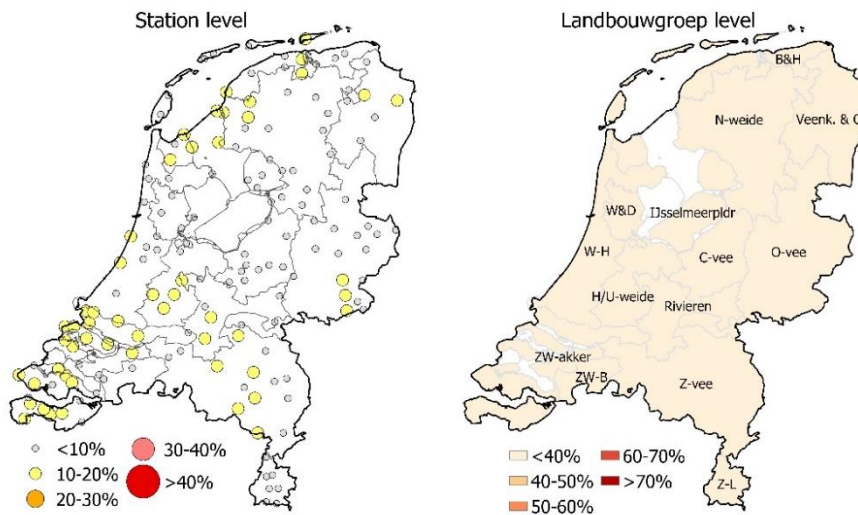
In de fruitteelt is de 5% lagere oogst van 2018 gecompenseerd door hogere productprijzen (Stokkers et al., 2018). Er was hiermee dus voor de sector zelf geen economische impact. Dit is niet vanzelfsprekend; de fruitsector is internationaal en veel van de inkomsten van fruittelers drijven op de export van Conference-peren. In algemene zin is de Nederlandse markt voor appel en peer te internationaal om prijs te laten compenseren voor opbrengstderving. Met name de telers die geen irrigatie hebben liggen, en die vooral exporteren, zullen zijn geraakt door droogte (Van der Maas, 2023).

In de fruitteelt is er gemiddeld een verdubbeling van het inkomen van de boer in de droge én hete jaren. Dit wordt veroorzaakt omdat als Nederland getroffen wordt door droogte, ook de omliggende landen getroffen worden. Het dalen van aanbod veroorzaakt een prijsstijging, die dus alleen kan plaatsvinden mits de internationale markt beïnvloed wordt door de droogte. Dit effect van schaarste door droogte is internationaal gerapporteerd dat het via dus via prijsstijging het opbrengstverlies voor de boer gecompenseerd (Kuwayama et al., 2018). Omdat in Nederland de adaptatiecapaciteit hoger is (waterbeschikbaarheid uit regenwater, rivierwater, grondwater en grootschalige opslag (IJsselmeer)), kan Nederland over het algemeen meer blijven leveren dan onze buurlanden, waardoor het inkomen van de boer stijgt (Stokkers et al., 2018). Dit

blijft een gemiddelde; resultaten gaven aan dat de impact op gewasopbrengsten niet direct kan worden vertaald naar de impact op het inkomen van boeren, omdat de variabiliteit in bouwplannen, rotaties en inkomsten te verschillend zijn (Reidsma et al., 2010). Ieder van de verschillend geteelde gewassen kent andere markt kent, met verschillende expertpercentages en internationale concurrentie.

#### Groente

De vollegrondsgroenteteelt varieerde in 2018 de opbrengstderving in kg tussen de 5 en 20% (Stokkers et al., 2018). Droogte heeft invloed, maar gezien de ruimschootse adaptatiecapaciteit is het huidige verband tussen droogte en productie voor tuinbouw minder duidelijk dan in akkerbouw (Van der Maas, 2023). In de vollegrondsgroenteteelt is daarmee het effect van de droogte op het inkomen van de boer in het verleden niet helder (Stokkers et al., 2018).



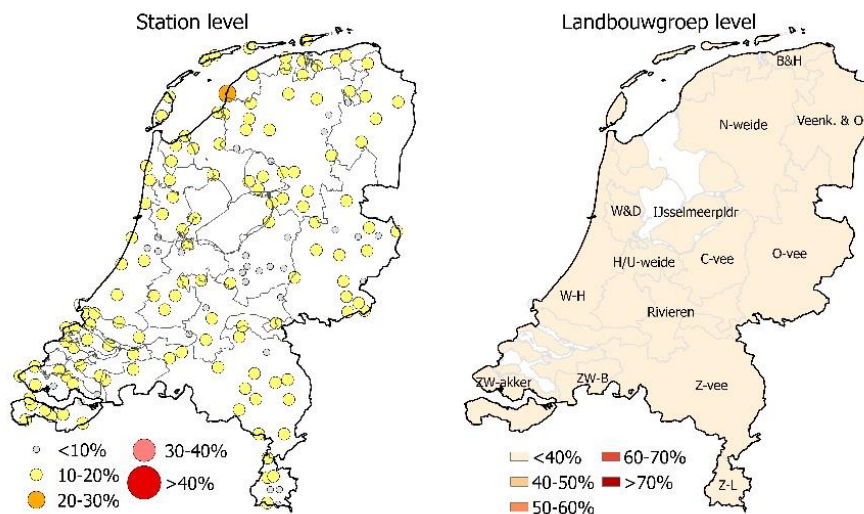
**Figuur 18** Minstens 30 dagen met een neerslagsom gelijk of kleiner dan 5 mm in maart-april, weergegeven per weerstation (links) en als som per landbouwregio (rechts).

De gevoeligheid van de zaaiui wordt als voorbeeld representatief genomen voor de akkerbouwmatige teelt van knol-wortelgroente, omdat deze soms in deze categorisering wordt opgenomen. Hiermee illustreert de zaaiui dus zowel impact in de akkerbouw als in de tuinbouw. Tussen 1990 en 2022 is te zien dat met name op weerstations Zeeland en het zuiden van het land in 10-20% van de jaren een droogte voorkwam die minstens 30 dagen aanhield en waarbij minder of gelijk aan 5 mm regen viel in maart en april (Figuur 18). Droogte in het voorjaar zorgt voor extra impact op gewassen die gevoelig zijn in deze periode, zoals tarwe en uien. Met name in deze regio's zullen kwetsbare akkerbouwgewassen een hogere gevoeligheid voor droogte ondervinden. Omdat akkerbouwmatige teelt grotere arealen tegelijkertijd inzaait, is de impact van droogte groter.

Een aantal akkerbouwgewassen zijn gevoelig voor droogte in het voorjaar. Schade in zaaiui treedt bijvoorbeeld met name op bij minimaal 30 dagen met een neerslagsom gelijk of minder dan 5 mm in februari tot april. De zaaiui is vroeg in het voorjaar gevoelig voor droogte, wanneer de vers ontkiemde plantjes nog maar kleine wortels hebben, en slecht bij het vocht kunnen. Schade zal optreden bij minimaal 30 dagen met een neerslagsom gelijk aan of minder dan 5 mm in feb-april. Onderstaand Figuur 19 laat zien dat dit beperkt voorkomt, in slechts 10-20% van de jaren (Figuur 19). Daarnaast is er een regionaal verschil te zien in de historische data, waarbij dit effect vooral in het noorden optreedt. De overall tussen waar tuinbouw en zich bevindt en waar dit effect optreedt is beperkt, waarbij de blootstelling vooral op kleigrond plaatsvindt. De droogtegevoeligheid hiervan zal beperkt zijn door het hoger vochtvasthoudende gehalte van lichte klei en zavelgronden. Mogelijke droogtegevolgen zullen het eerst optreden op de zandgronden in Noord-Holland, zeker als de trend om meer akkerbouwmatig tuinbouw te bedrijven, zich zal doorzetten. Akkerbouwgebieden liggen met name in Zeeland, Flevoland, het Noordoosten van Nederland en verspreid in Limburg. Kijkend naar de frequentie van het voorkomen van droogte in de verschillende regio's in Nederland is te concluderen

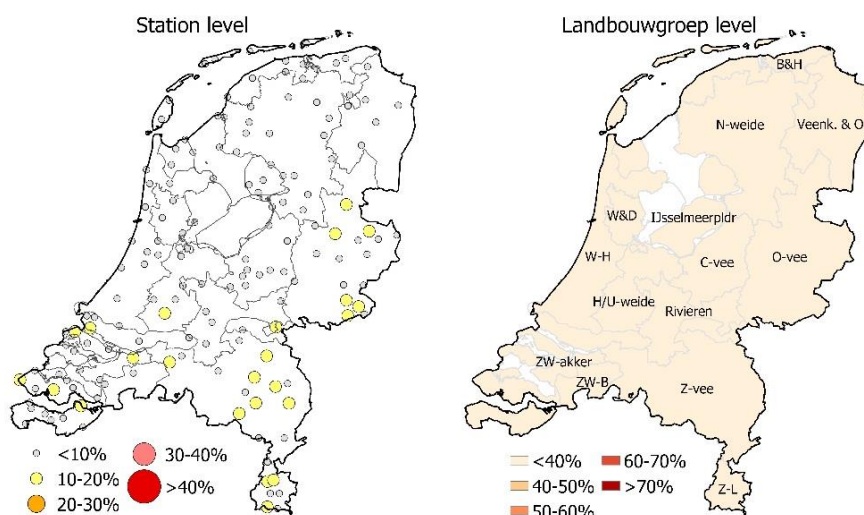
dat de blootstelling van droogte in het voorjaar het grootst zijn in West- en Noord-Nederland. De blootstelling van zomerdroogte in de akkerbouw was het grootst in het oosten van het land.

At least 30 days with total rainfall less than or equal to 5 mm in the months Feb – Apr



**Figuur 19** Minstens 30 dagen met een neerslagsom gelijk of kleiner dan 5 mm in februari-april, weergegeven per weerstation (links) en als som per landbouwregio (rechts).

De zaaiui zal ook schade ondervinden als het in de zomermaanden juni en juli beperkt regent. De frequentie waarmee dit voorkomt ligt hoger dan de frequentie voor voorjaarsdroogte en lokaal loopt men risico om 1 in de 4 jaren dergelijke droogte mee te maken in het huidige klimaat (Figuur 20). Ook hier is een regionaal verschil te zien waarbij de droogte vooral lijkt voor te komen in Zuidoost Nederland. Met name de tuinbouwpercelen in Brabant op de zandgronden lopen hierop risico. Dit gebied kent een behoorlijk aantal tuinbouwhectares, heeft op de zandgronden een hogere gevoeligheid, en heeft dikwijls beperkte mogelijkheid tot wateraanvoer vanuit de rivieren.



**Figuur 20** Minstens 30 dagen met een neerslagsom gelijk of kleiner dan 10 mm in juni-juli, weergegeven per weerstation (links) en als som per landbouwregio (rechts).

### 3.2.7 Cascade-effecten

#### Het effect van droogte op de marktprijs

Droogte heeft naast het directe effect op gewasopbrengst ook invloed op de prijzen van akkerbouwgewassen.

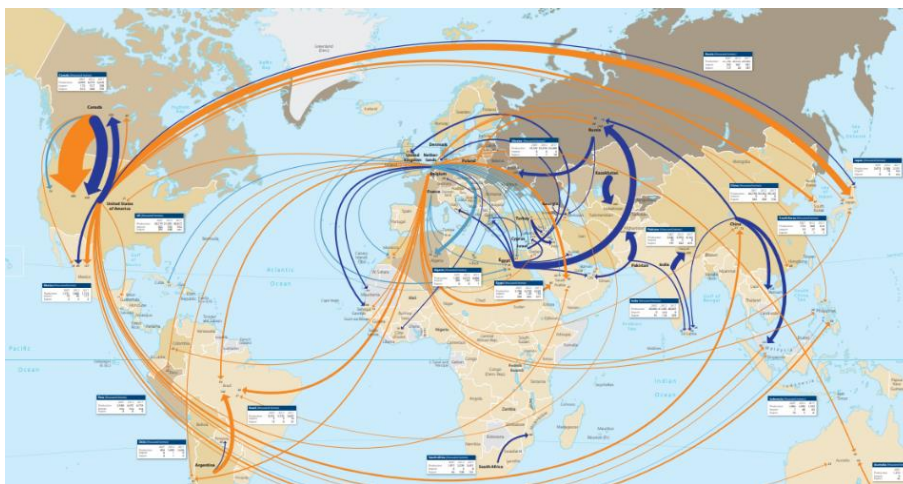
Tabel 7 geeft een overzicht van het prijseffect op akkerbouwgewassen in de droge jaren ten opzichte van gemiddelde prijzen in omliggende jaren. In de droge jaren hebben de consumptieaardappel en zaaiui goede marktprijzen opgeleverd. Ondanks de opbrengstderving waren de inkomenseffecten van akkerbouwbedrijven in droge jaren dan ook in de meeste regio's positief (met uitzondering van de veenkoloniën en het noordelijk zandgebied) (Van Asseldonk et al., 2020).

**Tabel 7** Prijseffect van akkerbouwgewassen in droge jaren ten opzichte van gemiddelde prijzen in omliggende jaren (Van Asseldonk et al., 2020).

Gewas	Gemiddeld prijseffect (%)
Pootaardappel	22
Consumptieaardappel	45
Zetmeelaardappel	4
Suikerbiet	- 10
Zaaiui	106
Gerst	2
Tarwe	8
Snijmais	Niet bekend

#### Hollandse aardappelen op de wereldmarkt

Rond de 70% van de geteelde en goedgekeurde Nederlandse pootaardappelen wordt geëxporteerd (Figuur 21) (Rabobank, 2019). Ongeveer 2/3 van de pootaardappelen blijft binnen de EU. 1/3 wordt geëxporteerd naar Noord-Afrika. Nederland en België zorgen voor 50% van de wereldwijde export van pootaardappelen. Dit betekent ook dat extreem weer cascadegevolgen kan hebben op de toekomstige voedselzekerheid in en buiten Europa.



**Figuur 21** World Potato Map (Rabobank, 2019).

#### Bedrijfsbeëindigingen, verdwijnen ketens & psychologische klachten

Het aantal boerenbedrijven is sinds 1990 gehalveerd (en dat is niet anders in de rest van Noordwest-Europa). Er is een sterke relatie tussen bedrijfsomvang en omzet van bedrijven (Geerling-Eiff & Van der Meulen, 2008). De kleine bedrijven zijn minder rendabel en het aantal stoppers is onder deze groep binnen de land- en tuinbouwsector het grootste. De vollegrondstuinbouw is een middenmoter binnen de

---

agrarische sector, waarbij van 1993-2008 grofweg slechts 25-30% van de bedrijven een bedrijfsopvolging had (Stokkers et al., 2010). Er zijn aanwijzingen dat begin deze eeuw 30% tot 50% van de overige tuinbouwbedrijven onder de armoedegrens leefde (<25.000 euro gezinsinkomen).

Tot 2030 zullen ongeveer duizend agrarische bedrijven in Zeeland stoppen (Rekenkamer Zeeland, 2016). De redenen voor stoppen zijn complex en divers. Klimaatverandering zal hier mogelijk een effect op hebben als de rendabiliteit afneemt of extra punt in een uitzichtloze situatie. Van hen die door zullen gaan wordt verwacht dat ze zich door klimaatverandering verder zullen specialiseren en groter zullen worden (Mandryk et al., 2012). Bedrijfsbeëindigingen in de tuinbouw zullen voornamelijk plaatsvinden in Zeeland onder de 40% van de fruittelers die neerslagafhankelijk zijn (Van der Maas, 2023). Het risico is dat op termijn niet alleen deze 40% van de boeren zal verdwijnen, maar de gehele fruitsector zal verdwijnen uit Zeeland, met cascade effecten voor de verwerking- en handelssector ter plekke. Hier zouden ook psychologische effecten kunnen optreden. Een reviewartikel van Daghigh Yazd et al. (2019) identificeert droogte als mogelijke instigator van psychologische klachten onder boeren. Zij stellen dat de negatieve gevolgen van langdurige droogte in verband gebracht worden met verhoogde stressniveaus en een verhoogd voorkomen van psychologisch lijden. Deze klachten manifesteren zich in de gerapporteerde studies vooral via financiële stress en onzekerheid.

### **Voedselsystemen**

De manier waarop de mens voedsel produceert, verhandelt en consumeert vormt een complex web van landbouw, gezondheid en economische factoren. De cascade-effecten op het voedselsysteem van droogte zijn lastig te bepalen, juist omdat wereldwijd het hele voedselsysteem zal gaan reageren op alle invloeden van klimaatverandering. Figuur 5 in het conceptueel kader (Mirzabaev et al., 2023) laat een stukje zien van het voedselsysteem waar het onderhevig is aan klimaatverandering. Cascade-effecten van droogte zullen hierin doorspelen.

## **3.3 Eindrisico**

### **3.3.1 Mens & Cultuur**

Er zijn in 2021 11.189 akkerbouwbedrijven en 5.115 vollegrondstuinbouwbedrijven (Berkhout et al., 2022). Gemiddeld bestaat een Nederlands gezin uit 2,12 personen (CBS, 2023c). Dat maakt grofweg 23.721 direct blootgestelde boeren en gezinsleden aan droogte in de akkerbouw en 10.000 blootgestelde boeren en gezinsleden in de tuinbouw, indien het familiebedrijven zijn. Dit zou dan neerkomen op een aantal getroffen boeren en werknemers tussen de 10.00 en 100.000 (ingeschaald in de categorie middel van het PBL). In 2018 waren er 244 duizend banen in de landbouw (CBS, 2020b). Kijkend naar de gehele sector zou dit betekenen dat het aantal getroffen in de categorie 'hoog' kan worden ingeschaald. Echter werd in de sessie besloten dat we niet zeker kunnen stellen of agrariërs of de keten daadwerkelijk 'getroffen' zijn door extreme droogte. Daarom laten we de inschaling in een eindimpact hier achterwegen.

### **3.3.2 Natuur & Milieu**

In overleg met het PBL is de categorie Natuur en Milieu niet ingeschaald.

### **3.3.3 Economie**

#### **3.3.3.1 Akkerbouw**

De impact van droogte op de akkerbouwsector is in eerste instantie een vermindering van de opbrengst. De waarschijnlijkheid van de impact hangt daarnaast af van bijvoorbeeld de adaptatiemaatregelen die zowel op bedrijfsniveau (zoals beregning) als regionaal niveau (beleid) worden toegepast. Gewassen zijn in het voorjaar nog kwetsbaar, bijvoorbeeld door een klein wortelstelsel, waardoor droogte dan grotere impact heeft op het gewas. Beregning vermindert echter het risico van extreme droogte op de akkerbouwsector.

Daarnaast kan droogte in verschillende delen van de wereld correleren. In Nederland is echter geen literatuur beschikbaar over de kans op een droge lente en de bijbehorende kans op een droge zomer.

---

Een keten van effecten (bijv. een te nat voorjaar en dan een extreem droge zomer) zou in potentie kunnen leiden tot grotere impacts dan wanneer deze gebeurtenissen zich afzonderlijk voordoen. Over dit soort keteneffecten is echter weinig bekend.

### **Berekening en verschillen tussen regio's**

Tot nu toe wordt door de sector vooral ingezet op berekening, maar zuinig omgaan met water wordt wel urgenter (bijvoorbeeld d.m.v. druppelirrigatie). Veel beregeningsverboden in de afgelopen droge zomers zijn later in het seizoen van kracht gegaan. Echter is het gewas in deze fase van het groeiseizoen wat minder kwetsbaar voor droogte, waardoor impacts van droogte in het latere groeiseizoen gering zijn gebleven. Er zijn uiteindelijk wel grenzen aan de waterbeschikbaarheid. Dit wordt met name benadrukt door verschil in regio's. In sommige regio's hebben agrariërs een meer geavanceerde benadering (b.v. bodemvochtsensoren, weerstations). In het algemeen hebben akkerbouwers een minder bewuste toepassing van berekening als vorm van adaptatie dan in bijvoorbeeld de tuinbouw. Daarnaast is beregenen intensief werk; boeren doen het niet zomaar. Druppelirrigatie is momenteel nog best een grote investering voor een agrarisch ondernemer. Mede hierbij speelt dat een boer van tevoren niet kan inschatten of het een droge zomer wordt en of de druppelirrigatie dan ook rendabel wordt. Ook moeten de druppelslangen na een teeltseizoen worden verwijderd en vervangen, dat ook de duurzaamheid van druppelirrigatie in het geding brengt.

Kijkend naar de akkerbouw voor de veeteelt (mais), dan wordt hier ook beregend. Dit gebeurt niet in alle regio's. Daarnaast heeft de veeteelt de mogelijkheid om voer in te kopen. De keuze voor berekening is afhankelijk van o.a. de kosten, (impacts op) de natuur; maatschappelijke discussie over berekening; impact op bodem (structuur).

Bovengrondse wateropslag wordt in de praktijk nog weinig toegepast in de akkerbouw. In samenhang met gebiedsprocessen/ ruimtelijke indeling wordt naar deze vorm van adaptatie onderzoek verricht.

Ook komt de bandbreedte van het IJsselmeer en bovengrondse wateropslag ter sprake. Voor alsnog lijkt het erop dat bovengrondse wateropslag alleen voor kritische droge momenten kan worden gebruikt voor berekening in verband met een beperkte capaciteit van de wateropslag.

### **Verdringingsreeks voor watergebruik tijdens droogte**

Kapitaalintensieve gewassen staan hoog in de verdringingsreeks. Als drinkwaterbedrijven meer onttrekken dan vergund (vanwege leveringsplicht) dan is compensatie voor boeren mogelijk; het eindrisico (financiële impact) is dan laag. Telers van kapitaalintensieve gewassen hebben veel aandacht voor berekening en hebben over het algemeen meer capaciteit op aan adaptatie te doen.

### **Risico-inschatting**

De totale wateronttrekking is enkel grofweg bekend, al wordt hier wel over nagedacht door bijv. waterschappen om hier beter inzicht in te krijgen. In hoeverre dit precies de droogteschade voorkomt is onduidelijk. Een studie van Ecorys (Van der Velde et al., 2019) schetsen grote onzekerheid in de uiteindelijke impacts op de sector. In het algemeen is er pas bij een neerslagtekort van meer dan 300 mm een duidelijkere relatie tussen droogte en impacts zichtbaar. In een studie van Langeveld et al. (2003) wordt een economisch risico ingeschat op 255 miljoen. De droogte van 1976 heeft de Nederlandse economie 227 miljoen euro gekost, waarvan de overheid 131 miljoen heeft gedekt (Berkhout et al., 2016). Kijkend naar de verhouding tussen de totale productiewaarde van de landbouwsector (2,4 miljard) en het verlies van 255 miljoen, kan worden gesteld dat het economisch eindrisico van de droogte die 10 keer per jaar plaatsvindt laag kan worden ingeschat.

Bijkomend effect is dat de hogere prijzen die soms worden verkregen voor producten die in een droog seizoen zijn geteeld niet altijd in NL terechtkomen, omdat de landbouw te maken heeft met een wereldmarkt.

Een trend die wordt waargenomen is er een verschuiving van gewassen van west naar oost NL door verzilting in de kust (bijvoorbeeld uien).

Het verband tussen droogte en opbrengstderving is grof en sterk afhankelijk van adaptatie en omstandigheden. Herhalingstijd van droogte in 2018 (totaal neerslagtekort 309 mm) is door het KNMI destijds geschat op 1/30 jaar (KNMI, 2018b). Destijds werd ook geconcludeerd: Er zit geen (historische) trend in het maximale neerslagtekort in Nederland. De impact van extreme droogte die 1/30 jaar voorkomt kan daarom op middel worden ingeschat (Tabel 8).

**Tabel 8** Risico-inschatting van het effect van droogte in de akkerbouw op de economie.

Frequentie	< 1x per 1000 jaar	1x per 1000 – 100 jaar	1x per 100 – 10 jaar	1x per 10 – 1 jaar	Meer dan 1x per jaar
<b>Risico</b>					
<b>Hoog</b>					
<b>Middel</b>			Akkerbouw – extreme gevallen van droogte 1/30 jaar		
<b>Laag</b>				Akkerbouw – vaker voorkomende droogte 1/10 jaar	

### Betrouwbaarheid

Er is meer consensus binnen de sector over de algemene impacts van droogte, maar adaptatiemaatregelen (en marktwerking) vertroebelen het beeld. Andere variabelen spelen ook een rol, waaronder de impact van bodemkwaliteit, als het gaat om de impact van droogte op de akkerbouw. Cijfers die in de literatuur worden gevonden zijn verschillend. Dit maakt dat het lastig is om consensus op detailniveau over droogte te bereiken (Tabel 9).

**Tabel 9** Consensus en bewijs rond droogte in de akkerbouw.

			Grote consensus, robuust bewijs
		Akkerbouw – droogte	Gemiddeld
Consensus ↑	Beperkte consensus, beperkt bewijs		
	Bewijs →		

### 3.3.3.2 Tuinbouw

In grote lijnen komen de eerdergenoemde punten onder de inschatting van de eindimpact voor extreme droogte in de akkerbouw overeen met de tuinbouw. Daarom is er tijdens de expertsessie voor gekozen om direct het risico van droogte op de tuinbouw te bespreken.

De vollegrondse tuinbouw is kapitaalintensief, waardoor het een groter economisch risico loopt bij extreme droogte. Vollegrondstuinbouw heeft een productiewaarde van 2.695 miljoen per jaar (zie tabel in de factsheet). Bij 5% droogteschade gaat het dan om 135 miljoen (orde van grootte). Bedrijven met kapitaalintensieve gewassen hebben over het algemeen meer capaciteit voor adaptatie/irrigatie dan in de

akkerbouw. Er wordt dan ook meer gebruik gemaakt van druppelirrigatie (m.n. in de fruitbomen). Soms zijn deze teelten ook uitgesloten van irrigatieverboden. In de fruitteelt zijn vaak beregeningsinstallaties voor nachtvorstbestrijding aanwezig. Er lijkt dus minder noodzaak voor onderzoek naar droogteschade in de tuinbouwsector vergeleken met de akkerbouw.

Het economische risico is groter voor een subgroep, de kleinschalige tuinbouw, vergeleken met grootschaligere bedrijven. Tegelijkertijd is het economisch risico voor de sector zelf dan ook lager dan bij de akkerbouw. Daarom zijn we uitgekomen bij een lage economische impact van droogte op de tuinbouw – bij vaker voorkomende droogte die minder extreem zijn is de economische impact wellicht nihil (vanwege prijseffecten die optreden in droge jaren). Aan de andere kant is de noodzaak voor adaptatie/ irrigatie op zichzelf een risico, dus de algehele impact kan niet op nul worden gesteld. Denk bijvoorbeeld aan verborgen kosten voor irrigatie. Nu in matrix: zowel 100-10 jaar als 10-1 jaar allebei lage impact (Tabel 10).

Verschil is regionaal aanwezig voor adaptatie. De temperatuur en invloed van nachtvorst langs kust is bijvoorbeeld wat stabielere dan meer landinwaarts. Een lage opbrengst wordt uiteindelijk vaak gecompenseerd door de marktprijs. Zeeland is kwetsbaar, omdat het economisch een zwakkere regio is en veel kapitaalintensieve gewassen worden geteeld onder toenemende verzilting.

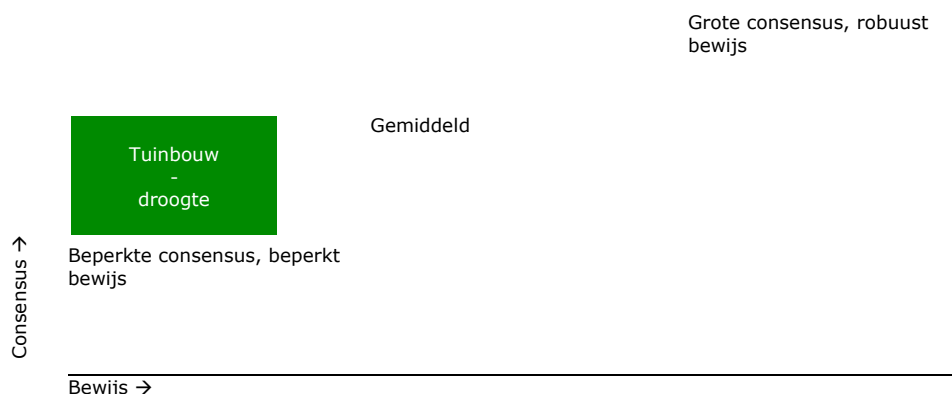
**Tabel 10** Risico-inschatting van het effect van droogte in de tuinbouw op de economie.

	Frequentie < 1x per 1000 jaar	1x per 1000 – 100 jaar	1x per 100 – 10 jaar	1x per 10 – 1 jaar	Meer dan 1x per jaar
<b>Risico</b>					
<b>Hoog</b>					
<b>Middel</b>					
<b>Laag</b>		Tuinbouw – extreme gevallen van droogte		Tuinbouw – vaker voorkomende droogte (hogere freq.)	

### Betrouwbaarheid

In de tuinbouw lijkt evenveel consensus te zijn over de impact van droogte als binnen de akkerbouwsector. Echter is het bewijs vanuit onderzoek en literatuur beperkter dan voor de akkerbouw. Daarom is de volgende inschatting gemaakt, weergegeven in Tabel 11.

**Tabel 11** Consensus en bewijs rond droogte in de tuinbouw.



---

## 3.4 Aanpassingen met ongewenste gevolgen en/of doodlopende adaptatiepaden

Naarmate het klimaat verder verandert, zullen gelijkelijke aanpassingen plaatsvinden, die uiteindelijk onvoldoende zullen zijn, waardoor er (wellicht te laat) een behoefte ontstaat aan meer systemische of transformationele veranderingen. Het IPCC rapporteert hier een middelmatige consensus over (Porter et al., 2014).

### **Beregening versterkt droogte (lock-in)**

Door te beregenen wordt water uit het oppervlakte- of grondwater gebruikt om akkerbouwgewassen levensvatbaar te houden in tijden van droogte. Steeds meer bedrijven zijn gaan beregenen door de afgelopen droge jaren (Eertwegh et al., 2020), waardoor meer zoet water is gebruikt. Uiteindelijk kan de sterke toename aan watergebruik door de akkerbouw ervoor zorgen dat er (sneller) een watertekort in de regio wordt gecreëerd.

Beregening of irrigatie in verziltingsgevoelige gebieden draagt daarnaast bij aan het risico op meer verzilting. Dit kan op de langere termijn leiden tot een lock-in, wanneer de zoutintrusie het irrigeren van gewassen geheel onmogelijk maakt.

### **Grondwaterpompschade voor natuur is nog onduidelijk**

De natuurschade die is opgetreden tijdens de recente droge zomers lijkt niet uitsluitend te wijten aan enkele willekeurige droge jaren, maar wordt ook toegeschreven aan de systematische uitdroging van Nederland. Deze uitdroging wordt voornamelijk veroorzaakt door ontwatering en het oppompen van grondwater voor doeleinden zoals drinkwatervoorziening, industrie en landbouw (Van Eertwegh et al., 2023). Hiermee dreigt toenemende irrigatie voor de landbouw middels grondwater een maladaptatie te zijn, wanneer dit de toestand van onze natuur bedreigt. De precieze gevolgen van droge zomers voor de natuur moeten nog in kaart gebracht worden.

### **Watergebruiksefficiëntie verhogen via driplines kent risico's.**

Beregening of irrigatie (met en zonder driplines) in verziltingsgevoelige gebieden draagt bij aan het risico op meer verzilting (Ferguson & Gleeson, 2012). Landbouwonttrekkingen dragen wereldwijd bij aan verzilting van oppervlaktewater (Thorsund et al., 2021). Dit kan op de langere termijn leiden tot lock-in, wanneer de zoutintrusie irrigatie geheel onmogelijk maakt. Extra irrigatie met grondwater kan leiden tot een afname van grondwaterfluxen – Hendriks et al. (2014) laat zien dat grondwaterpompen zorgt voor 5-28% van de droogval van waterlichamen op de hoge zandgronden. Nederland brede cijfers lijken er niet te zijn. Juist wanneer oppervlaktewater lijkt droog te vallen door neerslagtekort kan een aanvullende grondwaterflux waardevol zijn. Het afnemen van de grondwatertafels zorgt hiermee voor een afname van veerkracht van het systeem af. Daarnaast kan een efficiënter watergebruik leiden tot een hoger watergebruik (Hansen & Heinse, 2022). Daarnaast is het waarschijnlijk dat de extra driplines die gelegd worden waarschijnlijk leidt tot extra plastic afval; driplines worden gewoonlijk jaarlijks vervangen om het risico op storingen te verkleinen en dus de bedrijfszekerheid te vergroten (Van Balen, 2023). De precieze omvang van deze extra plasticconsumptie is niet duidelijk.

### **Fertigatie**

De toename in driplines betekent een makkelijkere overstap voor boeren naar fertigatie (bemesting via de driplines). Fertigatie kan een slechte bodemkwaliteit verbergen door een continue stroom van direct toegankelijke nutriënten. Er zal meer water dan nodig gegeven worden om de slechte bodemkwaliteit te compenseren, wat zal leiden tot een toename in schimmels en een verdichting van de (klei)bodems wanneer deze bereden zal worden (Van Balen, 2023). De extra verdichting zal leiden tot een lagere infiltratie en opslagcapaciteit van water van de bodem, wat in tijden van hevige neerslag zal leiden tot afspoeling van nutriënten (met name stikstof) en een verslechterde waterkwaliteit (Van der Maas, 2023). Uiteindelijk zal het gebrek aan sponswerking de gevoeligheid voor droogte alleen maar groter maken.

---

## Watertransfers

In Zuid-Beveland ligt momenteel een landbouwleiding die de fruittelers terplekke voorziet van zoetwater uit de Biesbosch. In 2021 heeft de Provincie Zeeland Witteveen & Bos een verkenning laten uitvoeren naar de mogelijkheden van externe aanvoer in combinatie met aquiferopslag, bijv. uit het Volkerak-Zoommeer (Witteveen & Bos, 2021). Dergelijke transfers zouden de watervraag van Zeeland grotendeels kunnen voorzien, en kennen investeringskosten van 10 tot 180 miljoen euro en onderhoudskosten van een half tot 4 miljoen euro per jaar. Een lock-in dreigt, omdat het project alleen uitgevoerd kan worden mits Rijkswaterstaat de zoutintrusie in het Volkerak-Zoommeer laag weet te houden door het door te spoelen in de wintermaanden. Lagere rivierafvoeren (Kleijn et al., 2015) in de toekomst zou dit kunnen verhinderen waardoor de investering waardeloos wordt. Een dergelijk situatie speelt al bij Spanjes "bekendste" watertransfer van de Tago naar de Segura rivier (Cañizares et al., 2023). Watertransfers zijn maatschappelijk controversieel. Enerzijds kunnen deze ingrepen een gebied economisch versterken, maar anderzijds zijn er vaak consequenties voor ecologie en economie in het gebied waar het water vandaan komt. Wanneer water schaars is, is de noodzaak voor een gedragen politieke keuze zeer noodzakelijk. Wetenschappers benadrukken de noodzaak voor integraal waterbeheer die sociale en ecologische dimensies meenemen bij de keuze voor een transfer (Snaddon et al., 1999; Marston & Cai, 2016; Rollason et al., 2022).

## 3.5 Aanknopingspunten voor adaptatiebeleid

### Risicoperceptie van droogteschade is hoog

Onderzoek naar boeren in Nederland op droogtegevoelige gronden laat zien dat vooral de grote perceptie van droogte-impact aanzet tot handelen. Deze perceptie geeft boeren nu al de motivatie tot handelen; deze motivatie kan benut worden in adaptatiebeleid. Het kan bijvoorbeeld benut worden door boeren praktische richtlijnen en kosten-baten van bepaalde maatregelen toe te reiken. Zij kunnen hier vervolgens zelf mee aan de slag (Van Duinen et al., 2014). Echter, zolang dat de tuinbouw de beschikking heeft over zoetwater via driplines, zal deze actiebereid beperkt zijn. Boeren kunnen naar de toekomst werken aan wateropslag in de ondergrond, bodem (verbeteren bodemkwaliteit) en reservoirs. Daarnaast dient beleid ruimte op de markt te scheppen voor diverse en robuuste teeltsystemen, waarin diversiteit van gewassen, cultivars en manieren van verbouwen een plekje hebben.

---

## 4 Factsheet: Schade in de akkerbouw door extreme neerslag

### 4.1 Inleiding

Neerslag valt gedurende het jaar op verschillende plekken in verschillende hoeveelheden. In Nederland valt doorgaans zo'n 875 mm neerslag per jaar (CLO, 2023b). Dit kan echter behoorlijk afwijken, zoals in 2023 toen er 1060 mm viel (KNMI, 2023b). Natuurlijke variabiliteit in neerslag is, inclusief extremen, is een dreiging waar de akkerbouwsector mee om dient te gaan. Kortdurende extremen hebben vaak een plaatselijk karakter, maar over langere periodes bekeken middelen deze lokale verschillen uit. We spreken van dagen met zware neerslag bij wanneer er meer dan 50 mm regen op een dag valt. We spreken van extreme neerslag als diezelfde hoeveelheid regen (50 mm) valt binnen één uur, of wanneer er meer dan 100 millimeter op één dag valt (KNMI, n.d.). Het aantal dagen met zware neerslag is van 1951 tot en met 2019 toegenomen van respectievelijk 5,3 naar 9,8 dagen per jaar. Dit is een significante toename van 85% in vergelijking met 1951 (CLO, 2023a, b).

Omdat de akkerbouwsector direct afhankelijk is van de weersomstandigheden, heeft extreme regenval de laatste jaren veel impact gehad op de sector (Schaap et al., 2014; Verhagen et al., 2018). Denk bijvoorbeeld aan de gevolgen van de hevige regenval in Zuidoost-Brabant van juni 2016, waarna vele agrarische ondernemers kampten met schade aan gewassen en percelen (Lenkens, 2017). Hevige neerslag kan in de akkerbouw onder andere zorgen voor het rotten van knollen van de aardappel en uien, problemen veroorzaken rond de berijdbaarheid van het land met machines en het risico op plantziekten in onder andere tarwe vergroten (Bijker & Verstand, 2020).

### 4.2 Klimaatrisico-analyse

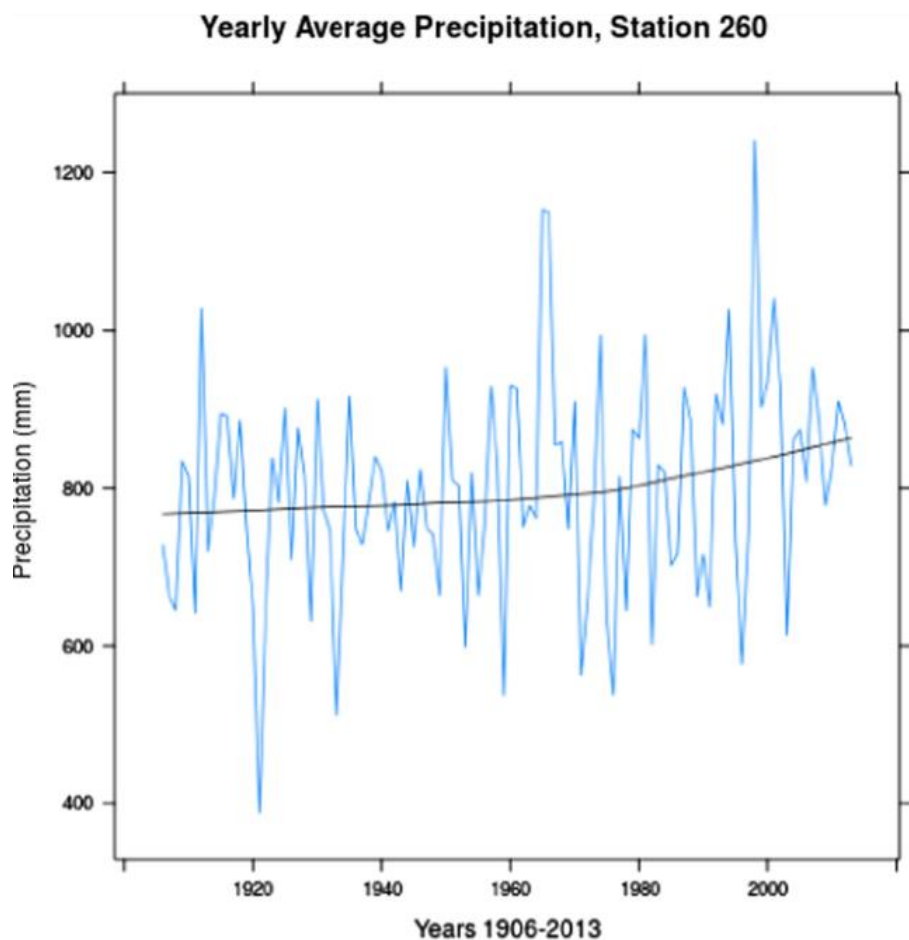
#### 4.2.1 Klimaatdreiging

##### **Het wordt natter**

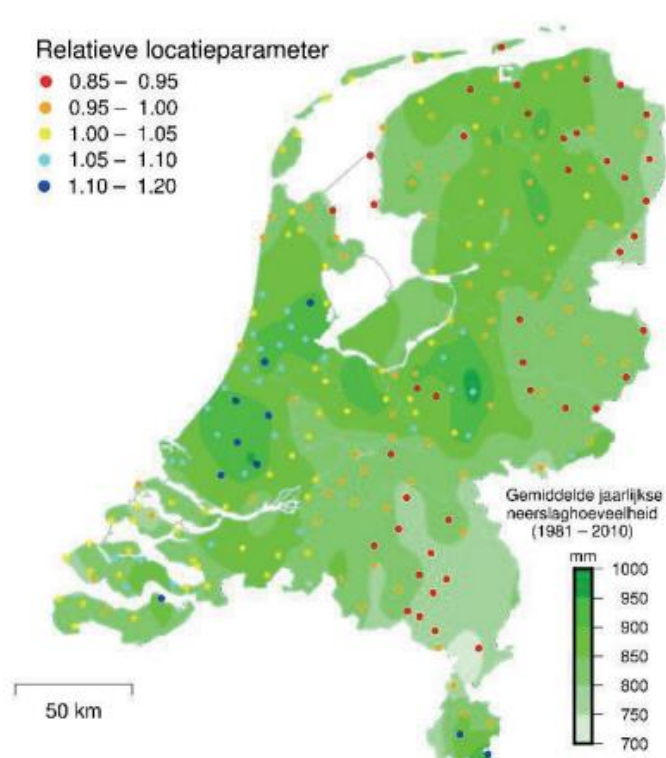
De klimaatdreiging 'het wordt natter' veroorzaakt het risico op schade in de akkerbouw door extreme neerslag. Extreme neerslag kan dan ook landelijk voorkomen, maar door reliëf in het landschap en regionale verschillen in wind kunnen er wel kleine lokale verschillen voorkomen. Deze regionale verschillen zijn nu zeer klein ten opzichte van de relatief kleine kans op extreme neerslag in de huidige situatie (STOWA, 2019). Voor dagelijkse extremen (die lange duren dan 12 uur) zijn er wel aantoonbare regionale verschillen in neerslagextremen binnen Nederland. In het westen van Nederland, met name in Zuid-Holland en in het zuiden van Limburg, liggen de omvang van de extremen (hoeveelheid neerslag) hoger dan in de rest van Nederland (KNMI, n.d.). Regionale verschillen in normale neerslag kunnen zich vertalen in grotere regionale verschillen in de kans op extreme neerslag in een toekomstig klimaatscenario. Regionale verschillen in algehele neerslag zijn anders in de winter dan in de rest van het jaar.

##### **Waargenomen trend – Hoeveelheid neerslag**

Uit een studie van Powell & Reinhard (2016) is te zien dat de jaarlijkse gemiddelde hoeveelheid neerslag in Nederland tussen 1906 en 2013 is toegenomen (Figuur 22). Geografisch gezien valt de meeste neerslag in het westen van Nederland, in Zuid-Limburg en wat verspreid over Noord-Nederland (STOWA, 2019a) (Figuur 23).

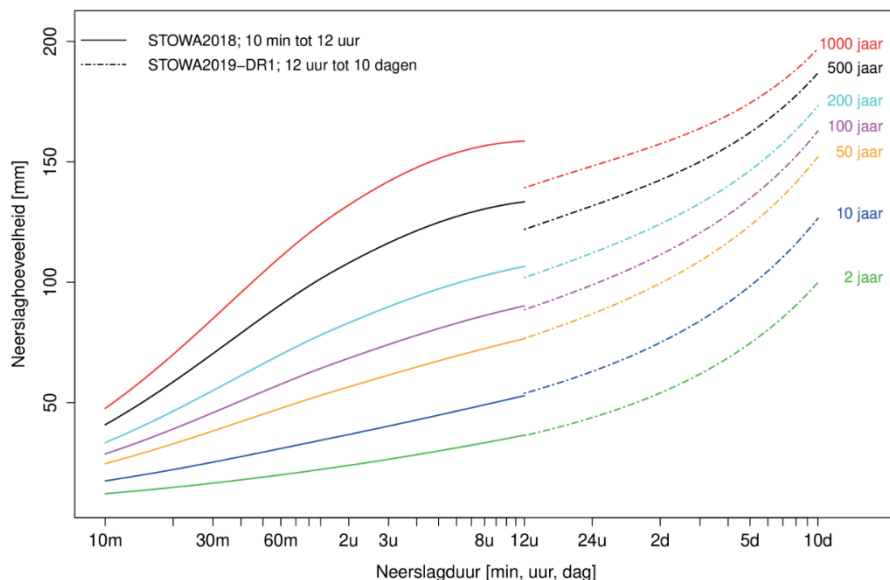


**Figuur 22** Jaarlijks gemiddelde neerslag (mm) tussen 1906 en 2013, Nederland (Powell & Reinhard, 2016).



**Figuur 23** Gemiddelde jaarlijkse neerslaghoeveelheid tussen 1981-2010 (STOWA, 2019a). De relatieve locatieparameter geeft een maat weer voor ruimtelijke verschillen in neerslagduur, gestandaardiseerd op 1.00 voor station De Bilt.

Niet alleen de gemiddelde hoeveelheid neerslag, maar ook de neerslagduur heeft effect op de akkerbouw. In onderzoek van STOWA (2019a) is de neerslagduur uitgezet tegen neerslaghoeveelheid (Figuur 24). Daarbij is de kans op een neerslaghoeveelheid van 50 mm in 24 uur op één bepaalde locatie ongeveer eens in de 10 jaar. Dergelijke buien vormen het klimaatrisico binnen de akkerbouwsector. Ook kan langdurige neerslag (hoge neerslagduur) effect hebben op de akkerbouw. Het natte najaar van 2023 is daar een voorbeeld van. Dit najaar heeft het een paar weken achter elkaar veel geregend, waardoor boeren niet meer het land op konden om gewassen te oogsten zonder schade aan te richten aan de bodemstructuur.

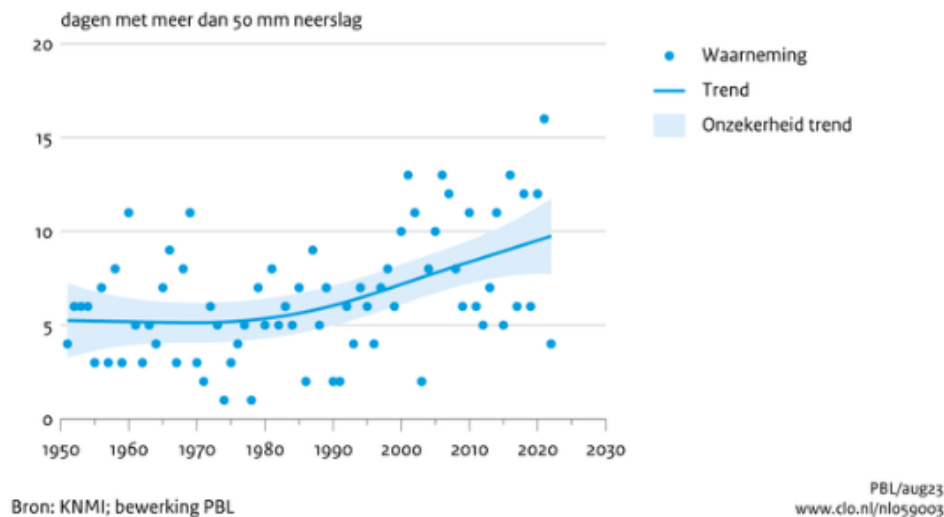


**Figuur 24** Regenduurlijnen (neerslagduur en neerslaghoeveelheid) (STOWA, 2019a).

### Waargenomen trend - Extremen

Neerslagextremen zijn in Nederland toegenomen in de meeste statistieken. Zo is bijvoorbeeld het aantal dagen met meer dan 50 millimeter op ten minste één station in Nederland gemiddeld bijna verdubbeld in de laatste 50 jaar, van vier tot zes dagen per jaar voor 2000 naar acht tot negen dagen na 2000. Dit zijn gemiddelden over tien jaar; van jaar tot jaar treden grote variaties op. Ook het aantal jaren met veel extreme dagen in één jaar is sterk toegenomen. Deze trends worden voornamelijk bepaald door neerslag in het zomerhalfjaar, maar ook in het winterhalfjaar zijn de dagelijkse neerslagextremen toegenomen met zo'n 20-30 procent over de laatste eeuw. Vanwege de grote variabiliteit zijn toenames in extreme neerslag echter nog niet altijd statistisch met zekerheid vast te stellen, zeker niet voor de meest heftige buien (KNMI, n.d.).

Extreme neerslag in Nederland is ook toegenomen. Het is opvallend dat er een toename te zien is van het aantal dagen met zware neerslag. Dit betekent dat er meer dan 50 mm neerslag valt in één dag. Het aantal dagen met zware neerslag is sinds 1951 toegenomen met 85%. Dit komt neer op 5,3 dagen in 1951 en 9,8 dagen in 2022 (Compendium voor de Leefomgeving, 2023) (Figuur 25). Dit is het aantal keer dat er ergens in Nederland meer dan 50 mm neerslag valt in één dag.



**Figuur 25** Dagen met meer dan 50 mm neerslag in één dag tussen 1950 en 2022 (CLO, 2023b).

De toename van neerslag wordt beïnvloed door verschillende factoren, waaronder de stijging van de jaarlijkse gemiddelde temperatuur en de daaropvolgende opwarming van de Noordzee. Daarnaast spelen klimaatfactoren, zoals veranderingen in overheersende windrichtingen en luchtvochtigheid, een belangrijke rol bij het veroorzaken van extreme neerslag (CLO, 2023a). Zo zorgt opwarming van de Noordzee bij westenwind voor extreme regenval in de kuststrook en zorgt een toenemende temperatuur voor een grotere luchtvochtigheid, waardoor heftigere regenbuien kunnen ontstaan (KNMI 2021, 09 21).

Zware regenval in een korte periode kan leiden tot grote schade in de landbouw. In het jaar 2016 viel in de maand juni in Ysselsteyn 277 mm neerslag. Gemiddeld genomen is dit 68 mm voor deze locatie. Dit verschil werd veroorzaakt door zware onweersbuien in Zuidoost-Nederland die plaatselijk zorgden voor meer dan 50 mm regen in korte tijd, terwijl grote delen van het land diezelfde dagen juist droog en zonnig bleven. Dit illustreert de grote geografische verschillen die kunnen ontstaan.

### Regionale gevoeligheid

Uit een studie van het STOWA blijkt dat Nederland is te verdelen in drie neerslagregio's (Figuur 26) (STOWA, 2019b). De hoogste kans op extreme neerslag ligt in het westen van het land. Noord-Nederland en een deel van Limburg ondervinden de afgelopen jaren het laagste risico.



**Figuur 26** Actueel beeld van de kans op extreme neerslag in Nederland, 2019 (STOWA, 2019b).

### **Nutriëntenverlies naar oppervlaktewater**

Neerslagoverschot heeft een grote invloed op de uit- en afspoeling van nutriënten naar oppervlaktewater (Renaud et al., 2015; Evenhuis et al., 2012). Dit kan de opbrengst van gewassen verminderen en leiden tot de noodzaak van extra bemesting. In de meeste gevallen is deze zogenoemde run-off minder dan 0,5%, maar onder extreme omstandigheden kan dit oplopen tot 5%. Gebieden met het hoogste risico op afspoeling zijn de kleigebieden, het rivierengebied en de veengebieden (Massop et al., 2014). Dit wordt met name veroorzaakt doordat op deze gronden minder goed water in de bodem infiltreert door fysische eigenschappen, waardoor de gronden gevoeliger zijn voor plasvorming en de afstroom van plassen met nutriënten richting het oppervlaktewater.

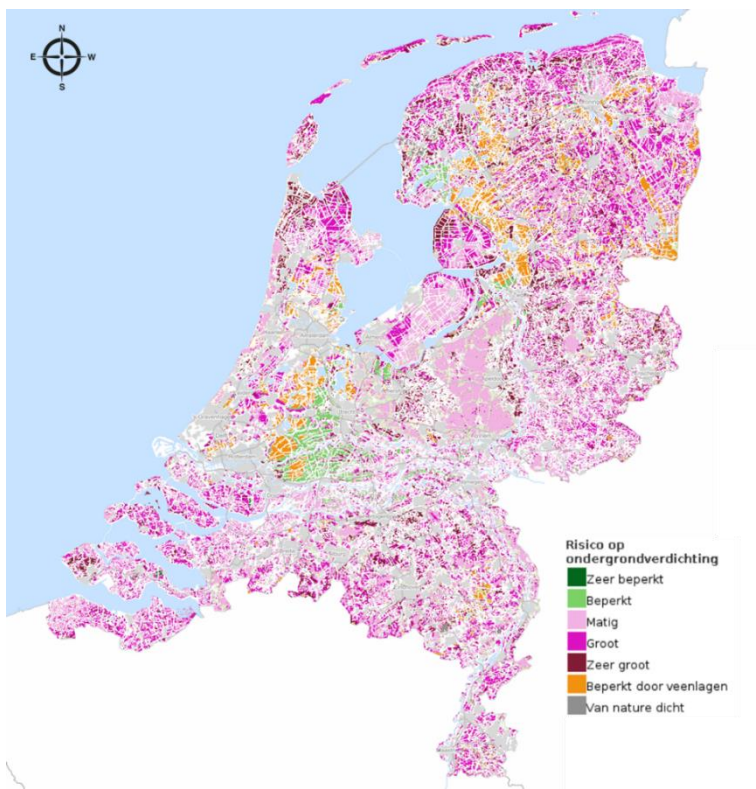
Uit modelberekeningen blijkt dat in 1981 tot en met 2010 bijna 50 mm meer neerslag is gevallen dan in de periode 1971 tot en met 2000. Dit heeft tot gevolg gehad dat de uit- en afspoeling met ruim 24 mm is toegenomen. Dit betekent niet alleen dat de waterkwaliteit van perceelsloten achteruitgaat, maar ook dat akkerbouwers kostbare nutriënten van hun percelen verliezen. Deze nutriënten zijn niet meer ter beschikking voor het gewas. Hoeveel opbrengstderving dit precies oplevert en welke extra kosten voor bemesting moeten worden gemaakt is onduidelijk.

### **Bodemverdichting**

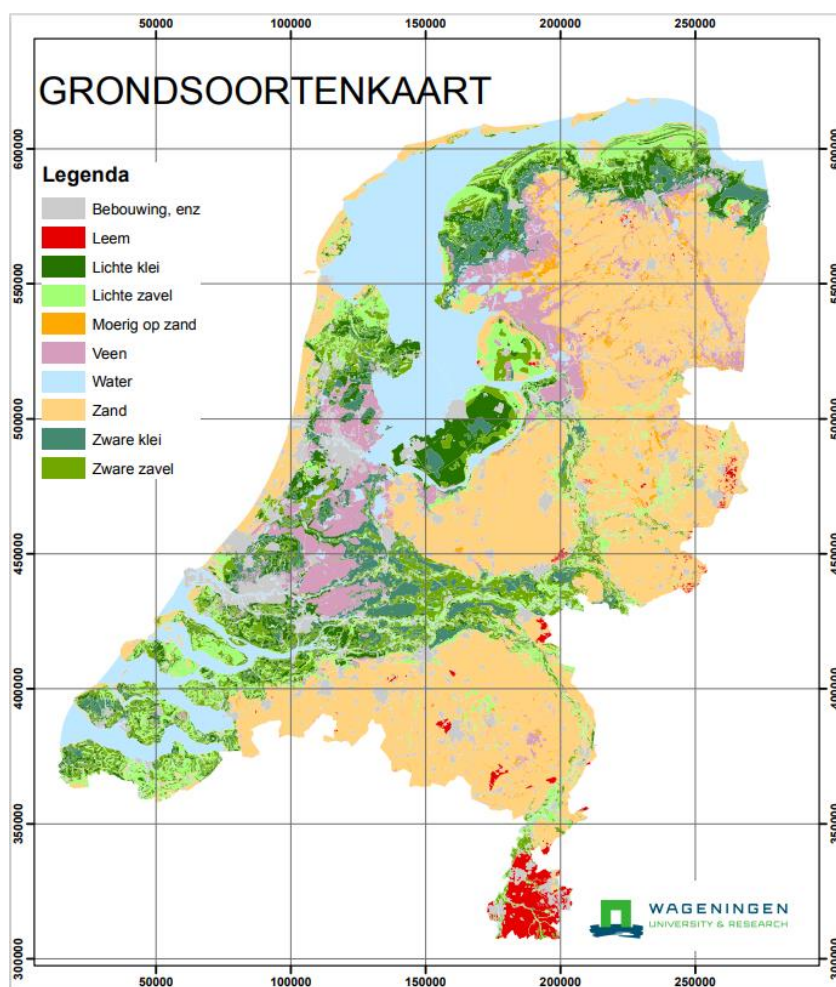
Door hevige regenval of een lange periode met neerslag kan de ondergrond verdichten door een combinatie van nat land en bewerking met zware machines. Dit zorgt voor structuurschade aan de bodem. De mate van bodemverdichting is afhankelijk van een aantal zaken: het aantal werkgangen, het type machine en het gewicht (Zwart et al., 2011). Uiteindelijk heeft bodemverdichting gevolgen voor o.a.:

- De water- en gashuishouding van percelen, die vervolgens weer negatie doorwerken op de gewasgroei en de waterafvoer en infiltratiecapaciteit van percelen.
- Nutriëntenhuishouding, doordat de snelheid van de afbraak van organische stoffen afneemt bij verdichting en er minder voedingsstoffen voor het gewas beschikbaar komt. Doordat gewassen uiteindelijk minder kunnen opnemen, wordt ook de kans op af- en uitspoeling weer vergroot.

Figuur 27 visualiseert het risico op ondergrondverdichting van de Nederlandse bodem weer (Klimaat-effectatlas, 2017). Met name Zeeland, een deel van Noord-Holland en Noord-Nederland hebben een hoog risico op ondergrondverdichting in de huidige situatie. Bodemverdichting vertraagt de opkomst van gewassen, bladontwikkeling en lichtinterceptie, en de duur van bodembedekking in onder andere de aardappelteelt (Stalham et al., 2007). In de suikerbiet zorgt een verdichte laag tot vertakte suikerbieten, omdat de wortelgroei door verdichte diepere lagen niet meer gaat. De opbrengstderving voor suikerbiet en aardappel kan oplopen tot tientallen procenten (Stalham et al., 2007; De Lijster et al., 2016). Met name op kleigronden (Figuur 28) (Assinck, n.d.; Bodemkundige Dienst & Grondbank, n.d.) is het risico op bodemverdichting het grootst, zoals in Zeeland en Noord-Nederland.



**Figuur 27** Huidige risico op ondergrondverdichting van de Nederlandse bodem (Klimaat-effectatlas, 2017).



**Figuur 28** Grondsoortenkaart van Nederland (Assinck, n.d.).

---

### Extreme regenval zorgt voor neerwaartse spiraal rond bodemverdichting

Extreme regenval zorgt voor natte omstandigheden op het land. Wanneer een boer het land op moet in een periode van extreme neerslag, verhoogt de extreme regenval in combinatie met bodembewerking de kans op bodemverdichting. Door bodemverdichting kan water na een extreme bui minder goed de grond in zakken, waardoor opnieuw natte omstandigheden ontstaan en grondbewerking wordt beperkt.

Het mechanisch opheffen van ondergrondverdichting (woelen) is echter bodemversturend (dus negatief voor o.a. het bodemleven) en niet altijd effectief. Daarnaast bestaat de kans dat deze bodem snel opnieuw verdicht (Van Balen et al., 2022).

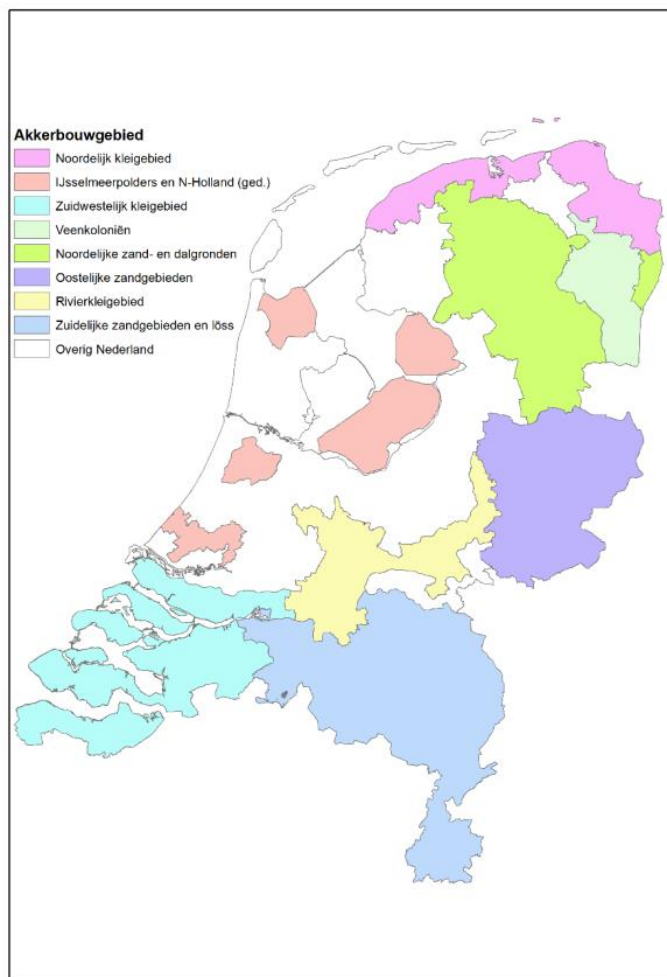
#### 4.2.3 Blootstelling

In Nederland ligt rond de 535.000 hectare akkerbouwgrond (CBS, 2023a). Dit komt neer op ongeveer 13% van de totale oppervlakte in Nederland. De productiewaarde van de akkerbouw in 2022 was bijna 4,2 miljard euro (Verhoog, 2022). Het productvolume is de afgelopen jaren van vrijwel alle belangrijke akkerbouwproducten, zoals graan, suikerbiet, aardappel en voedergewassen, gestegen. De landbouw draagt in totaal 1% bij aan ons bruto binnenlands product (CBS, 2020a).

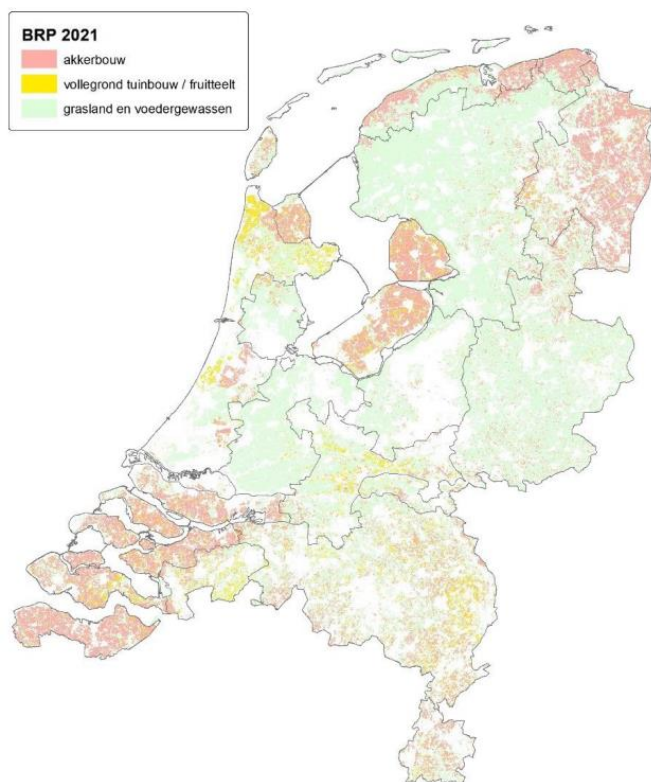
Gewassen die (in 2022) in de akkerbouwsector het meeste zijn geteeld zijn (CBS, 2023b):

- Snijmais – ca. 183.000 ha
- Tarwe – ca. 124.000 ha
- Suikerbiet – ca. 82.000 ha
- Consumptieaardappel – ca. 77.000 ha
- Pootaardappel – ca. 43.000 ha
- Gerst – ca. 37.000 ha
- Zaaiui – ca. 27.000 ha

Onderstaande kaart (Figuur 29) toont de acht akkerbouwgebieden in Nederland. Figuur 30 toont de Gewasarealen binnen de landbouwgebieden op basis van de perceelregistratie van het CBS-landbouwgebiedsindeling (RVO, 2021). Met name op kleigronden is het risico op bodemverdichting door extreme neerslag, zoals onder 'secundaire effecten' besproken het grootst. Dit geldt dan met name voor de provincies Zeeland en Noord-Nederland.



**Figuur 29** Aanduiding van de acht akkerbouwgebieden in Nederland (Smit & Jager, 2018).



**Figuur 30** Gewasarealen landbouwgebieden (RVO, 2021).

### Gevoeligheid per gewas

#### *Aardappel*

De belangrijkste klimaatgerelateerde risico's voor aardappelteelt omvatten overmatige regenval in het voorjaar, overvloedige neerslag in het najaar en langdurige vochtige omstandigheden in de zomer. Deze weersomstandigheden komen vaak voor en kunnen leiden tot aanzienlijke verliezen in de opbrengst door het rotten van de knollen (Verstand et al., 2021). Dit geldt zowel voor pootaardappelen als voor consumptieaardappelen (Verhagen et al., 2018).

#### *Suikerbiet*

Voor de suikerbiet is het van belang dat grondbewerking niet plaatsvindt onder natte omstandigheden. Extreme regenval in het voor- en najaar zorgen ervoor dat het aantal gunstige momenten om de grond te bewerken daalt. Dit resulteert in een verhoogde kans op bodemverdichting (Verstand et al., 2021). Voor een optimale groei van de suikerbiet is het essentieel dat het perceel vrij is van verdichte lagen (Westerdijk et al., 1994).

Vochtige en warme situaties zorgen voor extra druk van schimmels in de suikerbiet. Suikerbieten zijn gevoelig voor bladschimmels zoals *Cercospora*, *Ramularia*, roest, echte meeldauw en *Stemphylium* (Verstand et al., 2021). Ook vergroot natte omstandigheden de kans op aaltjes, waardoor de kwaliteit en fysieke opbrengst van suikerbieten achteruitgaat (IRS, 2020).

#### *Zaaiui*

Als onder natte omstandigheden werkzaamheden op het land moeten worden uitgevoerd, neemt de kans op bodemverdichting toe. Door de bodemverdichting neemt de kans op groeiafwijkingen aan de ui toe. Met toenemende kans op extreme regenval neemt de kans op ongunstige omstandigheden voor grondbewerking toe (Verstand et al., 2021).

Verder kan extreme regenval grote schade veroorzaken in de uienteelt, waardoor een gehele oogst kan mislukken (Van den Broek, 2003). Natte omstandigheden zorgen namelijk voor een grotere kans op rot. De invloed van extreme neerslag in de praktijk werd in 2019 dan ook in een artikel van het AD besproken (Braat, 2019). In dit artikel komt naar voren dat gewassen zoals uien, bonen en aardappelen kwalitatief hard achteruitgaan door de regenval in deze periode.

#### *Gerst*

Voor het telen van gerst is weinig informatie beschikbaar over de specifieke impact van extreme regenval en het effect op de oogst. Echter worden tarwe en gerst vaak samen genoemd als 'graan', waardoor we in dit geval aannemen dat beide graansoorten ongeveer gelijke hinder ondervinden van extreme regenval.

#### *Tarwe*

Tarwe is voornamelijk kwetsbaar voor de combinatie van zware regenval met harde wind. Hierdoor kan de tarwe plat waaien, ook wel legering genoemd (Figuur 31). Door legering kunnen aanzienlijke opbrengstverliezen ontstaan (Verstand et al., 2021).



**Figuur 31** Het platwaaien van tarwe door de combinatie van harde regen en wind.

De combinatie van natte en warme omstandigheden kan zorgen voor een grotere druk op ziekten en plagen in de tarwe (Juroszek & Von Tiedemann, 2013; Parikka et al., 2012).

#### *Snijmais*

In een studie van Kim et al. (2019) is een negatieve correlatie gevonden tussen extreme regenval en de opbrengst van mais. Nu de frequentie van extreme regenval toeneemt, neemt de opbrengst van mais dus af. Ook Haile et al., (2017) beschrijven het negatieve effect van neerslagextremen op de opbrengst van mais. Door hevige regenval functioneren de wortels van mais niet optimaal of kunnen zelfs afsterven (Verhagen et al., 2018).

De tabel hieronder (Tabel 12) geeft een overzicht de gevoeligheid van een aantal akkerbouwgewassen op extreme regenval (Van Tilburg & Hudson, 2022). Echter zullen de voorgenoemde effecten van extreme neerslag op gewassen toenemen in toekomstige extremere klimaatscenario's (Haile et al., 2017).

**Tabel 12** Gevoeligheid van mais, ui, aardappel, suikerbiet en wintertarwe op extreme regenval (Van Tilburg & Hudson, 2022). + + = erg positief effect, + = positief effect, 0 = neutraal, - = negatief effect, - - = erg negatief effect.

Gewas	Effect
Mais	0
Ui	-
Aardappel	-
Suikerbiet	0
Wintertarwe	-

#### 4.2.5 Adaptatiecapaciteit

De sector heeft de afgelopen jaren ingezet op maatregelen om deze risico's te verminderen. Een drietal voorbeelden van maatregelen zijn: 1) klimaatadaptieve drainage, waarmee water actief gestuurd een perceel kan voorzien van water in droogte en in tijden van extreme neerslag kan afvoeren (Van den Eertwegh et al., 2013), 2) lokale of regionale waterberging (Wegkamp, 2013) en 3) duurzaam bodembeheer om water beter in de bodem te kunnen laten infiltreren (Sukkel, 2010).

#### **Adaptatiemaatregelen vanuit de sector**

##### • **Verbeterde afwatering** (*Preventieve adaptatie*)

De toename aan hoosbuien in combinatie met zwaardere mechanisatie en intensieve bouwplannen is aanleiding geweest om de afwatering van percelen te verbeteren. Omdat Nederland altijd gericht is geweest op het afvoeren van water, zit bij veel akkerbouwers afwatering standaard in de bedrijfsvoering. Dit is vaak in de vorm van een drainagesysteem en een bijbehorend drainageplan (Akkerwijzer, 2010). Door implementatie van een verbeterde afwatering wordt het risico op natschade aan percelen en gewassen beperkt. Voor deze maatregel ligt de verantwoordelijkheid bij de boer om op bedrijfsniveau de afwatering te regelen.

##### • **Wateropslag op perceelsniveau** (*Preventieve adaptatie*)

Na de afgelopen jaren met extreme regenval is de urgentie voor opslag van wateroverschot, mede ook voor gebruik in de droge zomers, vergroot (Stowa Deltafact, n.d.). Door hemelwater op te vangen wordt het risico op opbrengstderving in de akkerbouw verminderd. Tevens kan deze adaptatiemaatregel het risico op de klimaatdreiging 'het wordt droger' in de akkerbouw verminderen door watergebruik in tijden van droogte voor het irrigeren van akkerbouwgewassen. Momenteel wordt naar deze maatregel in de akkerbouw onderzoek gedaan in de praktijk (bijvoorbeeld bij de Boerderij van de Toekomst, Veenkoloniën). In onderzoek wordt met name gekeken of een wateropslag op perceelsniveau is in te richten en of het voor een agrariër financieel haalbaar is (kosten & baten van de wateropslag op perceelsniveau en vergoedingen voor eventuele maatschappelijke diensten). Later zal dit onderzoek zich richten op regionale wateropslag.

---

- **Verbeterde bodemkwaliteit** (*Preventieve adaptatie*)

De laatste jaren is steeds meer focus gelegd op de bodemkwaliteit in relatie tot extreme regenval. Met name het verhogen van het organische stofgehalte in de bodem helpt om meer water in de bodem te kunnen opslaan (Groenendijk et al., 2017) en water effectiever in de bodem te infiltreren. Hiermee kan de impact van extreme regenval op akkerbouwgewassen worden verminderd. Het verbeteren van de bodemkwaliteit is een maatregel die beïnvloedbaar is door veel verschillende componenten. De impact van de maatregelen die bodemkwaliteit verbeteren is voor iedere maatregel en context van het bedrijf verschillend. De trend om de bodemkwaliteit in de akkerbouw te verbeteren is over de jaren heen echter steeds urgenter geworden. De bodem is een van de belangrijkste componenten van een akkerbouwer. Verantwoordelijkheid voor het verbeteren van de bodemkwaliteit ligt bij de akkerbouwer. Echter kunnen wel maatschappelijke vergoedingen worden toegekend aan een boer die werkt aan het verbeteren van de bodemkwaliteit. Er bestaan bijvoorbeeld vergoedingen door aan ecosysteemdiensten te doen, zoals het opslaan van koolstof in de bodem of door mee te doen aan klimaatgerelateerde bodemprojecten.

- **Greppels** (*Reactieve adaptatie*)

Op percelen worden greppels gegraven, zodat water in het geval van extreme regenval direct van het land naar het oppervlaktewater kan worden afgevoerd (Van der Boom, 2017). Deze vorm van adaptatie wordt al een lange periode in de akkerbouw toegepast om akkerbouwgewassen te ontzien van lange perioden van water op het land. In de meeste gevallen wordt deze maatregel na de extreme regenval toegepast. Door het graven van greppels en het versnellen van de afwatering wordt de impact van extreme neerslag op de akkerbouw beperkt. De agrariër is zelf verantwoordelijk voor het afwateren van de percelen.

- **Vaste rijpaden** (*Preventieve adaptatie*)

Het bewerken van het land door middel van het toepassen van vaste rijpaden om bodemverdichting te voorkomen (Van Balen, 2022; Van der Voort et al., 2020). Door de bodem te ontzien van verdichting en verslamping is de bodem in tijden van extreme regenval beter in staat water af te voeren, waarmee schade aan de akkerbouwgewassen wordt voorkomen. In de praktijk zijn er agrariërs die werken met een vast rijpadensysteem. Ook wordt er nog veel onderzoek verricht naar de effectiviteit van de maatregel op de daadwerkelijke risico-vermindering van extreme neerslag op de akkerbouw, zoals in de PPS Klimaatadaptatie Open Teelten.

- **Lichtere trekkers en bredere banden** (*Preventieve adaptatie*)

Door met lichtere trekkers het land te betreden, gebruik te maken van bredere banden of een lage bandenspanning wordt ondergrondverdichting na hevige neerslag beperkt (Verstand et al., 2020). De agrariër is zelf verantwoordelijk voor het toepassen van de maatregel om bodemverdichting te voorkomen.

## **Adaptatiemaatregelen vanuit beleid**

- **Regionaal verbeterde afwatering** (*Preventieve adaptatie*)

Verbeterde afwatering door het waterschap na een hevige regenval (voorbeelden; Waterschap Limburg, n.d.; Waterschap Rivierenland, n.d.). Deze maatregel is afhankelijk van de capaciteit van sluiten en gemalen van het waterschap. Door water sneller uit een gebied af te kunnen voeren, wordt het risico op wateroverlast in de akkerbouw verminderd.

- **Van 'water afvoeren' naar 'water vasthouden'** (*Preventieve adaptatie*)

De inrichting van het Nederlandse watersysteem is standaard ingericht om water zo snel mogelijk af te voeren om het risico op wateroverlast te beperken (Rijkswaterstaat, 2019). Echter wordt nu ingezien dat water ook alvast voor droge perioden moet worden vastgehouden. De trend is hierin dus veranderd. Verantwoordelijk voor deze transitie van water afvoeren naar water vasthouden is de gehele maatschappij. De uitvoerder hiervan is voornamelijk het waterschap.

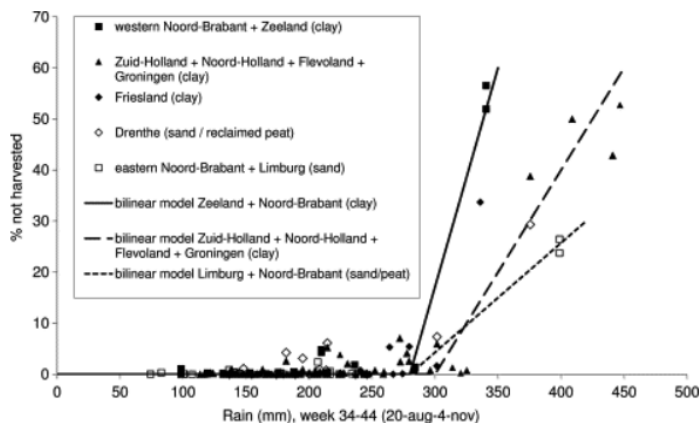
#### 4.2.6 Impact

Zoals eerder besproken kan extreme regenval een negatieve impact hebben op de groei van akkerbouwgewassen en de oogst. Hieronder wordt verder ingegaan op de impact van extreme regenval op de opbrengst.

##### Opbrengstderving aardappel en mais

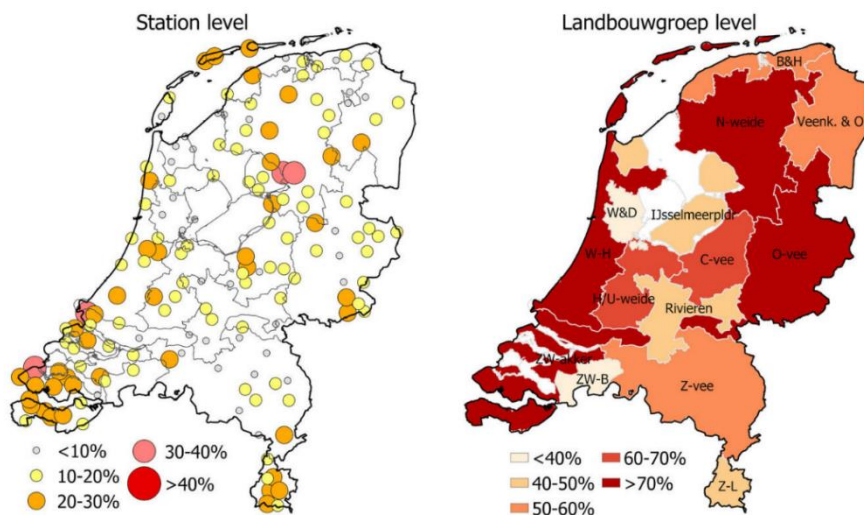
De grootste klimaatrisico's voor de aardappel zijn natte omstandigheden in het voor- en najaar, of langdurige natte perioden in de zomer. De impact is voor poot- als consumptieaardappelen vergelijkbaar. De geschatte schade van hevige regenval op aardappels ligt tussen de 25 en 75% opbrengstderving (Verhagen et al., 2018; Diogo et al., 2017; Schaap et al., 2011). Deze spreiding is afhankelijk van de context van het bedrijf waar extreme regenval tot schade leidt (o.a. bodemsoort). Al nadat bouwland met aardappels 24 uur nat is (en er anaerobe omstandigheden in de bodem zijn), kunnen aardappels beginnen met rotten (Schaap et al., 2011). In 1998 waren de omstandigheden zo slecht dat boeren hebben besloten om geen oogst binnen te halen (Haverkort, 2008). Voor mais ligt de geschatte opbrengstderving door extreme regenval tussen de 10-75% (Verhagen et al., 2018).

Figuur 32 toont het percentage consumptieaardappelen wat niet kon worden geoogst door extreme neerslag. Hierin is te zien dat vanaf ongeveer 280 mm regen in één week de oogst afneemt (grondsoortafhankelijk) en dus de impact van de extreme regenval zichtbaar wordt (Van Oort et al., 2012).



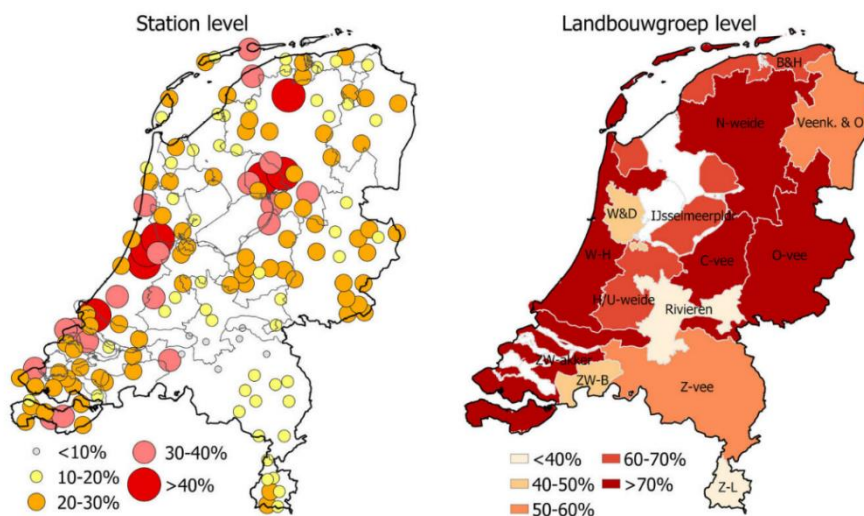
**Figuur 32** Percentage beplante oppervlakte met consumptieaardappelen dat niet is geoogst. Tijdreeks 1994-2010 (Van Oort et al., 2012).

In onderstaand Figuur 33 (eigen werk, gebaseerd op KNMI-meetgegevens) is het voorkomen van meer dan 45 mm neerslag in één dag voor het groeiseizoen mei – september in Nederland uitgezet. Deze periode is in het figuur verwerkt, omdat een goed verloop van het groeiseizoen essentieel is voor een goede ontwikkeling van akkerbouwgewassen. Extreme neerslag in het groeiseizoen kan zorgen voor knelpunten in het gewas, waaronder het rotten van gewassen. In Figuur 33 (links) is te zien dat een bui met 45 mm neerslag of meer met name op weerstations in West-Nederland en in Noordoost-Nederland zijn voorgekomen. Kijkend naar de som van gebeurtenissen van buien met meer dan 45 mm neerslag per landbouwregio (Figuur 33, rechts) is te zien dat specifiek voor Zeeland en noordoost-Nederland de kans meer dan 70% is dat een dergelijke bui ieder jaar voorgekomen zou kunnen zijn.



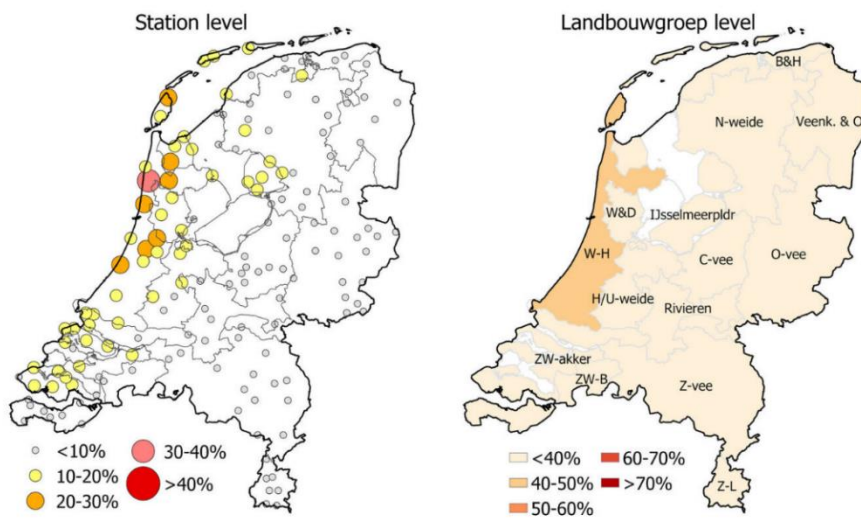
**Figuur 33** Meer dan 45 mm neerslag in één dag in de maanden mei – september tussen 1991 en 2020 per weerstation (links) en als som per landbouwregio (rechts) (eigen werk, 2023).

Kijkend naar hevige regenval verspreid over een iets langere periode (Figuur 34, rechts) zien we opnieuw dat 60 mm regen in 3 achtereenvolgende dagen in mei tot september in West-Nederland en een stukje Noord-Nederland in meer dan 70% van de jaren voorgekomen zou kunnen zijn. Op het niveau van de weerstations in Nederland (Figuur 34, links) zien we ook dat 60 mm neerslag in 3 dagen op de meeste locaties in West- en Noord-Nederland tussen de 20-30% van de jaren daadwerkelijk zijn voorgekomen.



**Figuur 34** Meer dan 60 mm regenval in drie aaneengesloten dagen in de maanden mei - september tussen 1991 en 2020, weergegeven per weerstation (links) en als som per landbouwregio (rechts) (eigen werk, 2023).

Omdat extreme neerslag vaak een knelpunt vormt tijdens de oogst is ook gekeken naar 100 mm regenval in 8 aaneengesloten dagen in september en oktober. Hier is te zien dat met name in het westen eendergelijke vorm van extreme regenval in het najaar in 40-50% van de jaren voorgekomen zou kunnen zijn (Figuur 35, rechts). Op het level van de weerstations is te zien dat 100 mm regenval in 8 dagen tussen de 10 en 40% van de jaren daadwerkelijk is voorgekomen (Figuur 35, links).



**Figuur 35** Meer dan 100 mm regenval in acht aaneengesloten dagen in de maanden september - oktober tussen 1991 en 2020.

### Vertraging van planttijd

Te veel regen in het voorjaar kan boeren dwingen om het planten van gewassen uit te stellen door te natte omstandigheden (Schaap et al., 2011). De voorbereiding voor het planten van pootaardappelen vindt plaats tussen oktober en maart. Hevige neerslag in deze periode kan ervoor zorgen dat de voorbereidingen worden vertraagd.

### Het wordt natter & het wordt warmer - verhoogde druk van ziekten en plagen

De klimaatrisico's 'het wordt natter' in combinatie met 'het wordt warmer' kan ook voor een risico in de akkerbouw zorgen. Met name langere natte omstandigheden in combinatie met hogere temperaturen kunnen het risico op ziekten en plagen in de akkerbouw doen toenemen (Verstand et al., 2021). Ziekten en plagen kunnen daarnaast ook in de bewaring voor problemen zorgen, wanneer ziektes vanuit natte omstandigheden in het teeltseizoen pas zichtbaar worden tijdens de bewaring in de winterperiode.

Daarnaast zorgt het verhoogde risico op ziekten en plagen voor de noodzaak voor gebruik van extra gewasbeschermingsmaatregelen met bijbehorende kosten voor de agrariër. In tarwe zorgen natte omstandigheden bijvoorbeeld voor extra ziektedruk van *Fusarium*, waardoor niet alleen de opbrengst afneemt, maar ook de kwaliteit van het product terugloopt (Schaap et al., 2011).

### Kennishiaat

Nog niet alle klimaatfactoren, zoals extreme regenval, hebben een solide basis in de wetenschap. Zo is er veel informatie beschikbaar over opbrengstderving door droogte, maar is er weinig beschikbaar op het gebied van extreme neerslag. Met name was informatie over de impact van extreme regenval op de aardappel beschikbaar. Van de overige gewassen is in beperkte mate kennis beschikbaar of onderzoek verricht rond het thema extreme regenval.

Ook kan extreme neerslag zeer plaatselijk voorkomen, waardoor de impact van de regenval erg binnen een regio kan verschillen (Verhagen et al., 2018).

---

#### 4.2.7 Cascade-effecten

Extreme regenval kan leiden tot verschillende cascade-effecten en problemen binnen en buiten de akkerbouw, waaronder:

##### **Bodemerrosie – bodem spoelt weg door extreme neerslag**

Intensieve regenval kan leiden tot bodemerrosie, waarbij de bovenste laag van de bodem wordt weggespoeld. Bodemerrosie van bouwland en het verlies van organisch materiaal en voedingsstoffen zijn een dreiging voor de landbouwproductiviteit. Het uitpoelen van nutriënten en bodemerrosie zijn processen die gevoelig zijn voor veranderingen in neerslagintensiteit (Eekhout et al., 2018; Pruski & Nearing, 2002).

##### **Infrastructuurschade**

Overstromingen en wateroverlast kunnen de (agrarische) infrastructuur, zoals wegen, bruggen en irrigatiesystemen, beschadigen (Schneider et al., 2006).

##### **Voorraadketenonderbrekingen**

Als gevolg van mislukte oogsten en kwaliteitsproblemen zou extreme regenval in theorie de prijzen van akkerbouwproducten kunnen beïnvloeden en/of tot problemen in de voedselvoorzieningsketen kunnen leiden. Echter zijn hier nog geen concrete voorbeelden van te vinden.

Het is belangrijk om te benadrukken dat de impact van extreme regenval sterk afhangt van de specifieke omstandigheden en locatie, evenals de voorbereidingen en aanpassingsmaatregelen die boeren nemen.

### 4.3 Eindrisico

#### 4.3.1 Mens en cultuur

In overleg met het PBL is de categorie Mens en Cultuur niet ingeschaald.

#### 4.3.2 Natuur en milieu

In overleg met het PBL is de categorie Natuur en Milieu niet ingeschaald.

#### 4.3.3 Economie

De eindimpact voor het effect van extreme neerslag op de economie in de akkerbouw konden als volgt worden ingeschaald:

- Laag: < € 100 miljoen schade
- Middel: € 100 miljoen – 1 miljard schade
- Hoog: > € 1 miljard schade

##### **Impact en waarschijnlijkheid**

Waar ligt de grens van het gewas als het gaat om extreme neerslag? De drempelwaarde wanneer er schade optreedt hangt af van het gewas. Ook kan per gewas verschillen wat de impact is van een extreme bui of juist een langere periodes van neerslag. In de factsheet is vooral ingegaan op extreme buien. Echter is de periode waarin deze bui valt van belang voor de impact op het gewas.

Figuur 23 geeft inzicht in de duur en hoeveelheid van regenbuien in de afgelopen jaren, maar effecten verschillen per seizoen. Te veel water is meestal schadelijk gedurende het hele groeiseizoen.

Adaptatie op land – boeren kunnen zelf greppels graven of drainagebuizen plaatsen. Waterschap kan water op voor de komst van een grote bui wegpompen op basis van (weers)voorspellingen.

De landbouwsector en het watersysteem in Nederland zijn ingesteld op te natte condities; zo is ons watersysteem ingericht op afvoeren. Maar als de impact (extreme neerslag) al heeft plaatsgevonden, is het

lastig voor een boer om deze te herstellen. Het kan bijvoorbeeld jaren duren voordat de bodem van bodemverdichting en -verslemping hersteld is na een extreme bui. Soms moet een boer de afweging maken tussen oogsten en daarmee de bodem verder verdichten of gewassen in de bodem laten zitten met risico op rot, zoals we in het najaar van 2023 in de praktijk hebben gezien.

### Risico's

De risicoschatting is gedaan op basis van een bui vanaf 45/50 mm (ondergrens) en 100 mm (extremere bui) in 1 dag. Een drempelwaarde van 45mm/dag is (volgens auteur van het rapport) relatief arbitrair, omdat er ook onder de drempelwaarde al schade op kan treden. Bovendien speelt bodemgesteldheid een rol in het risico op opbrengstderving door extreme neerslag.

Onderscheid tussen echt extreme neerslag en neerslaghoeveelheden die vaker voorkomen zijn daarom in de afwegingen voor de eindrisico's gemaakt. Daardoor is de risicobeoordeling gesplitst in dagneerslag vs. langere periodes van neerslag. Er is echter beperkte kennis op gewasbasis over de impacts van langere natte periodes. Er is vooral informatie over aardappel en mais in de literatuur beschikbaar, maar weinig over andere gewassen. Dit kan worden benoemd als kennishiaat.

Ook worden er grote spreidingen in opbrengstderving in de literatuur aangeduid. Bijvoorbeeld een kans op opbrengstverlies tussen de 25 - 75% voor aardappels. Deze spreiding hangt af van de duur van vernatting/neerslag, type grond en andere factoren. In mais ligt de spreiding tussen de 10 - 75% opbrengstderving door extreme neerslag.

### Eindrisico

De impact van extreme neerslag (frequentie van 1/125 jaar) is laag (Tabel 13). Daarnaast geldt de impact voor 1/20<sup>e</sup> deel van het land. Echter kan de impact hoog zijn voor een gebied of individuele boer. Voor heel Nederland is de impact (veel) lager als je dit opschaaft. De impact van vaak voorkomende buien is vaak lokaal en dus is de nationale impact laag (Tabel 14).

**Tabel 13** Historische weer-gerelateerde extreme in de Nederlandse akkerbouw, open teelten (Langeveld et al., 2003). 1: neerslag in 48 uur; 2: absolute waarde van de totale som van gemiddelde dagelijkse temperaturen lager dan 0 °C (Hermann); 3: maximaal neerslagtekort in de zomer; 4: grootte van de hagel; 5: windsnelheid (Beaufort 10).

Extreem	Schade (miljoenen Euro's)	Frequentie (per jaar)	Intensiteit	Schaal
Neerslag	210	1/125	100 mm <sup>1</sup>	1/20 van het land
Kou	45	1/25	200 °C <sup>2</sup>	Hele land
Droogte	255	1/30	325 mm <sup>3</sup>	Hele land
Hagel	3	5	>20 mm <sup>4</sup>	Lokaal
Storm	7,5	1/3	24,5-28,4 m/s <sup>5</sup>	Regionaal

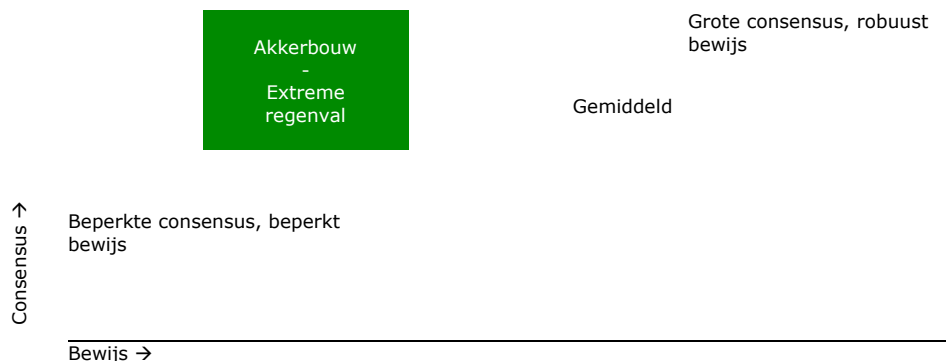
**Tabel 14** Risico-inschatting van het effect van extreme neerslag in de akkerbouw op de economie.

	Frequentie < 1x per 1000 jaar	1x per 1000 – 100 jaar	1x per 100 – 10 jaar	1x per 10 – 1 jaar	Meer dan 1x per jaar
<b>Risico</b>					
<b>Hoog</b>					
<b>Middel</b>					
<b>Laag</b>	Akkerbouw – wateroverlast 1/125 jaar				Akkerbouw – vaker voorkomende extreme buien

## Betrouwbaarheid

Er is binnen de akkerbouw veel consensus als het gaat over de impact van extreme neerslag op de akkerbouw (Tabel 15). Bewijs is echter alleen in de literatuur beschikbaar voor de hoofdgewassen: aardappel en snijmais. Bewijs naar de verdere impact van extreme neerslag op andere akkerbouwgewassen ontbreekt.

**Tabel 15** Consensus en bewijs rond extreme neerslag in de akkerbouw.



### 4.3.4 Wildcards en Kantelpunten

#### Piekbui in Limburg 2021

Door de extreme regenval in Duitsland, België en Nederland werd de wateroverlast in Limburg in 2021 veroorzaakt. De boeren in Limburg die in juli 2021 werden getroffen door overstromingen ontvangen naar verwachting ongeveer 6 miljoen euro schadevergoeding. Dit bedrag komt gemiddeld neer op iets meer dan € 18.000 euro per boer (Queisen, 2022). Hieruit valt op te maken dat de wildcard van de extreme regenval in Limburg wel degelijk een grote negatieve impact heeft gehad op de agrarische sector in het getroffen gebied.

#### Nat voorjaar 1998

1998 kende een uitzonderlijk nat voorjaar. In maart noteerde het KNMI in de Bilt een totale neerslag van 116,5 mm (KNMI, 1998). Het langjarige gemiddelde lag toen op 62,9 mm. In de maand april kwam daar nog 97,5 mm bij (tegen 51,5 mm gemiddeld). Ook was de maand juni natter dan welke juni ooit. Oktober staat op de derde plaats van natte oktobermaanden (t/m referentiejaar 1998). Niet alleen was de neerslaghoeveelheid groter dan normaal, ook was de intensiteit van de neerslag extremer. In Dirksland, op de Zuid-Hollandse eilanden, viel een bui van 134 mm: de op drie na grootste etmaalsom van de eeuw. Ook in de Noordoostpolder en Drenthe viel in oktober een bui van 75 – 90 mm. In Hoogeveen viel in oktober 291 mm neerslag. Dit betreft ongeveer 35% van de jaarsom.

## 4.4 Aanpassingen met ongewenste gevolgen en/of doodlopende adaptatiepaden

Er zijn in het kader van dit onderzoek geen aanpassingen gevonden voor extreme neerslag in de akkerbouw die zullen leiden tot ongewenste gevolgen of doodlopende adaptatiepaden. Het lijkt onwaarschijnlijk in verband met de aanhoudende droogteproblematiek dat het watersysteem verder op afvoeren wordt ingericht.

## 4.5 Aanknopingspunten voor adaptatiebeleid

Urgentie voor het nemen van adaptatiemaatregelen op bedrijfs- of sectorniveau ontstaat vaak pas nadat een extreem klimaatscenario zich in de praktijk heeft voorgedaan. Regio's waarin de afgelopen jaren ervaring is opgedaan met extreme neerslag hebben de motivatie om hiermee aan de slag te gaan. Deze motivatie kan in een gebied worden benut in het vormen van adaptatiebeleid. Het kan bijvoorbeeld worden benut door boeren praktische richtlijnen en kosten & baten van maatregelen, die schade door extreme neerslag beperken, aan te reiken. In de adaptatie naar droogte is te zien dat een dergelijke aanpak werkt (Van Duinen et al., 2015).

---

## 5 Aanvullende context

### 5.1 Bestuurlijke situatie

#### **Water en bodem sturend**

Voldoende schoon water en een gezonde bodem, waarbij water en bodem sturend zullen zijn in de ruimtelijke ordening van Nederland (Ministerie van I&W, 2022a). Het beleid inzake ruimtelijke ordening heeft invloed op de locatie waar landbouwgronden zich bevinden en hoe ze worden gebruikt. In sommige gebieden kunnen veranderingen in ruimtelijke ordening de landbouw kwetsbaarder maken voor extreme regenval, bijvoorbeeld door verstedelijking die waterafvoermogelijkheden beperkt. Uiteindelijk zal water en bodem sturend betekenen dat de impacts van extreme regenval op akkerbouwgebieden sturend worden voor de ruimtelijke ordening van deze akkerbouwgebieden in Nederland.

#### **Beleidsstafel wateroverlast en hoogwater**

Na de wateroverlast in Limburg, 2021, heeft het ministerie van I&W een eindadvies gestuurd aan de beleidsstafel wateroverlast en hoogwater (Ministerie van I&W, 2022b). In dit advies wordt gestuurd op extra voorbereidingen die wij in Nederland kunnen doen om ervoor te zorgen dat een dergelijke wateroverlast niet nog eens plaatsvindt. Hieronder de zeven hoofdpunten:

- Iedereen waterbewust en zelfredzaam
- Sturing op het gehele stroomgebied, inclusief verbeterde sponswerking en ruimte voor het watersysteem
- Aanvullende bescherming tegen wateroverlast
- Crisisbeheersing
- Klimaatrobuust herstel van schade
- Samenwerking aangaan met buurlanden voor grensoverschrijdende wateren
- Integrale oplossingen tegen wateroverlast

#### **Deltaprogramma Ruimtelijke Adaptatie (2018)**

Het Nederlandse overheidsinitiatief, genaamd het Deltaplan Ruimtelijke Adaptatie, heeft tot doel om de impact van wateroverlast, hittestress, droogte en overstromingen te verminderen. Het hoofddoel van het plan is om Nederland zodanig te ontwikkelen dat het in 2050 bestand is tegen klimaatverandering en klimaatgerelateerde uitdagingen, zoals extreme regenval.

#### **Actieprogramma Klimaatadaptatie Landbouw**

Het Actieprogramma Klimaatadaptatie Landbouw beschrijft maatregelen die de landbouwsector kan nemen om zich voor te bereiden op de uitdagingen van extreem weer en ander klimaatgerelateerde risico's (Ministerie van LNV, 2020). Deze inspanning vereist samenwerking met diverse partijen, waaronder waterschappen. Het actieprogramma richt zich op vijf pijlers met bijbehorende acties:

1. Het watersysteem: o.a. ontwikkeling van een waterbehoefteviewer, beoordeling van droogtemaatregelen uit 2018, onderzoek naar de noodzaak van nieuwe watergeefsystemen (zoals druppelirrigatie), risicodialogen met belanghebbenden en bijeenkomsten over het landelijk gebied;
2. Bodembeheer: het meetbaar maken van duurzaam beheer van landbouwbodems en klimaatadaptatie in de bodemtop van 2019;
3. Gewassen en teeltmethoden: ontwikkeling en behoud van uitgangsmateriaal, voortbouwen op de kennis over adaptatie teeltsystemen, integrale verbetering van gewassen en teeltsystemen, zuiniger omgaan met water en een verkenning van regelgeving over beschermingsmaatregelen;
4. Veehouderij: programma van eisen over klimaatadaptatie in de veehouderij;
5. Bijkomende ondersteuning: regionale aanpak, betere benutting van kennis van boeren en waterschappen en de integratie van klimaatadaptatie in de landbouw in ruimtelijk beleid.

Voorgenoemde pijlers worden door middel van zes instrumenten vanuit de Omgevingswet, kennis en innovatie (door projecten) en het vormen van risicomanagement doorgevoerd naar de praktijk.

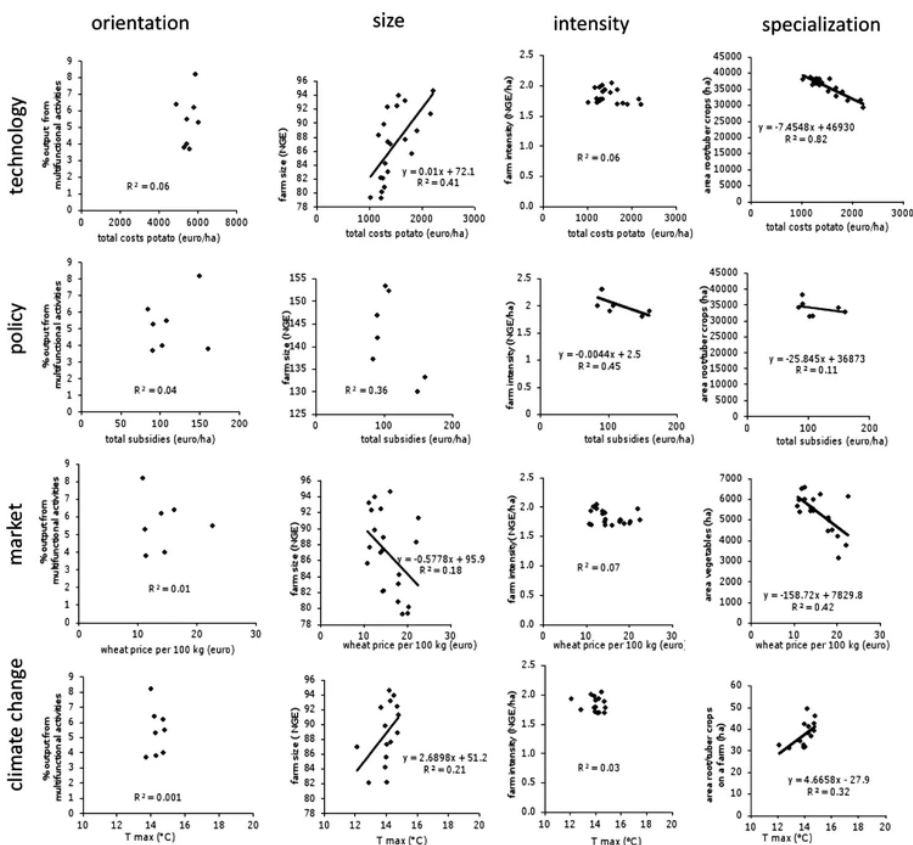
## Klimaatakkoord van Parijs – European Green Deal ([link](#)) – Farm to Fork strategy ([link](#))

De lidstaten van de EU hebben afgesproken dat Europa in 2050 klimaatneutraal is. Daarvoor ligt o.a. een grote opgave voor de landbouwsector.

In de European Green Deal en de Farm to Fork Strategie worden ambities voor een klimaatneutrale landbouw uitgesproken, waarbij klimaatmitigatie en -adaptatie, biodiversiteit en voedselzekerheid focus hebben. Droogte wordt hier in relatie tot voedselzekerheid genoemd als belangrijke pijler waar inzet op nodig is. Door deze extra inzet vanuit internationaal beleid kan de akkerbouwsector in Nederland in potentie meer onderzoek worden verricht en maatregelen worden uitgerold die de impact van droogte verminderen. Op dit moment stelt de Farm to Fork Strategie niet-verplichte doelstellingen vast om het gebruik van chemische middelen te verminderen en het biologische landbouwareaal te vergroten. Klimaatadaptatie-impact zal dus moeten komen uit het Gemeenschappelijk Landbouwbeleid (GLB) (Marek & Tosun, 2023) en eigen beleid van LNV. Nederland moet het Ministerie van IenW, bevoegd met het beleidsartikel klimaatadaptatie, laten meedenken met het GLB.

## 5.2 Samenhang met andere transitieën en beleid

De vorm waarin land- en tuinbouw bedreven wordt hangt naast klimaatrisico's samen met marktvloeden, beleidskaders (en subsidies) en technologische vooruitgang. Onderstaande Figuur 36 uit Mandryk et al. (2012) schetst op basis van historische trendanalyse in Flevoland en toekomstscenario de waarschijnlijke trends die we zullen waarnemen in de landbouw mocht huidig beleid en sturende trends hetzelfde blijven. Dit figuur plaatst de verschillende sturingsmechanismen op verticale as (technology, policy, etc.) en de verwachte ontwikkeling op de horizontale as (orientation, size, etc.) Iedere driver heeft zijn eigen effect op de toekomstige vorm van Nederlandse landbouwbedrijven. De voorgestelde trends zijn niet persé wat wenselijk is, en zijn dikwijls tegenstrijdig. Transitieën en beleidskeuzes zullen deze trends kunnen beïnvloeden. Keuzes omtrent precisie landbouw, kringlooplandbouw, energie transitie, voedselbeleid, agrarische natuursubsidies etc. zullen onderstaande trends kunnen veranderen. Klimaatverandering zal sturen op schaalvergroting en specialisatie, maar deze trends kunnen bijvoorbeeld veranderd worden door technologie (die bijvoorbeeld kleinschalige boerderijen weer rendabeler maakt door arbeidskosten te drukken).



**Figuur 36** Relaties tussen verschillende factoren en dimensies in de landbouw (Mandryk et al., 2012).

---

## Technologische en wetenschappelijke ontwikkelingen

Onderzoek en technologische innovaties kunnen de landbouwsector helpen zich aan te passen aan extreme weersomstandigheden. Bijvoorbeeld, geavanceerde weersvoorspellingen en precisielandbouwtechnieken kunnen boeren helpen zich voor te bereiden en hun gewassen te beschermen tegen overmatige neerslag.

## 5.3 Rechtvaardigheid

### Drinkwater zal voor gaan

De vraag naar drinkwater stijgt (en wordt verwacht nog te stijgen). In Nederland zijn we druk bezig aanvullende strategische grondwatervoorraden aan te leggen. Drinkwaterbedrijven hebben een leveringsplicht; in tijden van droogte staat drinkwater in de verdringingsreeks één categorie hoger dan de tijdelijke berekening van kapitaalintensieve gewassen en twee categorieën hoger dan landbouw in zijn algemeenheid. Bij de aanleg van nieuwe winputten komt het voor dat er schade optreedt bij de tuinbouw, bijvoorbeeld bij de fruitteelt in de Betuwe (van der Maas & op t Hof (2006). In 2023 was er een massaclaim van boeren die compensatie zochten voor droogteschade aan hun gewassen. Boeren die de massaclaim onderschreven vinden de schaderegeling te sober (Nieuwe Oogst, 2023). De drinkwaterbehoefte zal waarschijnlijk voorrang blijven krijgen middels de verdringingsreeks, maar de vraag is hoe de lasten gedragen gaan worden: is de compensatie eerlijk, moeten boeren veranderen/verplaatsen, etc.?

### Zeeland, kwetsbare regio.

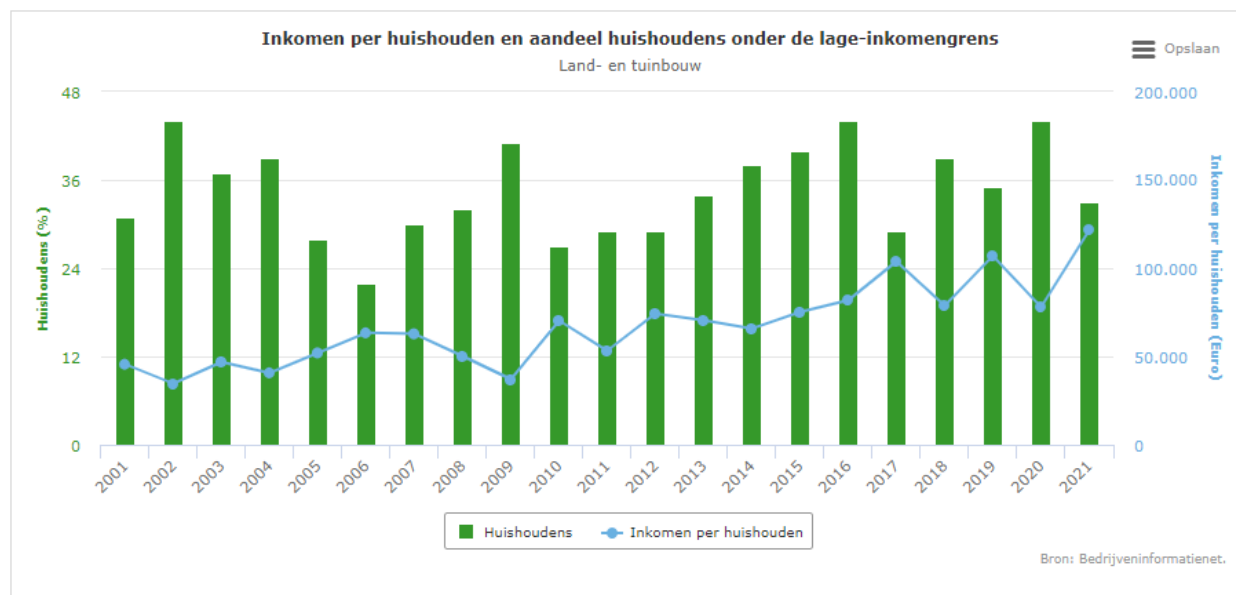
De fruitteelt in Zeeland is kwetsbaar. De zoutintrusie i.c.m. beperkte zoetwaterinvoer maakt het goed mogelijk dat de hemelwaterafhankelijke boeren zullen stoppen, en wellicht de hele sector zal verdwijnen. Gebeurt dit, dan zal de lokale economie schade oplopen en het leef en woonklimaat van Zeeland veranderen.

### Noord-Brabant, kwetsbare regio

De tuinbouw op de droge zandgronden in Brabant kennen een relatief hoge blootstelling aan droogte en een relatief hoge kwetsbaarheid voor droogte. De gevolgen van droogte kunnen hier disproportioneel landen. Kosten voor adaptatie en met name waterbeheer zullen lokaal gedragen moeten worden, de lasten verdeeld via het waterschap.

### Kleinschalig boeren onder de armoedegrens

Bedrijven met jaarinkomens onder de armoedegrens bezuinigen. Gezinsbestedingen lagen net na de eeuwwisseling gemiddeld 7.000 euro lager dan op bedrijven met gemiddelde inkomens boven de 25.000 euro (Geerling-Eiff & van der Meulen, 2008). Het percentage huishoudens in de land- en tuinbouwsector met een laag jaarinkomen schommelt al jaren tussen de 20 en 40% (Figuur 37). Deze slechte jaren moeten gecompenseerd worden door goed jaren. Het zijn vooral de kleinschalige boeren die dat niet kunnen hebben. Van de huishoudens in de groep kleinste bedrijven (<100.000 euro SO) blijft over de gehele periode 2017-2021 jaarlijks ruim 60% onder de lage-inkomensgrens (Agrimatie, 2022b). De vraag is of zij kosten voor adaptatie kunnen dragen en of dat rechtvaardig is (zijn de kleine bedrijven de grote CO<sub>2</sub> vervuilers?).



**Figuur 37** *Inkomen per huishouden en aandeel huishoudens onder de lage inkomstengrens. Gespecificeerd op huishoudens in de land- en tuinbouw.*

### Aandeel vrouwen

Het percentage vrouwelijke opvolgers is ongeveer twee keer zo hoog als het percentage vrouwelijke bedrijfsleiders; er komen meer vrouwen in de akkerbouw. Bij multifunctionele bedrijven (bedrijven die en component zorg, natuur of recreatie kennen) zijn er relatief meer vrouwelijke bedrijfshoofden (Stokkers et al., 2010). Tegelijkertijd drijft klimaatverandering bedrijven naar schaalvergroting en specialisatie (Mandryk et al., 2012). Het zou dus kunnen zijn dat klimaatverandering boerenbedrijven stimuleert die vaker door mannen geleid wordt. Terwijl diversificatie (zowel op gebiedsniveau (Reidsma & Ewert, 2008) als op bedrijfs- als perceelsniveau (Reidsma et al., 2010) tegelijkertijd ook een adaptatiestrategie is. Stakeholders in Flevoland gaven aan dat de meeste boeren in Flevoland hun activiteiten zullen veranderen als ze er geld mee kunnen verdienen (Mandryk et al., 2012); hierin is dus kans voor het beleid om multifunctionaliteit te belonen en bijvoorbeeld landschapsdiensten goed te verwaarderen.

### Mondiale voedselzekerheid; landbouwonderzoek prioriteert niet op voedselzekerheid

Tussen 2005 en het begin van de economische crisis van 2008 stegen de wereldwijde voedselprijzen. Toen in die periode de voedselprijzen in reële termen met gemiddeld 5,6% stegen nam het aantal mensen in extreme armoede op mondiaal niveau met 1,7% toe; er is in dit geval sprake van geografisch variatie, omdat een dergelijke prijsstijging in Afrika kan leiden tot een toename van 6% aan mensen in extreme armoede. Deze landen/groepen zijn dermate kwetsbaar dat het cascade effect van hogere prijzen maar matig opgevangen kan worden (er is sprake van prijselasticiteit, maar nog steeds zullen velen geraakt worden). De Hoyos & Medvedev (2011). Het precieze effect van een regionale droogte (Nederland) op enkel is onbekend.

Het is raadzaam om minder onderzochte (juist de voedingsrijke) gewassen verder te onderzoeken, met de nadruk op de beoordeling van hun vermogen tot aanpassing aan klimaatverandering. Klimaatadaptatiebeleid kan overwegen om middelen te verschuiven van gewassen met een laag nutriëntengehalte, die kwetsbaar zouden kunnen zijn voor klimaatverandering. Dit dient uiteraard rekening te houden met andere maatschappelijke opgaven (eiwittransitie). Toekomstgericht onderzoek zou fruit, groenten en overige ondergewaardeerde gewassen moeten omvatten, juist om voedselzekerheid te kunnen garanderen in een veranderend klimaat.

---

## 5.4 Kennishiaten

### **Impact op sectorniveau**

Zoals al eerder besproken is de vertaling van waarschijnlijkheid van de klimaatdreigingen naar de waarschijnlijkheid van eindimpacts niet gemakkelijk. We weten dat bij gebeurtenissen die de drempelwaarden van gewassen over- of onderschrijden schade aan de landbouwgewassen op de locatie van de gebeurtenis waarschijnlijk is. De uiteindelijke impact op sectorniveau is, nog afgezien van het schaaleffect, ook afhankelijk van een groot aantal andere factoren, waaronder lokale omstandigheden, condities tijdens de rest van het groeiseizoen (zowel voor als na een gebeurtenis), en maatregelen die boeren al dan niet kunnen nemen. De economische impacts hangen vaak samen met het prijsniveau die bij een lagere opbrengst juist hoger kan uitvallen; daarnaast kunnen ook internationale ontwikkelingen (al dan niet klimaat-gerelateerd) een rol spelen.

### **Onzekerheid drempelwaarden akkerbouw en gebrek drempelwaarden tuinbouw; verschil beschikbare data droogte en extreme regenval**

Van Oort (2023) kon bij 30% van de gevallen van afwijkende gewasopbrengsten voor akkerbouwgewassen, waarbij het er geen weersextremen (te droog of te nat) voorkwamen, geen verklaring vinden. Het beperken van deze onverklaarde 30% van de gevallen kan als leidraad dienen voor verder onderzoek. De onderzoekers leggen met name nadruk op verdere kwantitatieve verfijning: veroorzaakt een enkele extreem natte dag al grote schade? Een natte week? Vier natte weken? En maakt het uit in welke groeistadium het extreem optreedt? Dit geldt in speciale mate voor de tuinbouw, waar drempelwaardes nog minder bekend zijn dan voor de akkerbouw.

De gevoeligheid van tuinbouwgewassen voor droogte is een urgent kennishiaat. De grote diversiteit aan gewassen i.c.m. diverse teeltsystemen, die tot dusver hebben kunnen gedijen op irrigatie, creëren een grote blinde vlek op het gebied van droogteschade. De enorme verscheidenheid aan gewassen maakt onderzoek doen naar de sector als geheel intensief.

Tijdens het schrijven van de factsheet over extreme regenval en het risico op de akkerbouw viel op dat hier een minder concrete wetenschappelijke basis onder ligt. Voor droogte zijn veel verschillende rapporten gevonden (zowel op nationaal als internationaal niveau) met daarin specifieke effecten op de meest voorkomende akkerbouwgewassen. De impact van droogte op gewasopbrengsten is een vaker onderwerp van onderzoek dan de impact van extreme neerslag (Porter et al., 2014). Echter wordt bij extreme regenval enkel gesproken van een 'negatief effect'. Hoe groot dat effect is op bedrijfsniveau is niet duidelijk. Enkel van aardappel en mais zijn concrete opbrengstdervingen gevonden. Dit kennishiaat wordt ook kort in de factsheet over extreme regenval behandeld.

---

# Literatuur

- Afriani, van der Wal & Hoeksma (2020). De landbouw in de Nederlandse economie. Centraal Bureau voor de Statistiek. 7-5-2020. Toegankelijk via: <https://www.cbs.nl/nl-nl/longread/de-nederlandse-economie/2020/de-landbouw-in-de-nederlandse-economie?onepage=true>
- Afshar, M. H., Bulut, B., Duzenli, E., Amjad, M., & Yilmaz, M. T. (2022). Global spatiotemporal consistency between meteorological and soil moisture drought indices. *Agricultural and Forest Meteorology*, 316, 108848.
- Agrimatie (2022a). Productiewaarde primaire sector - Land- en tuinbouw. Toegankelijk via: <https://agrimatie.nl/ThemaResultaat.aspx?subpubID=2232&themaID=2280&indicatorID=2087&sectorID=2243>
- Agrimatie (2022b). Aandeel huishoudens onder de lage-inkomensgrens in 2021 sterk gedaald naar 33%. Toegankelijk via: <https://agrimatie.nl/ThemaResultaat.aspx?subpubID=2232&themaID=2272&indicatorID=2059>
- Agrimatie (2023a). Bloembollenareaal. Toegankelijk via: <https://agrimatie.nl/SectorResultaat.aspx?subpubID=2232&sectorID=2234>
- Agrimatie (2023b). Watergebruik door de land- en tuinbouw daalt fors in nat 2021. Toegankelijk via: <https://agrimatie.nl/ThemaResultaat.aspx?subpubID=2232&themaID=2288>
- Akkerwijzer (2010). Drainageplan is veel maatwerk. Gepubliceerd op 30 juni 2010.
- Assinck, F.B.T. (n.d.). Grondsoortenkaart. Beschikbaar via de website: <https://www.wur.nl/nl/show/grondsoortenkaart.htm>
- Baier, W. (1965). The interrelationship of meteorological factors, soil moisture and plant growth: A review. *International Journal of Biometeorology*, 9, 5-20.
- Berkhout, P., van Asseldonk, M., van der Meer, R., van der Meulen, H., & Silvis, H. (2016). Evaluatie Regeling brede weersverzekering (No. 2016-070). Wageningen Economic Research.
- Berkhout, van der Meulen, Ramaekers (2022). Staat van Landbouw en Voedsel; Editie 2021. Wageningen/Heerlen/Den Haag, Wageningen Economic Research en Centraal Bureau voor de Statistiek, Rapport 2022-013.
- Beter Bodembeheer (2023). PPS Beter Bodembeheer. Ministerie van LNV, BO Akkerbouw, Topsector Agri & Food. Via de website: [beterbodembeheer.nl/nl/beterbodembeheer.htm](https://beterbodembeheer.nl/nl/beterbodembeheer.htm)
- Bijker, J.W., Verstand, D., 2020. Toepassing klimaatstresstest open teelten. Wageningen Research, Rapport WPR-853.
- Bisbis, M. B., Gruda, N., & Blanke, M. (2018). Potential impacts of climate change on vegetable production and product quality—A review. *Journal of Cleaner Production*, 170, 1602-1620.
- Bodemkundige Dienst van België & Grondbank (n.d.). Factsheet – Bodemverdichting en grondverzet.
- Boesveld, H., Boshuizen, A., & van der Maas, M. P. (2006). Regulated deficit irrigation in fruit crops; better yield with less water. In Transactions 19th International congress on irrigation and drainage, Use of Water and Land for Food Security and Environmental Sustainability, Beijing, China, 10-18 September 2005 (pp. 5-6).
- Brakkee, E., Van Huijgevoort, M. H., & Bartholomeus, R. P. (2022). Improved understanding of regional groundwater drought development through time series modelling: the 2018–2019 drought in the Netherlands. *Hydrology and Earth System Sciences*, 26(3), 551-569.
- Bus, C. B., Van Loon, C. D., & Veerman, A. (2003). Teelt van pootaardappelen. Wageningen: Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V
- Cañizares, A. O., Cantos, J. O., & Baños Castiñeira, C. J. (2022). The Effects of Climate Change on the Tagus–Segura Transfer: Diagnosis of the Water Balance in the Vega Baja del Segura (Alicante, Spain). *Water*, 14(13), 2023.
- Caretta, M.A., A. Mukherji, M. Arfanuzzaman, R.A. Betts, A. Gelfan, Y. Hirabayashi, T.K. Lissner, J. Liu, E. Lopez Gunn, R. Morgan, S. Mwanga, and S. Supratid (2022). Water. In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem,

- B. Rama (eds.)). Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 551–712, doi:10.1017/9781009325844.006.
- Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS) (2017). Fruitteelt; oppervlakte fruitboomgaarden, soort fruit 1992-2016. Toegankelijk via: <https://opendata.cbs.nl/#/CBS/nl/dataset/70671ned/table>
- Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS) (2020a). De landbouw in de Nederlandse economie. Via de website: [cbs.nl/nl-nl/longread/de-nederlandse-economie/2020/de-landbouw-in-de-nederlandse-economie?onepage=true](https://cbs.nl/nl-nl/longread/de-nederlandse-economie/2020/de-landbouw-in-de-nederlandse-economie?onepage=true)
- Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS) (2020b). Feiten en cijfers over de landbouw. Beschikbaar via: <https://www.cbs.nl/nl-nl/achtergrond/2020/19/feiten-en-cijfers-over-de-landbouw#:~:text=In%202018%20waren%20er%2044,4%20duizend%20door%20zelfstandigen.>
- Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS) (2023a). Akkerbouwgewassen; productie naar regio 1994-2023. Beschikbaar via: <https://opendata.cbs.nl/#/CBS/nl/dataset/7100oogs/table>
- Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS) (2023b). Groenteteelt; oogst en teeltoppervlakte per groentesoort. Toegankelijk via: <https://www.cbs.nl/nl-nl/cijfers/detail/37738?q=hectares%20gewas>
- Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS) (2023c). Huishoudens nu. Hoeveel huishoudens zijn er in Nederland? Toegankelijk via: <https://www.cbs.nl/nl-nl/visualisaties/dashboard-bevolking/woonsituatie/huishoudens-nu#:~:text=Gemiddeld%20wonen%20er%202%2C12,sneller%20gegroeid%20dan%20de%20bevolking.>
- Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS) (2023d). Landbouw; gewassen, dieren, grondgebruik en arbeid op nationaal niveau. StatLine. Versie 31 augustus 2023.
- Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS) (n.d.) Groepen van Landbouwgebieden. Toegankelijk via: <https://www.cbs.nl/nl-nl/onze-diensten/methoden/begrippen/groep-van-landbouwgebieden>
- Compendium voor de Leefomgeving (CLO) (2020). Neerslagextremen in Nederland, 1910-2019. *Op: www.Clo.nl*, 13.
- Compendium voor de Leefomgeving (CLO) (2023a). Neerslagextremen in Nederland, 1910-2022. Via de website: [klimaatweb.nl/nieuws/neerslagextremen-in-nederland-1910-2022/#:~:text=Extreme%20neerslag%20in%20Nederland%20is,sinds%201951%20toegenomen%20met%2085%25.](https://klimaatweb.nl/nieuws/neerslagextremen-in-nederland-1910-2022/#:~:text=Extreme%20neerslag%20in%20Nederland%20is,sinds%201951%20toegenomen%20met%2085%25.)
- Compendium voor de Leefomgeving (CLO) (2023b). Jaarlijkse hoeveelheid neerslag in Nederland, 1910 – 2022. 15 augustus 2023. Via de website: <https://www.clo.nl/indicatoren/nl0508-jaarlijkse-hoeveelheid-neerslag-in-nederland>
- Daghagh Yazd, S., Wheeler, S. A., & Zuo, A. (2019). Key risk factors affecting farmers' mental health: A systematic review. *International journal of environmental research and public health*, 16(23), 4849.
- Daryanto, S., Wang, L., & Jacinthe, P. A. (2016). Global synthesis of drought effects on maize and wheat production. *PloS one*, 11(5), e0156362.
- De Boer, H. (2002). Alternatieve voedergrassen: perspectief in specifieke situaties. *Praktijkkompas. Rundvee*, 16(6), 24-25.
- De Haan, M., Verloop, K., & Hilhorst, G. (2019). *Droogte op Koeien & Kansen-bedrijven in 2018: praktijkervaringen* (No. 84). Wageningen Livestock Research.
- De Hoyos, R. E., & Medvedev, D. (2011). Poverty effects of higher food prices: a global perspective. *Review of Development Economics*, 15(3), 387-402.
- De Jong, F. M., De Snoo, G. R., & Looij, T. P. (2001). Trends of pesticide use in The Netherlands. *Mededelingen (Rijksuniversiteit te Gent. Fakulteit van de Landbouwkundige en Toegepaste Biologische Wetenschappen)*, 66(2b), 823-834.
- De Lijster, E., van de Akker, J., Visser, A., Allema, B., van der Wal, A., & Dijkman, W. (2016). *Waarderen van bodemwatermaatregelen*. CLM Onderzoek en Advies.
- De Louw, P., Kaandorp, V., Massop, H., & Veldhuizen, A. (2020). Berekening: Deltafact. *Stowa*.
- De Wit, Swart, Luijendijk (2009). Klimaat en landbouw Noord-Nederland: 'effecten van extremen'; Verslag van onderzoeksfase 2: de invloed van extreme weersomstandigheden op gewassen en landbouwhuisdieren en verkenning van mogelijke adaptatiemaatregelen. Grontmij 245375
- Delsman, J., van Boekel, E., 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 (No. 2018-13). *Stowa*.

- Diogo, V., Reidsma, P., Schaap, B., Andree, B. P. J., & Koomen, E. (2017). Assessing local and regional economic impacts of climatic extremes and feasibility of adaptation measures in Dutch arable farming systems. *Agricultural Systems*, 157, 216-229.
- Douville, H., K. Raghavan, J. Renwick, R.P. Allan, P.A. Arias, M. Barlow, R. Cerezo-Mota, A. Cherchi, T.Y. Gan, J. Gergis, D. Jiang, A. Khan, W. Pokam Mba, D. Rosenfeld, J. Tierney, and O. Zolina (2021). Water Cycle Changes. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1055-1210, doi:10.1017/9781009157896.010.
- DroogteNL (n.d.). DroogteNL – powered by FutureWater. Beschikbaar via de website; [Futurewater.nl/droogtenl/](https://futurewater.nl/droogtenl/)
- Eekhout, J. P., Hunink, J. E., Terink, W., & de Vente, J. (2018). Why increased extreme precipitation under climate change negatively affects water security. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(11), 5935-5946.
- Evenhuis, A., Beltman, W. H. J., van der Weide, R. Y., van Zeeland, M. G., Schepers, H. T. A. M., & Deneer, J. W. (2012). *Emissie door oppervlakkige afspoeling: relevantie en preventie: tussenrapportage 2011*. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving BV.
- Ferguson, G., & Gleeson, T. (2012). Vulnerability of coastal aquifers to groundwater use and climate change. *Nature climate change*, 2(5), 342-345.
- FutureWater (2023). Platform DroogteNL powered by FutureWater. Beschikbaar via de website: <https://www.futurewater.nl/droogtenl/>
- Geerling-Eiff, F. A., & Van der Meulen, H. A. B. (2008). Bedrijfsbeëindiging in de land- en tuinbouw: op een kruispunt en dan?. LEI.
- Groenendijk, P., Schipper, P., Hendriks, R., van den Akker, J., & Heinen, M. (2017). *Effecten van verbetering bodemkwaliteit op waterhuishouding en waterkwaliteit: deelstudies Goede Grond voor een duurzaam watersysteem* (No. 2811). Wageningen Environmental Research.
- Haile, M. G., Wossen, T., Tesfaye, K., & von Braun, J. (2017). Impact of climate change, weather extremes, and price risk on global food supply. *Economics of Disasters and Climate Change*, 1, 55-75.
- Hansen, K., & Heinse, R. (2022). Water Resilience in Agriculture. In *Encyclopedia of Smart Agriculture Technologies* (pp. 1-8). Cham: Springer International Publishing.
- Haverkort, A. J. (2008). Personal communications with plant production ecologist at Wageningen University & Research Centre. Wageningen.
- Haverkort, A. J., & Goudriaan, J. (1993). Fysiologische aanpassing aan droogte: perspectieven voor verbetering van droogtetolerantie. In *Watervoorziening en gewasproductie* (No. 8, pp. 49-65). CABO-DLO.
- Hendriks, D. M. D., Kuijper, M. J. M., & Van Ek, R. (2014). Groundwater impact on environmental flow needs of streams in sandy catchments in the Netherlands. *Hydrological Sciences Journal*, 59(3-4), 562-577.
- IPCC (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- IPCC (2022): *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp., doi:10.1017/9781009325844.
- IRS (2020). Complete Teelthandleiding.
- Juroszek, P., & von Tiedemann, A. (2013, December). Climate change and potential future risks through wheat diseases: A review. *European Journal of Plant Pathology*. Springer. <https://doi.org/10.1007/s10658-012-0144-9>
- Kim, M., Chemere, B., & Sung, K. (2019). Effect of heavy rainfall events on the dry matter yield trend of whole crop maize (*Zea mays* L.). *Agriculture*, 9(4), 75.
- Klijn, F., van Velzen, E., ter Maat, J., Hunink, J., Baarse, G., Beumer, V., ... & Zwolsman, G. J. (2012). *Zoetwatervoorziening in Nederland: aangescherpte landelijke knelpuntenanalyse 21e eeuw*. Deltares.

- Klijn, F., Hegnauer, M., Beersma, J., & Sperna-Weiland, F. (2015). Wat betekenen de nieuwe klimaatscenario's voor de rivierafvoeren van Rijn en Maas. Samenvatting van onderzoek met GRADE naar implicaties van nieuwe klimaatprojecties voor rivierafvoeren. Deltares, KNMI, Ministerie van Infrastructuur en Milieu (In Dutch).
- Klimaat-effectatlas (2017). Kaart – risico op ondergrondverdichting. Via de website: <https://www.klimaat-effectatlas.nl/nl/>
- KNMI (1998). Jaarverslag 1998 - In het teken van regen.
- KNMI (2003, 10 15). 2003: Droogte in Nederland en record lage waterstanden. Retrieved from knmi.nl: <https://www.knmi.nl/over-het-knmi/nieuws/2003-droogte-in-nederland-en-record-lage-waterstanden>
- KNMI (2014). KNMI'14-klimaatscenario's. Via de website: [knmi.nl/kennis-en-datacentrum/achtergrond/knmi-14-klimaatscenario-s](https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/achtergrond/knmi-14-klimaatscenario-s)
- KNMI (2018a). Attributie van de droogte van 2018 in Nederland. Via de website: [knmi.nl/kennis-en-datacentrum/achtergrond/attributie-van-de-droogte-van-2018-in-nederland](https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/achtergrond/attributie-van-de-droogte-van-2018-in-nederland)
- KNMI (2018b). De droogte van 2018. Een analyse op basis van het potentiële neerslagtekort.
- KNMI (2019, 01 07). Jaar 2018. Retrieved from knmi.nl: <https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/maand-en-seizoensoverzichten/2018/jaar>
- KNMI (2021, 06 20). Recente droogtes in historisch perspectief. Opgeroepen op 09 11, 2023, van knmi.nl: <https://www.knmi.nl/over-het-knmi/nieuws/recente-droogtes-in-historisch-perspectief>
- KNMI (2021, 09 21). Noordzee als warmtebatterij voor najaarsbuien.
- KNMI (2022a). KNMI jaaroverzicht 2022. 2022: warmer, droger, zonniger.
- KNMI (2022b). Historisch verloop neerslagtekort – 2022. Via de website: <https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/geografische-overzichten/historisch-neerslagtekort>
- KNMI (2023a). KNMI'23-klimaatscenario's voor Nederland, KNMI, De Bilt, KNMI-Publicatie 23-03.
- KNMI (2023b). 2023: natste en warmste jaar sinds het begin van de meting. Via de website: <https://www.knmi.nl/over-het-knmi/nieuws/weeroverzicht-2023#:~:text=Dit%20jaar%20was%20het%20natste,normaal%20is%20dat%20795%20mm.>
- KNMI (n.d.). Klimaatdashboard. Via de website: <https://www.knmi.nl/klimaatdashboard>
- KNMI (n.d.). Uitleg over Droogte. Via de website: [knmi.nl/kennis-en-datacentrum/uitleg/droogte](https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/uitleg/droogte).
- KNMI (n.d.). Uitleg over extreme neerslag. Via de website: [KNMI - Extreme neerslag](https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/uitleg/extreme-neerslag)
- Kranendonk, Verstand, de Boer (2022). Inventarisatie Actieprogramma klimaatadaptatie landbouw; risico's, knelpunten en kansen; de stand van zaken. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 3175, 78 blz.; 7 fig.; 49 ref.
- Kuwayama, Y., Thompson, A., Bernknopf, R., Zaitchik, B., & Vail, P. (2019). Estimating the impact of drought on agriculture using the US Drought Monitor. *American Journal of Agricultural Economics*, 101(1), 193-210.
- KWR (2021). Trendalert; de Rijn als regenrivier. BTO-rapport 2021.058. Toegankelijk via: <https://edepot.wur.nl/630174>
- Langeveld, J. W. A., Verhagen, A., Van Asseldonk, M. A. P. M., & Metselaar, K. (2003). Coping with increasing extremes in agriculture: an exploration for the Netherlands. *World resource review*, 15, 446-461.
- Lenkens, H. (2017). Waterschade 2016: De Dommel keert uit aan 41 gedupeerden. Akkerwijzer 23 oktober 2017.
- Mandryk, M., Reidsma, P., & van Ittersum, M. K. (2012). Scenarios of long-term farm structural change for application in climate change impact assessment. *Landscape Ecology*, 27, 509-527.
- Manners, R., & van Etten, J. (2018). Are agricultural researchers working on the right crops to enable food and nutrition security under future climates?. *Global Environmental Change*, 53, 182-194.
- Marek, C., & Tosun, J. (2023). Tackling the Environmental and Climate Footprint of Food Systems: How "Transformative" Is the EU's Farm to Fork Strategy?. In *Sustainability Transformations, Social Transitions and Environmental Accountabilities* (pp. 265-297). Cham: Springer International Publishing.
- Marston, L., & Cai, X. (2016). An overview of water reallocation and the barriers to its implementation. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 3(5), 658-677.
- Massop, H. T. L., Clement, J., & Schuiling, C. (2014). *Plassen op het land: een landsdekkende kaart van potentiële risicolocaties voor oppervlakkige afspoeling* (No. 2546). Alterra.
- Mayhoff (1906). Pliny the Elder, The Natural History. BOOK XXXI. REMEDIES DERIVED FROM THE AQUATIC PRODUCTION CHAP. 1. (1.)—REMARKABLE FACTS CONNECTED WITH WATER. Toegankelijk via: <http://data.perseus.org/citations/urn:cts:latinLit:phi0978.phi001.perseus-eng1:31>

- Ministerie van I&W (2022a). Kamerbrief over rol Water en Bodem bij ruimtelijke ordening. Kamerstuk van 25 november 2022.
- Ministerie van Infrastructuur & Waterstaat (I&W) (2022b). Kamerbrief bij eindadvies Beleidstafel wateroverlast en hoogwater. Kamerstuk van 19 december 2022.
- Ministerie van Infrastructuur & Waterstaat (I&W) (n.d.). Verdringingsreeks bij watertekort. Beschikbaar via de website: <https://www.infomil.nl/onderwerpen/lucht-water/handboek-water/thema-s/watertekort/verdringingsreeks/>
- Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV) (2019). Toekomstvisie gewasbescherming 2030, naar weerbare planten en teeltsystemen. Publicatie, 16-04-2019.
- Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV) (2020). Actieprogramma klimaatadaptatie landbouw. Gepubliceerd op 30-01-2020.
- Mirzabaev, A., Olsson, L., Kerr, R. B., Pradhan, P., Ferre, M. G. R., & Lotze-Campen, H. (2023). Climate change and food systems. *Science and Innovations for Food Systems Transformation*, 511.
- Mosley, L. M. (2015). Drought impacts on the water quality of freshwater systems; review and integration. *Earth-Science Reviews*, 140, 203-214.
- Mukherjee, S., Mishra, A., & Trenberth, K. E. (2018). Climate change and drought: a perspective on drought indices. *Curr Clim Change Rep* 4: 145–163.
- Mulder, T., Delsman, J., Kaandorp, V., & Linderhof, V. (2019). Zoetwater zelfvoorzienendheid van de landbouw: Deltafact. *Stowa*.
- Nieuwe Oogst (2023). 1.400 boeren aangesloten bij massaclaim tegen drinkwaterbedrijven. Tys Hallema. 09 05 2023. Toegankelijk via: <https://www.nieuweoogst.nl/nieuws/2023/05/09/1-400-boeren-aangesloten-bij-massaclaim-tegen-drinkwaterbedrijven>
- Nieuwe Oogst (2023). Grootste onderzoek naar droogtetolerante gewassen van start. Uitgave 29 juni 2023. Via de website: [nieuweoogst.nl/nieuws/2023/06/29/grootste-onderzoek-naar-droogtetolerante-gewassen-van-start](https://www.nieuweoogst.nl/nieuws/2023/06/29/grootste-onderzoek-naar-droogtetolerante-gewassen-van-start)
- Oppenheimer, M., Campos, M., Warren, R., Birkmann, J., Luber, G., O'Neill, B., ... & Hsiang, S. (2015). Emergent risks and key vulnerabilities. In *Climate change 2014 impacts, adaptation and vulnerability: part a: global and sectoral aspects* (pp. 1039-1100). Cambridge University Press. R.C. Genova, B. Girma, E. S. Kissel, A. N. Levy, S. MacCracken, P. R. Mastrandrea, and L. L. White,
- Parikka, P., Hakala, K., & Tiilikkala, K. (2012). Expected shifts in *Fusarium* species' composition on cereal grain in Northern Europe due to climatic change. *Food Additives and Contaminants - Part A Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment*, 29(10), 1543–1555.
- Philip, S. Y., Kew, S. F., Van Der Wiel, K., Wanders, N., & Van Oldenborgh, G. J. (2020). Regional differentiation in climate change induced drought trends in the Netherlands. *Environmental Research Letters*, 15(9), 094081.
- Planbureau voor de Leefomgeving (2023). Nationale Klimatrisicoanalyse 2022-2026. Witmer, M., Franken, R., van Gaalen, F., van Minnen, J., Beijer, E., Kirkels, F.
- Porter, J.R., L. Xie, A.J. Challinor, K. Cochrane, S.M. Howden, M.M. Iqbal, D.B. Lobell, and M.I. Travasso, (2014). Food security and food production systems. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 485-533.
- Potop, V., Možný, M., & Soukup, J. (2012). Drought evolution at various time scales in the lowland regions and their impact on vegetable crops in the Czech Republic. *Agricultural and Forest Meteorology*, 156, 121-133.
- Powell, J. P., & Reinhard, S. (2016). Measuring the effects of extreme weather events on yields. *Weather and Climate extremes*, 12, 69-79.
- Pruski, F. F., & Nearing, M. A. (2002). Runoff and soil-loss responses to changes in precipitation: A computer simulation study. *Journal of soil and Water Conservation*, 57(1), 7-16.
- Queisen, G. (2022). Schade-uitkering Limburgse wateroverlast 2021: 6 miljoen euro. *Stal & Akker*, 3 juni 2022.
- Reidsma, P., & Ewert, F. (2008). Regional farm diversity can reduce vulnerability of food production to climate change. *Ecology and Society*, 13(1).

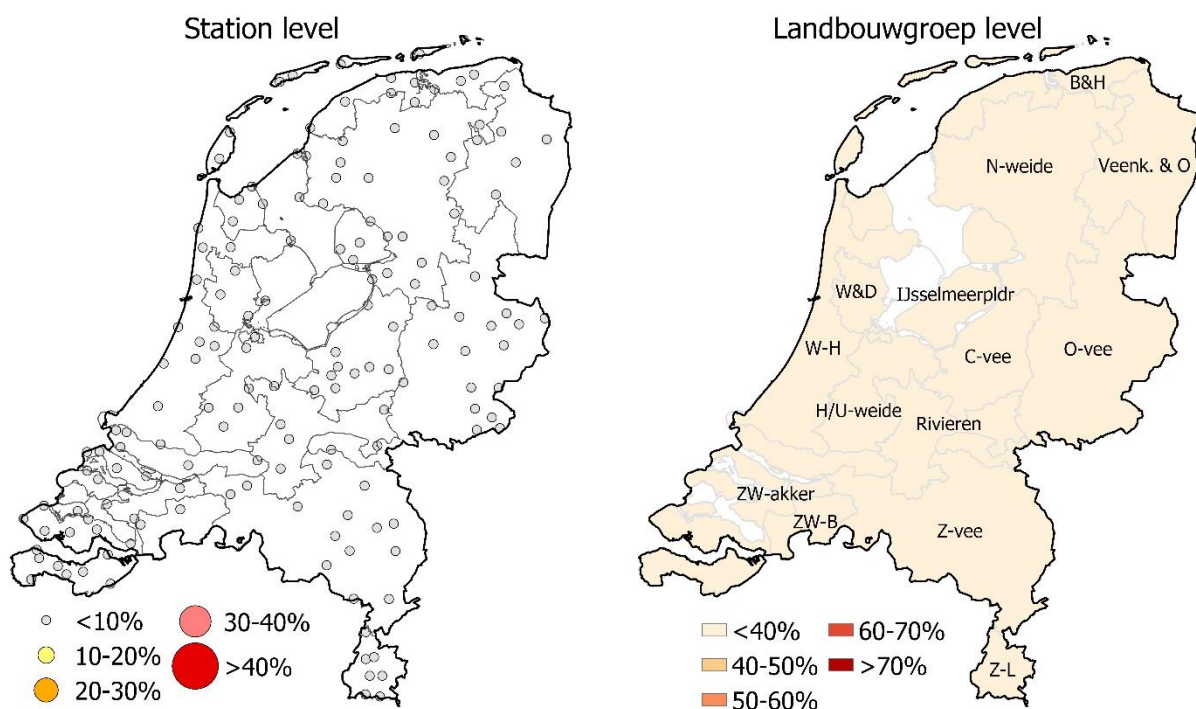
- Reidsma, P., Ewert, F., Lansink, A. O., & Leemans, R. (2010). Adaptation to climate change and climate variability in European agriculture: the importance of farm level responses. *European journal of agronomy*, 32(1), 91-102.
- Reinhard, Polman, Helming, Michels (2015). Bepaling van economische effecten van droogte voor de landbouw; Baten van maatregelen om effecten te verminderen. Wageningen, LEI Wageningen UR (University & Research Centre), LEI Report 2015-012
- Rekenkamer Zeeland (2016). Vrijkomende agrarische bebouwing. Rekenkamer Zeeland, Alterra, Kadaster. Toegankelijk via: <https://www.rekenkamerzeeland.nl/sites/default/files/2020-02/2016%20Vrijkomende%20agrarische%20bebouwing%20%28VAB%29.pdf>
- Renaud, L. V., Bonten, L. T. C., Groenendijk, P., & Groenenberg, J. E. (2015). *Berekening van uit- en afspoeling van nutriënten-en zware metalen ten behoeve van de EmissieRegistratie 2013* (No. 2638). Alterra, Wageningen-UR.
- Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO) (2021). Basisregistratie Gewaspercelen (BRP).
- Rijksoverheid (2023). Maatregelen voor voldoende zoet water. Via de website: [rijksoverheid.nl/onderwerpen/water/maatregelen-voor-voldoende-zoet-water](https://rijksoverheid.nl/onderwerpen/water/maatregelen-voor-voldoende-zoet-water)
- Rijkswaterstaat (2019). Watermanagement in Nederland. Water: vriend en vijand!
- Rollason, E., Sinha, P., & Bracken, L. J. (2022). Interbasin water transfer in a changing world: A new conceptual model. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 46(3), 371-397.
- Rozemeijer, J., Noordhuis, R., Ouwerkerk, K., Pires, M. D., Blauw, A., Hooijboer, A., & van Oldenborgh, G. J. (2021). Climate variability effects on eutrophication of groundwater, lakes, rivers, and coastal waters in the Netherlands. *Science of the Total Environment*, 771, 145366.
- Schaap, B.F., Reidsma, P., Agricola, H., Verhagen, A. (2014). Klimaatrisico's en -kansen voor de landbouw. WPR-Rapport 601
- Schneider, H. C., Dicke, D., Rovers, V., & BV, B. N. (2006). Adaptatiescan Tilburg. *Klimaatadaptatie in de Hotspot. BuildDesk Nederland BV, Delft*.
- Shorachi, M., Kumar, V., & Steele-Dunne, S. C. (2022). Sentinel-1 SAR backscatter response to agricultural drought in the Netherlands. *Remote Sensing*, 14(10), 2435.
- Smit, B., & Jager, J. (2018). *Schets van de akkerbouw in Nederland: structuur-, landschaps-en milieukeurmerken die een relatie hebben tot biodiversiteit* (No. 2018-074). Wageningen Economic Research.
- Snaddon, C. D., Davies, B. R., Wishart, M. J., Meador, M. E., & Thoms, M. C. (1999). A global overview of inter-basin water transfer schemes, with an appraisal of their ecological, socio-economic and socio-political implications, and recommendations for their management. Water Research Commission Report No. TT120/00. Pretoria: Water Research Commission.
- Springmann, M., Mason-D'Croz, D., Robinson, S., Garnett, T., Godfray, H. C. J., Gollin, D., ... & Scarborough, P. (2016). Global and regional health effects of future food production under climate change: a modelling study. *The Lancet*, 387(10031), 1937-1946.
- Stahl, K., Kohn, I., Blauhut, V., Urquijo, J., De Stefano, L., Acácio, V., ... & Van Lanen, H. A. (2016). Impacts of European drought events: insights from an international database of text-based reports. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 16(3), 801-819.
- Stalham, M. A., Allen, E. J., Rosenfeld, A. B., & Herry, F. X. (2007). Effects of soil compaction in potato (*Solanum tuberosum*) crops. *The Journal of Agricultural Science*, 145(4), 295-312.
- Sterk, M., & Wamelink, G. W. W. (2019). Case Study: De droogte van 2018: Op zoek naar een succesvolle systeemaanpak om te reageren op droogte. *Water Governance*, (2), 57-60.
- Stokkers, Prins, van der Meer, Jager (2018). Effecten droogte en hitte op inkomens land- en tuinbouw; update begin oktober.
- Stokkers, R., Jager, J., & van Asseldonk, M. A. P. M. (2022). Berekening in de Nederlandse landbouw op gewas-en regioniveau in de periode 2010-2019: analyses met het Bedrijveninformatienet (No. 2022-011). Wageningen Economic Research.
- Stokkers, R., van der Meer, R. W., Schoorlemmer, H. B., & Hendriks-Goossens, V. J. C. (2010). Opvolgers gezocht voor het boerenbedrijf (No. 2010-042). LEI Wageningen UR.
- STOWA (2018a). Waterreservoirs op bedrijfsniveau. Deltafact, opgesteld door Wageningen Environmental Research in 2011 en geactualiseerd in 2018. Toegankelijk via: <https://www.stowa.nl/deltafacts/zoetwatervoorziening/droogte/waterreservoirs-op-bedrijfsniveau>

- 
- STOWA (2018b). Blauwe diensten. Deltafact, opgesteld door Wageningen Environmental Research in 2012 en geactualiseerd in 2018. Toegankelijk via:  
<https://www.stowa.nl/deltafacts/zoetwatervoorziening/droogte/blauwe-diensten>
- STOWA (2019a). Neerslagstatistiek en -reeksen voor het waterbeheer 2019.
- STOWA (2019b). Overall in Nederland, nu én in de toekomst: Een actueel beeld van de kans op extreme neerslag.
- STOWA (2020). Zoetwater zelfvoorzienendheid van de landbouw. Deltafact. Opgesteld door Deltares en Wageningen University & Research. Onderdeel van Programma Lumbricus. Toegankelijk via:  
<https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/535699>
- Stuurman, R., & Oude Essink, G. (2007). Naar een uniforme landelijke inrichting van het KRW-grondwatermeetnet Zoet-Zout. *TNO Bouw en Ondergrond Rapportnummer 2007-U-R0490/B*
- Sukkel, W. (2010). Revolutie in duurzaam bodembeheer. *Syscope Magazine*, 2010(26), 27-29.
- Thorslund, J., Bierkens, M. F., Oude Essink, G. H., Sutanudjaja, E. H., & van Vliet, M. T. (2021). Common irrigation drivers of freshwater salinisation in river basins worldwide. *Nature Communications*, 12(1), 4232.
- Timmerman, M., K. van Reenen, H. Holster, A. Evers, 2018. Verkennende studie naar hittestress bij melkvee tijdens weidegang in gematigde klimaatstreken. Wageningen Livestock Research, Rapport 1117
- Universiteit van Oxford (2006). Enki and Ninursaja. ETCSLtranslation: t.1.1.1. ETCSL project, Faculty of Oriental Studies, University of Oxford. Toegankelijk via: <https://etcsl.orinst.ox.ac.uk/cgi-bin/etcsl.cgi?text=t.1.1.1&display=Crit&charenc=j&lineid=t111.p13#t111.p13>
- Van Asseldonk, M., Stokkers, R., Jager, J., van der Meer, R. (2021). Economische effecten van droogte in 2018 en 2019: een regionale analyse akkerbouw en melkveehouderij Wageningen Economic Research BO-43-014.01-079.
- Van Balen (2023). Persoonlijke communicatie 20-9-23. Teams.
- Van Balen, D., Verstegen, H., Tol, M., Dekkers, M. F., & van den Berg, W. (2022). *Duurzaam opheffen ondergrondverdichting: Tussenrapportage 2021: werkpakket 3 PPS Klimaatadaptatie* (No. WPR-OT-942). Wageningen Plant Research.
- Van Berkum, Dengerink & Ruben, 2018. The food systems approach: sustainable solutions for a sufficient supply of healthy food. Wageningen, Wageningen Economic Research, Memorandum 2018-064. 32 pp.; 9 fig.; 0 tab.; 39 ref.
- Van den Eertwegh, G. A. P. H., van Bakel, J., Stuyt, L. C. P. M., van Iersel, A., Kuipers, L., & Talsma, M. (2013). KlimaatAdaptieve Drainage: innovatief waterbeheer op regionaal en perceelsniveau. *H2O online*, 2013(14 mei).
- Van de Velde, van der Kooij, van Jussen, Lakamp (2019). Economische schade door droogte in 2018. Ecorys. Rotterdam.
- Van den Broek, R. C. F. M. (2003). Teelthandleiding zaaiuien.
- Van der Burgt, E. & Verstand, D. (2021). De Kosten van irrigatiesystemen in beeld; Een kostenvergelijking van druppelirrigatie, peil-gestuurde drainage en de haspel. Wageningen Research, Rapport WPR 900.
- Van der Meer (2020). Watergebruik in de land- en tuinbouw 2017 en 2018. Wageningen, Wageningen Economic Research, Nota 2020-030. 22 blz.; 1 fig.; 5 tab.; 5 ref.
- Van der Boom (2017). Boerenbusiness artikel: Greppels graven in aardappelpercelen. Gepubliceerd op 9 september 2017 via de website:  
[boerenbusiness.nl/akkerbouw/aardappelen/artikel/10875835/greppels-graven-in-aardappelpercelen](http://boerenbusiness.nl/akkerbouw/aardappelen/artikel/10875835/greppels-graven-in-aardappelpercelen)
- Van der Maas (2023). Persoonlijke communicatie 12-9-23. Wageningen.
- Van der Maas, M. P., & op t Hof, M. C. J. (2006). Extra vochttekorten na grondwaterstanddaling als gevolg van grondwateronttrekking bij een fruitteelt- en een boomteeltgewas in de Overbetuwe in worst-case-situaties.
- Van der Meer (2021). Watergebruik in de land- en tuinbouw, 2021; Berekeningen op basis van het Bedrijveninformatienet. Wageningen Economic Research.
- Van der Meer, R. W. (2020). *Watergebruik in de land-en tuinbouw 2017 en 2018* (No. 2020-030). Wageningen Economic Research.
- Van der Meulen (2023). Watergebruik door de land- en tuinbouw daalt fors in nat 2021.
- Van der Voort, M. P. J., Schoorlemmer, H. B., Kamp, J. A. L. M., Veldhuisen, B., & Booij, J. (2020). Economische verkenning strokenteelt met vaste rijpaden: SMARAGD-Werkpakket 1-modellering (No. WPR-850). Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Open Teelten.

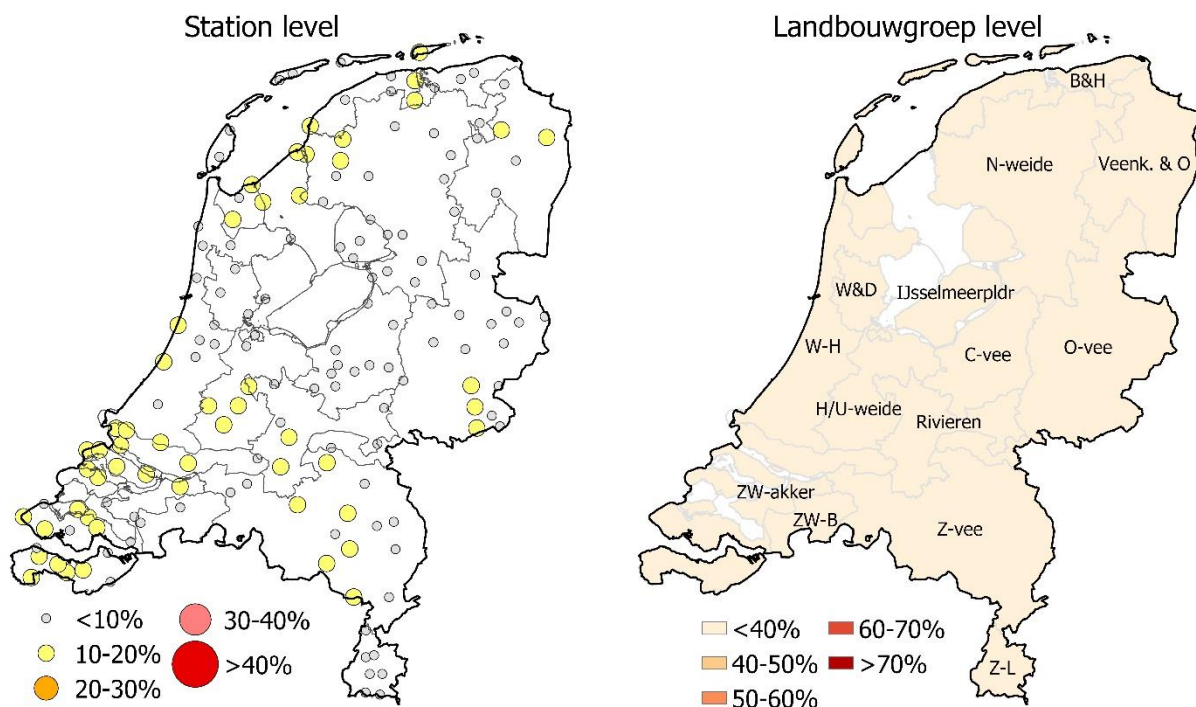
- Van Dijk, J. J. & ketenpartijen (2020). Nationaal Programma Landbouwbodems. Stuk van Jan Jacob van Dijk, namens de ketenpartijen aan de minister van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit. Kamerstuk 04-09-2020.
- Van Dortmont, R. (2022). Beyond the meteorological definition of drought for potato and winter wheat in the Netherlands. The assessment of relevant factors affecting drought damage.
- Van Duinen, R., Filatova, T., Geurts, P., & van der Veen, A. (2015). Coping with drought risk: empirical analysis of farmers' drought adaptation in the south-west Netherlands. *Regional environmental change*, 15, 1081-1093.
- Van Lanen, H. A., & Peters, E. (2000). Definition, effects and assessment of groundwater droughts. In *Drought and drought mitigation in Europe* (pp. 49-61). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Van Oort, P. A. J., Timmermans, B. G. H., Schils, R. L. M., & van Eekeren, N. (2023). Recent weather extremes and their impact on crop yields of the Netherlands. *European Journal of Agronomy*, 142, 126662.
- Van Tilburg, A. J., & Hudson, P. F. (2022). Extreme weather events and farmer adaptation in Zeeland, the Netherlands: A European climate change case study from the Rhine delta. *Science of The Total Environment*, 844, 157212.
- Veihmeyer, F. J., & Hendrickson, A. H. (1950). Soil moisture in relation to plant growth. *Annual review of plant physiology*, 1(1), 285-304.
- Verbond van Verzekeraars (VvV) (2018). Klimaatwebinar: Verzekeraars, deel uw dat. Website, toegankelijk via: <https://www.verzekeraars.nl/publicaties/actueel/klimaatwebinar-verzekeraars-deel-uw-data>. Bezocht op 12-12-23
- Verhagen, J., van Asseldonk, M., & Pronk, A. (2018). *Open teelten en klimaatadaptatie in relatie tot de financiële weerbaarheid* (No. WPR-755). Wageningen Plant Research Verstand, D., Schaap, B., Schoorlemmer, H., de Wolf, P., van Balen, D., Verhagen, J. (2020). Klimaatadaptatie in de open teelten. Inventarisatie van klimaattrends, risico's en adaptatiemaatregelen voor boerenbedrijven in de open teelten. Wageningen Research, rapport WPR 824
- Verhoog, D. (2022). Productiewaarde primaire sector – Land- en tuinbouw. Productiewaarde 18,5% hoger. Via de website: [agrimatie.nl/ThemaResultaat.aspx?subpubID=2232&themaID=2280&indicatorID=2087&sectorID=2243#:~:text=De%20productiewaarde%20van%20de%20akkerbouw,gestegen%20\(%2B28%2C5%25\)](https://agrimatie.nl/ThemaResultaat.aspx?subpubID=2232&themaID=2280&indicatorID=2087&sectorID=2243#:~:text=De%20productiewaarde%20van%20de%20akkerbouw,gestegen%20(%2B28%2C5%25)).
- Verstand, D., Bijker, W., & Simonse, D. (2021). *Klimatrisico's en kansen in de open teelten* (No. WPR-902). Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Open Teelten.
- Verstand, D., Bijker, W., van der Burgt, E., van den Brink, L., Timmer, R., & Groten, J. (2022). De klimaatbestendigheid van rassen en gewassen in de open teelten: Een verkenning naar de mogelijkheden om via teeltmaatregelen, rassenkeuze en de inzet van alternatieve gewassen een klimaatadaptieve landbouw vorm te geven (No. WPR-909). Wageningen Plant Research.
- Verstand, D., Schaap, B., Schoorlemmer, H., de Wolf, P., van Balen, D., & Verhagen, J. (2020). Klimaatadaptatie in de open teelten: Inventarisatie van klimaattrends, risico's en adaptatiemaatregelen voor boerenbedrijven in de open teelten (No. WPR 824). Stichting Wageningen Research, *Wageningen Plant Research* (WPR), Businessunits Open Teelten en Agrosysteemkunde.
- Von Braun, J., Afsana, K., Fresco, L. O., & Hassan, M. H. A. (2023). Science and innovations for food systems transformation (p. 948). Springer Nature.
- Waterschap Rivierenland (2018). Instelling verbod tot het beregenen met oppervlaktewater. 24-07-2018 Waterschapsblad 2018, 7393. Toegankelijk via: <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/wsb-2018-7393.html>
- Webber, H., Ewert, F., Olesen, J. E., Müller, C., Fronzek, S., Ruane, A. C., ... & Wallach, D. (2018). Diverging importance of drought stress for maize and winter wheat in Europe. *Nature communications*, 9(1), 4249.
- Wegkamp, S. (2013). *Omgaan met onzekerheden rondom klimaatverandering in plannen voor waterberging* (Doctoral dissertation).
- Wesseler, J. (2022) "The EU's farm-to-fork strategy: An assessment from the perspective of agricultural economics." *Applied Economic Perspectives and Policy* 44, no. 4: 1826-1843.
- Wesseling, M., Verhoeven, J., van Schooten, H., & van Essen, E. (2019). Maisteelt en bodemdaling op Veenweide in Friesland: eindrapportage demonstratie 2017-2018 (No. WPR-780). *Stichting Wageningen Research* (WR), business unit Open Teelten.
- Westerdijk, C., Zwanepol, S., Heijbroek, W., & Houtman, H. (1994). Teelt van suikerbieten.

- 
- Wiepkema, F. (2022). Miljoenenclaim naar waterwinbedrijven voor droogteschade in landbouw – Boeren bundelen krachten in Stichting Droogteschade Waterwinning (SDW). *Melkvee*, gepubliceerd op 9 juni, 2022.
- Wilbers, G. J., Zwolsman, G., Klaver, G., & Hendriks, A. J. (2009). Effects of a drought period on physico-chemical surface water quality in a regional catchment area. *Journal of Environmental Monitoring*, 11(6), 1298-1302.
- Witteveen & Bos (2013). Zoetwatervoorziening Hoge Zandgronden – op weg naar een strategie en uitvoeringsprogramma voor de regio's oost en zuid: sparen, aanvoeren, accepteren/adapteren.
- Witteveen & Bos (2021). Externe aanvoer zoetwater Zeeland. 123214/21-008.667.
- Yamamura, K., & Kiritani, K. (1998). A simple method to estimate the potential increase in the number of generations under global warming in temperate zones. *Applied Entomology and Zoology*, 33(2), 289-298.

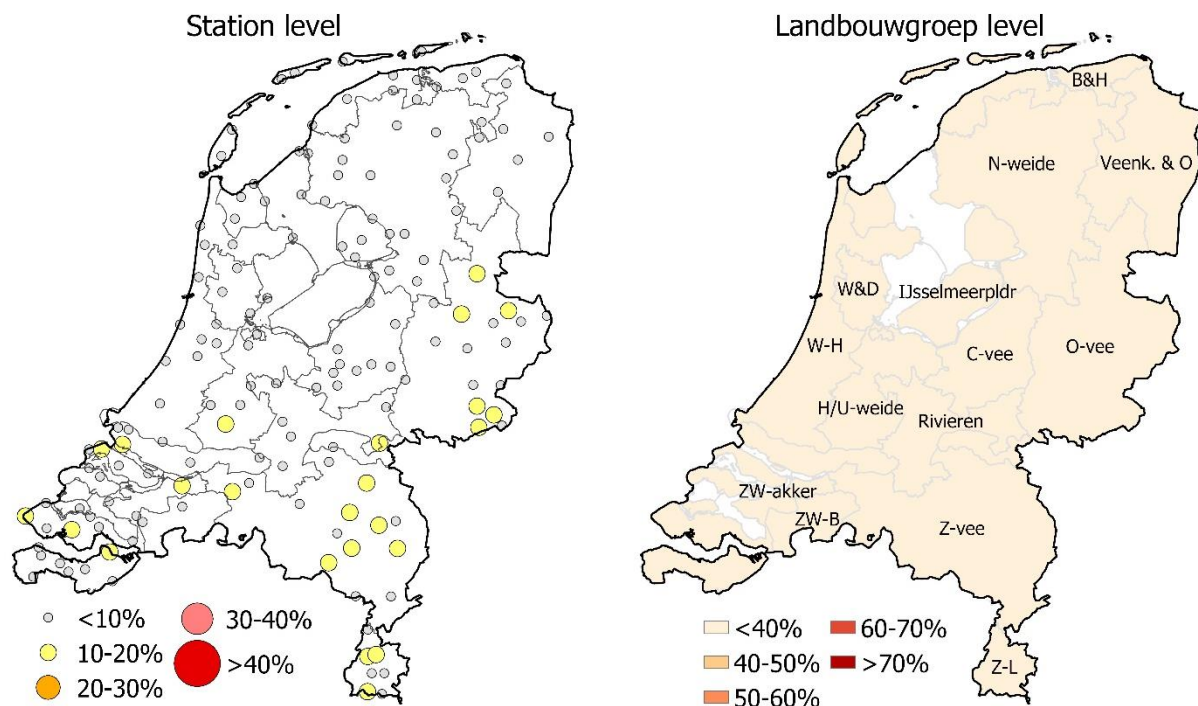
# Bijlage 1 Frequentie-analyse voorkomen gewasspecifieke drempelwaarden in de weersextremen 1990-2022



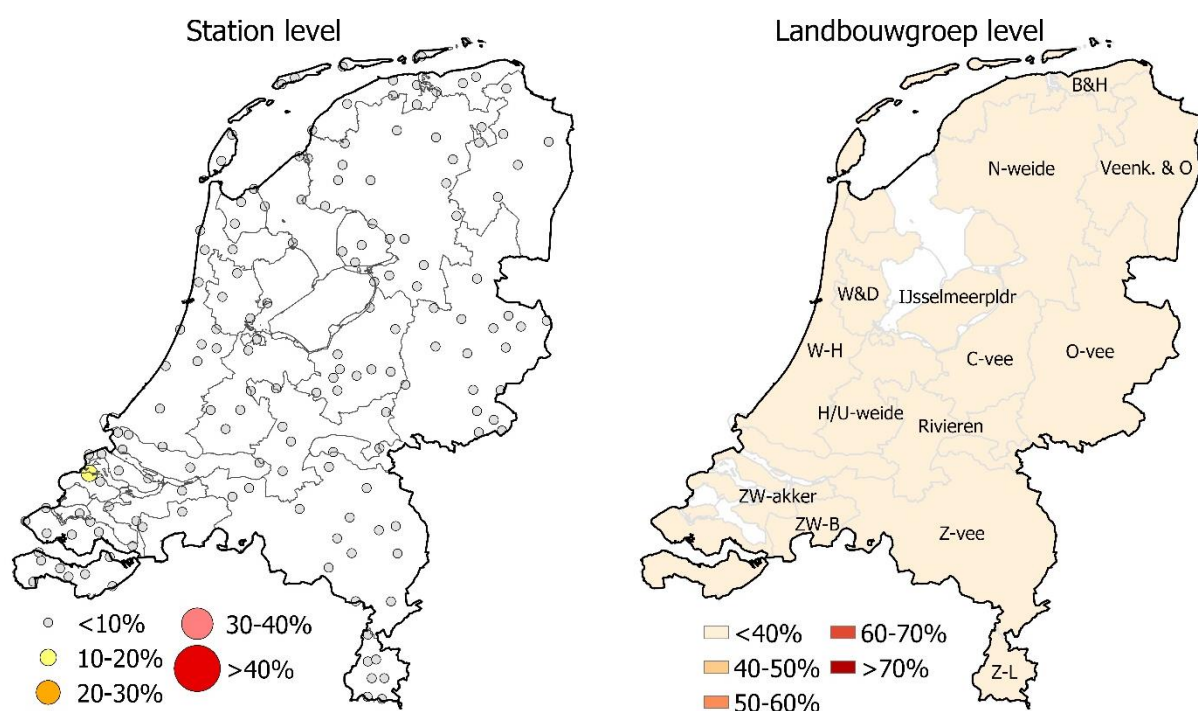
**Figuur B1.1** Minstens 30 dagen met een totale neerslag van minder of gelijk aan 5 mm in de maanden februari-april, weergegeven per weerstation (links) en als som per landbouwgebied (rechts).



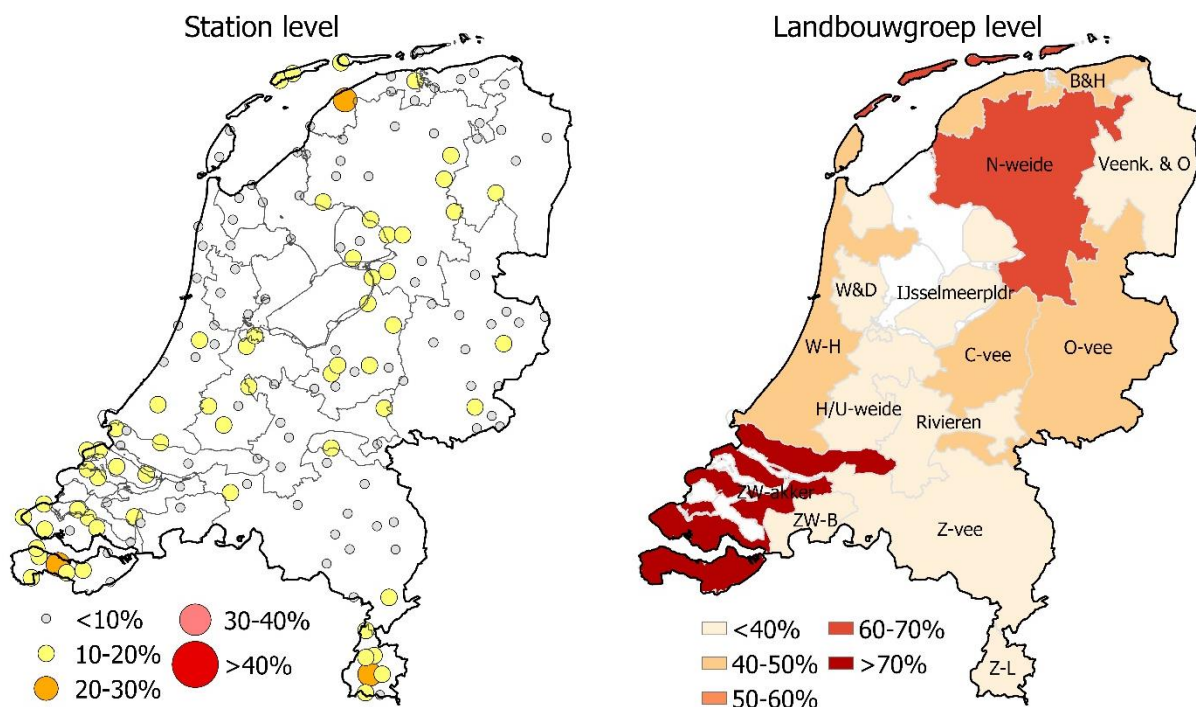
**Figuur B1.2** Minstens 30 dagen met een totale neerslag van minder of gelijk aan 5 mm in de maanden maart-april, weergegeven per weerstation (links) en als som per landbouwgebied (rechts).



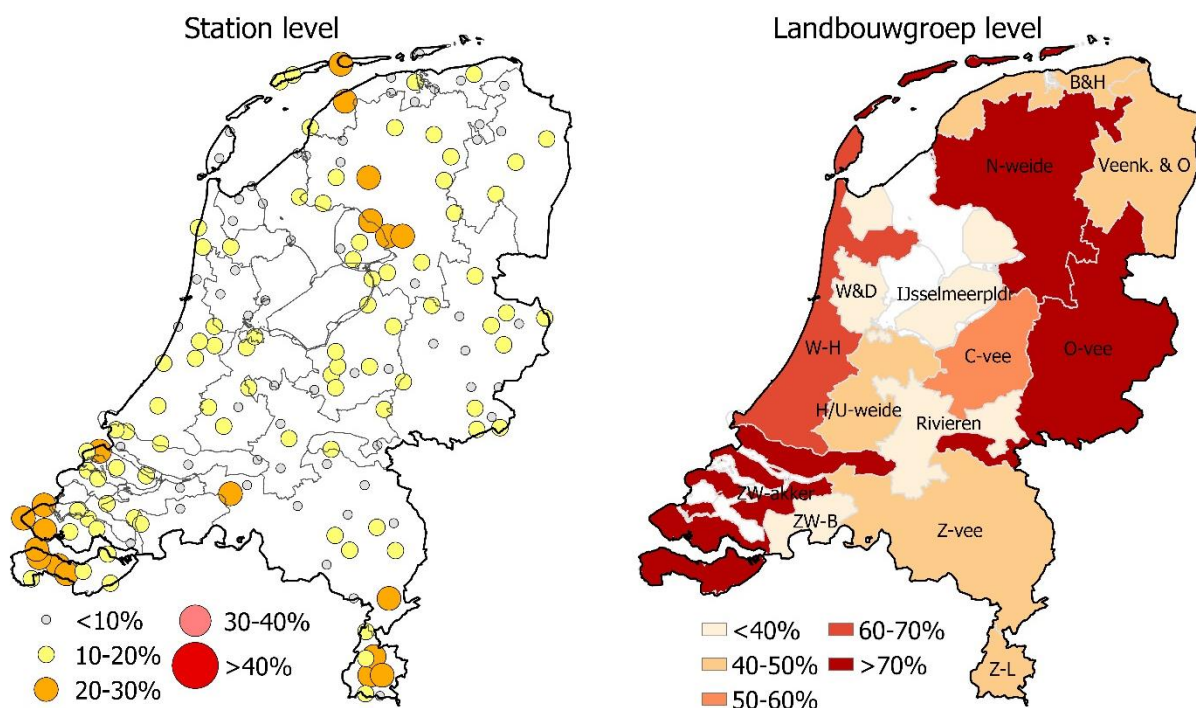
**Figuur B1.3** Minstens 30 dagen met een totale neerslag van minder of gelijk aan 10 mm in de maanden juni-juli, weergegeven per weerstation (links) en als som per landbouwgebied (rechts).



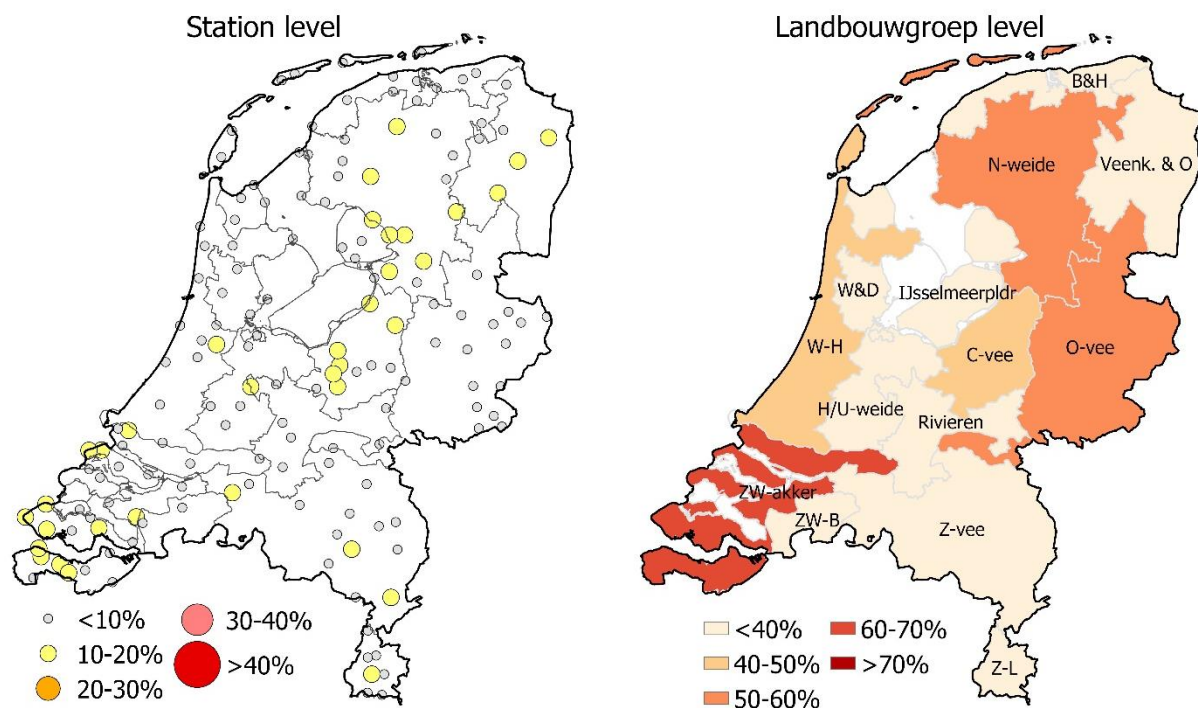
**Figuur B1.4** Minstens 40 dagen met een totale neerslag van minder of gelijk aan 10 mm in de maanden juni-augustus, weergegeven per weerstation (links) en als som per landbouwgebied (rechts).



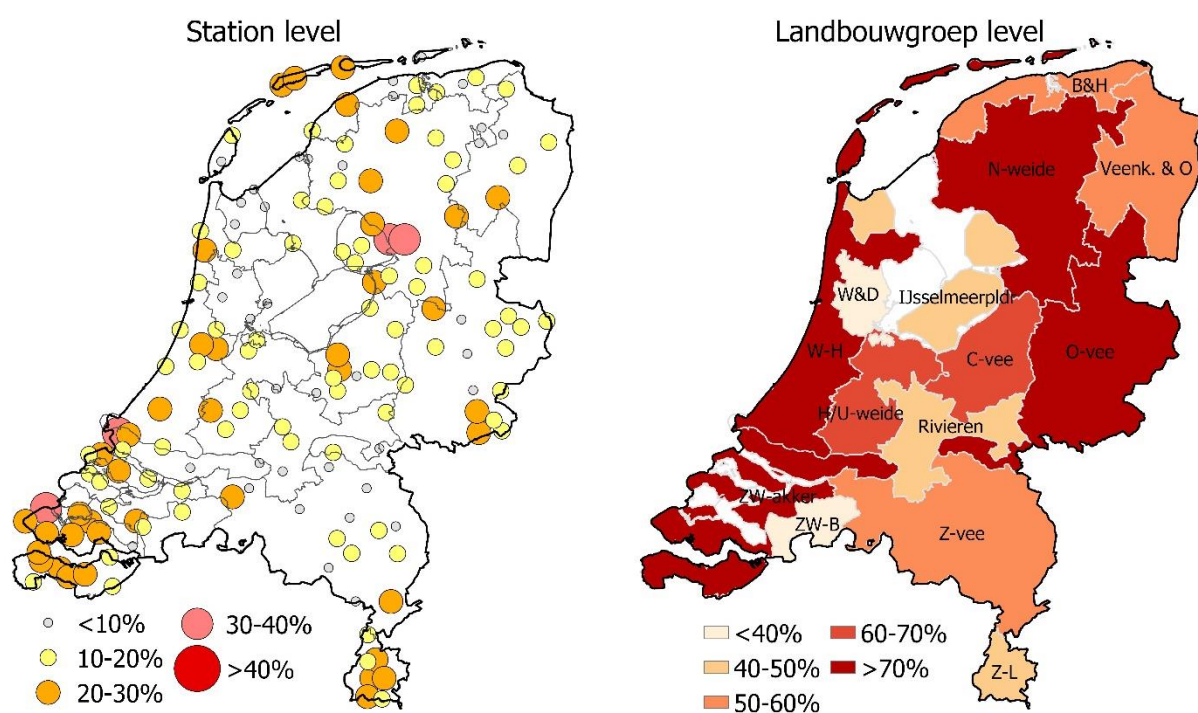
**Figuur B1.5** Meer dan 45 mm neerslag in dag in de maanden juli-augustus, weergegeven per weerstation (links) en als som per landbouwgebied (rechts).



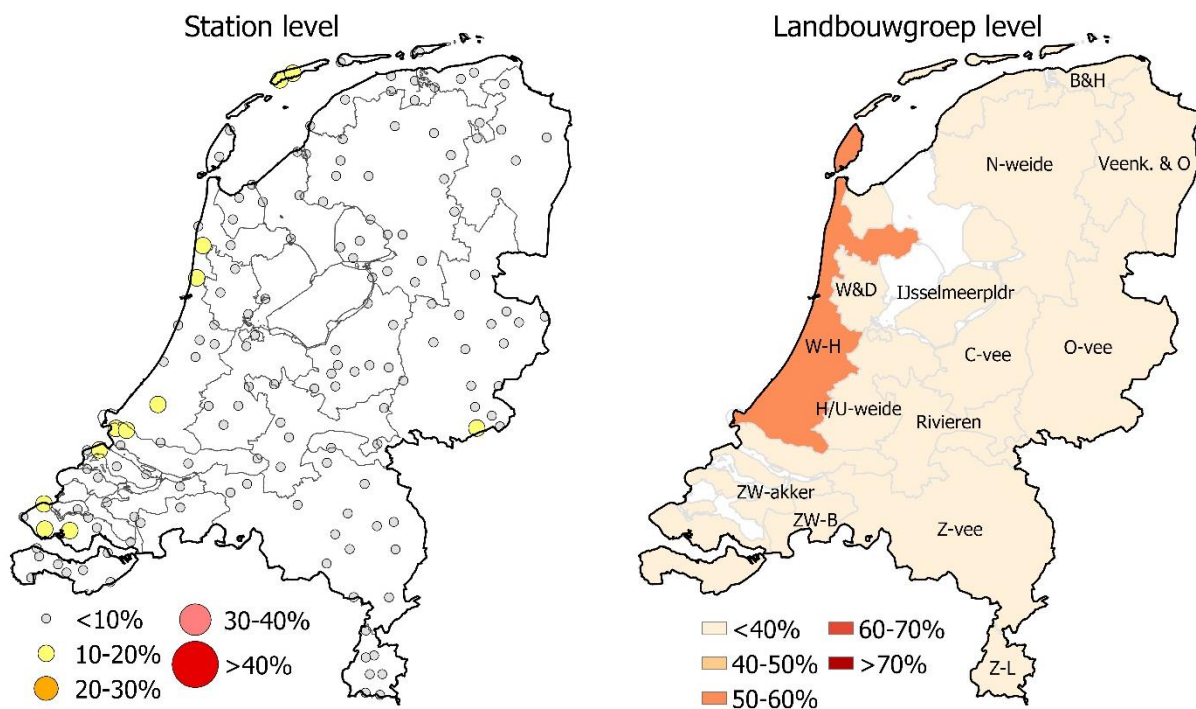
**Figuur B1.6** Meer dan 45 mm neerslag in één dag in de maanden mei-augustus, weergegeven per weerstation (links) en als som per landbouwgebied (rechts).



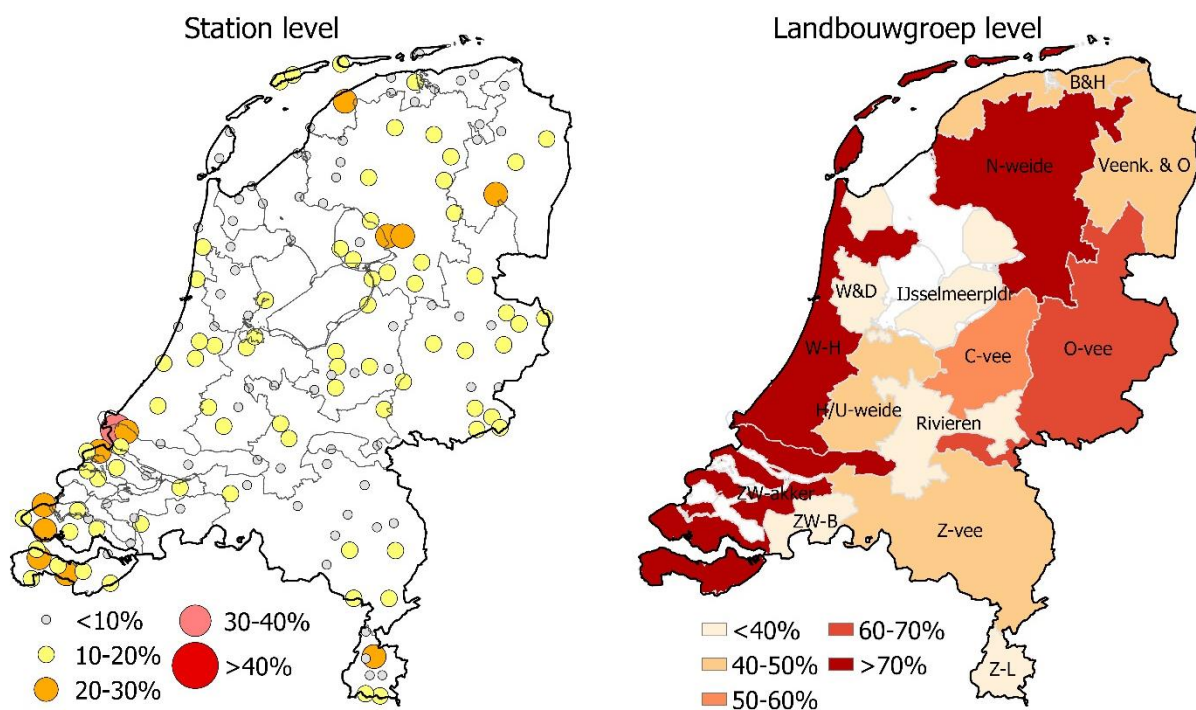
**Figuur B1.7** Meer dan 45 mm neerslag in één dag in de maanden mei-juli, weergegeven per weerstation (links) en als som per landbouwgebied (rechts).



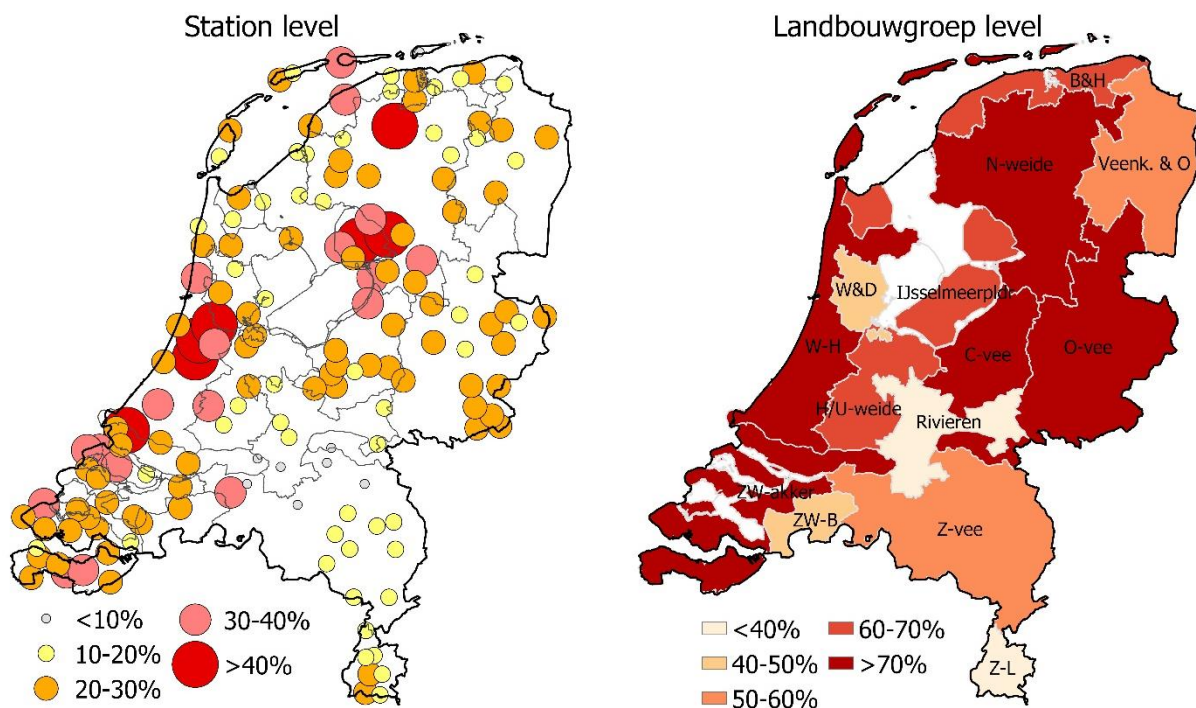
**Figuur B1.8** Meer dan 45 mm neerslag in één dag in de maanden mei-september, weergegeven per weerstation (links) en als som per landbouwgebied (rechts).



**Figuur B1.9** Meer dan 45 mm neerslag in één in de maanden september-oktober, weergegeven per weerstation (links) en als som per landbouwgebied (rechts).

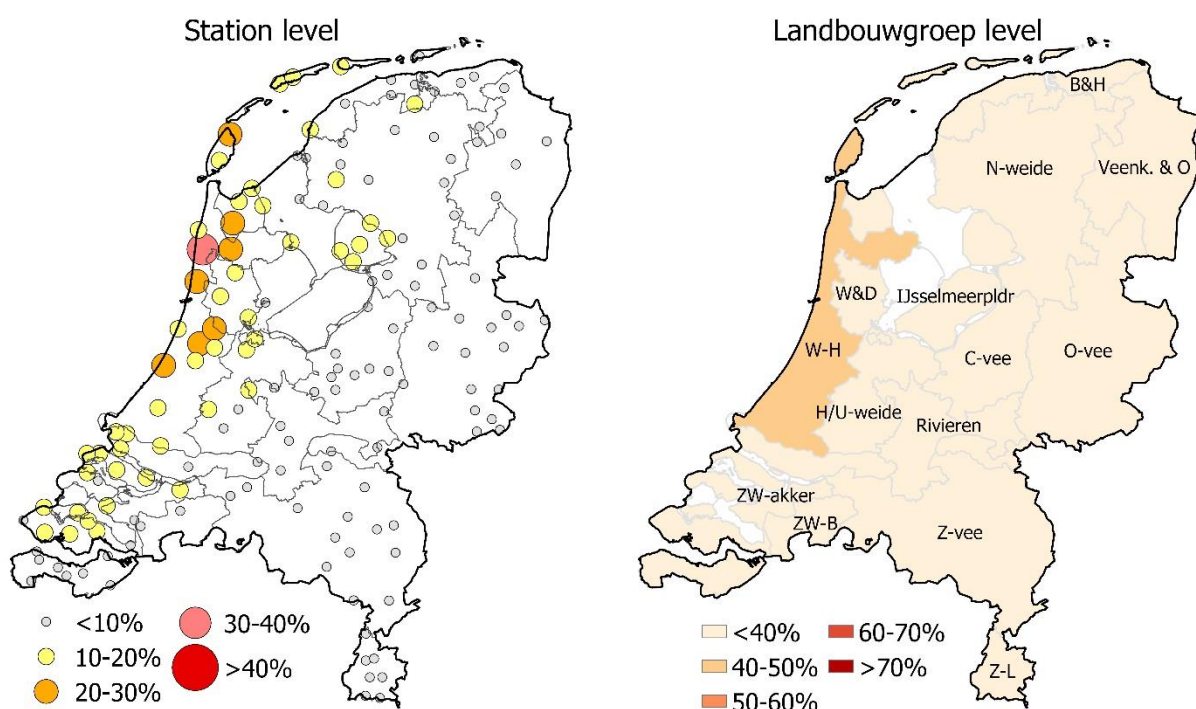


**Figuur B1.10** Meer dan 50 mm neerslag in één dag, weergegeven per weerstation (links) en als som per landbouwgebied (rechts).



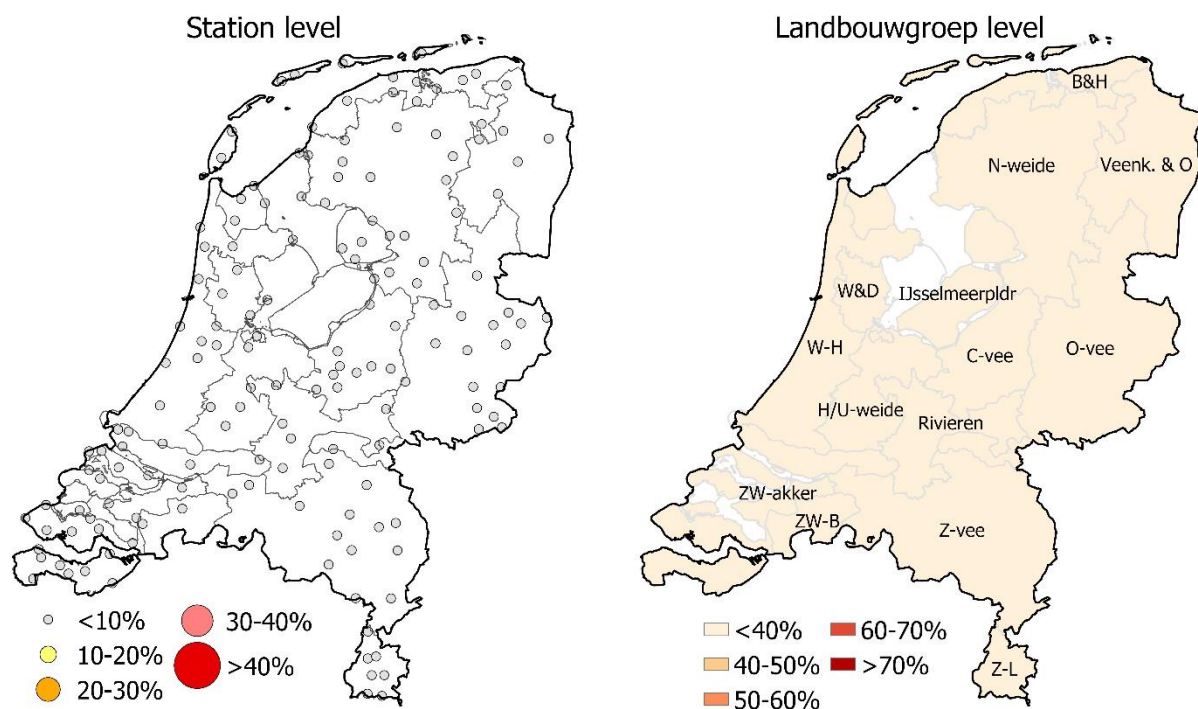
**Figuur B1.11** Meer dan 60 mm neerslag in 3 aaneengesloten dagen in de maanden mei-september, weergegeven per weerstation (links) en als som per landbouwgebied (rechts).

### More than 100 mm in 8 consecutive days in the months Sep – Oct



**Figuur B1.12** Meer dan 100 mm neerslag in 8 aaneengesloten dagen in de maanden september-oktober, weergegeven per weerstation (links) en als som per landbouwgebied (rechts).

## More than 100 mm in a single day



**Figuur B1.13** Meer dan 100 mm regen in één dag, weergegeven per weerstation (links) en als som per landbouwgebied (rechts).

---

Wageningen Environmental Research  
Postbus 47  
6700 AA Wageningen  
T 0317 48 07 00  
[wur.nl/environmental-research](http://wur.nl/environmental-research)

Wageningen Environmental Research  
Rapport 3327  
ISSN 1566-7197



---

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 7.600 medewerkers (6.700 fte) en 13.100 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

---



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



---

Wageningen Environmental Research  
Postbus 47  
6700 AB Wageningen  
T 0317 48 07 00  
[wur.nl/environmental-research](http://wur.nl/environmental-research)

Rapport 3327  
ISSN 1566-7197

---

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 7.600 medewerkers (6.700 fte) en 13.100 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

