

De droogte van 2022: een brede analyse van de ernst en maatschappelijke gevolgen

Beleidssamenvatting



De droogte van 2022: een brede analyse van de ernst en maatschappelijke gevolgen

Beleidsamenvatting

Redactie:

Dimmie Hendriks en Marjolein Mens

Auteurs Deltares:

Dimmie Hendriks, Marjolein Mens, Ilja America, Jurrian Beunk, Nanco Dolman, Marc Fransen, Asako Fujisaki, Nienke Kramer, Perry de Louw, Rolien van der Mark, Margreet van Marle, Roel Melman, Esmee Mes, Ali Meshgi, Joachim Rozemeijer, Arno Rozing, Ana Nunez Sanchez, Femke Schasfoort, Charlotte van Strien, Meinard Tiessen, Patricia Trambauer, Marnix van der Vat, Albrecht Weerts, Remi van der Wijk, Mandy Korff

Met bijdragen van:

Gé van den Eertwegh (KnowH2O),
Ruud Bartholomeus en Marjolein van Huijgevoort (KWR)
Cathelijne Stoof (WUR)
Edwin Kok (NIPV)
Marcel van Asseldonk (Wageningen Economic Research)

Referentie:

Hendriks en Mens (eds.) (2024) De droogte van 2022: een brede analyse van de ernst en maatschappelijke gevolgen, Beleidsamenvatting. Deltares, KWR, WUR, WER, KnowH2O. September 2023.

De droogte van 2022: een brede analyse van de ernst en maatschappelijke gevolgen

Beleidsamenvatting

Opdrachtgever	Deltares, SITO-IS Moonshot 3 Resilient and Healthy Water and Subsurface Systems
Contactpersoon	Hilde Passier
Referenties	Zie hoofdstuk referenties
Trefwoorden	Droogte, 2022, 2018, Nederland, rivieren, grondwater, bodemvocht, verzilting, natuur, landbouw, bodemdaling, CO2 emissies, stedelijk gebied, dijkveiligheid, drinkwater, scheepvaart

Documentgegevens

Versie	1.0
Datum	28-03-2024
Projectnummer	11210273-001
Document ID	11210273-001-BGS-0002
Pagina's	43
Classificatie	
Status	definitief

Auteur(s)

	Dimmie Hendriks, Marjolein Mens	

Inhoud

1	Inleiding	6
1.1	Aanleiding en doel	6
1.2	Scope en aanpak	7
1.2.1	Scope van de studie	7
1.2.2	Beschikbaarheid gegevens en aanpak analyses	7
1.2.3	Verantwoording geraadpleegde bronnen	7
1.2.4	Samenwerking en afstemming	7
2	Meteorologische droogte en voortplanting in het hydrologische systeem	8
2.1	Europese context	8
2.2	Meteorologische droogte	8
2.3	Grote rivieren en grote meren	9
2.4	Bodemvocht en grondwater	10
2.5	Grondwaterafvoer	12
2.6	Berekening	13
2.7	Verziltning grote rivieren	14
2.8	Interne verziltning	15
2.9	Nitraatconcentraties en algenbloei	16
2.10	Crisismanagement en noodmaatregelen	17
3	Impact van de droogte	18
3.1	Vegetatiecondities	18
3.2	Natuur en biodiversiteit	19
3.3	Natuurbranden	19
3.4	Landbouw	21
3.5	Dijkveiligheid	22
3.6	Bodemdaling en CO ₂ -uitstoot	22
3.7	Stedelijk gebied	23
3.8	Scheepvaart	23
3.9	Drinkwater	24
3.10	Industrie	25
4	Conclusies en aanbevelingen	27
4.1	Ernst van de droogte	27
4.2	Maatschappelijke gevolgen van de 2022 droogte	27
4.2.1	Impact op natuurlijk systeem	28
4.2.2	Impact economische sectoren	28

4.3	Aanbevelingen onderzoek: meer inzicht in 'known-unknowns'	31
4.3.1	Waterkwaliteit: betere ontsluiting van monitoringsdata nodig	31
4.3.2	Natuur: schade onderbouwen met kwantitatieve informatie	32
4.3.3	Natuurbranden: meer onderzoek nodig om handelingsperspectief te vergroten	32
4.3.4	Landbouw: verfijnen van nationale beeld en effect berekening	33
4.3.5	Bodemdaling en CO ₂ uitstoot: meetprogramma vergroot inzicht effecten van droogte	33
4.3.6	Dijkveiligheid: algemene methodiek nodig voor onderzoek naar droogterisico's	33
4.3.7	Stedelijk gebied: structureel onderzoek hard nodig	34
4.3.8	Voldoende grondwaterkennis en gegevens beschikbaar?	34
4.3.9	Ontwikkelingen in andere delen van Europa	34
4.4	Aanbevelingen voor beleid	35
4.4.1	Blijven leren van droogte	35
4.4.2	Actuele informatievoorziening droogte	35
4.4.3	Maatregelen en keuzes vragen om maatschappelijke discussie	36
	Referenties	37

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en doel

Het jaar 2022 was - net als 2018 - een extreem warm, zonnig en droog jaar. In vergelijking met 2018 was het neerslagtekort even groot en de lage afvoersituatie in Rijn en Maas vergelijkbaar. De nieuwe KNMI'23-klimaatscenario's¹ wijzen erop dat Nederland naar alle waarschijnlijkheid in de toekomst steeds vaker te maken krijgt met warme en droge zomers zoals die van 2018 en 2022 (of erger). Het is dus van cruciaal belang dat Nederland weerbaar(der) wordt tegen droogte. In aanvulling op crisismanagement zijn daar ook structurele maatregelen op nationale schaal voor nodig. Het verkrijgen van een goed overzicht van effecten van droogte op de maatschappij draagt daaraan bij.

Na de droogte van 2018 werd de Beleidstafel Droogte² ingesteld met als doel om op bestuurlijk niveau – mede op basis van de kennis van experts – de verschillende vraagstukken die zijn gerelateerd aan droogte te evalueren, conclusies te trekken en aanbevelingen te doen. De meeste acties en adviezen van deze beleidstafel zijn inmiddels uitgevoerd of belegd bij het Deltaprogramma Zoetwater. Net als de droogte van 2018 biedt de droogte van 2022 ons de mogelijkheid om het inzicht te vergroten. Wat kunnen we leren van de droogte van 2022? Waren de acties naar aanleiding van de beleidstafel droogte (al) effectief? Zijn we nu voldoende voorbereid op een droogte zoals die van 2018 of erger?

Tijdens de droogte van 2022 zijn verschillende maatregelen genomen op nationale en regionale schaal om de hydrologische effecten en impacts van de droogte te beperken. Na de droogte van 2022 is een evaluatie uitgevoerd door de crisisorganisaties (Landelijke Coördinatiecommissie Waterverdeling en de Regionale Droogte-overleggen)³. Deze evaluatie is vooral gericht op het crisismanagement tijdens de droogte en gaf geen integraal nationaal beeld van de hydrologische effecten en impacts op sectoren en functies van de droogte.

De analyse in dit rapport brengt de omvang van de gevolgen van de droogte van 2022 voor de maatschappij in beeld. We leveren hiermee een bijdrage aan de gezamenlijke opbouw van kennis en beleidservaring waarmee de Nederlandse samenleving zich nog beter kan voorbereiden op droogte.

Zowel de hydrologische effecten als de impacts van de droogte op de belangrijkste economische sectoren en functies zijn in kaart gebracht en geduid met systeemkennis. Waar mogelijk is een vergelijking gemaakt met de droogte van 2018 en is bekeken of de maatregelen naar aanleiding van de beleidstafel droogte effect hebben gehad. Naast een inhoudelijk overzicht van de ernst en maatschappelijke gevolgen van de droogte van 2022 biedt het rapport een raamwerk voor het uitvoeren van een integrale droogteanalyse op nationale schaal. Ook geeft dit rapport inzicht in de beschikbaarheid van metingen en informatie over droogte-effecten.

Deze beleidssamenvatting bevat de belangrijkste resultaten, figuren en conclusies van de brede analyse van de droogte van 2022. Meer informatie is beschikbaar in een achtergrondrapport welke is op te vinden in de online kennisbank van Deltares⁴.

¹ https://cdn.knmi.nl/system/data_center_publications/files/000/071/901/original/KNMI23_klimaatscenario's_gebruikersrapport_23-03.pdf

² <https://open.overheid.nl/documenten/ronl-749b44a3-8e4b-427b-ad23-9be64203a619/pdf>

³ <https://www.dcc-ienw.nl/documenten/rapporten/2023/juni/21/aanpak-droogtecrisis-2022-een-geoliede-machine>

⁴ <https://pub.kennisbank.deltares.nl/>

1.2 Scope en aanpak

1.2.1 Scope van de studie

In deze studie is een brede analyse uitgevoerd van de maatschappelijke gevolgen van de droogte van 2022. Op hoofdlijnen bestaat de analyse uit drie onderdelen:

- Meteorologische droogte in 2022 en voortplanting in het hydrologische systeem (Hoofdstuk 2)
- Overzicht van de crisismaatregelen op nationale en regionale schaal (paragraaf 2.10)
- Impact van de droogte van 2022 op de economische sectoren en functies (Hoofdstuk 3)

Voor de in totaal 20 onderwerpen is een beknopte analyse uitgevoerd door één of enkele experts. Op basis van deze analyses konden een aantal conclusies en aanbevelingen voor onderzoek en beleid worden geformuleerd (Hoofdstuk 4).

Op een aantal punten was het op basis van de uitgevoerde analyses mogelijk om de effectiviteit van de maatregelen genomen naar aanleiding van de Beleidstafel Droogte te evalueren.

1.2.2 Beschikbaarheid gegevens en aanpak analyses

De beschikbaarheid van meetgegevens en informatie over de droogte en impacts blijkt zeer wisselend. Afhankelijk van beschikbaarheid hebben we metingen, modelresultaten en/of expert-reviews gebruikt. Per onderwerp geven we aan wat er is gebruikt. In het achtergrondrapport wordt dit in meer detail beschreven.

Tijdens deze studie is in beperkte tijd een brede scan uitgevoerd van de beschikbare en toegankelijke informatie. De analyses die zijn uitgevoerd in het kader van dit onderzoek zijn dan ook niet uitputtend. Een volgende stap kan zijn om meer gegevens te verzamelen en beschikbaar te maken, zodat een dergelijke brede droogte analyse een volgende keer in meer detail kan worden uitgevoerd.

1.2.3 Verantwoording geraadpleegde bronnen

Voor deze studie is gebruikt gemaakt van een groot aantal bronnen. Om de beleidssamenvatting leesbaar te houden hebben we ervoor gekozen om de referenties niet in de lopende tekst te plaatsen. Een compleet overzicht van de geraadpleegde bronnen is te vinden in de lijst met referenties. In het achtergrondrapport, zijn alle verwijzingen naar bronnen opgenomen in de teksten van de verschillende onderdelen van de studie.

1.2.4 Samenwerking en afstemming

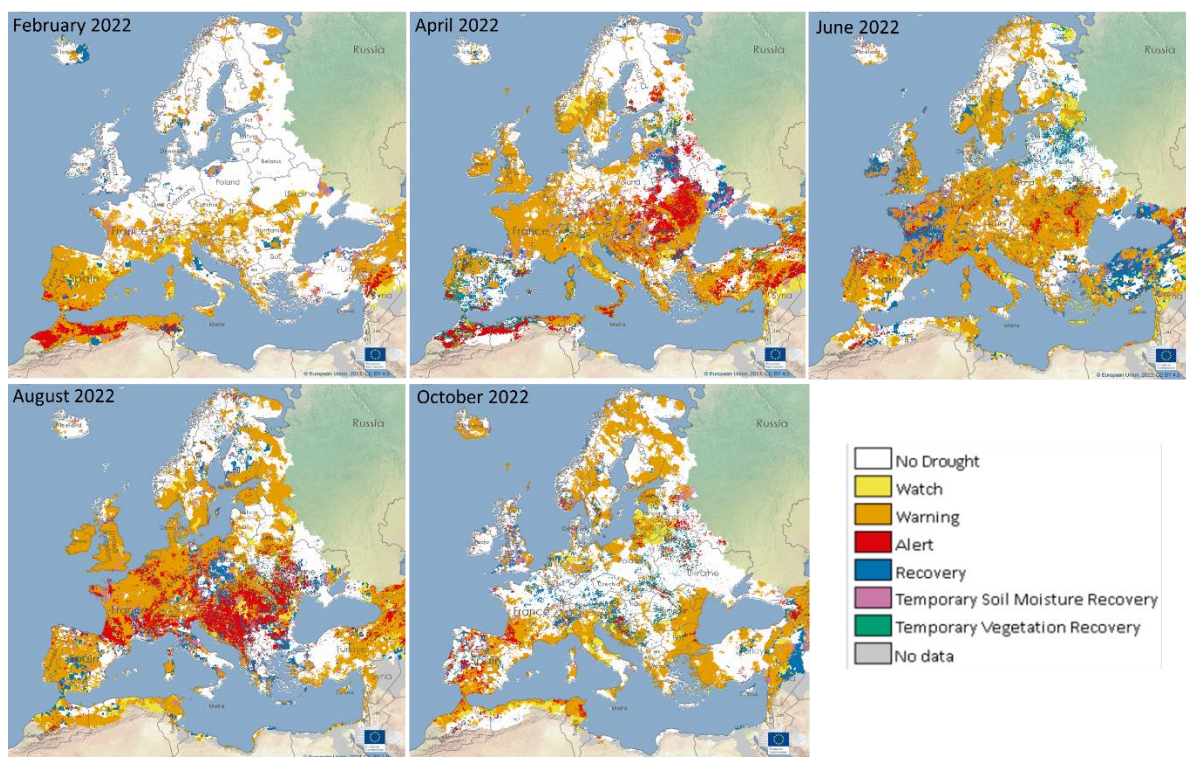
Voor een deel van de analyses van dit onderzoek naar de droogte van 2022 heeft samenwerking plaatsgevonden met experts van andere kennisinstituten. Aan de analyse op het onderwerp grondwater hebben KWR (Watercycle Research Institute) en KnowH₂O meegewerkt, aan de analyse over natuurbranden WUR (Wageningen University & Research) en NIPV (Nationaal Instituut voor Publieke Veiligheid) en de analyse op gebied van landbouw is uitgevoerd in samenwerking met WER (Wageningen Economic Research).

Deltares heeft aan de hand van de resultaten van deze analyse gesprekken gevoerd met een aantal waterbeheerders, beleidsmakers en experts van universiteiten (o.a. STOWA, DPZW, ENDZ (Expertise Netwerk Droogte en Zoetwater)). Deze gesprekken hebben bijgedragen aan het aanscherpen van de conclusies en aanbevelingen van het onderzoek. Ook zijn via deze gesprekken inzichten en vervolgvragen gedeeld en besproken.

2 Meteorologische droogte en voortplanting in het hydrologische systeem

2.1 Europese context

De droogte van 2022 trof grote delen van Europa. De droogte was extreem omdat het op zoveel plekken tegelijk plaatsvond. Bijna 50% van Europa was in de zomer in de waarschuwingsfase van droogte crisismangement en 17% was de situatie alarmerend (*alert fase*) (Toreti et al., 2022; Figuur 2.1). Het begon met weinig sneeuw in de winter van 2021/2022 in de Alpen – dus minder berging in de vorm van sneeuw dan normaal. Vroeg in het jaar al daalde de rivierpeilen en was er minder waterberging in de reservoirs. Vanaf vroeg in het jaar regende het veel minder dan normaal en was het relatief warm, waardoor er meer water dan normaal verdampte.

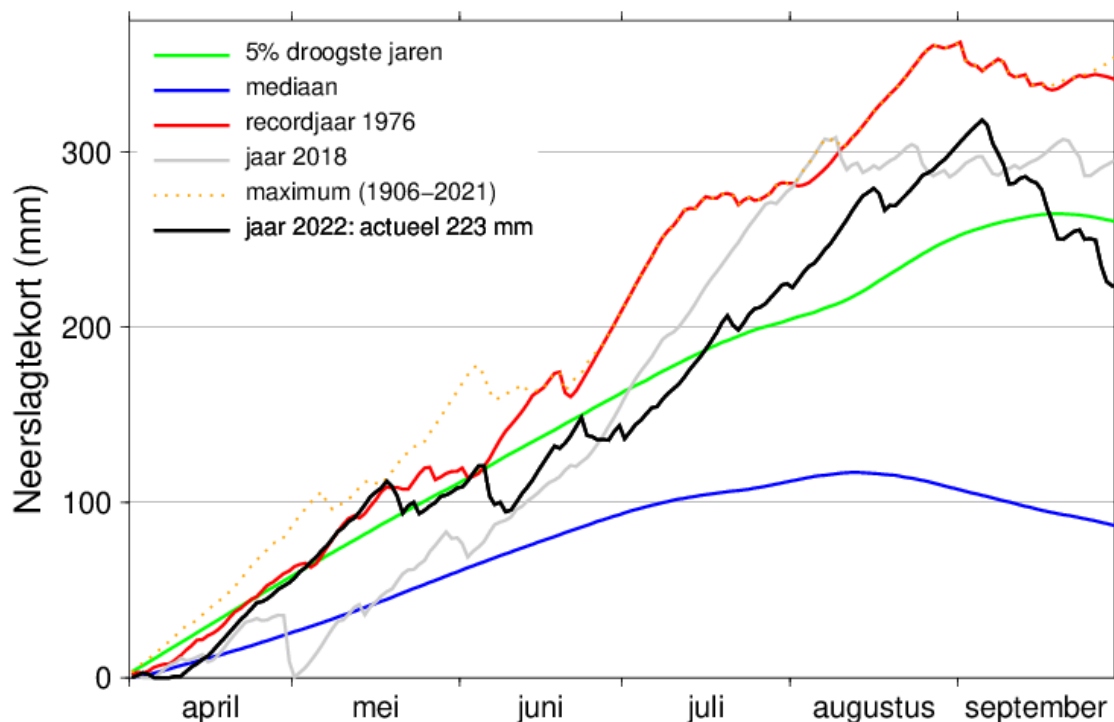


Figuur 2.1 Gecombineerde droogte indicator over de 3^{de} tiendaagse periode van de maanden februari, april, juni, Augustus en oktober van 2022. Bron: European Drought Observatory⁵).

2.2 Meteorologische droogte

Het jaar 2022 was – net als 2018 – een extreem warm, zonnig en droog jaar. In tegenstelling tot 2018 was de hoeveelheid neerslag al vroeg in het voorjaar (maart) beperkt. Ook de maanden mei, juli en augustus waren erg droog. Het maximale neerslagtekort werd bereikt tegen eind augustus, waarna het najaar relatief vochtig was. De hoeveelheid neerslag in 2018 was ook in het najaar erg laag (Figuur 2.2).

⁵ <https://edo.jrc.ec.europa.eu/edov2/php/index.php?id=1111>



(c) KNMI, bijgewerkt 2022-10-19, 15:35 UT

Figuur 2.2 Verloop van het cumulatief neerslagtekort vanaf 1 april in 2018 (grijs) en 2022 (zwart). Ook het record jaar wat betreft droogte (1976) is weergegeven (rood), evenals de 5% droogste jaren, mediaan en het maximum neerslagtekort over de periode 1906-2021). Landelijke gemiddelde over 13 weerstations van KNMI (bron: KNMI).

2.3 Grote rivieren en grote meren

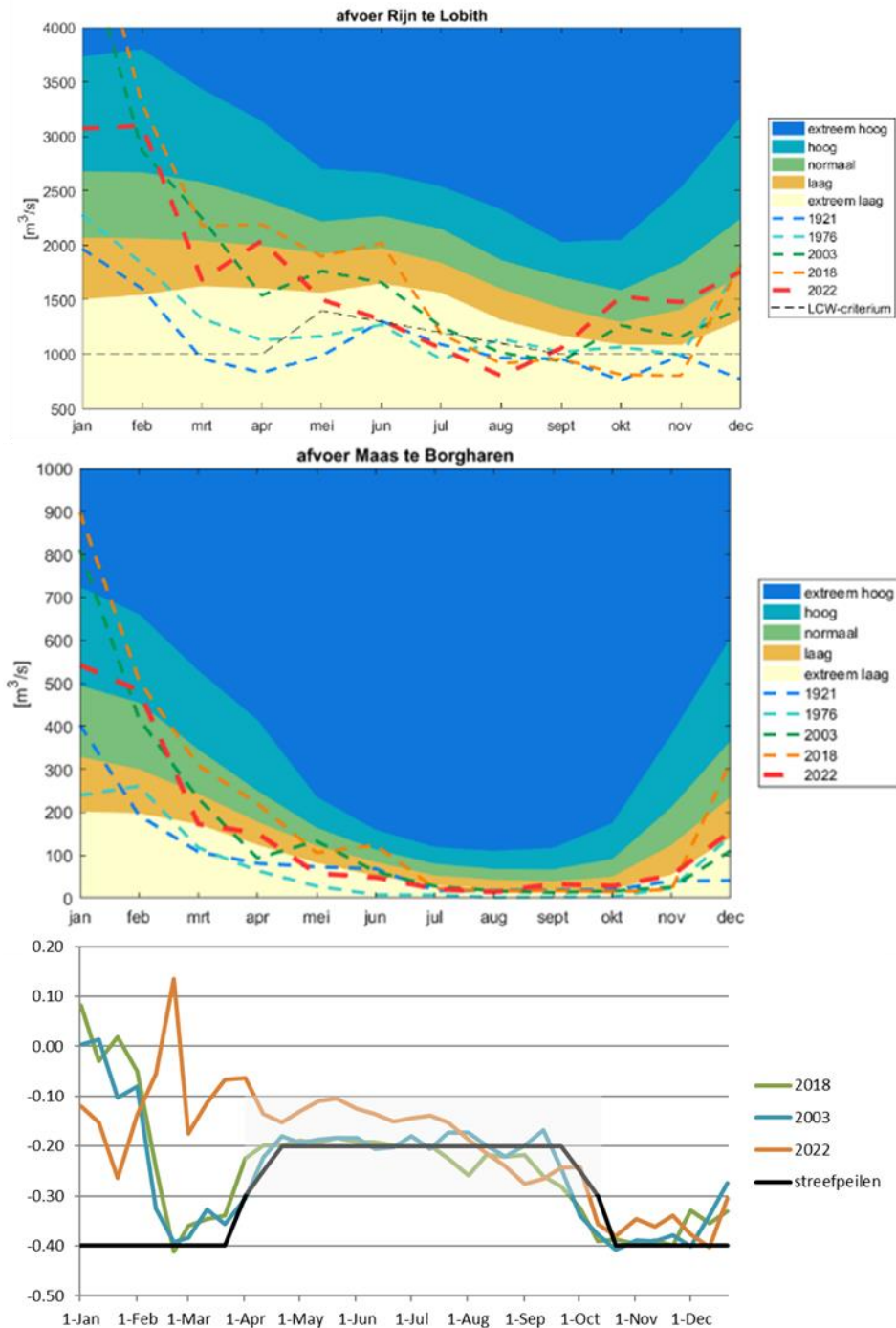
In 2022 is de Rijnafvoer bij Lobith ongeveer 60 dagen lager geweest dan $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ (een van de criteria van de Landelijke Coördinatiecommissie Waterverdeling en een gangbare drempelwaarde waaronder zoutindringing in de Rijn-Maasmonding optreedt en de binnenvaart flinke beperkingen zal ondervinden) en ongeveer 6 dagen hiervan zelfs lager dan $700 \text{ m}^3/\text{s}$. De laagst gemeten afvoer bedroeg $679 \text{ m}^3/\text{s}$. Dat is extreem laag: gemiddeld komt de afvoer 1 dag per jaar onder de $700 \text{ m}^3/\text{s}$. De afvoer daalde opvallend vroeg in het seizoen (begin mei) als gevolg van weinig sneeuwvoorraad in de winter in de Alpen, en een relatief droog en warm voorjaar in het stroomgebied van de Rijn.

In 2018 was de Rijnafvoer in het voorjaar nog normaal en daalde pas begin juli onder de drempelwaarde van $1000 \text{ m}^3/\text{s}$. Deze situatie hield wel langer aan, tot november, maar de afvoer werd niet lager dan $730 \text{ m}^3/\text{s}$. Totaal duurde de laagwatersituatie ($<1000 \text{ m}^3/\text{s}$) 125 dagen, dus twee keer zo lang als in 2022 (Figuur 2.3, boven).

Als gevolg van de droogte in heel Europa daalde in het voorjaar van 2022 ook de afvoer van de Maas bij Monsin/Borgharen. De lage afvoeren hielden lang aan: gedurende 87 dagen was de afvoer lager dan $60 \text{ m}^3/\text{s}$ bij Monsin (alarmfase in het verdrag tussen Vlaams Gewest en het Koninkrijk der Nederlanden inzake de afvoer van het water van de Maas). In 2018 duurde dit met 102 dagen 2 weken langer (Figuur 2.3, midden).

Om de gevolgen van de droogte te beperken werd het IJsselmeerpeil in mei 2022 extra opgezet naar bijna $-0,10 \text{ m}$ NAP, waardoor de beschikbare bufferschijf maximaal was bij de start van het groeiseizoen. Het peil is niet onder het kritieke niveau van $-0,30 \text{ m}$ gekomen. In

2018 was men in het voorjaar te laat met een extra peilopzet boven het streefpeil van -0,20 m NAP, en zakte het peil eind september sneller uit tot onder -0,30 m NAP (Figuur 2.3, onder).



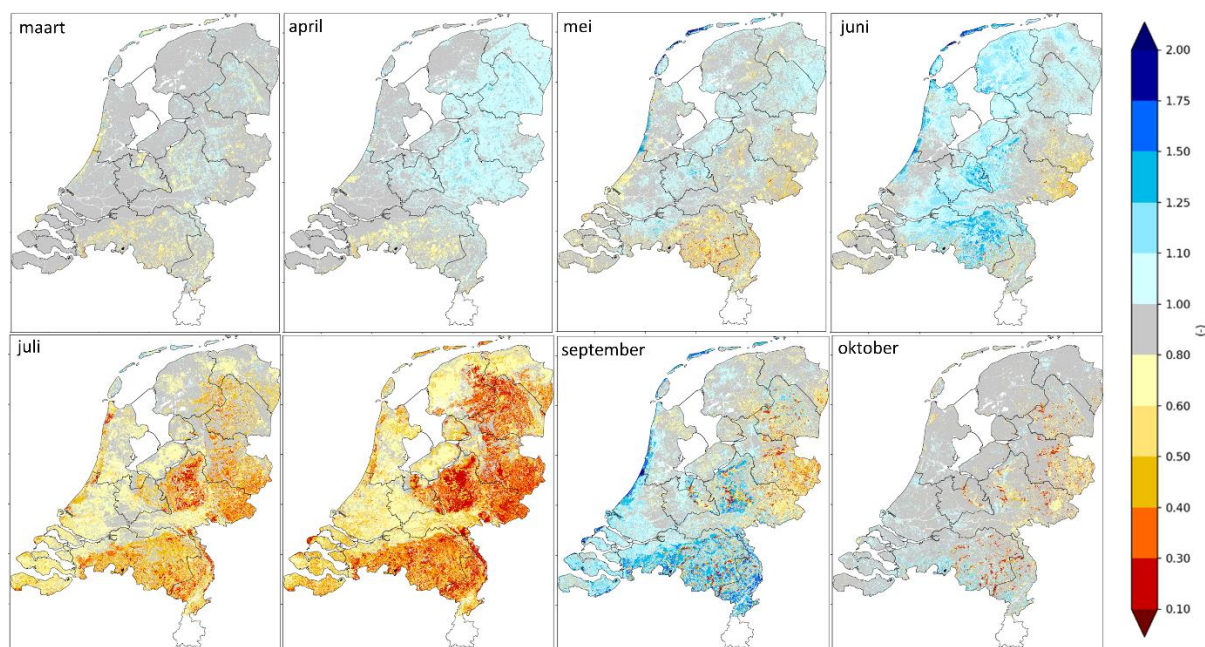
Figuur 2.3 Situatie in Rijn, Maas en IJsselmeer in 2022. Afvoerloop van de Rijn bij Lobith op maandbasis (boven) en afvoerloop van de Maas bij Monsin op dagbasis (midden) in 2018 en 2022. Onder: Peilverloop IJsselmeer in verschillende droge jaren. Bron data: rws.waterinfo.nl en metingen RWS.

2.4 Bodemvocht en grondwater

De meteorologische droogte van 2022 heeft een sterk effect gehad op het bodemvocht en het grondwater. Een analyse is uitgevoerd op basis van berekeningen met het Landelijk

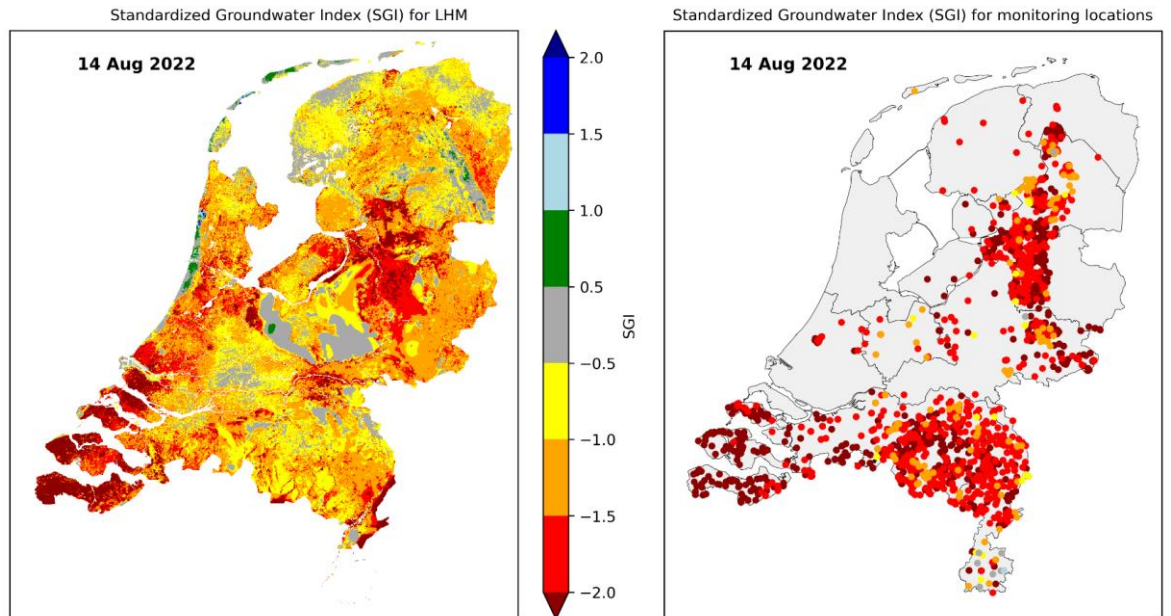
Hydrologisch Model (LHM) en beschikbare grondwatermetingen uit het droogteportaal⁶. Hierbij is ook een vergelijking gemaakt met de droogte van 2018. Bodemvochtgehalten en grondwaterstanden zijn steeds vergeleken met het langjarig gemiddelde (30 jaar). Voor grondwater is ook een analyse gedaan op basis van de Standardized Groundwater Index (SGI). Termen als laag of extreem laag duiden steeds op een toestand op een bepaald moment in het jaar ten opzichte van het langjarig gemiddelde.

Zowel bodemvochtgehalte als grondwaterstanden waren in 2022 vanaf maart laag ten opzichte van het langjarig gemiddelde in het zuiden van het land, waarna vanaf mei ook in het oosten bodemvochtgehalten en grondwaterstanden daalden. Van juli tot september waren bodemvochtgehalten en grondwaterstanden in heel Nederland laag (Figuur 2.4). In 2018 traden 'pas' vanaf mei lagere bodemvochtgehalten en grondwaterstanden dan het langjarige gemiddelde op in het zuiden en oosten van Nederland. In dat jaar waren bodemvochtgehalten en grondwaterstanden in grote delen van Nederland laag tot extreem laag t.o.v. met het langjarig gemiddelde vanaf juli tot na oktober. In 2022 werden de laagste grondwaterstanden eind augustus (t.o.v. het langjarig gemiddelde) gemeten, terwijl in 2018 de grondwaterstanden pas half oktober het laagste punt (t.o.v. het langjarig gemiddelde) hadden bereikt. Zowel in 2022 als in 2018 werden grondwaterstanden bereikt die maar eens in de 40 tot 50 jaar voorkomen (Figuur 2.5).



Figuur 2.4 Berekende relatieve bodemvochtgehalten in de bovenste 10 cm van de bodem voor de maanden maart t/m oktober van 2022. Hierbij is het bodemvochtgehalte van 2022 gedeeld door het langjarig gemiddelde bodemvochtgehalte over de periode 1990-2017. Blauwe kleuren tonen relatief hogere bodemvochtgehalten in 2022 ten opzichte van het gemiddelde en geel/rode kleuren tonen relatief lagere bodemvochtgehalten in 2022.

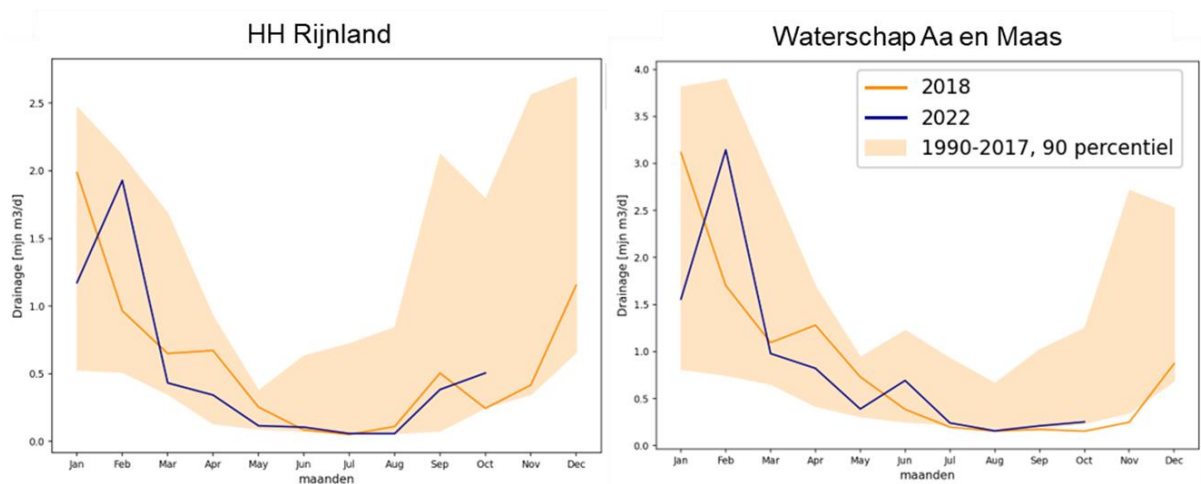
⁶ Het droogteportaal geeft een overzicht van actuele grondwaterstanden op monitoringslocaties in de zandgebieden van Nederland (<https://droogteportaal.nl/droogteportaal/web/>)



Figuur 2.5 Zeer lage SGI-waarden op 14 augustus 2022 berekend op basis van de LHM-resultaten (links) en de metingen (rechts).

2.5 Grondwaterafvoer

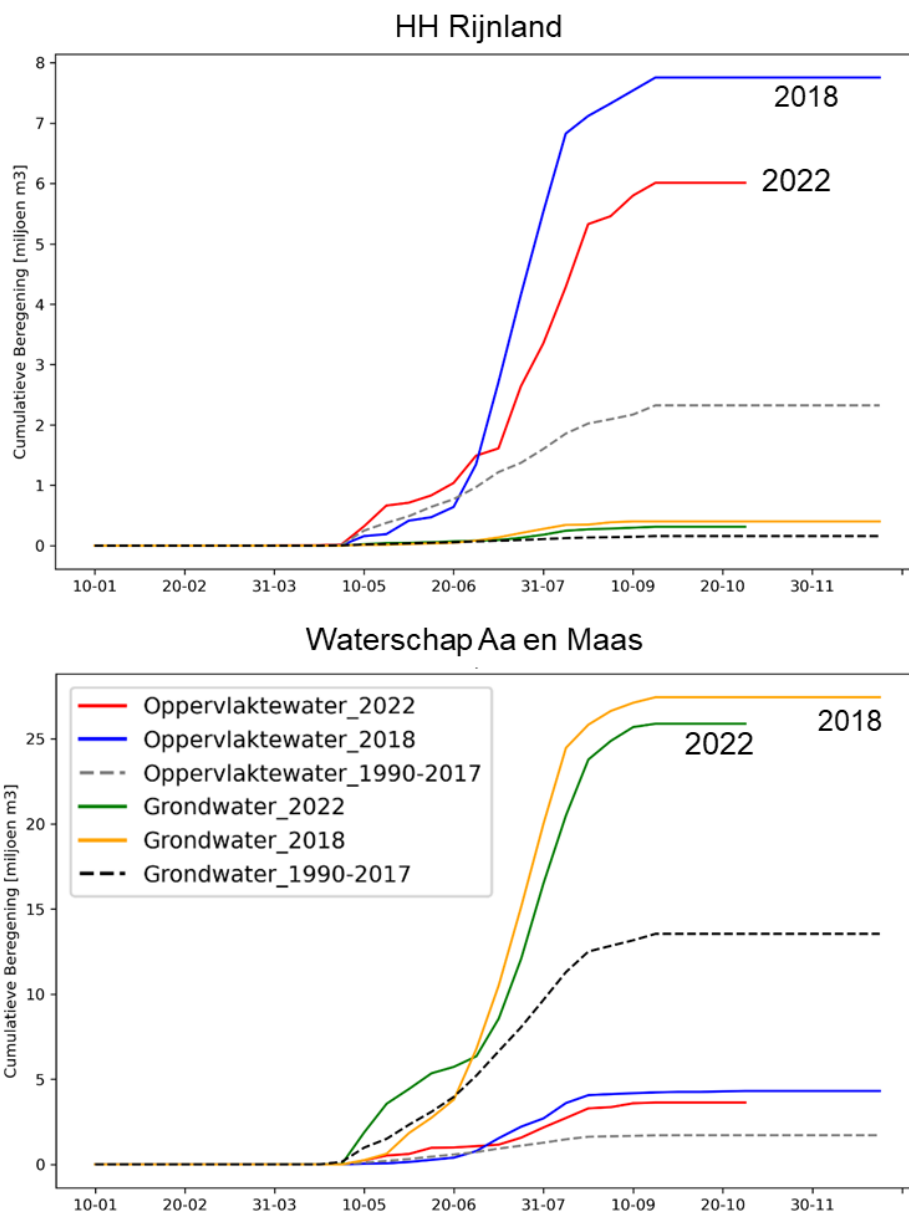
Als gevolg van de lage grondwaterstanden nam zowel in 2018 als in 2022 de grondwaterafvoer in grote delen van Nederland af. Figuur 2.6 geeft hiervan twee voorbeelden voor laag Nederland (Hoogheemraadschap Rijnland) en Hoog Nederland (Waterschap Aa en Maas). In Laag Nederland (veen- en kleigebieden in het westen en noorden) was wateraanvoer mogelijk vanuit de grote rivieren. In Hoog Nederland (zandgebieden in het midden, oosten en zuiden), waar geen aanvoer van water uit de grote rivieren mogelijk is, leidde de afnemende grondwaterafvoer echter tot droogval van beken. In 2022 was de grondwaterafvoer laag vanaf april/mei, terwijl dit in 2018 'pas' vanaf juni het geval was. Het jaar 2018 was namelijk tot mei natter dan normaal en begon pas in juni droog te worden door het uitblijven van neerslag. In beide jaren was de grondwaterafvoer in het grootste deel van de zandgebieden tot het einde van het jaar laag. Pas in november begon het weer te stijgen.



Figuur 2.6 Berekende grondwaterafvoer in Hoogheemraadschap Rijn en IJssel (in Laag Nederland) en waterschap Aa en Maas (in Hoog Nederland) per maand (in Mm^3/dag) weergegeven voor de extreem droge jaren 2018 en 2022 en het 90-percentiel van het langjarig gemiddelde.

2.6 Berekening

Een reactie op de lage bodemvochtgehalten en grondwaterstanden is een sterke toename van de beregening uit grondwater (vooral in de zandgebieden in Hoog Nederland) en oppervlaktewater (vooral in Laag Nederland) om opbrengstderving in de landbouw te beperken. Figuur 2.7 geeft hiervan twee voorbeelden voor Laag Nederland (Hoogheemraadschap Rijnland) en Hoog Nederland (Waterschap Aa en Maas), zoals met het LHM berekend. Het onttrekken van grondwater voor beregening zorgt voor een verdere verlaging van grondwaterstanden, ook in het omliggende gebied. Volgens de berekeningen was in 2022 de hoeveelheid onttrokken grondwater en oppervlaktewater ongeveer twee maal zo groot als in een gemiddeld jaar. In 2018 was de toename van beregening nog groter: er werd ongeveer 2.5 keer zoveel grondwater onttrokken. Opvallend is dat de toename van beregening uit grondwater in 2022 volgens de modelberekeningen al in april startte, terwijl dit in 2018 pas in juli gebeurde (Figuur 2.7).



Figuur 2.7 Berekende cumulatieve beregening uit oppervlaktewater en grondwater in de beheergebieden van Hoogheemraadschap Rijn en IJssel (in Laag Nederland) en Waterschap Aa en Maas (in Hoog Nederland) per maand weergegeven voor de extreem droge jaren 2018 en 2022 en het langjarig gemiddelde (1990-2017).

2.7 Verzilting grote rivieren

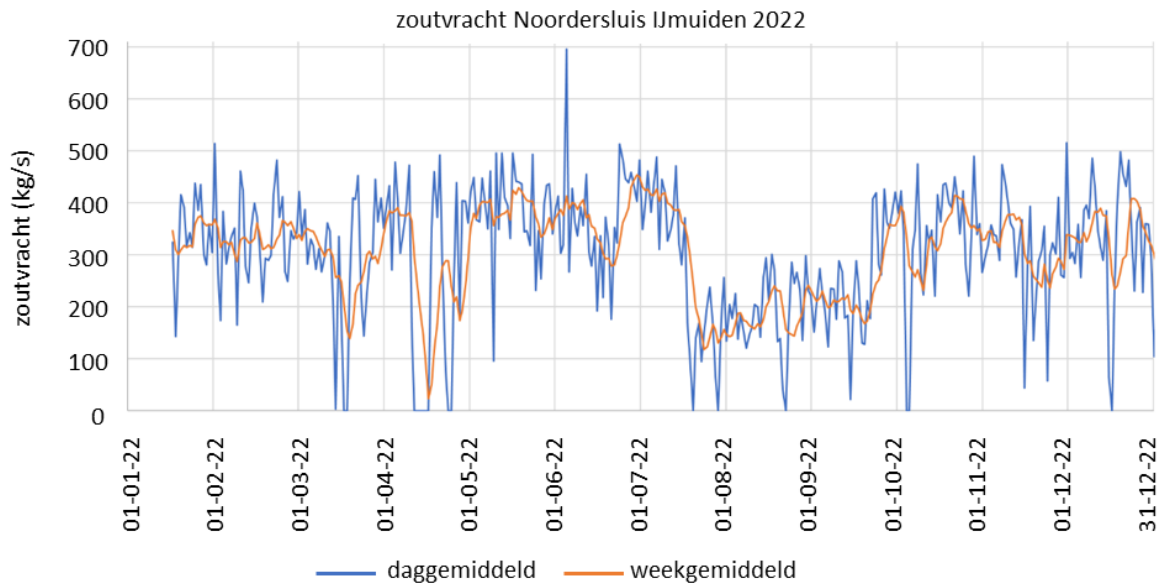
De droogte van 2022 heeft in mindere mate geleid tot verziltingsproblemen in de grote oppervlaktewateren dan tijdens de droogte van 2018. Mede dankzij de ervaringen uit het recente verleden en omdat aanvullend onderzoek is gedaan, zijn maatregelen om verziltingsproblemen tegen te gaan in 2022 eerder toegepast dan in 2018. Enkele voorbeelden van gebieden (Figuur 2.8) waar de verzilting van oppervlakte wateren hierdoor beperkt is gebleven, waren:

- Door het preventief opzetten van het IJsselmeerpeil (1) in mei was de beschikbare bufferschijf aan de start van het groeiseizoen hier maximaal (zie paragraaf 2.3) en is significant minder verzilting opgetreden dan in 2018.
- Een vervroegde vergrote doorspoeling van het Amsterdam-Rijnkanaal (locatie 2) in combinatie met de toepassen van schutbepalingen bij de zeeluisen in IJmuiden (Figuur 2.9) heeft er toe geleid dat de opdringende zouttong vanuit het Noordzeekanaal richting het Amsterdam-Rijnkanaal is beperkt.
- Door een uitgebreid meetnet in de Lek (4) was er minder onzekerheid over de indringing van verzilt water, waardoor selectiever en gerichtere doeltreffende doorspoelmaatregelen konden worden ingezet

De droogte van 2022 had daarnaast ook een substantieel ander karakter dan die van 2018: In 2022 was de rivierafvoer tot half augustus lager dan in 2018, maar steeg deze vanaf eind augustus, terwijl in het najaar van 2018 juist sprake was van een verdere daling van de rivier. Doordat de lage afvoeren in het najaar van 2018 samen vielen met opzet op zee is sprake van hogere piekconcentraties op de Lek (bij Kinderdijk, nummer 3 in Figuur 2.8) en Hollandse IJssel (bij Krimpen aan de IJssel, nummer 5 in Figuur 2.8).



Figuur 2.8 Overzicht hoofdwatersysteem Nederland (uitsnede uit kaart van Rijkswaterstaat van Helpdesk Water) met de belangrijkste locaties waar externe verzilting kan optreden: 1. Schut- en spuilsuizen IJsselmeer; 2. Sluis IJmuiden; 3. Monding Lek bij Kinderdijk; 4. Monding Hollandse IJssel (Krimpen aan de IJssel); 5. Innamepunt bij Bernisse (in combinatie met Spijkenisse).



Figuur 2.9 Afname van de zoutvracht door de Noordersluis bij IJmuiden van half juli tot half september, als gevolg van schutbepalingen (alleen schutten tussen 06:00 en 18:00 uur). Bron: <https://drought-scrolly.netlify.app/>

2.8 Interne verzilting

Interne verzilting treedt op in laaggelegen gebieden waar brak grondwater aan de oppervlakte komt. Tijdens droogte kan dit proces versnellen en de chlorideconcentratie van bodemvocht en oppervlaktewater toenemen. Weinig meetgegevens van interne verzilting zijn beschikbaar. Om toch inzicht te verkrijgen in de interne verzilting gedurende 2022 zijn interviews gehouden met waterbeheerders in Laag Nederland en zijn enkele meetreeksen van chlorideconcentratie in poldersloten geanalyseerd.

Iedere provincie/regio heeft gebiedseigen problemen met droogte en verzilting. Dit is afhankelijk van de zoutlast, de hoeveelheid water die nodig is voor de landbouw, de regionaal gehanteerde zoutnormen waarmee het water wordt gestuurd en de mogelijkheden voor aanvoer van zoetwater. Tabel 2.1 laat de kenmerken van de verziltingsproblematiek in de verschillende provincies en waterschappen zien en welke gebieden daarbij belangrijk zijn. Per (deel-)gebied of polder gelden bepaalde grenswaarden voor de mate van verzilting die toelaatbaar is. Deze waarden kunnen sterk van elkaar verschillen afhankelijk van het water- en landgebruik. Een compleet overzicht hiervan ontbreekt op dit moment nog.

Over het algemeen werd 2022 ervaren als een minder problematisch jaar wat betreft droogte en verzilting dan 2018. Ook zijn er in 2022 geen nieuwe risicogebieden bijgekomen en ontvingen de waterbeheerders weinig meldingen van watergebruikers over (te) hoge chlorideconcentraties in het water. Uit de gesprekken met de waterbeheerders kwamen de volgende bevindingen ten aanzien van de mate van verzilting op de meetpunten naar voren:

- De pieken in 2018 waren vaak hoger dan in 2022, maar dit geldt niet voor alle gebieden.
- De verhoogde waarden hielden in 2018 gemiddeld gezien tot later in het jaar aan.
- De verhoging trad in 2022 vaak eerder en sneller op dan in 2018.

De waterbeheerders schrijven de beperkte mate van verziltingsproblematiek toe aan de impuls die gegeven is aan het thema droogte en verzilting sinds 2018. Hierdoor was men beter voorbereid in 2022 dan in 2018. Een overzicht van de maatregelen die zijn genomen

ontbreekt op dit moment nog. Ook – of mede daardoor – was in alle regio's in Laag Nederland voldoende zoet water beschikbaar om door te spoelen. De mogelijkheid om door te spoelen met zoet water vanuit de grote rivieren is voor de regionale waterbeheerders een belangrijke factor van onzekerheid. Beslissingen over de verdeling van dit water worden genomen op nationale schaal. Een beperking van de beschikbaarheid van doorspoelwater kan tijdens toekomstige droogte (als een groot neerslagtekort samenvalt met een periode van lage rivierafvoer) voor grotere verziltingsproblemen zorgen.

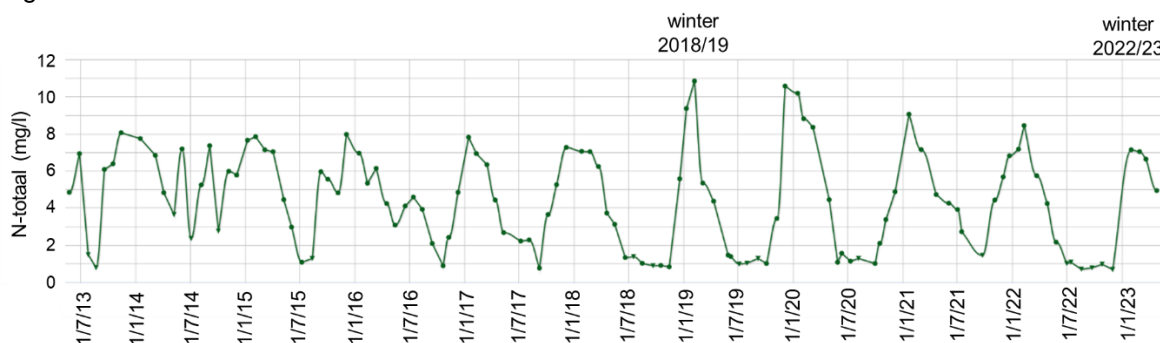
Tabel 2.1 Overzicht met risicogebieden op verzilting per provincie en waterschap.

Provincie	Waterschap	Risicogebieden
Zeeland	Scheldestromen	Zuidrand Schouwen-Duiveland, Tholen, rond Middelburg en kanaal door Zuid-Beveland
Zuid-Holland	Delfland	Parksluizen (Schie) en andere sluizen in verbinding met Nieuwe Waterweg, Westland indien verzilting Brielse meer, schutsluizen
	HHSK	Zuidplaspolder en Ringvaart, Rotte systeem
	Rijnland	Haarlemmermeer, Hollandsche IJssel, Noordzeekanaal
Noord Holland	HHNK	Zuidelijk gedeelte en boezem Koopvaarderschutsluis
Flevoland	Flevoland	Noordoosten van Lelystad, Noordoostpolder (oost en west), Middengebied Flevopolder
Friesland	Friesland	Kustzone waddengebied
Groningen	Groningen	Kustzone, Lauwersmeer

2.9 Nitraatconcentraties en algenbloei

Als gevolg van lage grondwaterstanden vindt tijdens een droogte weinig uitspoeling van verontreinigingen in de bodem plaats. Nitraat is hiervan een belangrijk voorbeeld. Nitraatconcentraties in het oppervlaktewater zijn hierdoor relatief laag tijdens droge zomers en nitraat en nitraatvormend substraat hoopt zich op in de bodem. In het najaar of de winterperiode, wanneer de grondwaterstanden zijn gestegen, vindt echter een piek in nitraatuitspoeling plaats. Metingen laten zien dat dit patroon in nitraatconcentraties ook in (en na) de droge jaren van 2018 en – in mindere mate – 2022 zichtbaar was. Figuur 2.10 toont hiervan een voorbeeld voor de Leerinkbeek. Deze pieken in nitraatuitspoeling na afloop van een droog jaar zorgen waarschijnlijk vooral in het jaar na een droogte voor eutrofiëring en slechte/matige ecologische condities van oppervlaktewaterlichamen benedenstrooms

Figuur 4.1.



Figuur 2.10 Meetgegevens voor stikstof (N-totaal in mg/l) tot en met april 2023 voor MNLSO-locatie LEB01 (Leerinkbeek) in waterschap Rijn en IJssel. Vanaf juni 2013 t/m april 2023.

2.10 Crisismanagement en noodmaatregelen

Zowel tijdens de 2018 als de 2022 droogte was gedurende een periode van 7-8 weken in augustus en september sprake van feitelijke watertekorten, overeenkomend met opschalingsniveau 2 van het Landelijk draaiboek Waterverdeling en Droogte (2021)⁷, waarin de criteria voor landelijke opschaling zijn vastgelegd.

Bovenregionale crisismaatregelen betroffen onder andere:

- Mei en juli: opzet peilen IJsselmeer en Markermeer
- 18 juli – 16 september: in werking stellen van de Klimaatbestendige Water Aanvoervoorziening (KWA) voor West-Nederland.
- 28 juli: extra pompen gemaal Eefde

Regionale noodmaatregelen, zoals onttrekkingsverboden uit oppervlaktewater, waren met name in de hogere zandgronden nodig en gericht op het vasthouden van water en beschermen van kwetsbare natuur. In Laag Nederland was er veel aandacht voor maatregelen gericht op de stabiliteit van (veen)dijken en waren er vaarverboden of andere vaarbepalingen. Tabel 2.2 geeft een overzicht op hoofdlijnen van het type crisismaatregelen in verschillende delen van Nederland. Hierin is ook zichtbaar dat in de laaggelegen delen van Noord Nederland en Flevoland voldoende water beschikbaar was vanuit het IJsselmeer en vanuit kwel, waardoor er weinig/geen maatregelen nodig waren. In het achtergrondrapport (op te vragen bij Deltares) is een overzicht opgenomen met alle maatregelen die door regionale waterbeheerders zijn genomen in 2022.

Tabel 2.2 Overzicht van crisismanagementmaatregelen in verschillende regio's in Nederland (op hoofdlijnen).
Bron: websites van de 21 Nederlandse waterschappen in 2022.

Regio	Type crisismaatregelen
Hoge zangronden en beheergebied Scheldestromen	Waar mogelijk: extra water naar urgente plekken gepompt vanuit kanalen/rivieren Onttrekkingsverboden of oproep tot minder onttrekken. Voornamelijk verbod op onttrekking oppervlaktewater, enkele verboden grondwateronttrekking. Boom- en fruitteelt, drenking vee en bluswater zijn vrijgesteld van onttrekkingsverboden.
West Nederland (Laag Nederland)	KWA, zout buitenhouden, beperkingen scheepvaart, inspectie droogtegevoelige dijken, op enkele plekken versterking kades, oproepen om zuinig om te gaan met water
Noord Nederland en Flevoland (Laag Nederland)	Voldoende IJsselmeerwater en kwelwater beschikbaar; droogteproblematiek beperkt. Weinig/geen extra maatregelen.

⁷ <https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/crisismanagement/landelijk-draaiboek/>

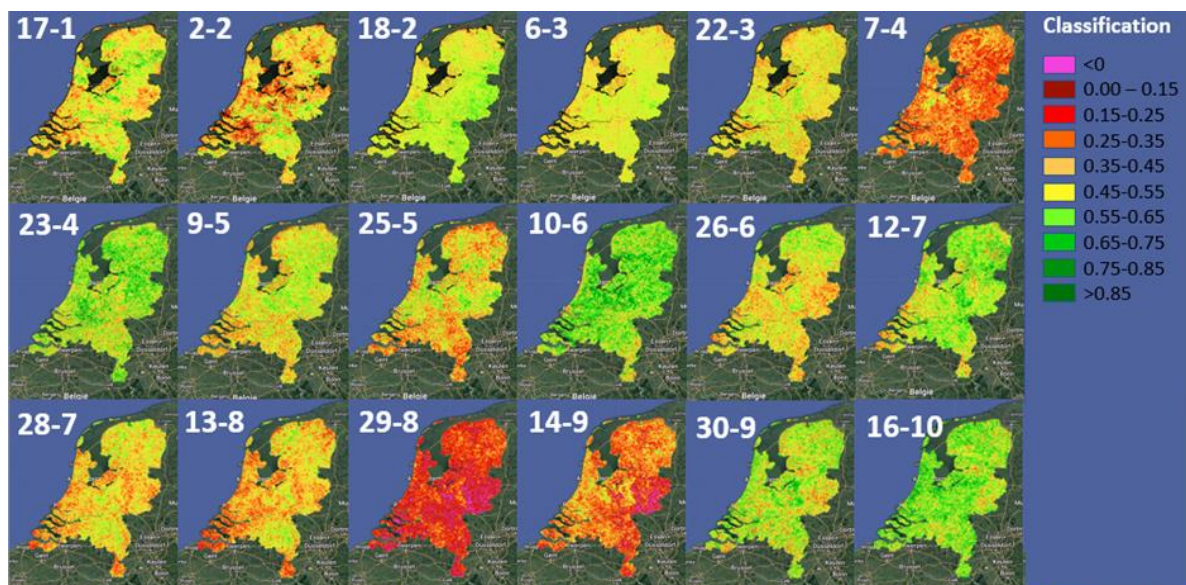
3 Impact van de droogte

3.1 Vegetatiecondities

Door de afname van bodemvocht is er minder vocht voor vegetatie beschikbaar om te verdampen. Ook hoge temperaturen die optreden tijdens droogte hebben een negatief effect op planten, zowel in natuurgebieden als landbouwgewassen.

Modelberekeningen met het LHM laten zien dat gewassen tijdens de extreem droge jaren 2018 en 2022 in vergelijking met het langjarig gemiddelde veel minder verdampen dan ze potentieel zouden kunnen. De hierdoor veroorzaakte droogtestress is het grootst voor de hoger gelegen gebieden met grondwaterstanden dieper dan 2 meter. De grondwaterstand staat hier te diep om het bodemvocht in de wortelzone aan te vullen via capillaire opstijging. Dit is ook terug te zien in de berekende beregeningsbehoefte: die was in 2018 en 2022 respectievelijk ongeveer 2,5 en 2 keer zo groot als gemiddeld.

De Vegetation Health Index (VHI; een indicator op basis van satellietgegevens) laat zien dat de vegetatieomstandigheden zowel eind augustus 2022 als begin augustus 2018 zeer ongunstig waren. Eind maart en begin april in 2022 waren de vegetatie-condities ook relatief slecht, waarschijnlijk als gevolg van de droge maand maart (Figuur 3.1), terwijl in 2018 de droogte meer impact lijkt te hebben gehad op de vegetatie in de periode eind april, mei en begin juni.



Figuur 3.1 Landelijke beelden van de Vegetation Health Index (VHI) in 2022 (1 beeld per 16 dagen). Datus geven de einddatum van de 16-daagse periode aan. Kleurclassificaties variëren van extreem ongunstige vegetatiecondities (rood) tot extreem gunstige vegetatiecondities (donkergroen). De meest extreme klasse (roze/paars; $VHI < 0$) geeft condities aan die slechter zijn dan waargenomen in de referentieperiode (2001-2021).

Vooraf in de oostelijke delen van Overijssel en Gelderland waren de vegetatieomstandigheden in de zomer van 2022 slechter dan eerder waargenomen in de referentieperiode (tussen 2001-2021). Ruimtelijk lijken de vegetatiecondities op de Veluwe en de Utrechtse Heuvelrug het hele jaar door gunstiger te zijn. Dit heeft mogelijk als oorzaak dat de vegetatie in de hoger gelegen delen van deze gebieden gewend is aan lage bodemvocht-

gehalten en/of dat de vegetatie toegang heeft tot dieper grondwater. Mogelijk werd in de agrarische delen van deze gebieden relatief veel werd beregend.

3.2 Natuur en biodiversiteit

Natuurorganisaties geven aan dat in delen van Nederland de natuur negatieve gevolgen heeft ondervonden van de droogte in 2022. Deze informatie is verkregen uit interviews en voornamelijk gebaseerd op visuele inspecties van boswachters van de natuurbeherende organisaties.

De grondwaterafhankelijke natuur op de hoge zandgronden heeft veel last gehad van de 2022 droogte, wellicht nog meer dan in 2018. Mogelijk gaat het hierbij om (deels) onomkeerbare lange-termijn effecten. Het gaat daarbij zowel om aquatische als terrestrische natuur. Dit was te zien aan de effecten van droogval van vennen, beken, poelen en sloten en dalende grondwaterstanden op de natuur en biodiversiteit. Zeldzame vissen (zoals beekprik en aal) kunnen moeilijk migreren of gaan dood, mogelijk met lokale uitsterving tot gevolg. En in de Roer, een zijrivier van de Maas, zijn minder optrekkende zalmen waargenomen. Om kwetsbare soorten (zoals de beekprik) te redden, moesten vissen worden weggevangen of moest grondwater worden opgepompt om beken te laten stromen. De droogval heeft ook effect gehad op amfibieën (boomkikker, beschermde knoflookpad) doordat er weinig tot geen voortplantingsmogelijkheden waren. Sommige populaties kunnen hierdoor in Nederland uitsterven, bijvoorbeeld de kwetsbare kamsalamanders in Twente (Salland) en Brabant (Kleine Meer) en de bedreigde Geelbuikvuurpad in Limburg.

Op steeds meer plekken verzwakken bomen steeds verder en lijkt de 2022-droogte de laatste 'genadeklap': bomen staan op omvallen en sterven af door droogte in combinatie met andere factoren, zoals boomziektes (o.a. de letterzetter) en stikstof. Dit geldt voor naaldbomen, zoals de fijnspar, en loofbomen, zoals (oude) eiken en beuken. Ook is er schade aan beukenlanen en heidegebieden op de Veluwe.

Dieren ondervonden last van de droogte doordat er minder water en voedsel beschikbaar was en moesten risico's nemen om open water te kunnen bereiken. Er zijn minder zeldzame vlinders waargenomen en ook watergebonden insecten zoals libellen staan onder druk.

In laag-Nederland waren de effecten minder groot, doordat er nog voldoende wateraanvoer uit het hoofdwatersysteem mogelijk was. Wel waren er problemen met de waterkwaliteit (algenbloei) en zijn veenscheuren geobserveerd, wat duidt op onherstelbare veenoxidatie.

3.3 Natuurbranden

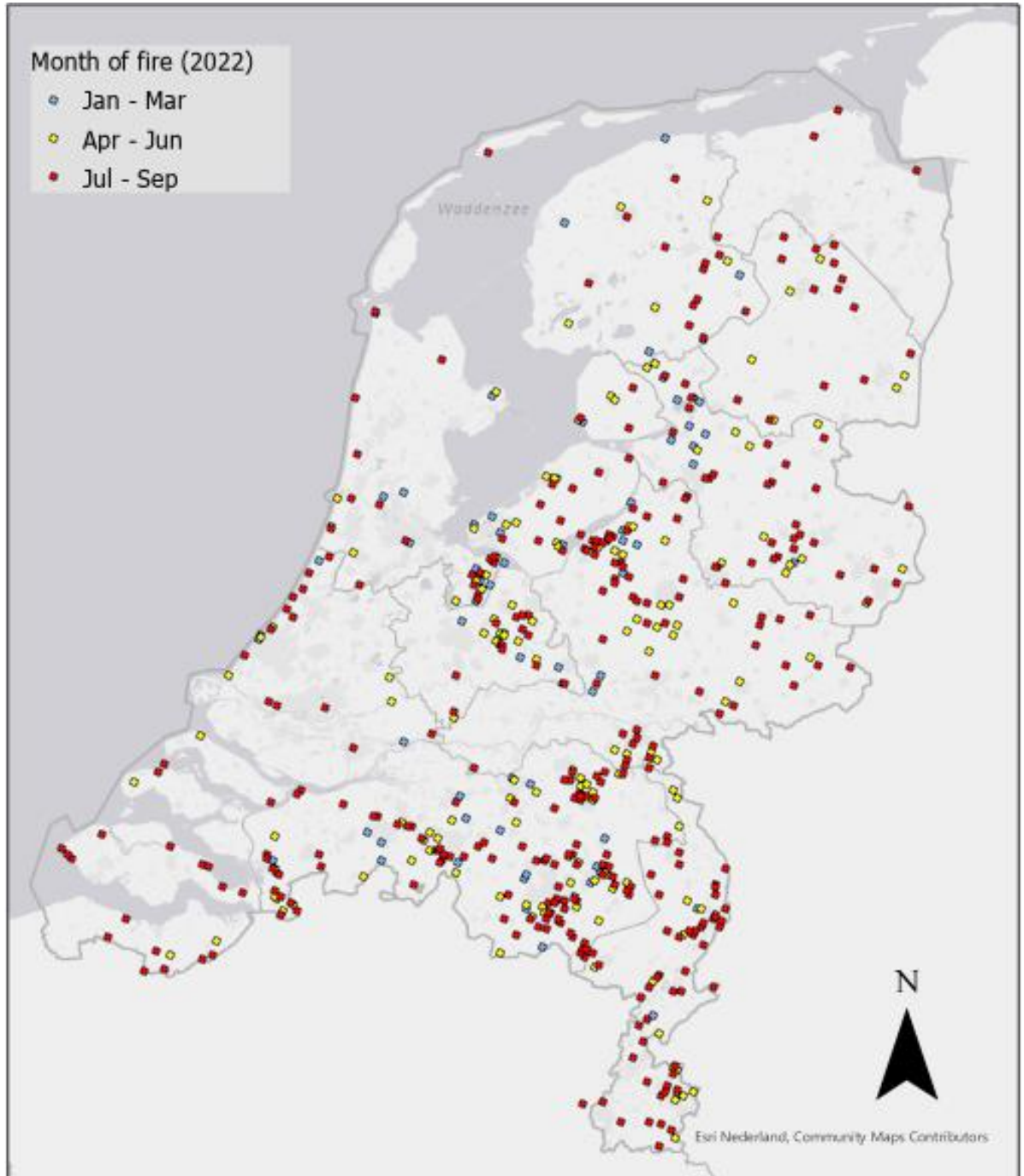
Het aantal natuurbranden in 2022 was met 650 gemelde branden tot begin september hoog ten opzichte van andere jaren (Figuur 3.2). In 2018 was het aantal nog hoger: 825. Dit is op basis van data over brandweerinzet verzameld door NIPV/WUR. Ondanks het grote neerslagtekort bleven grootschalige natuurbranden uit.

Desalniettemin waren in 2022 de gevolgen duidelijk zichtbaar voor de maatschappij. De Mariapeel was de grootste brand (ca 45 ha). Andere maatschappelijke effecten waren adviezen tot evacuatie van bewoners nabij natuurbranden, wegafsluitingen van (hoofdweg)infrastructuur ten gevolge van bermbranden en rookvorming. Dit heeft ook consequenties gehad voor de ruime omgeving van deze wegen.

De meeste branden vonden plaats op zandgronden. Droogte-indicatoren die bij het ontstaan van natuurbranden een rol spelen en die we onderzocht hebben zijn bodemvocht en grondwaterstanden. De modeldata laten zien dat de grondwaterstand ten tijde van de brand

in meer dan de helft van de locaties (323) in de maand van ontsteking minimaal 10 cm lager stond dan gemiddeld. Voor bodemvocht laten 438 van de 650 locaties een drogere waarde zien dan de referentieperiode.

Andere factoren die een rol spelen bij het ontstaan van een natuurbrand zijn de droogtegevoeligheid van de vegetatie en ruimtelijke eigenschappen zoals recreatiegebieden of parkeerplaatsen waar vaker ontsteking plaatsvindt. Ook windsnelheid en relatieve luchtvochtigheid speelt een rol in zowel de ontsteking als de verspreiding van natuurbranden.



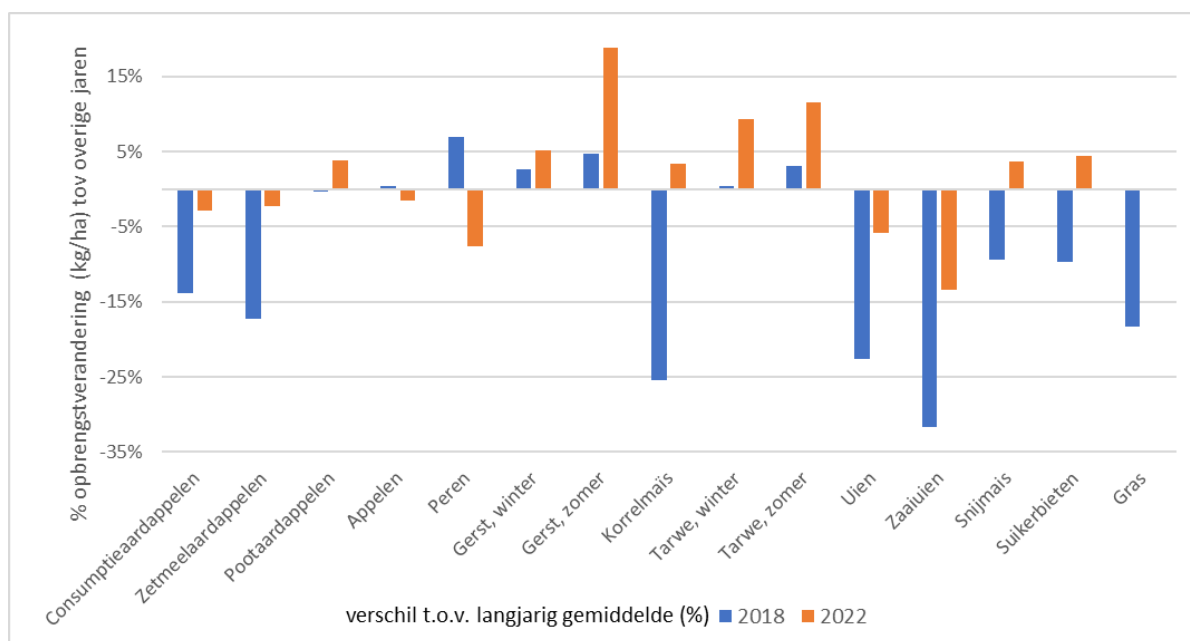
Figuur 3.2 Overzicht van locaties van de natuurbranden gerapporteerd door NIPV/WUR van januari tot begin september 2022. De kleuren indiceren de maand waarin de brand plaats heeft gevonden. Bron: Stoof et. Al., 2024.

3.4 Landbouw

In 2022 was er nauwelijks een verandering te zien in de landbouwopbrengst ten opzichte van het gemiddelde in de voorgaande jaren. Voor sommige gewassen was de opbrengst per ha zelfs groter dan gemiddeld (o.a. tarwe en gerst). In 2018 was de opbrengst juist lager dan gemiddeld als gevolg van de droogte. Daarnaast lagen de prijzen van landbouwgewassen in 2022 over het algemeen een stuk hoger dan gemiddeld dan in 2018. Deze prijsstijging staat waarschijnlijk los van de droogtesituatie in Nederland, en hangt vooral samen met de stijging van de prijzen op de wereldmarkt.

Uit de analyse kan worden afgeleid dat 2018 en 2022 voor de landbouwproducenten (totaal over alle bedrijven in Nederland) bedrijfseconomisch betere jaren geweest zijn dan gemiddeld. En dat 2022 weer veel beter was dan 2018. Externe omstandigheden, zoals toegenomen voedselprijzen door de oorlog in Oekraïne, spelen naast de droogte een grote rol. Wel geldt dat agrariërs meer kosten hebben moeten maken voor beregening. Ook zijn er grote verschillen tussen regio's en type gewassen. In gebieden waar de aanvoer van zoetwater vanuit het oppervlaktewater of grondwater voor irrigatie beperkt was, had de droogte mogelijk wel een negatieve impact op landbouwbedrijven. Voor de consumenten geldt dat voor de meeste gewassen hogere prijzen moesten worden betaald. Het netto welvaartseffect van 2022 is positief; dat van 2018 (licht) negatief. In beide jaren vond een forse verschuiving van welvaart plaats van de consument naar de producent ten opzichte van een gemiddeld jaar, met name door de hogere gewasprijzen.

Het effect van de aanzienlijke droogte in 2022 op de fysieke opbrengst is beperkt en kleiner dan in 2018, ondanks dat de droogte-indicatoren in ernst een vergelijkbaar beeld laten zien (oa. neerslagtekort, bodemvocht en grondwaterstanden) (Figuur 3.3). Dit kan mogelijk verklaard worden doordat de droogte in 2022 in de kritieke periode in het voorjaar minder intens was dan in 2018. Daarnaast speelt waarschijnlijk mee dat boeren na 2018 adaptatiemaatregelen hebben genomen, zoals het investeren in beregeningsinstallaties en maatregelen om water langer vast te houden. Of deze autonome adaptatiemaatregel de impact van droogte op landbouw inderdaad heeft verkleind is nog niet onderzocht.



Figuur 3.3 Procentuele afwijking van de fysieke opbrengst in kg/ha voor de droogtejaren 2018 en 2022 ten opzichte van het gemiddelde van de overige jaren tussen 2014 en 2021 (voor 2022 zijn er geen gegevens voor hooi) Bron: Agrimatie.

3.5 Dijkveiligheid

Op basis van literatuur, expertkennis en gesprekken met waterschappen blijkt dat droogte mogelijk invloed heeft op de vele primaire en regionale keringen in Nederland door een toename van scheurvorming, grassterfte en graverij door dieren. Een groot aantal waterschappen is de laatste jaren bezig met het bekijken welke maatregelen zij kunnen treffen in droge periodes. Inventarisaties van de waterschappen laten zien dat de dijkbekleding in het algemeen veerkrachtig is en dat eventuele scheuren in de dijk en beschadigingen in de grasmat zich na een flinke regenbui snel herstellen (Figuur 3.4). Aanvullende gesprekken met een aantal waterschappen geven echter aan dat er nog veel onbekend is over het effect van (toekomstige) droogte op de waterveiligheid en de effectiviteit van maatregelen zoals beweiding, maaien en besproeien. Op basis van hun observaties geven de waterschappen aan dat er zeker correlaties zijn tussen droogte, scheurvorming, grassterfte en graverijen.



Figuur 3.4 Voorbeelden van scheurvorming bij droogte (links; bron: WDOD) en een bevergang (recht; bron: WSRL)

3.6 Bodemdaling en CO₂-uitstoot

Het Nederlandse veenweidegebied heeft te maken met bodemdaling (gemiddeld ca. 5-6 mm/jaar) en CO₂-uitstoot (ca. 3% van de totale uitstoot in Nederland). Drainage van het veenweidegebied zorgt ervoor dat veenpakketten aan zuurstof worden blootgesteld, wat leidt tot afbraak van het veen (veenoxidatie) door microben en daarmee tot o.a. CO₂-uitstoot en (chemische) bodemdaling. Daarnaast vindt (fysische) bodemdaling plaats door o.a. belastingen en inklinking. Al deze processen zijn sterk gerelateerd aan de ontwikkeling van de grondwaterstand. Droge zomers - zoals die van 2018 en 2022 - waarin grondwaterstanden uitzakken, kunnen daarom mogelijk leiden tot (veel) meer bodemdaling en CO₂-uitstoot.

De precieze invloed van droogte op bodemdaling en CO₂-uitstoot in het veenweidegebied is moeilijk vast te stellen, omdat beschikbare metingen een grote onzekerheid hebben en vaak (nog) niet lang lopen. In deze studie gebruiken we meet- en modelresultaten van het Nationaal Onderzoeksprogramma Broeikasgassen Veenweide (NOBV) om de impact van de zomer van 2022 zo goed mogelijk in te schatten; hiervoor is – in aanvulling op de beschikbare metingen - het SOMERS model gebruikt.

De droge zomer van 2022 heeft geleid tot lagere zomergrondwaterstanden in het veenweidegebied in vergelijking met minder droge jaren. In gebieden met brede percelen en diepe droogleggingen zijn de grondwaterstanden waarschijnlijk het diepst uitgezakt. Het is te verwachten dat de lage grondwaterstanden hier tot meer bodemdaling en CO₂-uitstoot dan gemiddeld. Hoewel de beschikbare meet- en modelresultaten aan bodemdaling en CO₂-uitstoot indicaties geven dat dit inderdaad het geval was, kan dit tot op heden nog niet worden gekwantificeerd.

3.7 Stedelijk gebied

De impact van de droogte in stedelijk gebied is op hoofdlijnen te onderscheiden in vier effecten: (i) watertekort in de ondergrond, (ii) watertekort oppervlaktewater, (iii) waterbehoefte en waterverbruik, (iv) verminderde wateraanvoer. Vooral 'watertekort in de ondergrond' met als gevolg bodemdaling, funderingsschade en schade aan infrastructuur door ongelijkmatige zakking krijgt steeds meer aandacht. Maar ook schade aan vegetatie (m.n. monumentale bomen), woonboten en drijvende woningen behoren tot de zichtbare impact. In Zwolle zijn in 2018 bijvoorbeeld 300 oude populieren uit voorzorg gekapt, omdat afstervende takken een gevaar vormden voor mensen.

Volgens Rli (2024) hebben ongeveer 425.000 gebouwen nu al funderingsschade of zal die schade binnen afzienbare tijd gaan ontstaan. Deze schade is niet alleen door droogte veroorzaakt, maar hier wel door versterkt. Het beperken van uitzakkende grondwaterstanden is belangrijk om verdere bodemdaling en funderingsschade tegen te gaan en daarmee (verdere) schade voor gebouwen te beperken.

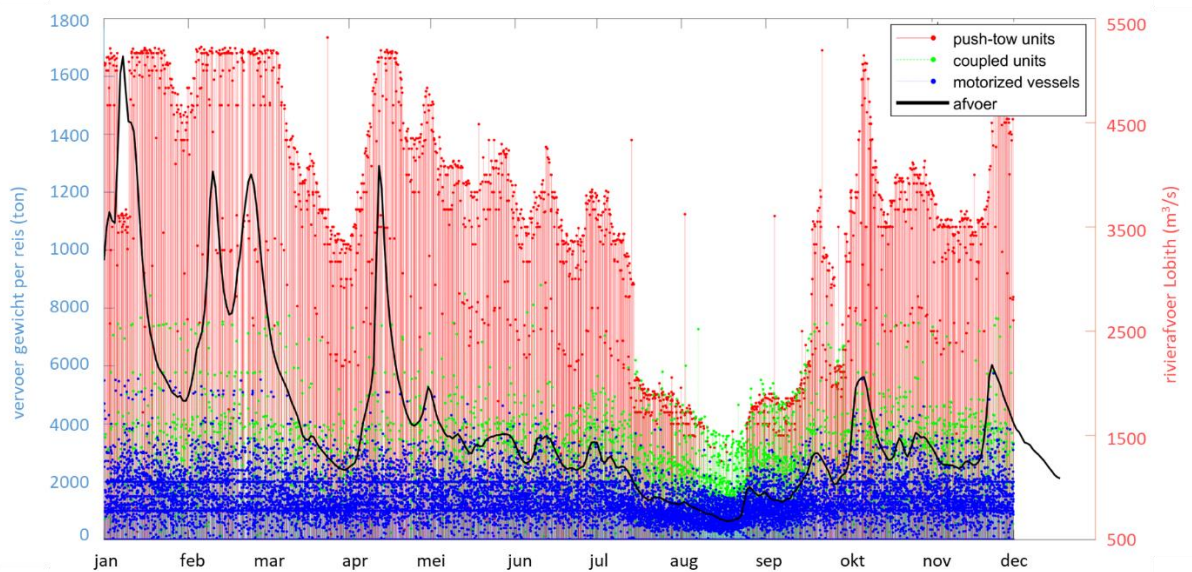
Uit peilbuizen in Leiden bleek dat het grondwaterniveau in 2018 gedurende twee maanden onder een kritiek niveau stond, een indicatie voor watertekort in de ondergrond. De specifieke gevolgen die dit heeft gehad voor funderingen zijn echter niet onderzocht. Landelijk gezien nam het aantal meldingen over funderingsschade van huiseigenaren bij KCAF (KCAF, 2022) toe na de zomer van 2018 en 2022, ook in gebieden waar tot dan toe geen of weinig last van funderingsschade ondervonden werd. Funderingsschade is niet verzekeraar en de mogelijkheden voor woningeigenaren om woningschade te voorkomen zijn beperkt. Verwacht wordt dat het risico op verschildzetting in 2050 als gevolg van klimaatverandering (KNMI W_H) en peilindexatie zal toenemen.

3.8 Scheepvaart

De scheepvaart is in 2022 flink getroffen, doordat de rivierafvoeren erg laag waren. De hardst getroffen ketens waren de chemische ketens en bulktransport (denk aan brandstoffen, kolen, bouwmaterialen, etc.). Bij lage rivierafvoeren kan de scheepvaart minder lading transporteren (Figuur 3.5). Om ondanks de lage afvoeren toch zoveel mogelijk vracht te kunnen vervoeren, werden meer reizen (ongeveer een verdubbeling op de corridor Rotterdam-Duitsland) met minder lading gemaakt, waardoor alsnog slechts gedeeltelijk aan de transportvraag kon worden voldaan. Meer reizen betekent ook hogere vaarkosten, meer uitstoot, meer wachttijden en verminderde nautische veiligheid.

Naast schade door dieptebeperkingen ontstond voor de scheepvaart schade door maatregelen van waterbeheerders. Ten behoeve van peilbehoud voor de watervoorziening werd bijvoorbeeld beperkt gesluisd bij o.a. sluis Eefde en werd zelfs sluiting van het Twentekanaal overwogen (er waren noodpompen nodig om het schutverlies te compenseren). En om zoutindringing op het Noordzeekanaal, Amsterdam-Rijnkanaal en in het IJsselmeer te beperken zijn op meerdere locaties (o.a. bij IJmuiden en in de Afsluitdijk) schutbeperkingen geweest die voor flinke hinder hebben gezorgd.

Als een periode van laagwater langer aanhoudt kunnen voorraden uitgeput raken op de plaats van bestemming, waardoor bedrijven, fabrieken, tankstations of bouwplaatsen vertragingen oplopen of het productieproces moeten afschalen, resulterend in grote gevolgschade. De laagwaterperiode was in 2022 korter dan in 2018. Door de vrij korte duur van de droogte raakten voorraden nauwelijks uitgeput en bleef deze gevolgschade in 2022 beperkt. Noodmaatregelen, dat wil zeggen lading vervoeren over de weg of per spoor, werden niet of nauwelijks ingezet.



Figuur 3.5 Verloop van vervoerd gewicht (linker y-as) per reis voor alle reizen op de corridor Rotterdam-Duitsland over het jaar 2022 met onderscheid in type schip (bron: bewerking op IVS Next weekmonitors). De rivierafvoer bij Lobith is weergegeven met de zwarte lijn (rechter y-as).

3.9 Drinkwater

De drinkwatervoorziening heeft geen grote gevolgen ondervonden van de droogte in 2022. De problemen en knelpunten die er waren manifesteerden zich vooral bij drinkwaterinnamepunten die innemen uit het oppervlaktewater en niet zozeer bij grondwaterinnamepunten. In 2022 waren er twee inname-stops. Vanaf eind augustus nam de verzilting op het IJsselmeer toe waardoor de drinkwaterinname bij Andijk tijdelijk werd gestaakt. In de periode september t/m november heeft PWN bij Andijk water in moeten nemen met een hoger dan gewenste chlorideconcentratie. Tot begin 2023 lag de chlorideconcentratie in het uitgaande drinkwater boven het gewenste maximale chloridejaargemiddelde van 150 mg/l.

Van medio juli tot begin augustus was er een innamestop voor de Maas vanuit WML bij Heel in verband met een onbekende stof. Deze stof bleek later een alg te zijn. In deze periode kon worden overgeschakeld op grondwaterwinning. Daarnaast heeft Waterbedrijf Groningen waterinname uit de Drentsche Aa verlaagd door de lage afvoeren en heeft Dunea te maken

gekregen met verstoppingsproblemen door algen. Ook waren de afvoeren van de zijrivieren van de Maas (voornamelijk de Roer) lager dan gemiddeld, waardoor de waterbeschikbaarheid in de Maas afnam.

In 2022 waren er geen problemen bij grondwaterwinningen. Drinkwaterbedrijven hebben ook niet meer onttrokken dan vergund. Voor grondwaterwinningen is het probleem niet zozeer verminderde waterbeschikbaarheid, maar het toegenomen watergebruik. Door hoge temperaturen (vaak samenvallend met droogte) gebruiken mensen meer water. In het warme voorjaar in 2020 (tijdens corona) was er op sommige piekdagen wel 50-60% meer waterverbruik.

Volgens de geïnterviewde drinkwater- en belangenorganisaties hebben een aantal factoren ervoor gezorgd dat de problemen in 2022 beperkt zijn gebleven. De grootste knelpunten in het drinkwaternetwerk zijn opgelost na de droogte van 2018, waardoor vergunde ruimte van alle winningen makkelijker kan worden benut. Ook anticiperen drinkwaterbedrijven beter op droogte, door bijvoorbeeld de druk in leidingen op tijd te verlagen en is in 2022 is een effectieve publiekscampagne gevoerd met de focus op waterbesparing. Er werden tijdelijke maatregelen genomen door Nederlandse en Belgische waterbeheerders, zoals bergen en vasthouden van extra water. En verminderde lozing van brak water in het Ruhrgebied, zorgde ervoor dat de achtergrondconcentratie van chloride lager was. Als laatste zorgde de hoge gasprijzen in 2022 voor een vermindering van het watergebruik, doordat er minder warm water werd gebruikt.

Geïnterviewden geven aan dat de leveringszekerheid van drinkwater uit oppervlaktewater in de toekomst een probleem kan worden door lagere afvoer van de rivieren door een lage waterstand in stuwmeren, droogte in andere delen van Europa, een grotere watervraag in bovenstroomse delen van het stroomgebied, verhoogde concentraties verontreinigingen (conservatieve stoffen) en toename van toxische algen. Het toegenomen risico op scheepvaart aanvaringen (door toename scheepvaartverkeer door lage afvoeren) zorgt ook voor een grotere kans op drinkwatercalamiteiten.

De leveringszekerheid van drinkwater uit grondwater staat onder druk doordat de huidige vergunningen tijdens warme en droge perioden (bijna) maximaal worden ingezet. Drinkwaterbedrijven lopen hierdoor tegen de grenzen van de productiecapaciteit aan. Om de leveringszekerheid te waarborgen pleit de drinkwatersector voor het mogelijk maken van drinkwaterrestricties; het uitbreiden van oppervlaktewaterinnamepunten; het uitbreiden van de vergunde ruimte voor onttrekking uit het grondwater; afschakelen van bovenstroomse industrieën bij laag water; inzet van brakwater voor drinkwatervoorziening; het vergroten van spaarbekkens; actief infiltreren van water in de ondergrond; en het verbinden van drinkwaternetten.

3.10 Industrie

De industrie heeft geen grote gevolgen ondervonden van de droogte in 2022. Volgens de geraadpleegde deskundige heeft zich één daadwerkelijk probleem voorgedaan: het op tijd leveren en een gebrek aan grondstoffen, halffabricaten en producten door scheepvaartbeperkingen door de lage rivierafvoeren.

Wel waren er volgens de geïnterviewden een aantal bedreigingen van de droogte voor de industrie, waaronder tijdelijke verzilting van het Brielse meer, voorraadproblemen in met name de bouw door beperkingen in de binnenvaart en hogere operationele kosten als gevolg van inname van warmer koelwater. Noodmaatregelen hoefden uiteindelijk net niet in te worden gezet en er traden geen problemen op met onttrekkingslimieten van vergunningen of lozingsbeperkingen door hoge watertemperaturen.

De problemen zijn volgens de geïnterviewden beperkt gebleven door tijdelijke maatregelen van Nederlandse waterbeheerders, zoals inzet van de Klimaatbestendige Wateraanvoervoorziening (KWA)⁸, beperkte afhankelijkheid van grondwaterbronnen en relatieve ongevoeligheid van de industrie voor hogere concentraties verontreinigende stoffen als gevolg van lage afvoeren. Doordat de periode met lage afvoeren in 2022 korter duurde dan in 2018 bleven grote problemen met voorraden en opslag uit.

In de toekomst neemt de grondwatervraag van de industrie naar verwachting verder af, waardoor mogelijke problemen in relatie tot grondwaterbeschikbaarheid mogelijk kleiner worden. Ook wordt verwacht dat de energietransitie en het terugwinnen van warmte uit koelwater de problemen met watertemperatuur verkleinen. Wat betreft de keten van het goederenvervoer staat droogte op de agenda en worden maatregelen voorbereid, maar er wordt voorzien dat een overstap op andere modaliteiten (vrachtwagens, goederentreinen) niet eenvoudig is.

⁸ De Klimaatbestendige Wateraanvoervoorziening (KWA), voorheen Kleinschalige Wateraanvoervoorziening, is een voorziening om zoetwater vanuit het Amsterdam-Rijnkanaal en de Lek naar West-Nederland te leiden, indien de aanvoer van zoetwater vanuit de Hollandsche IJssel door zoutindringing niet mogelijk is. De KWA bestaat uit een systeem van stuwen, watergangen en gemalen. Naast deze infrastructuur bestaat de KWA ook uit afspraken tussen vier waterschappen en Rijkswaterstaat in de vorm van een waterakkoord. De maatregelen moeten namelijk genomen worden in het hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden ten behoeve van de drie hoogheemraadschappen Rijnland, Delfland en Schieland/Krimpenerwaard.

4 Conclusies en aanbevelingen

4.1 Ernst van de droogte

Figuur 4.1 geeft een samenvatting van de droogtesituatie van maand tot maand in de jaren 2018 en 2022, aangevuld met informatie over de opschaling van het crisismanagement op nationaal niveau.

Zichtbaar is dat in 2022 al vroeg in het jaar sprake is van droogte, zowel meteorologisch als in het hydrologische systeem. Waar in 2018 pas vanaf juni sprake was van droogte, was dit in 2022 al in maart het geval. De droogte in 2022 nam echter daarna weer af om in juli weer toe te nemen. In 2022 duurde de meteorologische droogte tot september, terwijl de droogte in 2018 tot het einde van jaar aanhield. Doordat de droogte in 2018 plaatsvond in periode waarin het neerslagtekort ook in gemiddelde jaren het grootste is, was het effect op de hydrologische droogte in 2018 sterker dan in 2022.

De meteorologische droogte had in 2018 en 2022 een sterk effect op de grondwaterstanden; er trad in beide jaren een verlaging op die naar schatting maar eens in de 40 tot 50 jaar voorkomt. Ook ijde de droogte lang na in het grondwatersysteem. Dit blijkt bijvoorbeeld uit de lage grondwaterstanden en lage grondwaterafvoer in het najaar. Gevolg hiervan is dat beken nog lange tijd droog stonden na de droge zomer. Ook het effect van droogte op waterkwaliteit is pas in de winter na een droogte zichtbaar, namelijk vanaf het moment dat de grondwaterstanden hoog genoeg zijn om de verontreinigingen die zich in het bodemprofiel hebben opgehoopt uit te spoelen.

Zowel tijdens de 2018 als de 2022 droogte was gedurende een periode van 7-8 weken in augustus en september sprake van feitelijke watertekorten. In deze periode zijn bovenregionale crisismaatregelen getroffen (Figuur 4.1). Daarnaast zijn in 2022 in grote delen van Nederland regionale noodmaatregelen getroffen, zoals onttrekkingsverboden uit oppervlaktewater in de hogere zandgronden en bescherming van dijken in het westen van Nederland. In de laag gelegen delen van Noord Nederland en Flevoland was voldoende water beschikbaar vanuit het IJsselmeer en vanuit regionale kwel.

4.2 Maatschappelijke gevolgen van de 2022 droogte

Het neerslagtekort en de lage rivierafvoeren waren in 2022 vergelijkbaar extreem als in 2018. Toch waren de gevolgen voor de maatschappij verschillend, onder andere door een andere verdeling van de droogte in tijd en ruimte en omdat er sinds 2018 adaptatiemaatregelen zijn uitgevoerd. Daarnaast was er vermoedelijk een groter bewustzijn onder watergebruikers, waardoor gevolgen beperkt bleven. Figuur 4.2 geeft een indicatief overzicht van de maatschappelijke gevolgen in 2018 en 2022, voor zover die ingeschat konden worden op basis van deze studie.

Traditioneel wordt bij droogtegevolgen vaak als eerste gekeken naar de economische gevolgen voor de waterafhankelijke industrie, de landbouwsector en de scheepvaartsector. Ook in de media-aandacht zien we dit terug. Er zijn echter veel meer effecten op de maatschappij die vaak minder goed uit te drukken zijn in euro's. In dit rapport is aanvullend gekeken naar: natuur en biodiversiteit, natuurbranden, dijkveiligheid, bodemdaling, CO₂ uitstoot, funderingsschade en overige effecten in stedelijk gebied, en drinkwater.

Op basis van de beschikbare informatie blijkt dat vooral de impact van droogte op natuur en funderingsschade waarschijnlijk groot was in 2018 en 2022. Voor de landbouwsector - voor

Nederland als geheel - zijn 2018 en 2022 bedrijfseconomisch betere jaren geweest dan gemiddeld. Hieronder worden de belangrijkste conclusies van de analyse van de impact op natuur en de economische sectoren beknopt samengevat.

4.2.1 Impact op natuurlijk systeem

Gebleken is dat de impact op **natuur in de Nederlandse zandgebieden** relatief groot is; mogelijk gaat het om (deels onomkeerbare) lange-termijn effecten. Uit visuele inspecties van natuurbeheerders bleek dat als gevolg van lage grondwaterstanden onder andere boomsterfte optrad, dat door droogval in beken en vennen waterdieren en insecten met uitsterven worden bedreigd en dat landdieren te lijden onder een gebrek aan water voor drenking. Het effect van de droge zomers op natuur in de zandgebieden wordt versterkt door structurele verdroging in deze gebieden als gevolg van de intensieve ontwatering en grondwateronttrekkingen.

Ook **natuurbranden** nemen toe tijdens droogte, vooral in de zandgebieden, waaronder ook duingebieden. In 2018 en 2022 traden veel meer natuurbranden op dan gemiddeld. Verwacht wordt dat natuurbranden in de toekomst frequenter en meer intens zullen worden als gevolg van klimaatverandering. De potentiële impact op de maatschappij hiervan is groot. Doordat in Nederland de dichtheid van vitale functies groot is (denk aan hoofdwegennet, nutsvoorzieningen), kan een kleine natuurbrand met cascade-effecten al grote consequenties hebben.









Het effect van droogte op **bodemdaling en CO₂-uitstoot** in veenweidegebieden is moeilijk te kwantificeren vanwege de beperkte hoeveelheid metingen, maar waarschijnlijk is in 2018 en in 2022 (veel) meer uitstoot van CO₂ en bodemdaling opgetreden dan gemiddeld. Ook heeft droogte een vertraagde, maar potentieel grote impact op **waterkwaliteit en ecologie van oppervlaktewateren** doordat uitspoeling van bodemverontreinigingen (zoals nutriënten uit de landbouw) niet verspreid over het jaar, maar over een korte periode na de droogte optreedt.

4.2.2 Impact economische sectoren

Voor de meeste andere sectoren waren de effecten van de droogte in 2022 merkbaar, maar leidde dit niet tot grote problemen. Voor de **landbouwsector** waren 2018 en 2022 bedrijfseconomisch zelfs betere jaren dan gemiddeld. Het gaat daarbij om het totaal van alle bedrijven in Nederland. In gebieden waar de aanvoer van zoetwater vanuit het oppervlaktewater of grondwater voor irrigatie beperkt was, had de droogte mogelijk wel een negatieve impact op landbouwbedrijven. Daarnaast is zichtbaar dat in 2018 en 2022 een welvaartverschuiving van de consument naar de producent van landbouwproducten optrad, maar dit is niet (alleen) toe te schrijven aan de droogte.

Sinds 2018 is de mate van grondwaterberegening sterk toegenomen. Wat het effect van deze adaptatiemaatregel op de productiviteit van de landbouw is geweest in 2022, is niet goed bekend. Ook is meer inzicht nodig in de – waarschijnlijk negatieve – neveneffecten van deze toename van grondwateronttrekking op functies en landgebruik in het omliggende gebied, zoals natuurgebieden.

Drinkwatervoorziening uit oppervlaktewater ondervond in 2022 geen grote problemen als gevolg van de droogte, al was er een drinkwaterinnamepunt waar de chlorideconcentratie van het innamepunt opliep tot boven de norm. Wel waren er schutbeperkingen nodig om zoutindringing bij innamepunten voor drinkwater te voorkomen. Dit zorgde voor impact op de scheepvaart. De **scheepvaartsector** ondervond in 2022 – net als in 2018 - een flinke schade als gevolg van

				effect			
Sector	indicator	bron	jaar	kleine verstoring	beheersbare verstoring	lange-termijn effect	
	Scheepvaart	vaarbewegingen, vervoerd gewicht, mate van uitputting voorraden	registraties / metingen	2018			
				2022			
	Landbouw	fysieke opbrengst t.o.v. langjarig	registraties / metingen	2018			
				2022			
	Natuur en biodiversiteit	droogval, afname soorten	visuele inspecties*	2018			?
				2022			?
	Natuurbranden	gemelde branden	registraties*	2018			
				2022			
	Dijkveiligheid	beschadiging dijken, dijkbekleding, graverij	visuele inspecties*	2018	?		
				2022			
	Bodemdaling, CO2 veenweidegebieden	bodemdaling en CO2 emissies	metingen* / SOMERS model*	2018	?		
				2022			?
	Stedelijk gebied	schade funderingen, woningen, monumenten, bomen	registraties* / interviews	2018	?		
				2022			
	Drinkwater en industrie	inamestops, calamiteiten, piekvraag	registraties / interviews	2018			
				2022			

*meer monitoring en/of verbetering van beschikbaarheid meetgegevens nodig

Figuur 4.2 Indicatief overzicht van de gevolgen van de 2018 en 2022 droogte voor verschillende sectoren. Vraagtekens geven aan dat de onzekerheid groot is en/of data ontbreekt. Ook de in deze studie gebruikte indicatoren en het type informatiebronnen (direct geraadpleegd of via interviews) is weergegeven.

dieptebeperkingen en schutbeperkingen. Desondanks was de impact van de droogte op de scheepvaart in 2022 kleiner dan in 2018, omdat de periode met lage rivierafvoeren relatief kort was.

Landelijk gezien nam het aantal meldingen over **funderingsschade** als gevolg van dalende grondwaterstanden na de zomers van 2018 en 2022 toe. Daarbij lijkt het gebied met potentiële problemen door droogte zich uit te breiden van Laag Nederland naar andere delen van Nederland met klei- en veenbodems. Dit leidt tot een sterke stijging van kosten voor huiseigenaren. Aangezien nu al circa 425.000 gebouwen funderingsproblemen heeft, en de kans op droogte toeneemt, is het effect van droogte op funderingen maatschappelijk een grote opgave.

Mogelijke effecten van de droogte in 2022 (en in 2018) op de mate van **dijkveiligheid** bleven beperkt doordat operationele maatregelen werden genomen. Echter, is nog veel tekort aan informatie over mogelijke impact van toekomstige droogte op dijkveiligheid en de mogelijke gevolgen daarvan, zoals toenemende kosten door schade aan dijken en een potentiële toename van de kans op falen met overstromingen tot gevolg. Dit informatietekort vormt een belemmering om te komen tot een handelingsperspectief.

4.3 Aanbevelingen onderzoek: meer inzicht in 'known-unknowns'

Uit deze studie is naar voren gekomen dat de impacts van droogte op een breed scala van functies potentieel groot is. Echter, de mate van impact en de achterliggende processen zijn in een aantal gevallen nog niet goed onderzocht. Dit maakt het op dit moment beperkt mogelijk om te anticiperen op deze droogte-effecten met crisismaatregelen en/of beleid om de maatschappelijke impact te beperken. In veel gevallen ontbreekt het aan (directe) gegevens en is het verbeteren van de monitoring van droogte-indicatoren en impacts en/of het delen van gegevens over de impacts van droogte een belangrijke voorwaarde voor het verkrijgen van meer inzicht in deze 'known-unknowns'.

4.3.1 Waterkwaliteit: betere ontsluiting van monitoringsdata nodig

Er zijn weinig actuele metingen van bodem- en (grond)waterkwaliteit beschikbaar tijdens en direct na perioden van droogte. Metingen over bodem- en grondwaterkwaliteit komen op zijn vroegst na een half jaar, maar vaak pas na langere tijd beschikbaar. Het verkrijgen van een overzicht van de effecten van een droge periode op de bodem en (grond)waterkwaliteit gedurende en in de maanden na een dergelijk periode is daardoor op dit moment niet mogelijk.

Meer onderzoek is nodig om de effecten van droge perioden op de bodem- en (grond)waterkwaliteit, ook in navolgende jaren, goed te begrijpen. Belangrijk hierbij is onder andere de eutrofiering van benedenstroomse oppervlaktewateren en de effecten daarvan op de ecologie/biodiversiteit en drinkwatervoorziening. Ook de effecten van droogte op de kwaliteit van het diepere grondwater is in dit kader relevant.

Bij veel waterbeheerders is behoefte aan meer kennis, meer data (meten, monitoren) en begrijpelijke informatie over interne verzilting. Het gaat daarbij zowel om het delen van algemene kennis en informatie, maar ook om ondersteuning bij het documenteren en duiden van veldmetingen. Veel boeren meten zelf de zoutconcentratie in hun sloten voordat ze gaan beregenen. Dit wordt echter niet gedocumenteerd of vastgelegd bij de waterbeheerders. Als laatste werd door waterbeheerders aangegeven dat meer onderzoek nodig is naar verziltingsrisico's voor landbouwgewassen en natuur.

Tijdens deze studie is gebleken dat, ondanks dat waterbeheerders meten aan interne verzilting in het oppervlaktewater van polders, deze data niet goed zijn ontsloten en daardoor

niet (gemakkelijk) kunnen worden gebruikt in grootschaliger analyses om de omvang van de problematiek en oplossingsmogelijkheden helder in beeld te krijgen. Ook een compleet overzicht van gehanteerde grenswaarden in Laag Nederland per deelgebied of polder is momenteel niet beschikbaar.

Ondanks dat zout grondwater de primaire oorzaak is van interne verzilting wordt er nauwelijks gemeten aan zoutconcentraties van het grondwater. Door het aantal meetpunten in het grondwater uit te breiden kunnen de patronen van de risicogebieden en toekomstige veranderingen hierin beter in beeld gebracht worden. Deze informatie kan bijdragen aan het inzicht in de problematiek, nu en in de toekomst, en het handelingsperspectief van waterbeheerders en watergebruikers in de regio vergroten.

4.3.2 Natuur: schade onderbouwen met kwantitatieve informatie

Vanwege het ontbreken van structurele en langjarige monitoring van grondwaterstanden in combinatie met verandering van soorten in de meeste natuurgebieden kan de impact van droogte op natuur en biodiversiteit momenteel alleen kwalitatief worden beschreven. Het opzetten van een monitoringsprogramma op nationale schaal, waarin bestaande lokale en regionale meet- en monitoringsnetwerken worden geïntegreerd, draagt bij aan het vergroten van het inzicht in de impact van droogte op natuur.

In grondwaterafhankelijke natuurgebieden wordt de impact van droogte verergerd door structurele verlaging van de grondwaterstanden sinds ongeveer 1850 (verdroging). Momenteel is onvoldoende bekend of een ander grondwaterbeheer droogteschade in natuurgebieden kan voorkomen. Kennis op dit vlak kan helpen bij het maken van afwegingen ten aanzien van waterbeheer- en gebruik voor natuur, landbouw en grondwaterwinningen voor drinkwater en industrie.

Ook is nog niet veel bekend over de mate waarin natuur onherstelbaar beschadigt na een of meerdere opvolgende droge zomers. In veel gevallen staan natuur en biodiversiteit ook onder druk door andere factoren, bijvoorbeeld stikstofdepositie via de lucht en/of verontreiniging van grond- en oppervlaktewater. Meer onderzoek is nodig om duidelijk te krijgen in welke mate droogte bijdraagt aan de verslechtering van de toestand van de natuur en biodiversiteit en wat de samenhang is met andere factoren. Ook is het - met het oog op klimaatverandering - zinvol om te onderzoeken welke natuurtypen mogelijk passend zijn in een toekomstig klimaat waarin periodes van droogte vaker voorkomen.

4.3.3 Natuurbranden: meer onderzoek nodig om handelingsperspectief te vergroten

Beschikbare kennis over de relatie tussen droogte en natuurbranden, en hoe te handelen bij natuurbranden in Nederland is beperkt. Ook is niet duidelijk in hoeverre natuurbrandrisico op de lange termijn kan worden verminderd met structurele maatregelen in bv landinrichting en (grond)waterbeheer. Meer onderzoek naar het optreden en de impact van natuurbranden en de relatie met droogte is van belang om de natuurbranden en de impact ervan te beperken.

Voor natuurbranden bestaat in operationele setting een natuurbrandverspreidingsmodel die ook rekening houdt met risico indicatoren indien een brand al ontstaan is, maar dat model geeft geen direct inzicht in de maatschappelijke gevolgen. Er is daarnaast geen model voor Nederland dat kan voorspellen waar een brand tot ontsteking kan komen en dat potentieel ook gebruikt zou kunnen worden voor het in kaart brengen van lange-termijn gevolgen op bv hoofdwegen en nutsvoorzieningen. Als we meer weten over hoe droogte de kans op natuurbranden beïnvloedt kunnen natuurbrandrisico voorspelsystemen worden opgezet, verbeterd en/of uitgebreid.

Op dit moment is er geen landelijk uniforme aanpak om de kans op en gevolgen van natuurbranden te beperken. Dat komt deels door een gebrek aan inzicht in de impact van

dergelijke branden, inclusief hun cascade-effecten. De potentiële impact van natuurbranden moet daarom beter worden geduid door de tastbare en niet-tastbare schade en de cascade-effecten beter in kaart te brengen.

Het vergroten van kennis op de bovengenoemde punten kan eraan bijdragen dat de Nederlandse maatschappij zich beter voorbereiden op natuurbranden. Denk bijvoorbeeld aan maatregelen om branden beheersbaar te houden, maar ook een afwegingskader waarmee de brandweer kan onderbouwen welke brand prioriteit moet krijgen. Mogelijk kan hierbij gebruikt worden gemaakt van kennis en tools die buiten Nederland, bijvoorbeeld in de Europese context, zijn ontwikkeld.

4.3.4 Landbouw: verfijnen van nationale beeld en effect berekening

Deze studie heeft laten zien dat de landbouwsector (in zijn totaliteit voor Nederland) geen negatieve gevolgen heeft ondervonden van de droogte in 2018 en 2022. In deze analyse is gekeken naar het beeld op nationale schaal. Regionaal zijn er, afhankelijk van de mate van beschikbaarheid van (grond)water tijdens droge perioden en het type teelten dat wordt verbouwd, net als in 2028 in 2022 waarschijnlijk wel negatieve effecten van de droogte opgetreden (Stokkers et al., 2022). Meer inzicht in het effect van droogte op verschillende type teelten en regio's zou kunnen bijdragen aan het formuleren van specifiekere droogtebeleid.

Belangrijk is om te bepalen in hoeverre extra berekening (vanuit grondwater) ten behoeve van de landbouw tijdens droogte in 2022 (en andere droge perioden) heeft bijgedragen aan het beperken van het effect van de droogte op de fysieke landbouwopbrengst. In dit kader dienen ook de impact van de onttrekkingen voor berekening op het omliggende gebied en de daar gelegen functies te worden onderzocht. In aanvulling hierop zou ook het effect van beregeningsverboden verder kunnen worden onderzocht.

4.3.5 Bodemdaling en CO₂ uitstoot: meetprogramma vergroot inzicht effecten van droogte

Over bodemdaling en CO₂ uitstoot als gevolg van droogte is momenteel nog relatief weinig bekend. Waar en in welke mate extra uitstoot en bodemdaling optreedt tijdens droogte en welke processen hieraan ten grondslag liggen dient verder te worden onderzocht. Om gericht maatregelen te kunnen nemen, zoals verhogen van grondwaterstanden in veengebieden, dienen ook de effectiviteit en haalbaarheid van die maatregelen te worden onderzocht.

In het kader van het Nationaal Onderzoeksprogramma Broeikasgassen Veenweiden (NOBV) wordt op verschillende locaties gemeten aan uiteenlopende maatregelen en situaties. Ook voor het vergroten van het inzicht in de effecten van droogte is dit een belangrijk monitoringsproject.

Op alle NOBV monitoringslocaties worden broeikasgasfluxen gemeten. Ook worden de bodemfysische en bodemchemische eigenschappen onderzocht en wordt er ook gemeten aan bodemdaling. Een van de belangrijkste parameters voor het begrijpen en voorspellen van broeikasgasemissies en bodemdaling in veenweidegebieden is de grondwaterstand, in samenhang met bodemvocht en bodemtemperatuur. Voor de zeggingskracht van de metingen en het inzichtelijk maken van het verschil tussen onomkeerbare en tijdelijke effecten, is het belangrijk dat dit monitoringsnetwerk langjarig in stand wordt gehouden en wordt uitgebreid naar nog niet-gemeten gebieden en typologieën.

4.3.6 Dijkveiligheid: algemene methodiek nodig voor onderzoek naar droogterisico's

Naar de relatie tussen droogte en de dijkveiligheid is nog weinig onderzoek gedaan. Pas sinds enkele jaren worden hiervoor relevante gegevens verzameld tijdens inspecties. Op basis van dergelijke informatie kunnen correlaties worden bepaald tussen de droogte en schades door graverijen, grassterfte en scheurvorming. Ook is er veel onzekerheid over

effectiviteit van beheermaatregelen zoals beweiding, maaien en besproeien. Ook de relatie tussen droogte en graverijen is zeer onzeker.

Een algemeen geaccepteerde methodiek voor het verzamelen van gegevens en het kwantificeren van verandering in dijkveiligheid als gevolg van droogte en maatregelen bestaat momenteel echter nog niet. In de toekomst worden schadebeelden mogelijk in meer detail bewaard en kan een dergelijke methodiek wel worden ontwikkeld. Uit de interviews met waterschappen bleek hiernaar wel interesse en vraag.

4.3.7 Stedelijk gebied: structureel onderzoek hard nodig

Ondanks dat de schade en de daarmee samenhangende kosten als gevolg van droogte in het stedelijk gebied potentieel zeer groot zijn en veel gebouwen treft (Rli, 2024), is de beschikbaarheid van gegevens in het stedelijk gebied minimaal. Meer structureel onderzoek en gerichte monitoring is nodig om de relatie tussen droogte en de effecten op het stedelijk gebied beter in beeld te brengen en - op basis daarvan - geschikte maatregelen te kunnen nemen en beleid te vormen voor bestaand en nieuw stedelijk gebied (handelingsperspectief). Het NWO onderzoeksprogramma DROBE (*drought resilience in the built environment*) dat in 2023 van start en opvolging van het Rli advies bieden hiervoor mogelijkheden.

4.3.8 Voldoende grondwaterkennis en gegevens beschikbaar?

Zoals de voorgaande hoofdstukken laten zien, zijn kennis en monitoringsgegevens van het grondwater cruciaal voor het beter begrijpen van veel maatschappelijke impacts van droogte. Het gaat om de effecten van droogte op waterkwaliteit en verzilting, bodemdaling en CO₂ uitstoot. En ook als het gaat om impact van droogte op een aantal belangrijke functies zoals natuur, landbouw, funderingen en drinkwater speelt grondwater een doorslaggevende rol. Om de impact van droogte te beperken moet meer gestuurd worden op grondwater (en niet alleen op oppervlaktewater). Een - goed ontsloten - grondwatermonitoring netwerk op nationale schaal voor onderzoeksdoeleinden én operationele toepassingen is daarom van groot belang.

Grondwatermonitoringsgegevens vanuit de BRO worden verzameld in het DINOloket (<https://www.dinoloket.nl/ondergrondgegevens>) en het Waterkwaliteitsportaal van het Informatiehuis Water (<https://www.waterkwaliteitsportaal.nl/grondwaterkwaliteit>). Daarnaast hebben een aantal provincies, waterschappen en gemeenten operationele meetpunten vanwaar grondwaterstanden 'real-time' worden doorgegeven. Steeds meer van deze operationele meetnetten zijn beschikbaar via het droogteportaal (<https://droogteportaal.nl/droogteportaal/web/>). Ook is er de mogelijkheid om effecten van droogte op grondwaterstanden in beeld te brengen met geohydrologische modellen, zoals het Landelijk Hydrologische Model en regionale (grond)watermodellen (www.nhi.nu).

Een belangrijke volgende stap is het koppelen van deze grondwatergegevens aan de informatiebehoeften op het gebied van droogte impacts en handelingsperspectief. Zijn de bestaande grondwatermeetnetten en -modellen geschikt om de onderzoeksvragen op het gebied van droogte te beantwoorden? En ondersteunen de meetnetten en -modellen het operationele beheer én het beleid op de langere termijn? Zijn meer grondwatermeetlocaties nodig en aan welke voorwaarden moeten deze voldoen om de impacts van droogte op een goede manier in beeld te brengen?

4.3.9 Ontwikkelingen in andere delen van Europa

Voor de zoetwatervoorziening is Nederland sterk van de ontwikkelingen in bovenstroomse gebieden. Daarbij gaat het niet alleen om veranderingen in neerslag, verdamping en sneeuwvoorraad in de bovenstroomse gebieden van de Rijn en de Maas. Van belang zijn ook de ontwikkelingen en maatregelen in bovenstroomse gebieden in reactie op de toename van droogte, zoals een stijging van watergebruik, de aanleg of uitbreiding van stuwweren en

het vasthouden van water in de bodem en ondergrond. Het in beeld brengen van de effecten van deze ontwikkelingen op de afvoeren van de grote rivieren en de zoetwatervoorziening is van cruciaal belang voor het nemen maatregelen om de effecten van droogte in Nederland te beperken.

4.4 Aanbevelingen voor beleid

4.4.1 Blijven leren van droogte

De nieuwe KNMI'23-klimaatscenario's wijzen erop dat Nederland naar alle waarschijnlijkheid in de toekomst steeds vaker te maken krijgt met warme en droge zomers zoals die van 2018 en 2022 (of erger). Tot nu toe heeft Nederland nog relatief weinig ervaring met lange droge perioden. Tot 2018 konden perioden van droogte veelal met crisismaatregelen, zoals het opzetten van IJsselmeerpeil en terugdringen van verzilting van de grote rivieren, worden opgevangen.

Er is veel geleerd van de droogte van 2018 en genomen maatregelen hebben er - in ieder geval ten dele - voor gezorgd dat de impact van droogte van 2022 beperkt bleef. Denk daarbij aan het opzetten van het IJsselmeerpeil, Klimaatbestendige Wateraanvoer, betere informatie-uitwisseling tussen waterschappen, het oplossen van knelpunten in de drinkwaterinfrastructuur en een publiekscampagne over zuiniger omgaan met water.

De afgelopen jaren is echter gebleken dat droogte ook andere - soms blijvende - negatieve effecten heeft, zoals (onherstelbare) schade aan natuur, bodemdaling en funderingsschade en risico's voor de scheepvaart en waterveiligheid. Ook is duidelijk geworden dat niet alleen oppervlaktewater maar ook grondwater een belangrijke rol speelt bij maatschappelijke impacts van droogte. Grondwater is echter veel moeilijker te sturen tijdens een droogte dan oppervlaktewater, en ook de beschikbaarheid van oppervlaktewater neemt in de toekomst af.

In dit licht is het belangrijk om te (blijven) leren van de recente en toekomstige droge zomers, zodat we ons kunnen voorbereiden op de toekomst. Welke (nieuwe of cumulatieve) impacts treden op? Welke delen van het land en welke sectoren worden het hardst getroffen, en waardoor? Zijn de genomen maatregelen effectief (evaluatie beleid) en wanneer zijn we voldoende voorbereid op het vaker voorkomen van lange droge perioden? In dit licht is het raadzaam om periodiek een brede droogte impact analyse uit te voeren, of in ieder geval na iedere langere droge periode, en in te zetten op onderzoek en monitoring om de achterliggende processen beter te begrijpen. Deze studie levert een bijdrage aan het opzetten van een raamwerk voor een dergelijke (periodieke) droogte impact analyse.

4.4.2 Actuele informatievoorziening droogte

Naast structurele maatregelen en het maken van keuzes om Nederland weerbaarder te maken tijdens droogte, is het zinvol om de informatievoorziening voor operationeel beheer en maatregelen voor tijdens en na een droogte uit te breiden. Momenteel is er op verschillende websites informatie te vinden over de actuele toestand van oppervlaktewater, bodemvocht en grondwater. Op de website van Rijkswaterstaat wordt een overzicht gegeven van een deel van deze informatiebronnen (<https://waterberichtgeving.rws.nl/owb/droogtemonitor>). Hier wordt ook een landelijk beeld van de droogtesituatie gegeven.

Het verdient aanbeveling om informatie over droogterisico's en impacts toe te voegen en – als mogelijk – informatie over mogelijke handelingsperspectieven (per gebied / functie / sector). Het is daarbij belangrijk om heldere definities van de in beeld te brengen droogte risico en impact indicatoren te hebben. Ook is het raadzaam om de verschillende (beschikbare) informatiebronnen te integreren, bijvoorbeeld het combineren van monitoringsgegevens en modelberekeningen, om te komen tot betere ruimtelijke informatie en voorspellingen.

4.4.3 Maatregelen en keuzes vragen om maatschappelijke discussie

Naast operationele informatievoorziening voor- en tijdens droogte, is nemen van structurele maatregelen en het maken van keuzes van belang. De droogte van 2018 heeft het maatschappelijk bewustzijn ten aanzien van droogte in Nederland vergroot en heeft geleid tot een aantal maatregelen. Uit deze studie blijkt dat dit mede de oorzaak is geweest van de beperkte impact van de droogte in 2022.

Droogte zal ons steeds vaker dwingen tot het maken van moeilijke keuzes tussen verschillende maatschappelijke functies, zoals het maken van een afweging tussen scheepvaartbeperkingen opleggen en het beperken van verzilting van de grote rivieren (door te schutten), meren en kanalen ten behoeve van drinkwater en landbouw in Laag Nederland. Een ander voorbeeld is de afweging tussen de mate van landbouwberegening, drinkwaterwinning en natuurbescherming op de zandgronden. Mogelijk kan het invoeren van droogte-normering of grondwateronttrekkingsplafonds voor deze gebieden hierin een rol spelen.

Een belangrijke maatregel is het vasthouden van water door afvoeren tijdens en na natte perioden te beperken en water (waar mogelijk) boven- én ondergronds op te slaan. Net als eerder het programma 'Ruimte voor de Rivier', zullen ook deze maatregelen om Nederland weerbaarder te maken tegen droogte beslag leggen op een deel van onze ruimte en vragen om aanpassing van ons land- en watergebruik en -beheer. De kamerbrief "Water en Bodem sturend" (dd. 25 november 2022) en het Nationaal Programma Landelijk Gebied (NPLG) bieden kansen voor het uitwerken en opnemen van dergelijke maatregelen en veranderingen in gebiedsplannen.

Het vergrote maatschappelijk bewustzijn kan er ook voor zorgen dat mensen zelf meer bereid zijn om hun watergebruik te verminderen. Wat kunnen mensen precies doen om hun watergebruik te verminderen? Zijn publiekscampagnes afdoende en is men inderdaad vrijwillig bereid om minder water te gebruiken tijdens droge zomers? Of moet dit op een andere manier worden geregeld, bijvoorbeeld via beprijzing van water of een verbod op (bijvoorbeeld) het besproeien van tuinen en het vullen van privé-zwembaden tijdens droogte? Hier kunnen we leren van andere landen die al langer te maken hebben met een beperkte waterbeschikbaarheid, zoals Spanje. Zo worden in Catalonië restricties ingezet en boetes bij overtredingen (bv. 200 Euro voor het vullen van een zwembad), terwijl in Andalusië wordt gewerkt met verboden. Wat werkt en wat werkt niet? En wat is hierbij de rol van een bepaalde fysieke, sociaaleconomische en/of culturele context?

Bovengenoemde keuzes en maatregelen vragen om een maatschappelijke discussie: hoe willen we als maatschappij met droogte omgaan, nu en op de lange termijn? Welke functies en economische sectoren willen we behouden op welk locatie? Zijn we bereid om de nodige maatregelen te nemen en veranderingen door te voeren om de beschikbaarheid van schoon water tijdens toekomstige droge zomers op peil te houden of accepteren we schade aan natuur en economie?

Om deze maatschappelijke vragen te beantwoorden en weloverwogen keuzes te maken is het van belang dat we onze kennis over de effecten van droogte en het handelingsperspectief voor Nederland vergroten. Door hieraan samen te werken met nationale en regionale waterbeheerders, watergebruikers en kennispartners kunnen we Nederland veerkrachtiger maken en beter bestand tegen een toekomst waarin we (veel) vaker te maken krijgen met droge zomers zoals die van 2018 en 2022.

Referenties

Overzicht van de referenties zoals opgenomen in het achtergrondrapport.

Aerts, E.J.M.M., J.W.H van der Kolk, G.M. Hengeveld, J.P. Lesschen, H. Kramer, P.J. Kuikman & M.J. Schelhaas (2020). *Greenhouse gas reporting of the LULUCF sector in the Netherlands. Methodological background, update 2020*. Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, WOt-technical report 168. 127 p; 21 Figuren; 51 Tabellen; 69 Referenties; 6 Bijlagen.

ANV. (2022a). Rijksbrede Risicoanalyse Nationale Veiligheid. Analistennetwerk Nationale Veiligheid.

ANV. (2022b). Themarapportage bedreiging vitale infrastructuur. Analistennetwerk Nationale Veiligheid.

Asseldonk, M. van, Stokkers, R., Jager, J., van der Meer, R. (2021). *Economische effecten van droogte in 2018 en 2019: een regionale analyse akkerbouw en melkveehouderij*. WUR

Auman, J. (2022, 11 augustus). *Negen megapompen houden waterpeil Albertkanaal voorlopig stabiel: tienduizend liter water per seconde vanuit sluis naar hoger gelegen gedeelte*. Geraadpleegd van [Negen megapompen houden waterpeil Albertkanaal voorlopig stabiel: tienduizend liter water per seconde vanuit sluis naar hoger gelegen gedeelte \(Wijnegem\) | Het Nieuwsblad](#)

Aveco de Bondt (2022), 'Update droogtemonitor augustus 2022: grondwaterstand nadert recordlaagte 2018', <https://www.avecodebondt.nl/nl/over-ons/nieuws-en-blogs/detail/update-droogtemonitor-augustus-2022-grondwaterstand-nadert-recordlaagte-2018> (geraadpleegd op 22 december 2022).

Bles, T., De Bel, M., Van Marle, M., & Aboufirass, A. (2019). Impact van klimaatverandering op wegherstel en verkeersstremming: Uitkomst landelijke klimaatstresstest HWN. Deltares, t.b.v. Rijkswaterstaat.

Browder, Greg, Ana Nunez Sanchez, Brenden Jongman, Nathan Engle, Eelco Van Beek, Melissa Castera Errea, and Stephen Hodgson. (2021). An EPIC Response: Innovative Governance for Flood and Drought Risk Management—Executive Summary. World Bank, Washington, DC.

CHR. (2022, 11 juli). *When the melt water is missing: More often low water expected in the Rhine in the future*. Geraadpleegd van [When the melt water is missing: More often low water expected in the Rhine in the future. | International Commission for the Hydrology of the Rhine basin \(CHR\) \(chr-khr.org\)](#)

Collenteur, R.A., Bakker, M., Caljé, R., Klop, S.A., Schaars, F. (2019) Pastas: open source software for the analysis of groundwater time series. Groundwater. doi: 10.1111/gwat.12925.

Deltanieuws. (2020, 18 juni). 'Nu beter op droogte voorbereid dan in 2018'. Geraadpleegd van ['Nu beter op droogte voorbereid dan in 2018' | IJsselmeergebied | Deltanieuws \(deltaprogramma.nl\)](#)

De Jong, J. en P. van Zijl (2014), 'Klimaatverandering mee in Grondwaterbeheer', Land+Water nr. 1/2 - februari 2014.

De Louw, P.G.B., Witte, J. P., van den Eertwegh, G. A. P. H., Bartholomeus, R. P., Pouwels, J., & Hunink, J. (2022). Beter bestand tegen droogte: oplossingsrichtingen voor een hydrologisch goed functionerend grondwatersysteem in de zandgebieden van Nederland. *Stromingen: vakblad voor hydrologen*, 28(1), pp 3-21.

Deltares (2012), Effect van droogte op stedelijk gebied. Kennisinventarisatie voor Kennis voor Klimaat. Deltares rapport 1206224.

Deltares. (2021-a, oktober). *Factsheet Drinkwater*. Geraadpleegd van interne locatie Deltares

Deltares. (2021-b, oktober). *Factsheet Industrie*. Geraadpleegd van interne locatie Deltares

Didan, Kamel, et al. "MODIS vegetation index user's guide (MOD13 series)." University of Arizona: Vegetation Index and Phenology Lab (2015).

Didan, K. (2021). MODIS/Terra Vegetation Indices 16-Day L3 Global 250m SIN Grid V061 [Data set]. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. Accessed 2022-11-02 from <https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD13Q1.061>

Ecorys. (2019, augustus). *Economische schade door droogte in 2018*. Geraadpleegd van [Economische schade door droogte in 2018 \(officiële bekendmakingen.nl\)](https://www.ecorys.nl/nieuws/economische-schade-door-droogte-in-2018)

Erasmus UPT. (2020, april). *Economische impact laagwater: Een analyse van de effecten van laagwater op de binnenvaartsector en de Nederlandse en Duitse economie*. Geraadpleegd van [87563 \(eur.nl\)](https://www.erasmus-upt.nl/publicaties/economische-impact-laagwater)

Erkens, G., Melman, R., Jansen, S., Boonman, J., Hefting, M., Keuskamp, J., Bootsma, H., Nougues, L., van den Berg, M., van der Velde, Y. (2022). *SOMERS: Subsurface Organic Matter Emission Registration System*.

Geelen, J.P. (2022, 19 augustus). *Giftige micro-alg lijkt oorzaak van massale vissterfte in de Oder*. Geraadpleegd van [Giftige micro-alg lijkt oorzaak van massale vissterfte in de Oder \(volkskrant.nl\)](https://www.volkskrant.nl/nieuws-achtergrond/giftige-micro-alg-likt-oorzaak-van-massale-vissterfte-in-de-oder)

Gemeente Leiden (2019), 'Klimaatkaarten – het wordt droger', [Klimaatkaarten | GaGoed Leiden](https://www.leiden.nl/onderwerpen/klimaat/klimaatkaarten) (geraadpleegd op 22 december 2022).

Gemeente Zwolle (2018), 'Rol van grondwater in de klimaatbestendige stad - Praktijkcasus Zwolse Adaptatiestrategie', als onderdeel bijeenkomst 'Omgaan met grondwaterstress in de praktijk' landelijke werkgroep Stedelijk grondwater.

Genootschap Flevo (2015), Verslag van het symposium 'Bodemdaling - Een onderschat fenomeen'.

H2O. (2022-a, 6 september). *LCW: nog geen structurele verbetering van droogte*. Geraadpleegd van [LCW: nog geen structurele verbetering van droogte \(h2owaternetwerk.nl\)](https://www.h2owaternetwerk.nl/nieuws/lcw-nog-geen-structurele-verbetering-van-droogte)

H2O. (2022-b, 10 mei). *Rijkswaterstaat verhoogt peil in IJsselmeer*. Geraadpleegd van [Rijkswaterstaat verhoogt peil in IJsselmeer \(h2owaternetwerk.nl\)](https://www.h2owaternetwerk.nl/nieuws/rijkswaterstaat-verhoogt-peil-in-ijsselmeer)

Hendriks et al., 2021. Development of a Next Generation Drought Index: combining multiple global and local data sources to enable detection of sector-specific drought impacts <https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU21/EGU21-10886.html>

Hendriks, Dimmie, Marjolein Mens, Ted Veldkamp en Micha Werner (2019) Droog, droger, droogst. September 2019, WaterMatters.

Hendriks, D., Jongman., B. Veldkamp, 4 July 2019. T. Dry, drier, drought – Assessing drought risks to support decision making, risk financing and disaster response. <https://www.deltares.nl/en/blog/dry-drier-drought-assessing-drought-risks-to-support-decision-making-risk-financing-and-disaster-response/>

Hendriks, D.M.D., Kuijper M.J.M., and van Ek, R (2014) Groundwater impact on environmental flow needs of streams in sandy catchments in The Netherlands, Hydrological Sciences Journal 59 (3-4) 1–16.

Hendriks, D.M.D. (2009) Integrated observations of greenhouse gas budgets at the ecosystem level: changing environment and management practices in peat meadows. PhD Thesis. ISBN 9789086593804

Huijgevoort, M., Brakkee, E., De Wit, Van Deijl, D., van den Eertwegh, G. A. P. H., Bartholomeus, R. P. (2022). Uniform inzicht in droogte met behulp van indices. Stromingen: vakblad voor hydrologen, 28(1), pp 44-51.

Huyghebaert, P. (2022, 13 augustus). *Waterstand van Rijn in Kaub te laag voor meeste schepen: "Risico om vast te lopen is te groot"*. Geraadpleegd van [Waterstand van Rijn in Kaub te laag voor meeste schepen: "Risico om vast te lopen is te groot" | VRT NWS: nieuws](#)

IWE. (z.d.). *Processen industriewater Eerbeek*. Geraadpleegd van [PROCESSEN INDUSTRIEWATER EERBEEK - IWE \(iweerbeek.nl\)](#)

KCAF (2022), 'Meer funderingsschade door droogte', in 'Eigen huis magazine', 10-2022.

Klimaatakkoord (2019). *Klimaatakkoord*, Den Haag, 28 juni 2019, 250 pp.

Kloosterboer, H., & Biemans, R. (2023). *STOWA droogterapport: Inventarisatie droge zomer 2022, waterkeringen*.

Koelewijn, A., & van den Berg, F. (2022). *Degradatie van dijken door dieren en droogte*. Deltares.

Kok, E, Schouten, S., Dam, J. & Fikke, R. (2022). Scenario's natuurbranden. Manuscript in voorbereiding.

KWR. (2005, december). *Waterkwaliteit van de Rijn en de Maas bij (extreem) lage afvoeren*. Geraadpleegd van https://www.google.nl/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiGhZSX4vT7AhUT8rsIHZekA6QQFnoECAwQAQ&url=https%3A%2F%2Frepository.tudelft.nl%2Fislandora%2Fobject%2Fuuid%3A20a47ca6-5cf2-4442-bf4a-baa2b18db04c%2Fdatastream%2FOBJ%2Fdownload&usg=AOvVaw1LKrzp6zZn6_EngTDwDtYi

Machairas, I., van de Ven, F.H.M. (2022) 'An urban drought categorization framework and the vulnerability of a lowland city to groundwater urban droughts', Natural Hazards, <https://doi.org/10.1007/s11069-022-05767-0>;

Mäkiranta, P., Laiho, R., Fritze, H., Hytönen, J., Laine, J., and Minkkinen, K.: *Indirect regulation of heterotrophic peat soil respiration by water level via microbial community structure and temperature sensitivity*, Soil Biol. Biochem., 41, 695–703, <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2009.01.004>, 2009.

Mens, M., Hunink, J., Delsman, J., Pouwels, J., & Schasfoort, F. (2020). *Geactualiseerde knelpuntenanalyse voor het Deltaprogramma Zoetwater fase II*. [Deltares rapport 11203734-003-ZWS-0002](#).

Ministerie BZK (2022), 'Handreiking decentrale regelgeving klimaatadaptief en natuurinclusief bouwen, inrichten en beheren'. Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties.

Ministerie I&M. (2022, 30 november). *Toekomst binnenvaart*. Geraadpleegd van [toekomst-binnenvaart.pdf \(overheid.nl\)](#)

Ministerie IenW (2022), 'Kamerbrief Water en Bodem Sturend – over de rol Water en Bodem bij ruimtelijke ordening'. Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.

Nationaal Onderzoeksprogramma Broeikasgassen Veenweiden (NOBV) (2021). *NOBV Meetprotocol 2021*.

Natuurbrandsignaal '23 (2023), Verhoeven, B., Van Marle, M., Hazebroek, H., Stoof, C., Siegmund, P., Brouwer, N., Veraverbeke, S., Egberts, L., Sluijter, R. , gepubliceerd door Nederlands Instituut voor Publieke Veiligheid (NIPV)

Nieuwsblad.be. (2018, 23 juli). *Droogte legt waterkrachtcentrales aan Albertkanaal in Wijnegem, Olen en Ham stil*. Geraadpleegd van [Droogte legt waterkrachtcentrales aan Albertkanaal in Wijnegem, Olen en Ham stil \(Binnenland\) | Het Nieuwsblad](#)

NOS. (2022, 23 mei). *Vitens weigert aanvragen, 'zekerheid drinkwater onder druk'*. Geraadpleegd van [Vitens weigert aanvragen, 'zekerheid drinkwater onder druk' \(nos.nl\)](#)

NWA (2022), 'Plan van aanpak - DROOGTE IN DE BEBOUWDE OMGEVING (DROBE)', goedgekeurd voorstel d.d. 9 september 2022.

Nunez Sanchez, Ana and Eelco van Beek. (2022). *The Combined Management of Floods and Drought in the Netherlands: An EPIC Response Application*. Delft. The Netherlands. Deltares.

Pennemans, R. (2018, 21 december). *Laatste Duitse steenkoolmijn sluit de deuren: een terugblik op een tijdperk van 200 jaar*. Geraadpleegd van [Laatste Duitse steenkoolmijn sluit de deuren: een terugblik op een tijdperk van 200 jaar | VRT NWS: nieuws](#)

Pronk, T., Nijp, J., Blaas, M., & Burgers, R. (2022, 15 februari). *Een verbeterd model voor chlorideprognoses op basis van rivierafvoeren bij Lobith en Eijsden*. Geraadpleegd van [Pronk-Nijp-Blaas-Burgers-Een-verbeterd-model-voor-chlorideprognoses-op-basis-van-rivierafvoeren-bij-Lobith-en-Eijsden-H2O-Online-\(2022\)15-februari.pdf \(kwrwater.nl\)](#)

PWN. (z.d.). *Klimaatbuffer IJsselmeer*. Geraadpleegd van [Klimaatbuffer IJsselmeer | PWN](#)

Rijkswaterstaat. (2022, 24 augustus). *Wij zorgen ervoor dat de impact op de scheepvaart ook wordt meegewogen*. Geraadpleegd van [Impact droogte op scheepvaart | Rijkswaterstaat](#)

Rli (2024) Goed gefundeerd. *Advies om te komen tot een nationale aanpak van de funderingsproblematiek* (Februari 2024)

Royal HaskoningDHV (2022), 'Klimaat en watervraag stedelijk gebied'; https://klimaatadaptatienederland.nl/publish/pages/188683/klimaat-en-watervraag-stedelijk-gebied-eindrapport_1.pdf (geraadpleegd op 22 december 2022).

Schasfoort, F. (2021). *Duiding landbouwschade 2018*. Deltares.

Scheepvaart Krant. (2022, 15 augustus). *Extra pompinstallaties voor waterwegen Antwerpen en Albertkanaal*. Geraadpleegd van [Extra pompinstallaties voor waterwegen Antwerpen en Albertkanaal | Scheepvaartkrant](#)

Schrier-Uijl, A. P. , P. S. Kroon, D. M. D. Hendriks, A. Hensen, J. Van Huissteden, F. Berendse, and E. M. Veenendaal (2014) Agricultural peatlands: towards a greenhouse gas sink – a synthesis of a Dutch landscape study ,Biogeosciences 11 4559-4576

Stokkers, R., J. Jager en M. van Asseldonk, 2022. Berekening in de Nederlandse landbouw op gewas- en regioniveau in de periode 2010-2019; Analyses met het Bedrijveninformatienet. Wageningen, Wageningen Economic Research, Rapport 2022-011. 94 blz.; 73 fig.; 11 tab.; 5 ref.

Stoof, C.R., Kok, E., Van Marle, M.J.E., & Cardil, A.C. (2024). In temperate Europe, fire is here already: the case of The Netherlands. In press.

Stokkers, R., J. Jager en M. Van Asseldonk (2022) Berekening in akkerbouw-, groente- en voedergewassen in diverse regio' s van Nederland in de periode 2010-2019. Wageningen Economic Research.

Stoof CR, Kok E, Cardil Forradellas A, van Marle MJE. In temperate Europe, fire is already here: The case of The Netherlands. *Ambio*. 2024 Apr;53(4):604-623. doi: 10.1007/s13280-023-01960-y. Epub 2024 Feb 5. PMID: 38315413..

Stowa. (2021, september). *Onderzoeksrapport: Invloed riothermiesystemen op de afvalwaterzuivering*. Geraadpleegd van [STOWA 2021-09 Riothermiesystemen.pdf](#)

Van den Eertwegh, G.A.P.H., P.G.B. De Louw, J.P.M. Witte, M. Van Huijgevoort, R. Bartholomeus, D. Van Deijl, J.C. Van Dam., J. Hunink, I. America, J. Pouwels, P. Hoefsloot en J. De Wit (2021) Droogte in zandgebieden van Zuid-, Midden- en Oost-Nederland. Het verhaal: analyse van droogte 2018 en 2019 en bevindingen. Eindrapport Projectteam Droogte Zandgronden Nederland. KnowH2O, KWR, Deltares, WUR, HSS, FWE 178.

Van Ee, R. (2022, 3 oktober). *WML continueert innamestop wegens onbekende stoffen in de Maas*. Geraadpleegd van [WML continueert innamestop wegens onbekende stoffen in de Maas](#)

Van Hoolst, Roel, et al. "FAO's AVHRR-based Agricultural Stress Index System (ASIS) for global drought monitoring." *International Journal of Remote Sensing* 37.2 (2016): 418-439.

Van Marle, M.J.E. & Agricola, H.J. (2021). *Verrijking Klimaat-effectatlas Natuurbrandgevoeligheid: Huidige situatie en 2050 WH*. Deltares.

VEWIN, 2022. Drinkwaterstatistieken 2022, van bron tot kraan. Geraadpleegd van [Vewin Drinkwaterstatistieken 2022](#)

Vitens. (z.d.). *Langetermijnvisie op de Vitens-infrastructuur 2020-2050*. Geraadpleegd van https://www.google.nl/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjO6_HPvX7AhXZif0HHSvqDgMQFnoECBAQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.vitens.nl%2F%2Fmedia%2FItv-2020_def_jan21.pdf%3Fla%3Dnl-nl&usg=AOvVaw3x4rg5qVfGI3W77mEZGFZk

Wan, Z., Hook, S., Hulley, G. (2021). MODIS/Terra Land Surface Temperature/Emissivity 8-Day L3 Global 1km SIN Grid V061 [Data set]. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. Accessed 2022-11-07 from <https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD11A2.061>

Witte, J.P.M., D. Van Deijl en G.A.P.H. Van den Eertwegh (2020a) Gevolgen voor de natuur van de droge jaren 2018 en 2019; resultaten van een enquête onder deskundigen. Deelrapport van het project: Droogte in zandgebieden van Zuid-, Midden- en Oost-Nederland. FWE & KnowH2O 53.

Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

Deltares

www.deltares.nl