

Methodologische verantwoording en resultaten kwantitatieve analyse schade ten gevolge van droogte

september 2026

Methodologische verantwoording kwantitatieve analyses bij het rapport Zorgen over zoetwater

Beantwoording onderzoeksvraag 1

Onderzoeksvraag 1 luidt: Welke risico's voor maatschappelijke sectoren/belangen door zoetwatertekorten brengt het uitblijven van resultaten van het Deltaplan Zoetwater voor de maatschappij met zich mee?

Voor de beantwoording van onderzoeksvraag 1 hebben we, in samenwerking met onderzoekers van het Instituut voor Milieuvraagstukken van de Vrije Universiteit Amsterdam, gebruik gemaakt van de methode uit de European Drought Risk Atlas, “a pan-European multi-sectoral probabilistic drought risk assessment method” (EDORA) (Rossi, et al., 2023). Deze methode is ontwikkeld om het risico op schade door droogte voor bepaalde sectoren te schatten. In de EDORA is dit op Europese schaal gedaan. Hier passen we de methode toe op Nederland. Dat doen we op basis van data over een langjarige periode, zodat specifieke kenmerken van een enkel droog jaar geen vertekend beeld geven van de impact. Als uitgangspunt hebben we de belangen genomen die in de verdringingsreeks zijn onderscheiden: scheepvaart, landbouw, natuur, industrie.¹ We wilden drinkwatervoorziening ook onderzoeken, echter was dat niet mogelijk door beperkingen in de beschikbare data.

Op basis van literatuuronderzoek en gesprekken met stakeholders schetsen we kwalitatief een beeld van de interacties tussen droogte-events, belangen en stakeholders in het zoetwatersysteem. We hebben gesproken met betrokkenen binnen het ministerie van IenW en regionale partners van vertegenwoordigers van

watergebruikers (drinkwater voor particulieren en bedrijven, land- en tuinbouw, industriële gebruikers, scheepvaart).

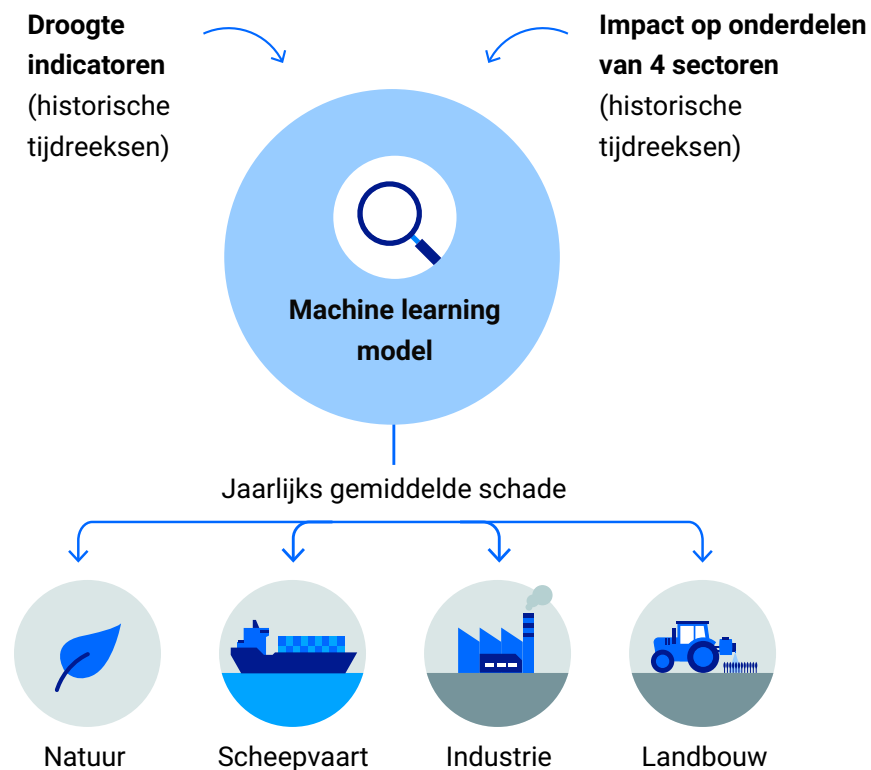
Het volgende deel van de analyse is een data-gedreven risicoschatting van de effecten van droogte op sectoren. De selectie van gekwantificeerde effecten is grotendeels ingegeven door de (on)beschikbaarheid van data. De data die we gebruikt hebben voor de kwantitatieve analyses zijn afkomstig uit openbare bronnen, onder andere het CBS en het KNMI. Daarnaast hebben we gebruikgemaakt van niet-openbare data van RWS en KnowH2O. De analyse-eenheid waarop de conclusies betrekking hebben is, waar mogelijk, de provincie. Door middel van machine learning modellen berekenen we de relatie tussen de hydrologische en meteorologische situatie en de mogelijke gevolgen hiervan voor de verschillende belangen.

Omdat er (nog) geen 1 algeheel geaccepteerde index voor droogte of zoetwatertekorten bestaat die alle soorten impacts goed kan verklaren, is het belangrijk om meerdere indicatoren tegelijk mee te kunnen nemen in een model. Het risico op impact door droogte wordt daarom geschat gebaseerd op historische tijdreeksen van verschillende droogte-indicatoren. Omdat droogte-indicatoren onderling sterk kunnen correleren en de relatie tussen droogte en impact non-lineair is en sterk afhankelijk van belangen en locatie, is het belangrijk om een statistische methode te gebruiken die hier flexibel mee om kan gaan. Machine learning modellen zijn bij uitstek geschikt voor dit soort complexe vraagstukken en worden steeds vaker gebruikt bij het berekenen van droogterisico's (Bachmair, et al., 2016; Lam, et al., 2023; Rossie, et al., 2023; Yaseen, and Shahid, 2021; Wang, et al., 2020).

Om de schade van droogte voor sectoren te berekenen, gebruiken we meerdere impactvariabelen. Impactvariabelen meten zelf geen zoetwatertekorten of droogte, maar kunnen indirect de consequenties van een zoetwatertekort helpen kwantificeren. De tijdreeksen van impactvariabelen worden geclassificeerd in of er wel of geen verlies is geweest in een bepaald jaar en hoeveel verlies dat is geweest (zie de paragraaf over data-opwerking). In het model wordt vervolgens berekend of dit verlies kan worden geattribueerd aan een of meerdere droogte-indicatoren en welke hiervan de meest invloedrijke indicatoren zijn.

Figuur Visuele weergave van het data-analyse proces

We hebben een data-gedreven onderzoeksmethode gebruikt om de jaarlijkse schade door droogte te berekenen



Met de output van de modellen kunnen we een schatting geven van de schade van droogte voor sectoren en wat de gemiddelde schade is met elk jaar dat er geen maatregelen worden getroffen. Hoe goed die vingerafdruk uit data af te lezen valt, hangt af van de soort invloed van droogte op een sector, alsook van de kwaliteit van de beschikbare data. Volledig betrouwbare uitspraken over de totaliteit van effecten van droogte op sectoren in zijn geheel, zijn momenteel niet mogelijk, voornamelijk doordat data niet voldoende structureel beschikbaar is. Het doel van deze analyse is daarom niet om het gehele systeem in kaart te brengen, maar om een indicatie te geven van de jaarlijkse schade van droogte voor verschillende sectoren in Nederland.

De Algemene Rekenkamer valt op grond van artikel 2.2 lid 1 e onder de Wet open overheid. Op grond van artikel 7.41 lid 2 Cw2016 is daarvan uitgezonderd informatie die de Algemene Rekenkamer in het kader van haar wettelijke taakuitoefening (het onderzoek) heeft verzameld. Verzoeken die dat soort informatie betreffen worden ter behandeling doorgezonden aan het orgaan, de persoon of het college waarvan de informatie afkomstig is.

Methode en dataverzameling

We trainen machine learning modellen (decision trees) om de relatie tussen droogte en impactindicatoren te leren op provinciaal niveau en op nationaal niveau, waarna volgend het risico op droogte wordt berekend. De uiteindelijke uitkomst die door het model voorspeld wordt, is de average annual loss risk (AAL). Dit getal geeft de verwachte gemiddelde jaarlijkse schade van droogte weer. Dit getal wordt uitgedrukt als percentage verlies per provincie (waar mogelijk, anders nationaal).

Droogte-indicatoren

De volgende droogte-indicatoren zijn verzameld op, waar mogelijk, provinciaal niveau en voor een zo lang mogelijke tijdsreeks. Waar een detailniveau op provincie niet mogelijk was, hebben we data op nationaal niveau gebruikt.

De volgende droogte-indicatoren zijn gedownload via het [KNMI](#) voor de periode 01-01-2003 t/m 31-12-2024. Daggegevens zijn geaggregeerd tot maandelijkse en jaarlijkse gemiddelden. Voor deze data hebben we gekozen om 1 meetstation per provincie te gebruiken. De gekozen KNMI-stations voor dag- en maandgegevens zijn: De Kooy (Noord-Holland), De Bilt (Utrecht), Lelystad (Flevoland), Leeuwarden (Friesland), Deelen (Gelderland), Hoogeveen (Drenthe), Eelde (Groningen), Twente (Overijssel), Vlissingen (Zeeland), Rotterdam (Zuid-Holland), Eindhoven (Noord-Brabant) en Maastricht (Limburg).

- Referentiegewasverdamping (EV24) (in 0.1 mm). Dit is een hydrologische maatstaf die de theoretische maximale verdamping voor gewassen berekend met behulp van de Makkink-formule. Meer achtergrondinformatie over referentiegewasverdamping is [hier](#) te vinden.
- Maximale relatieve vochtigheid (UX) (in procenten). De maximale relatieve vochtigheid geeft aan hoeveel waterdamp er maximaal in de lucht zit en is een percentage ten opzichte van het maximale dat mogelijk in de lucht kan zitten. Meer achtergrondinformatie over relatieve vochtigheid is [hier](#) te vinden.
- Gemiddelde temperatuur (TG) (in 0.1 graden Celsius).
- Maximale temperatuur (TX) (in 0.1 graden Celsius).
- Minimale temperatuur (TN) (in 0.1 graden Celsius).
- Neerslagsom (RH) (in 0.1 mm).

Als gestandaardiseerde droogte-indexen hebben we gebruikt:

- Soil Moisture Index (SMI) (1995-2024). De SMI kan worden gebruikt als een directe indicator voor meteorologische droogte en geeft een indicatie van hoe neerslag verschilt van het gemiddelde over een bepaalde tijd. De SMI is op nationaal niveau geëxtraheerd. Meer informatie over de SMI kan [hier](#) gevonden worden.

- Standardized Precipitation Index (SPI1) (1991-2024). De SPI1 kan ook worden gebruikt als indicator voor meteorologische droogte. De SPI is normaal beschikbaar op een tijdschaal van 1 maand, 3 maanden of 6 maanden. Hier kiezen we ervoor de tijdschaal van 1 maand te pakken om kortdurende droogte te meten. Meer informatie over de berekening van SPI1 kan [hier](#) worden gevonden.
- Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index (SPEI) (1958-2024). De SPEI vergelijkt het verschil tussen neerslag en potentiële verdamping. Meer informatie over de berekening van SPEI is [hier](#) te lezen.
- Gestandaardiseerde grondwaterindex (SGI1) (1995-2022). De SGI1 geeft een beeld van de actuele grondwater situatie en is gebaseerd op de gemiddelde grondwaterstand over de afgelopen 30 dagen per grondwatermeetlocatie. De SGI1 is gesepareerd op landgebruikstype: natuur, agricultuur of overig. Als er in de rapportage niet specifiek natuur of agricultuur SGI1 wordt gemeld, dan bedoelen we automatisch de overige categorie. Meer informatie over de berekening van de SGI1 is [hier](#) te vinden.
- Gestandaardiseerde streamflow index (SSI1) (1990-2024). De SSI1 wordt gebruikt om abnormaliteiten in de hoeveelheid rivier afvoer uit te drukken en wordt hier berekend door middel van maandelijks rivierafvoerdata van Lobith (de Rijn) en Eijsden (de Maas) van waterinfo.rws.nl.

Als laatste hebben we nog een aantal indicatoren gebruikt van het KNMI die alleen op jaarlijks en nationaal geaggregeerd niveau beschikbaar zijn:

- Centraal Nederland temperatuur ([CNT](#)) (in graden Celsius). Maandelijks gemiddelde temperatuur in Nederland. De CNT is geconstrueerd na analyse van de maandgemiddelde temperatuurreksen van 23 stations in Nederland. Data is beschikbaar vanaf 1906 tot heden.
- Zeespiegelstijging (in cm). Jaargemiddelde van de zeespiegel. Afwijking is genomen ten opzichte van het gemiddelde van 1995-2014. Data is beschikbaar vanaf 1900 tot heden. Openbare data gedownload van het KNMI [Klimaatdashboard](#).
- Landelijke neerslagsom (in mm). Jaarneerslag gemiddeld voor Nederland gemeten vanaf 1906 tot heden. Openbare data gedownload van het KNMI [Klimaatdashboard](#).
- Landelijke neerslagtekort groeiseizoen (in mm). Landelijk maximaal neerslagtekort tussen april en september van elk jaar vanaf 1906 tot heden. Openbare data gedownload van het KNMI [Klimaatdashboard](#).

Data-overwegingen

We hebben ook gekeken naar de European Combined Drought indicator (CDI). Deze indicator ontwikkeld door Sepulcre-Canto et al. (2012) wordt gebruikt om agrarische droogte te identificeren. De CDI is echter pas sinds 2012 beschikbaar wat een te korte tijdreeks oplevert om te kunnen gebruiken in dit onderzoek en hebben we dus niet meegenomen. Daarnaast hebben we ervoor gekozen om voor de SPI, SPEI en SGI-indexen de tijdschalen van 1 maand te gebruiken. Hierdoor meten we droogte die op korte termijn plaats kan vinden. Voor deze indexen zijn ook langere tijdschalen te vinden (zoals bijvoorbeeld 3- of 6-maandelijks, jaarlijks of tweejaarlijks). Hier mee kan langdurige droogte gemeten worden. Voor dit onderzoek hebben we gekozen om ons te richten op effecten van droogte op een kortere termijn. Voor de KNMI-data hebben we ervoor gekozen om een weerstation per provincie te kiezen en waar mogelijk, te kiezen voor de stations die gehomogeniseerde tijdreeksen hebben. Als laatst hebben we ervoor gekozen om, in tegenstelling tot de EDORA, wel naar temperatuur te kijken.

Impactvariabelen

Om de mogelijke impact van deze droogte-indicatoren te berekenen hebben we voor 5 sectoren impactvariabelen verzameld. Er is geen concrete en directe data beschikbaar dat de impact van droogte kan weergeven. Alle data die we verzameld hebben, zijn dus een proxy om potentiële droogtegerelateerde impact te kunnen schatten.

Natuur:

- Leaf Area Index. Het aantal vierkante meter bladoppervlak per vierkante meter bodem (gescoord van 0 tot 10) van 1999-2020. Gemiddelde index per maand per provincie per jaar zijn berekend vanuit de Copernicus dataset.
- Actualisatie provinciale natuurindicatoren. Verschillende natuurindicatoren die een gemiddeld beeld geven van trends in populaties van populaties van hele soortgroepen volgens de Living Planet Index (amfibieën, libellen, (zoetwater) vissen, vlinders en vogels) van 1990-2022.
- Natuurbranden. Via het Nederlands Instituut Publieke Veiligheid (NIPV) hebben we een dataset aangevraagd met het aantal natuurbranden in Nederland. De dataset bevat gegevens over de periode 2017-2022.

Landbouw:

- Opbrengst van verschillende verbouwde gewassen in Nederland. Bruto-opbrengst per hectare (x 1000 kg) voor aardappelen, akkerbouwgewassen, granen en suikerbieten van 1994-2024.

Scheepvaart:

We hebben via RWS data uitgevraagd uit het Informatie- en Volgsysteem voor de Scheepvaart (IVS Next) van 2004-2024. Hieruit hebben we 3 variabelen gebruikt voor de analyse.

- Beladingsgraad: Gemiddeld percentage vervoerd gewicht ten opzichte van laadvermogen.
- Maximale vervoerd gewicht (in tonnen).
- Gemiddelde wachttijd bij objecten (i.e. sluizen) (in minuten).

Industrie:

- Koelwatergebruik elektriciteitscentrales. Koelwater gebruik x miljoenen kubieke meter (mln m³) van grond-, leiding- en zoet of zout oppervlaktewater door elektriciteitscentrales van 1981-2021.
- Waterkracht gebruikt voor het opwekken van hydro- en kernenergie. Opgewekte elektriciteit in megawattuur (MWh) door kernenergie en door waterkracht van 1998-2024.

Data-opwerking

Zowel de droogte als de impactindicatoren zijn eerst opgeschoond en opgewerkt met het programma R (R Core Team, 2021). Datasets met constante waarden zijn niet meegenomen en missende waarden zijn vervangen met NA. Beide datasets zijn bewerkt om dezelfde tijd- en locatieschaal te hebben.

Voor de droogte-indicatoren maken we zowel onderscheid in data die maandelijks beschikbaar zijn en data die alleen op jaarbasis te verkrijgen zijn als data die op provinciaal of nationaal niveau beschikbaar zijn en tussen absolute waarden (zoals temperatuur of neerslag) en gestandaardiseerde waarden (zoals specifieke droogte-indexen als SPI, SPEI en CDI).

Voor alle droogte-indicatoren berekenen we per provincie (waar mogelijk) en nationaal:

- de gemiddelden per jaar;
- de mediaan per jaar;
- de gemiddelden van elke maand (waar maandelijks data beschikbaar zijn);
- de relatieve indices als percentage ten opzichte van de mediaan voor de absolute waarden (waar maandelijks data beschikbaar zijn).

Het resultaat van de opwerking van droogte-indicatoren zijn 2 datasets (1 met alleen droogte-indicatoren op nationaal niveau en 1 met droogte-indicatoren op nationaal en provinciaal niveau) met voor elk jaar in de tijdsreeks (van 1906 tot 2024) waarden

van elke berekening voor elke droogte-indicator voor elke provincie en nationaal. Het startjaar van elke droogte-indicator kan verschillen, afhankelijk vanaf wanneer er data beschikbaar is. Het aantal variabelen voor de nationale dataset is na de opwerkingstappen 268 en voor de provinciale dataset 506 (voor elke provincie). De impactvariabelen zijn opgewerkt om per jaar een gemiddelde waarde van de indicator te krijgen voor elke provincie (waar mogelijk) of op nationaal niveau. Het resultaat hiervan is een aparte dataset voor elke impactvariabele met elk een eigen tijdreeks.

Een aantal datasets vereisten extra handmatige opschoning. Hieronder staat genoemd waar dit van toepassing is:

- Scheepvaart: zoals aangegeven door RWS zijn sommige sluizen van naam veranderd. We hebben deze gevallen handmatig gecheckt en aangepast. Daarnaast was de locatie van een aantal sluizen niet bekend, deze hebben we ook handmatig toegevoegd.
- Natuurbranden: zoals aangegeven door het NIPV zitten in de dataset ook branden die plaatsvinden bij militaire basissen die ontstaan zijn door schietoefeningen. Deze branden zijn handmatig uit de dataset gefilterd en worden dus niet meegenomen in de analyse.

Vervolgens zijn de impactvariabelen één voor één in een Python-script verder bewerkt, waarbij we de trend uit de tijdreeksen hebben verwijderd volgens de LOWESS detrending methode. Daarmee hebben we extremen uit de reeks gehaald om zoveel mogelijk te voorkomen dat niet droogte-gerelateerde events te veel invloed op de tijdreeks hebben. Daarnaast is de data binair geclassificeerd op de aanwezigheid of afwezigheid van impact voor verschillende categorieën. De impactcategorieën die we gebruiken zijn geen impact (0%), 1% impact en 5% impact. De impactcategorieën worden gebruikt in het decision tree algoritme om te berekenen hoe groot de kans is op een effect van droogte met Y% impact voor belang Z.

Machine learning modellen

Voor de berekening van droogte op de verschillende belangen gebruiken we, naar het voorbeeld van de EDORA (Rossi, et al., 2023) een decision tree model per impact-variabele met de Scikit-Learn package (Pedregosa, et al., 2011) in Python. De modellen worden eerst getraind met bootstrap cross-validatie op de gemeenschappelijke jaren tussen de impactvariabele en de droogte-indicatoren dataset (op nationaal of provinciaal niveau). Hierbij is de volledige dataset dertigmaal willekeurig opgesplitst in een trainingset van 70% en een testset van 30% van de observaties

door middel van de functie StratifiedShuffleSplit. De getrainde modellen worden vervolgens getest op de volledige historische tijdreeksen van de droogte-indicatoren datasets. Uiteindelijk komen hier voorspellingen uit per impactindicator die worden samengevat in de average annual loss (AAL) per provincie en per impactindicator. De volledige resultaten worden hieronder weergegeven.

Beperkte beschikbaarheid data

De output van onze analyse is sterk afhankelijk van de beschikbaarheid en kwaliteit van data voor de verschillende functies. Voor elke functie hebben we impact-indicatoren kunnen vinden. Het is echter belangrijk in acht te nemen dat deze slechts een indicatie geven van mogelijke schade voor een gedeelte van een functie. Door de afhankelijkheid van databeschikbaarheid is het dus niet altijd mogelijk te weten of er wel of geen schade plaatsvindt voor bepaalde functies.²

We wilden bijvoorbeeld ook de schade aan waterkeringen en infrastructuur onderzoeken. Het is echter niet gelukt om hier geschikte data op nationaal of provinciaal niveau voor te verkrijgen.

Uit de literatuur en uit gesprekken met stakeholders is gebleken dat verzilting van het oppervlaktewater een belangrijke factor is in het vraagstuk rondom droogte. Dit hebben we wegens beperkingen in de databeschikbaarheid ook niet mee kunnen nemen in de analyse.

De beperkingen in de databeschikbaarheid worden bevestigd door het Expertise Netwerk Zoetwater en Droogte (Expertisenetwerk Zoetwater en Droogte, 2022). Uit hun advies blijkt dat de gevolgen van droogte nog niet voldoende kunnen worden gemeten voor bovenstaande sectoren en effecten.

Resultaten

In elke tabel staat voor welke regio de schatting is gemaakt (op nationaal of provinciaal niveau), waar toepasbaar het absolute jaarlijkse verlies (absolute *average annual loss* of AAL) en het geschatte jaarlijkse percentuele verlies (AAL%) voor de impactvariabele. De resultaten die we hier tonen laten inzichten zien van de relatie tussen droogte en droogte-effecten, er wordt steeds bij vermeld hoe goed de 'vingerafdruk' van droogte in de impactdata te zien was. Een accuraatheid van 1 betekent dat de relatie tussen droogte en gevolgen voor 100% correct uit de data kon worden gehaald – lager betekent dat er mogelijk over- en onderschattingen zijn. Een precisie van 1 betekent dat er geen overschatting van het effect van droogte (maar mogelijk wel een onderschatting) uit de modellen komt.

Ook zijn we nagegaan welke droogte-indicatoren het meest door de modellen naar voren komen als voorspellers van de impact door droogte. Bij elke variabele blijken grondwaterstanden of rivierafvoerdata bij Lobith in november een sterke voorspeller van impact van droogte. Effecten van een droogteperiode zullen vertraagd te zien zijn in het grondwater. Een sterk droogte-effect door een droge zomer zal dan een aantal maanden later in het grondwaterpeil te zien zijn. Daarnaast verklaren we dat grondwater als een overkoepelende voorspeller voor droogte naar voren komt waarin de effecten van een neerslagtekort, lage vochtigheid en andere pijlers van droogte samen komen. Rivierafvoerstanden hebben een belangrijke verklarende waarde in de sectoren waarin oppervlaktewater een belangrijke rol speelt. In de tabellen worden de top 5 voorspellers bij elke variabele gerapporteerd.

Natuur

Bladoppervlakte index

Regio	AAL %	Accuraatheid	Precisie
Drenthe	1,25	0,97	1
Flevoland	0,87	0,87	1
Friesland	1,33	0,88	1
Gelderland	2,09	0,88	1
Groningen	1,37	0,91	1
Limburg	1,48	0,88	1
Noord-Brabant	1,89	0,91	1
Noord-Holland	0,99	0,92	1
Overijssel	2,15	0,99	1
Utrecht	1,58	0,94	1
Zeeland	2,44	0,98	1
Zuid-Holland	1,99	0,98	1

Amfibieën

Regio	AAL %	Accuraatheid	Precisie
Drenthe	1,19	0,85	1
Flevoland	1,49	0,78	0,89
Friesland	0,55	0,88	1
Gelderland	0,96	0,75	0,86
Limburg	1,68	0,78	1
Noord-Brabant	1,41	0,7	1
Noord-Holland	0,61	0,79	0,88
Overijssel	1,13	0,72	0,87
Utrecht	1,07	0,8	1
Zeeland	1,43	0,95	1
Zuid-Holland	0,95	0,77	0,67

Libellen

Regio	AAL %	Accuraatheid	Precisie
Drenthe	0,67	0,91	0,89
Flevoland	0,69	0,9	1
Friesland	1,34	0,9	1
Gelderland	0,88	0,68	0,83
Groningen	0,88	0,86	1
Limburg	0,87	0,77	0,83
Noord-Brabant	0,72	0,79	1
Noord-Holland	1,12	0,88	0,89
Overijssel	1,23	0,8	0,8
Utrecht	0,71	0,77	1
Zeeland	1,5	0,77	0,89
Zuid-Holland	0,68	0,86	0,93

Vissen

Regio	AAL %	Accuraatheid	Precisie
Drenthe	2,7	0,87	1
Flevoland	1,27	0,76	0,96
Friesland	3,38	0,9	1
Gelderland	1,44	0,65	0,98
Groningen	1,69	0,84	1
Limburg	2,57	0,75	0,87
Noord-Brabant	3,14	0,87	1
Noord-Holland	2,57	0,81	0,94
Overijssel	2,7	0,85	1
Utrecht	2,48	0,85	1
Zeeland	1,64	0,81	1
Zuid-Holland	2,68	0,75	1

Vlinders

Regio	AAL %	Accuraatheid	Precisie
Drenthe	2,34	0,89	1
Flevoland	1,57	0,77	1
Friesland	3,31	0,85	1
Gelderland	1,94	0,69	0,98
Groningen	1,82	0,85	1
Limburg	1,9	0,73	0,89
Noord-Brabant	2,73	0,8	1
Noord-Holland	2,76	0,77	1
Overijssel	2,95	0,85	1
Utrecht	3,28	0,8	1
Zeeland	1,57	0,79	0,89
Zuid-Holland	3,14	0,76	0,75

Vogels

Regio	AAL %	Accuraatheid	Precisie
Drenthe	0,46	0,74	0,75
Flevoland	0,76	0,75	0,88
Friesland	1,07	0,97	1
Gelderland	0,59	0,84	1
Groningen	0,63	0,91	1
Limburg	0,82	0,79	0,86
Noord-Brabant	0,95	0,9	1
Noord-Holland	0,57	0,85	1
Overijssel	0,77	0,87	1
Utrecht	1,03	0,93	1
Zeeland	0,54	0,8	1
Zuid-Holland	0,81	0,9	1

De top 5 meest voorkomende voorspellers van schade door droogte

Impact	Top 5 droogte-indicatoren	Percentage
Bladoppervlakte index	Gemiddelde grondwater index - november	23
	Gemiddelde relatieve neerslag - augustus	1
	Gemiddelde relatieve neerslag - april	1
	Gemiddelde neerslag	1
	Gemiddelde relatieve vochtigheid	1
Amfibieën	Gemiddelde grondwater index - november	21
	Mediaan grondwaterindex - natuur	1
	Gemiddelde relatieve neerslag - maart	1
	Gemiddelde neerslag	1
	Gemiddelde relatieve bodemvochtigheid index - januari	1
Libellen	Gemiddelde grondwater index - november	21
	Gemiddelde relatieve verdamping - mei	1
	Gemiddelde relatieve neerslag - oktober	1
	Gemiddelde relatieve bodemvochtigheid index - oktober	1
	Gemiddelde relatieve maximale temperatuur - september	1
Vissen	Gemiddelde grondwater index - november	21
	Mediaan relatieve vochtigheid	1
	Gemiddelde neerslag	1
	Gemiddelde relatieve vochtigheid - april	1
	Gemiddelde grondwaterindex - agrarisch	1
Vlinders	Gemiddelde grondwater index - november	21
	Gemiddelde relatieve vochtigheid - maart	1
	Gemiddelde relatieve bodemvochtigheid index - februari	1
	Gemiddelde relatieve vochtigheid - november	1
	Gemiddelde relatieve vochtigheid - december	1
Vogels	Gemiddelde grondwater index - november	20
	Gemiddelde relatieve neerslag - maart	1
	Gemiddelde relatieve bodemvochtigheid index - december	1
	Gemiddelde SPEI	1
	Gemiddelde relatieve neerslag - augustus	1

Ondanks dat de waarde van en schade aan natuur lastig te kwantificeren is, hebben we voor onze kwantitatieve analyses een aantal natuurindicatoren van het CBS (Centraal Bureau voor de Statistiek, 2024) betrokken en gekeken naar de index voor bladoppervlakte van bomen en planten. De bladoppervlakte-index is gebaseerd op satellietdata en laat zien hoeveel bladoppervlakte er in een gebied is ten opzichte van de hoeveelheid grondoppervlak. Een bos heeft bijvoorbeeld een hoge score op de bladoppervlakte-index. Schommelingen in de scores op de bladoppervlakte-index zouden kunnen komen door periodes van droogte.

Voor de natuurindicatoren van het CBS zijn we specifiek nagegaan wat het effect is op de ontwikkeling van aantallen van bepaalde diersoorten in Nederland waarvan we verwachten dat ze afhankelijk zijn van de beschikbaarheid van zoetwater (amfibieën, libellen, vlinders, vogels en zoetwatervissen).³ We zijn uitgegaan van de meerjarige indexen van deze soortgroepen uit de Living Planet Index. Niet elke soort uit een soortgroep is aanwezig in elke provincie, dus provincies kunnen onderling niet vergeleken worden. We kunnen alleen nagaan wat het effect van droogte is op een soortgroep binnen een bepaalde provincie. Daarnaast zit er onzekerheid rondom de indexen. Dit komt omdat soorten kunnen ontbreken in een provincie, of er kan niet genoeg informatie bekend zijn over bepaalde soorten waardoor de indicator onzekerder wordt. Er is daarom voorzichtigheid geboden bij het interpreteren van deze resultaten.

Natuurbranden

Onderstaande tabel laat het aantal natuurbranden per provincie vanaf 2017 t/m 2022 zien. Voor deze variabele zijn niet voldoende gegevens beschikbaar voor een *machine learning model*.

Jaren	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Drenthe	6	45	27	29	6	28
Flevoland	-	3	4	10	6	43
Friesland	8	23	25	15	15	27
Gelderland	27	98	53	98	24	122
Groningen	-	13	8	14	3	6
Limburg	18	103	55	93	15	92
Noord-Brabant	57	278	170	248	46	215
Noord-Holland	22	50	39	45	17	45
Overijssel	16	39	29	35	9	72
Utrecht	20	39	27	40	8	41
Zeeland	2	16	3	8	7	28
Zuid-Holland	8	45	21	24	6	36

Landbouw

Aardappelen

Regio	Absolute AAL (bruto-opbrengst per hectare x 1.000 kg)	AAL %	Accuraatheid	Precisie
Drenthe	866	2,07	0,95	1
Flevoland	431	0,99	0,83	1
Friesland	404	1,13	0,88	1
Gelderland	664	1,57	0,83	1
Groningen	511	1,3	0,82	1
Limburg	599	1,21	0,85	1
Noord-Brabant	648	1,41	0,79	0,89
Noord-Holland	546	1,45	0,94	1
Overijssel	907	2,1	0,83	1
Utrecht	854	1,94	0,9	1
Zeeland	620	1,54	0,85	1
Zuid-Holland	832	1,74	0,8	0,89

Akkerbouwgroenten

Regio	Absolute AAL (bruto- opbrengst per hectare x 1.000 kg)	AAL %	Accuraatheid	Precisie
Drenthe	1.779	1,89	0,84	1
Flevoland	1.771	1,94	0,86	1
Friesland	1.929	2,23	0,83	1
Gelderland	1.866	2,09	0,82	1
Groningen	2.329	2,74	0,88	1
Limburg	1.711	1,75	0,85	1
Noord-Brabant	1.657	1,73	0,76	1
Noord-Holland	1.820	1,93	0,8	1
Overijssel	1.099	1,15	0,77	1
Utrecht	888	1,71	0,79	1
Zeeland	1.366	1,7	0,78	1
Zuid-Holland	1.715	1,68	0,74	1

Granen

Regio	Absolute AAL (bruto-opbrengst per hectare x 1.000 kg)	AAL %	Accuraatheid	Precisie
Drenthe	873	1,72	0,75	1
Flevoland	763	1,37	0,86	1
Friesland	702	1,34	0,7	0,97
Gelderland	1.002	1,98	0,83	1
Groningen	798	1,52	0,77	1
Limburg	941	1,78	0,79	1
Noord-Brabant	1.102	2,11	0,81	1
Noord-Holland	527	1,39	0,74	1
Overijssel	722	1,46	0,82	1
Utrecht	431	0,98	0,74	1
Zeeland	739	1,58	0,76	1
Zuid-Holland	679	1,88	0,73	0,89

Suikerbieten

Regio	Absolute AAL (bruto-opbrengst per hectare x 1.000 kg)	AAL %	Accuraatheid	Precisie
Drenthe	927	1,19	0,93	1
Flevoland	460	0,48	0,9	1
Friesland	703	0,88	0,94	1
Gelderland	1.131	1,54	0,78	1
Groningen	567	0,71	0,94	1
Limburg	1.139	1,45	0,89	1
Noord-Brabant	673	0,83	0,8	1
Noord-Holland	960	1,11	0,91	1
Overijssel	1.209	1,58	0,95	1
Utrecht	1.061	1,43	0,83	1
Zeeland	1.605	1,88	0,9	1
Zuid-Holland	1.362	1,49	0,88	1

De top 5 meest voorkomende voorspellers van schade door droogte

Impact	Top 5 droogte-indicatoren	Percentage
Aardappelen	Gemiddelde grondwater index - november	20
	Mediaan neerslag	1
	Gemiddelde grondwater index - natuur	1
	Gemiddelde neerslagsom	1
	Gemiddelde relatieve bodemvochtigheid index - oktober	1
Akkerbouwgroenten	Gemiddelde grondwater index - november	19
	Mediaan relatieve bodemvochtigheid	1
	Mediaan minimale temperatuur	1
	Gemiddelde neerslagtekort	1
	Gemiddelde relatieve bodemvochtigheid index - februari	1
Granen	Gemiddelde grondwater index - november	19
	Gemiddelde bodemvochtigheid index	1
	Mediaan neerslag	1
	Gemiddelde relatieve maximale temperatuur - oktober	1
	Gemiddelde relatieve neerslag - juli	1
Suikerbieten	Gemiddelde grondwater index - november	21
	Mediaan grondwaterindex - natuur	1
	Gemiddelde relatieve vochtigheid - mei	1
	Mediaan relatieve vochtigheid	1
	Mediaan bodemvochtigheid index	1

De percentages voor opbrengstverliezen in de landbouw geven ook niet direct de economische weerslag aan. Marktprijzen zijn bepalend voor de omzet van een oogst en worden door diverse factoren bepaald. Voor sommige gewassen is de opbrengst in Nederland meer van invloed op de prijzen dan voor andere gewassen; hoeveel financiële schade een landbouwbedrijf ondervindt bij kleinere oogsten is dus niet direct te zeggen (Stratelligence, 2025).

Bovendien zijn de cijfers provinciegemiddelden. Er kunnen grote verschillen bestaan binnen een provincie, met bedrijven die in veel grotere mate geraakt worden door watertekort vanwege grotere afhankelijkheid van regenwater en minder grondwaterbeschikbaarheid. Bijvoorbeeld in Zeeland zijn er gebieden waar de uienteelt veel harder geraakt wordt en bedrijven in een droog jaar meer dan de helft van de oogst verliezen.

Scheepvaart

Beladingsgraad

Regio	AAL %	Accuraatheid	Precisie
Flevoland	1,83	0,82	0,89
Gelderland	1,19	0,88	1
Groningen	1,39	0,88	1
Limburg	0,34	0,93	1
Noord-Brabant	0,29	0,95	1
Noord-Holland	1,51	0,9	1
Overijssel	1,57	0,98	1
Utrecht	1,02	0,92	1
Zeeland	2,17	0,95	1
Zuid-Holland	1,19	0,87	1

Gemiddelde wachttijd

Regio	Absolute AAL (in minuten)	AAL %	Accuraatheid	Precisie
Flevoland	0,51	2,38	0,94	1
Gelderland	0,87	2,93	0,92	1
Groningen	1,06	4,54	0,9	1
Limburg	0,34	1,83	0,93	1
Noord-Brabant	0,06	0,38	0,81	0,75
Noord-Holland	1,83	6,01	0,95	1
Overijssel	1,27	4,18	0,92	1
Utrecht	0,70	2,38	0,98	1
Zeeland	0,80	2,55	0,93	1
Zuid-Holland	0,61	2,93	0,92	1

Maximaal vervoerd gewicht

Regio	Absolute AAL (in tonnen)	AAL %	Accuraatheid	Precisie
Flevoland	136	4,6	0,89	1
Gelderland	94	2,08	0,89	1
Groningen	159	3	0,86	1
Limburg	134	3,76	0,88	1
Noord-Brabant	162	4,99	0,87	1
Noord-Holland	123	3,08	0,88	1
Overijssel	59	2,95	0,89	1
Utrecht	99	1,98	0,92	1
Zeeland	389	2,77	0,78	0,89
Zuid-Holland	47	1,59	0,83	0,89

De top 5 meest voorkomende voorspellers van schade door droogte

Impact	Top 5 droogte-indicatoren	Percentage
Gemiddeld % vervoerd gewicht	Gemiddelde grondwater index - november	25
	Gemiddelde relatieve temperatuur - januari	1
	Gemiddelde relatieve maximale temperatuur - september	1
	Gemiddelde relatieve temperatuur - juli	1
	Gemiddelde relatieve minimum temperatuur - juni	1
Gemiddelde wachttijd	Gemiddelde grondwater index - november	25
	Gemiddelde neerslag	1
	Gemiddelde relatieve minimum temperatuur - juni	1
	Gemiddelde relatieve minimum temperatuur - juli	1
	Gemiddelde temperatuur	1
Maximaal vervoerd gewicht	Gemiddelde grondwater index - november	22
	Gemiddelde zeespiegel	1
	Gemiddelde relatieve neerslag - mei	1
	Gemiddelde SSI - Lobith	1
	Gemiddelde bodemvochtigheid indexnationaal	1

Voor onze analyse voor de effecten van droogte op de scheepvaart hebben we data uit IVS Next (het Informatie- en Volgsysteem voor de Scheepvaart) gebruikt die we hebben verkregen van RWS. In IVS Next wordt alles bijgehouden wat er gebeurt op het (hoofd)vaarwegennet. Bijvoorbeeld welke schepen zich melden bij een sluis, de kenmerken van een schip zoals hoeveel laadvermogen een schip heeft en hoeveel belading die bij zich heeft. Er wordt ook bijgehouden hoelang een schip moet wachten bij een sluis. Deze data hebben we verzameld voor alle sluizen in Nederland en daarmee hebben we gemiddelden over alle provincies berekend. Per provincie kijken we naar de effecten van droogte op de beladingsgraad (berekend als het gemiddelde percentage vervoerd gewicht ten opzichte van het laadvermogen van een schip), de gemiddelde wachttijd bij sluizen en het gemiddelde maximale vervoerd gewicht.

Bij de resultaten laten we Drenthe en Friesland buiten beschouwing omdat hier niet voldoende data voor beschikbaar zijn. Alle resultaten zijn berekend op schepen die zich melden bij sluizen. We houden hierbij geen rekening met de totale reis die een schip aflegt. Het kan dus zijn dat een schip door meerdere provincies heeft gevaren. We kijken alleen naar de gemiddelde beladingsgraad, de wachttijd en het maximaal vervoerd gewicht per locatie.

De geschatte verliespercentages voor de scheepvaart geven echter beperkt inzicht in de economische effecten vanwege marktwerking: waar grotere schepen mogelijk minder of niet meer inzetbaar zijn, worden juist vervoerders met kleinere schepen aantrekkelijker. Dit beïnvloedt de prijzen die gevraagd kunnen worden (zie ook hierboven). Tegelijk kunnen de kosten in de hele aanleveringsketen veranderen en zo

de prijzen van producten beïnvloeden. Verschillende ketenpartijen kunnen andere (financiële) gevolgen ondervinden.

Model accuraatheid en precisie zijn het hoogst voor de gemiddelde wachttijd, ook relatief hoog voor maximaal vervoerd gewicht (afgezien van Zeeland en Zuid-Holland) en voor de beladingsgraad (afgezien van Overijssel en Zuid-Holland). Dit kan te maken hebben met de beschikbaarheid van data. De data in IVS Next wordt niet verzameld voor dit soort doeleinden, wat mogelijk een effect kan hebben op de trefzekerheid van de analyse.

Industrie – Energievoorziening

Koelwatergebruik

Impact	Absolute AAL (x miljoen kubieke meter)	AAL %	Accuraatheid	Precisie
Zoet oppervlaktewater	59	1,7	0,93	1
Zout oppervlaktewater	137	2,43	0,89	0,89

De top 5 meest voorkomende voorspellers van schade door droogte

Impact	Top 5 droogte-indicatoren	Percentage
Zoet oppervlaktewater	Gemiddelde SSI - Lobith - november	23
	Gemiddelde relatieve temperatuur - januari	2
	Gemiddelde relatieve bodemvochtigheid index - september	2
	Gemiddelde relatieve temperatuur - december	2
	Mediaan grondwater index - agrarisch	2
Zout oppervlaktewater	Gemiddelde SSI - Lobith - november	22
	Gemiddelde relatieve vochtigheid - februari	2
	Gemiddelde relatieve vochtigheid – juli	2
	Gemiddelde relatieve minimum temperatuur - september	2
	Gemiddelde relatieve temperatuur - april	2

Waterkracht

Impact	Absolute AAL (in megawattuur)	AAL %	Accuraatheid	Precisie
Waterkracht	1.395	2,06	0,77	0,99

De top 5 meest voorkomende voorspellers van schade door droogte

Indicatoren	Percentage
Gemiddelde SSI - Lobith - november	16
Gemiddelde relatieve verdamping - mei	3
Mediaan gemiddelde temperatuur - oktober	2
Gemiddelde relatieve vochtigheid - maart	2
Gemiddelde relatieve maximale temperatuur - oktober	2

Kernenergie

Impact	Absolute AAL (in megawattuur)	AAL %	Accuraatheid	Precisie
Kernenergie	34.049	0,87	0,73	1

De top 5 meest voorkomende voorspellers van schade door droogte

Indicatoren	Percentage
Gemiddelde SSI - Lobith - november	21
Mediaan SSI - Eijsden	2
Gemiddelde relatieve neerslag - juni	2
Gemiddelde relatieve maximale temperatuur - oktober	2
Gemiddelde neerslag	1

Watergebruik

Impact	Absolute AAL (in miljoenen kubieke meter)	AAL %	Accuraatheid	Precisie
Industrie - grondwater	1,94	1,69	0,85	1
Industrie - leidingwater	1,07	0,5	0,84	1
Industrie - zoet oppervlaktewater	32,19	1,42	0,81	0,78
Landbouw, bosbouw en visserij - grondwater	8,17	5,17	0,94	1
Landbouw, bosbouw en visserij - leidingwater	0,44	1,05	0,95	1
Landbouw, bosbouw en visserij - zoet oppervlaktewater	2,17	3,8	0,84	1

De top 5 meest voorkomende voorspellers van schade door droogte

Impact	Top 5 droogte-indicatoren	Percentage
Industrie - grondwater	Gemiddelde SSI - Lobith - november	15
	Gemiddelde relatieve neerslag - april	3
	Gemiddelde relatieve bodemvochtigheid index - april	3
	Mediaan minimale temperatuur	3
	Gemiddelde relatieve minimum temperatuur – oktober	3
Industrie - leidingwater	Gemiddelde SSI - Lobith - november	17
	Gemiddelde relatieve verdamping - januari	3
	Gemiddelde relatieve minimum temperatuur - januari	3
	Gemiddelde mediaan temperatuur	2
	Gemiddelde relatieve temperatuur - april	2
Industrie – zoet oppervlaktewater	Gemiddelde SSI - Lobith - november	27
	Gemiddelde relatieve bodemvochtigheid index - maart	2
	Gemiddelde temperatuur	2
	Gemiddelde minimum temperatuur	2
	Gemiddelde relatieve temperatuur - november	2
Landbouw, bosbouw en visserij - grondwater	Gemiddelde SSI - Lobith - november	24
	Mediaan grondwaterindex - natuurnationaal	2
	Gemiddelde relatieve neerslag - februari	2
	Gemiddelde neerslagtekort	2
	Gemiddelde bodemvochtigheid indexnationaal	2
Landbouw, bosbouw en visserij - leidingwater	Gemiddelde SSI - Lobith - november	27
	Gemiddelde grondwaterindex - agrarisch	4
	Gemiddelde mediaan temperatuur	3
	Gemiddelde relatieve temperatuur - juni	2
	Gemiddelde relatieve temperatuur - augustus	2
Landbouw, bosbouw en visserij – zoet oppervlaktewater	Gemiddelde SSI - Lobith - november	22
	Gemiddelde neerslagtekort	2
	Gemiddelde relatieve maximum temperatuur - juni	2
	Gemiddelde SPI	2
	Gemiddelde relatieve temperatuur - december	1

Eindnoten

1. De Verdringingsreeks is het instrument dat gebruikt wordt om schaars water te verdelen ten tijde van watertekorten.
Zie <https://iplo.nl/thema/water/beheer-watersysteem/verdringingsreeks/>
2. We kijken niet naar funderingsschade aan woningen, omdat dit vooral wordt beïnvloed door keuzes van een waterschap in het peilbeheer. Droogte kan deze schade wel versterken door een verdere daling van het grondwater. Zie ook: Stratelligence (2025).
3. Verwachting o.b.v. persoonlijke communicatie met CBS.