



# Gevolgen van de droge jaren 2018-2020 voor de vegetatie van natuurgebieden op de Hogere Zandgronden van Nederland

Een analyse van vegetatieopnamen uit het Landelijk Meetnet Flora

J.P.M. Witte, A. van Strien, S. Hennekens, G.W.W. Wamelink, G.A.P.H. van den Eertwegh en S. van Klaveren



# Gevolgen van de droge jaren 2018-2020 voor de vegetatie van natuurgebieden op de Hogere Zandgronden van Nederland

Een analyse van vegetatieopnamen uit het Landelijk Meetnet Flora

J.P.M. Witte<sup>1</sup>, A. van Strien<sup>2</sup>, S. Hennekens<sup>3</sup>, G.W.W. Wamelink<sup>3</sup>, G.A.P.H. van den Eertwegh<sup>4</sup> en S. van Klaveren<sup>3</sup>

1 Flip Witte Ecohydrologie

2 Arco van Strien Data Analyse

3 Wageningen Environmental Research

4 KnowH2O

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Environmental Research, Flip Witte Ecohydrologie, Arco van Strien Data Analyse, KnowH2O en gesubsidieerd door het Ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur, in het kader van het Beleidsondersteunend onderzoeksthema 'BO-43 Duurzame voedselvoorziening & -productieketens & Natuur' (projectnummer BO-43-123-020).

Wageningen Environmental Research  
Wageningen, december 2024

---

Gereviewd door:

Paul Matthijsen, onderzoeker Climate Resilience

Akkoord voor publicatie:

Annemarie Groot, teamleider van Climate Resilience

Rapport 3407  
ISSN 1566-7197

---

Witte, J.P.M., A. van Strien, S. Hennekens, G.W.W. Wamelink, G.A.P.H. van den Eertwegh en S. van Klaveren, 2024. *Gevolgen van de droge jaren 2018-2020 voor de vegetatie van natuurgebieden op de Hogere Zandgronden van Nederland; Een analyse van vegetatieopnamen uit het Landelijk Meetnet Flora*. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 3407. 64 blz.; 12 fig.; 21 tab.; 67 ref.

Dit onderzoek richt zich op de gevolgen van de extreem droge jaren 2018, 2019 en 2020 voor de vegetatie in natuurgebieden op de Hogere Zandgronden van Nederland. De gevolgen zijn geanalyseerd aan de hand het Landelijk Meetnet Flora (LMF), dat duizenden vegetatieopnamen bevat van vaste locaties, permanente kwadraten (pq's), die zijn opgenomen van 1999 tot en met 2023. Door extreem droge jaren nemen plantensoorten in bedekking af, waarbij soorten van natte en vochtige bodems iets meer afnemen dan soorten van droge bodems. Het duidelijkste gevolg van extreem droge jaren is een substantiële en significante achteruitgang van de natuurwaarde van de pq's, wat wil zeggen dat zeldzame, bedreigde en kenmerkende plantensoorten achteruitgaan. De schade neemt toe naarmate een extreem droog jaar wordt opgevolgd door nog een extreem droog jaar. Om uitspraken te doen over het herstel van de vegetatie na extreme droogte, is langjarig onderzoek nodig. Het onderzoek zal daarom worden herhaald in 2026 en 2028.

Trefwoorden: droogte, verdroging, biodiversiteit, vegetatie, natuurgebieden

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/684849> of op [www.wur.nl/environmental-research](http://www.wur.nl/environmental-research) (ga naar 'Wageningen Environmental Research' in de grijze balk onderaan). Wageningen Environmental Research verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

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

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

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

Wageningen Environmental Research werkt sinds 2003 met een kwaliteitsmanagementsysteem volgens de ISO 9001. In 2006 heeft Wageningen Environmental Research een milieuzorgsysteem geïmplementeerd volgens de norm ISO 14001. Wageningen Environmental Research geeft via ISO 26000 invulling aan haar maatschappelijke verantwoordelijkheid.

Wageningen Environmental Research Rapport 3407 | ISSN 1566-7197

Foto omslag: Nationale Park de Hoge Veluwe (15 september 2018). Verdroging van spontane opslag van dennen met struikhei (op de voorgrond), haarmos (door de droogte zwart gekleurd) en gras.

Fotograaf: Flip Witte

---

# Inhoud

<b>Verantwoording</b>	<b>5</b>
<b>Dankwoord</b>	<b>6</b>
<b>Samenvatting</b>	<b>7</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>9</b>
1.1 Context	9
1.2 Aanleiding	9
1.3 Onderzoeksdoel	11
1.4 Opbouw rapport	11
<b>2 Materiaal en methoden</b>	<b>12</b>
2.1 Het Landelijk Meetnet Flora (LMF)	12
2.2 Selectie van vegetatieplots en plantensoorten	12
2.3 Bewerking van vegetatieopnamen	15
2.3.1 Inleiding	15
2.3.2 Indicatiewaarden voor de standplaats	15
2.3.3 Botanische waarden	16
2.3.4 Ecosysteemttypen	17
2.4 Verklarende variabelen	19
2.4.1 Inleiding	19
2.4.2 Droogte-effect en soorteigenschappen	19
2.4.3 Meteorologische droogtegraad en droogteschok	20
2.4.4 Winterkou	23
2.4.5 Vernatting	23
2.5 Statistische analyses	23
2.5.1 Paarsgewijze vergelijking voor de droogte van 2018-2020	23
2.5.2 Aanvullende paarsgewijze analyse voor het droge jaar 2003	24
2.5.3 Regressieanalyse	25
<b>3 Resultaten</b>	<b>27</b>
3.1 Paarsgewijze vergelijking voor de droogte van 2018-2020	27
3.1.1 Verandering in standplaatsindicaties	27
3.1.2 Veranderingen in botanische waarden	28
3.1.3 Veranderingen in soortensamenstelling	28
3.1.4 Ecosysteemafhankelijke veranderingen	29
3.1.5 De invloed van soorteigenschappen op het droogte-effect	30
3.2 Paarsgewijze vergelijking voor de droogte van 2003	31
3.3 Resultaten regressieanalyse	33
3.3.1 Verandering in standplaatsindicaties	33
3.3.2 Verandering in botanische waarden	35
<b>4 Hydrologische consequenties op basis van de LMF-resultaten</b>	<b>37</b>
<b>5 Discussie</b>	<b>38</b>
5.1 Bespreking resultaten	38
5.1.1 Veranderingen in de vegetatie door de droogte van 2018-2020	38
5.1.2 Vergelijking met het droge jaar 2003	39
5.1.3 De betekenis van indicatiewaarden voor de standplaats	39
5.1.4 Consequenties van de LMF-analyse voor het waterbeheer	40
5.1.5 Evaluatie doelstellingen onderzoek	40

---

5.2	Aanbevelingen voor vervolgonderzoek	41
5.2.1	Inzicht in de betekenis van de standplaatsindicatiewaarden	41
5.2.2	Een nieuwe WW-maat voor voedselrijkdom	41
5.2.3	Verbetering van de regressieanalyse	41
5.2.4	Verbetering van de botanische waardering	42
5.2.5	Het gebruik van remotesensingbeelden	43
5.2.6	Rekening houden met wisselvallig weer	43
5.2.7	Hydrologische registraties en metingen	44
5.2.8	Kennisoverdracht	44
<b>6</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>46</b>
6.1	Conclusies	46
6.2	Aanbevelingen	47
<b>Literatuur</b>		<b>48</b>
<b>Bijlage 1</b>	<b>Selectie pq's en vegetatieopnamen</b>	<b>51</b>
<b>Bijlage 2</b>	<b>Verstoringscodes in het LMF</b>	<b>52</b>
<b>Bijlage 3</b>	<b>Bepalen ecotooptype van opnamen</b>	<b>53</b>
<b>Bijlage 4</b>	<b>Hydrologische gevolgen van en maatregelen tegen droogteschade</b>	<b>54</b>
<b>Bijlage 5</b>	<b>Botanische waarde op kardinale schaal</b>	<b>61</b>

---

# Verantwoording

Rapport: 3407 Gevolgen van de droge jaren 2018-2020 voor de vegetatie van natuurgebieden op de Hogere Zandgronden van Nederland  
Projectnummer: BO-43-123-020

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

Akkoord referent die het rapport heeft beoordeeld,

functie: Onderzoeker Climate Resilience

naam: Paul Matthijssen

datum: 16-12-2024

Akkoord teamleider voor de inhoud,

naam: Annemarie Groot

datum: 17-12-2024

---

# Dankwoord

Wij willen onze dank uitspreken aan iedereen die een bijdrage heeft geleverd aan de totstandkoming van het eerste jaar van het project 'Trendonderzoek droogte en natuur op de hogere zandgronden' (BO-43-123-020). Allereerst willen we het Ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur (LNV) bedanken voor het uitzetten van dit onderzoek. Wij zijn ook de provincies erkentelijk voor hun inzet bij het verzamelen van de Landelijk Meetprogramma Flora (LMF)-data. Dankzij hun inspanningen beschikken wij over de dataset die de kern vormt van onze analyses. Daarnaast willen wij het Centraal Bureau voor de Statistiek bedanken voor het controleren en aanleveren van de LMF-data. Tot slot gaat onze dank uit naar de leden van de begeleidingsgroep voor hun constructieve commentaar.

De auteurs



---

# Samenvatting

De zomers van 2018, 2019, 2020 en 2022 waren bijzonder droog, waardoor schade ontstond aan de natuur. In deze studie is onderzocht wat de gevolgen van die droogte waren voor de Hogere Zandgronden van Nederland. De reden voor deze geografische afbakening is dat natuurgebieden hier extra gevoelig zijn voor droogte, omdat ze grotendeels verstoken zijn van externe wateraanvoer en omdat hun omgeving meestal sterk is ontwaterd voor de landbouw. De natuureffecten analyseerden we aan de hand het Landelijk Meetnet Flora (LMF), dat duizenden vegetatieopnamen bevat van vaste locaties, permanente kwadraten (pq's), die zijn opgenomen van 1999 tot en met 2023. De analyse voerden we uit via een paarsgewijze vergelijking van vegetatieopnamen voor en na de droogte van 2018-2020 en via een regressieanalyse.

Een zeer droge periode heeft niet alleen gevolgen voor de beschikbaarheid voor planten van vocht en zuurstof, maar ook voor de beschikbaarheid van nutriënten en de bodemzuurgraad. Deze veranderingen uiten zich in de soortensamenstelling van de vegetatie. En daarmee veranderen tevens de opnamegemiddelde indicatiewaarden voor vocht, voedselrijkdom en zuurgraad. De droge jaren 2018-2020 bleken volgens alle drie door ons onderzochte indicatiesystemen te hebben geleid tot een geringe (1.3-1.9%), maar significante daling van de gemiddelde vochtindicatie van de vegetatie. Dat betekent dat soorten met een voorkeur voor natte en vochtige bodems meer afnamen dan soorten van droge bodems. De respons op 2018-2020 van gemiddelde indicatiewaarden voor voedselrijkdom bleek minder eenduidig en veranderingen van de gemiddelde zuurindicaties bleken zeer gering en niet significant. De regressieanalyse wees echter wel op een significante daling van de gemiddelde indicatiewaarde die het calciumgehalte in de bodem weergeeft. Nader onderzoek zal moeten uitwijzen welke waarde we hieraan moeten hechten.

Bij zorgen om het verlies van biodiversiteit richt het beleid zich vooral op soorten en ecosystemen die zeldzaam zijn, die zeldzamer dreigen te worden en die kenmerkend zijn voor een zeldzaam of bedreigd milieu. Hoe meer waardevolle soorten (dus zeldzame, bedreigde of kenmerkende soorten) in een vegetatieopname, des te hoger de botanische waarde van die opname. Via een aantal methoden hebben we die waarde van alle vegetatieopnamen uit het LMF gekwantificeerd. Het effect van 2018-2020 op de botanische waarde van de vegetatie bleek aanzienlijk en significant: die daalde met gemiddeld 4 tot 20%, afhankelijk van de waarderingsmethode. De regressieanalyse bevestigde deze afname in vrijwel alle onderzochte ecosysteemtypen. Uit die analyse bleek bovendien dat de botanische waarde verder daalt als een droog jaar wordt opgevolgd door weer een droog jaar.

Dat opnamegemiddelde indicatiewaarden kort na de droge jaren 2018-2020 nauwelijks tot niet veranderden, is verklaarbaar. Het opnamegemiddelde wordt namelijk berekend uit een breuk: de som van de indicatiewaarden van de soorten gedeeld door het aantal soorten in de opname. En als van die breuk de teller (som) en de noemer (aantal) in ongeveer in gelijke mate veranderen, blijft de uitkomst van de breuk vrijwel ongewijzigd. Dat is anders dan bij de botanische waarde, die wordt berekend als de som van waarde van iedere soort in de opname.

Om het verlies van biodiversiteit door extreme droogte te voorkomen en verdroogde natuurgebieden te herstellen, zijn vernattingsmaatregelen nodig. In het beperkte aantal vegetatieopnamen waar vernatting had plaatsgevonden, wijst deze studie op positieve effecten. Maatregelen zijn vooral nodig in de omgeving van natuurgebieden. Het oppervlaktewaterpeil kan hoger worden opgezet voordat het groeiseizoen ingaat, hydrologische bufferzones rond natuurgebieden kunnen worden aangelegd, onttrekkingen van grondwater door landbouw, drinkwaterbedrijven en industrie kunnen worden beperkt. Om de gevolgen en de effectiviteit van maatregelen goed te kunnen beoordelen, dienen vernattingsmaatregelen beter te worden geregistreerd en zijn meer hydrologische gegevens nodig, met name gemeten grondwaterstanden nabij vegetatieopnamen, stijghoogten en beekafvoeren.

---

De analyse van het LMF zal worden herhaald in 2026 en 2028, met inbegrip van alle vegetatieopnamen die dan aan het LMF zijn toegevoegd. Aan die analyse willen we dan verbeteringen toevoegen die volgen uit de ervaring die tot nu toe is opgedaan. Bovendien verwachten wij dat het nodig zal zijn de grote hoeveelheid neerslag die na de zomer van 2023 is gevallen te betrekken in onze analyse. Soorten die tijdens de droogte zijn gemigreerd naar lagergelegen plekken in het landschap kunnen immers door die hevige regenval onder water zijn komen te staan en daardoor achteruit zijn gegaan. De effecten van de extreem natte periode zullen daardoor waarschijnlijk moeilijk te onderscheiden zijn van die van de extreem droge jaren.

Voor een uitgebreidere versie van de belangrijkste conclusies en aanbevelingen uit dit onderzoek verwijzen we hier naar hoofdstuk 6, dat als zelfstandig leesbare tekst in dit rapport is opgenomen.

---

# 1 Inleiding

## 1.1 Context

Biodiversiteit, de variatie aan levende organismen en ecosystemen, ondergaat wereldwijd een aanzienlijke afname (Brondízio et al., 2019). Het “Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services” identificeert een aantal directe oorzaken van het natuurverlies:

landgebruiksverandering, toegenomen grondstoffengebruik, vervuiling, invasieve soorten en klimaatverandering. Deze oorzaken kunnen niet los van elkaar worden beschouwd, omdat ze op elkaar ingrijpen: klimaatverandering, bijvoorbeeld, kan schokeffecten veroorzaken die de huidige ecologische situatie verergeren, mogelijk met onomkeerbare gevolgen voor de natuur (Balvanera et al., 2019). Droogte is een van die schokeffecten.

De in 2016 verschenen Nationale klimaatadaptatiestrategie (NAS) was het Nederlandse antwoord op de oproep van de Europese Commissie aan alle lidstaten om uiterlijk in 2017 met een eigen klimaatadaptatiestrategie te komen. Om aan de strategie uitvoering te geven, is in 2023 het Nationaal Uitvoeringsprogramma Klimaatadaptatie ingevoerd, waarin het Ministerie van LNV zich committeert aan de totstandkoming van veerkrachtige en klimaatbestendige natuur. In 2030 dienen medeoverheden en terreinverantwoordelijken in staat te zijn de negatieve effecten van klimaatverandering op de natuur en biodiversiteit in te perken en natuurinclusieve oplossingen als klimaatadaptatie in te zetten, aldus het uitvoeringsprogramma.

Plantensoorten zullen de gevolgen van klimaatverandering ondervinden. De verwachting is dat zonder mitigatie zo’n 50% van de planten in de wereld zijn niche verliest (Warren et al., 2013). In Nederland zou dit percentage 40 kunnen bedragen (Wamelink & Kurvers, 2022 (*preprint*)). Droge perioden, die door klimaatverandering waarschijnlijk vaker zullen voorkomen, kunnen een schokeffect bij planten teweegbrengen, met een verlies van biodiversiteit tot gevolg (Kröel-Dulay et al., 2015). Op basis van hydrologische berekeningen en proceskennis verwachten Witte et al. (2012) een verlies aan biodiversiteit door toenemende droogte bij vooral ecosystemen van natte en voedselarme bodems, zoals natte heiden en hoogvenen. Droge perioden zijn altijd voorgekomen en hoeven geen probleem te zijn; veel organismen kunnen zich aanpassen aan de onder andere door Bakke et al. (2023) beschreven variaties in het weer. Maar met de toenemende grootte en frequentie van extreme gebeurtenissen wordt dat steeds lastiger (Parmesan et al., 2023).

Het vaker voorkomen van extreme droogte kan dus een bedreiging zijn voor de biodiversiteit van onze natuurgebieden en daarom is het de moeite waard het effect van extreme droogte op de natuur nader te onderzoeken, zeker na de extreem droge jaren 2018, 2019, 2020 en 2022. In dit rapport gebeurt dat: het richt zich op de effecten van droogte op de plantensoorten en plantengemeenschappen in natuurgebieden van de Hogere Zandgronden van Nederland. De reden voor deze geografische afbakening is dat natuurgebieden hier extra gevoelig zijn voor droogte, omdat ze grotendeels verstoken zijn van externe wateraanvoer en omdat hun omgeving meestal sterk is ontwaterd ten behoeve van de landbouw.

## 1.2 Aanleiding

De verwachting is dat door klimaatverandering zowel de neerslag als de verdamping in Nederland zal toenemen, waarbij winters natter worden en zomers droger. Extreme droogte in het groeiseizoen zal waarschijnlijk vaker gaan voorkomen (Sluijter et al., 2018). Het KNMI ziet zomerdroogte als een gegeven voor de toekomst – binnen elk van de geschetste klimaatscenario’s zal de zomer droger worden (Van Dorland et al., 2023). De zomer van 2018 was bijzonder droog (Philip et al., 2020). Hierdoor ontstond schade in diverse sectoren van de maatschappij, waaronder de landbouw, de scheepvaart, de infrastructuur en de natuur.

Verschillende organisaties hebben aan een consortium van onderzoekers opdracht gegeven de gevolgen van 2018 en 2019 voor de landbouw, de natuur en de waterhuishouding van de Hogere Zandgronden van Nederland in beeld te brengen. En tevens om maatregelen door te rekenen waarmee in de toekomst droogteschade kan worden vermeden en bestreden (Van den Eertwegh et al., 2021; 2022).

Een van de deelonderzoeken was het beschrijven van de gevolgen van de droge jaren voor de natuur, waarbij de nadruk lag op de terrestrische vegetatie van natuurgebieden. Daarvoor werd een enquête onder deskundigen van terreinbeherende organisaties en provincies uitgevoerd (Witte et al., 2020b), waarvan een samenvatting is opgenomen in Tabel 1. Vooral beken en terrestrische natuurtypen van natte en voedselarme bodems hadden volgens de geïnterviewden te lijden onder de droge jaren, met bij normaal weer een kleine tot matige kans op herstel binnen vijf jaar, maar "een belangrijke kanttekening hierbij is dat veel respondenten hebben aangegeven het lastig te vinden met enige zekerheid iets te zeggen over de langetermijneffecten van de droge jaren". Enkele natuurtypen van vochtige tot droge bodems zouden ook hebben geprofiteerd van de droogte, namelijk doordat gras, met name Gestreepte witbol, door de droogte afstierf, waardoor open plekken ontstonden voor de vestiging van o.a. Margriet, Muizenootje, Duizendblad, Geel walstro, Grasklokje en Knoopkruid.

**Tabel 1** Samenvatting effecten droge jaren 2018 en 2019 op natuurtypen volgens een enquête onder terreinbeheerders (Witte et al., 2020b).

	Vegetatie	Fauna
N03.01 Beek en bron	→	↓
N05.01 Moeras	→	→
N06.01 Veenmosrietland en moerasheide	↓	→
N06.02 Trilveen	↓	→
N06.03 Hoogveen	↓	↓
N06.04 Vochtige heide	→	↓
N06.05 Zwakgebufferd ven	→	↓
N06.06 Zuur ven of hoogveenven	→	↓
N07.01 Droge heide	→	→
N07.02 Zandverstuiving	↑	→
N10.01 Nat schraalland	→	→
N10.02 Vochtig hooiland	→	→
N11.01 Droog schraalland	↑	↑
N12.02 Kruiden- en faunarijk grasland	↑	↑
N12.03 Glanshaverhooiland	↑	↑
N12.05 Kruiden- en faunarijke akker	↑	↑
N13.01 Vochtig weidevogelgrasland	↑	→
N14.01 Rivier- en beekbegeleidend bos	→	↑
N14.02 Hoog- en laagveenbos	↓	→
N14.03 Haagbeuken- en essenbos	→	↑
N15.02 Dennen-, eiken- en beukenbos	↓	↑
N16.03 Droog bos met productie	→	↑
N16.04 Vochtig bos met productie	→	→
N17.01 Vochtig hakhout en middenbos	→	→
N17.03 Park- en stinzenbos	↑	↑

		Schade		
		klein	matig	groot
Herstel	klein	↓	↓	↓
	matig	→	→	→
	groot	↑	↑	↑

---

In het droogteonderzoek Hoge Zandgronden werden ook vegetatieopnamen uit het Landelijke Meetnet Flora (LMF) geanalyseerd (Witte, 2021). In dat onderzoek werden vegetatieopnamen uit 2019 vergeleken met die van vóór 2018, in de veronderstelling dat waargenomen veranderingen waarschijnlijk te maken hebben met de extreme droogte van 2018. De resultaten van deze analyse bevestigden in grote lijnen die van de enquête.

Na de enquête en de eerste analyse van het LMF op droogte-effecten, bleven er nog verschillende vragen bestaan, met name over de effecten op de lange termijn en over het herstelvermogen van de vegetatie. Bovendien is meer proceskennis gewenst, bijvoorbeeld hoe veranderingen in de vegetatie samenhangen met de droogtegraad van jaren en hoe andere factoren in interactie met de droogte van invloed zijn op de vegetatie. Denk aan de stikstofdepositie en vernattingsmaatregelen. Dit soort vragen was voor het Ministerie van LNVN aanleiding nieuw onderzoek te laten uitvoeren.

### 1.3 Onderzoeksdoel

Het onderzoek dat we in dit rapport beschrijven, richt zich weer op het analyseren van het LMF op de Hoge Zandgronden van Nederland. Beoogde doelen van het onderzoek zijn (met nadruk op het eerste doel):

1. De langjarige gevolgen van de droogte van de afgelopen jaren voor de terrestrische natuur op de Hogere Zandgronden van Nederland in beeld brengen;
2. Methoden en aanbevelingen aandragen waarmee kan worden gemonitord en geduid hoe de droogte zich ontwikkelt in de natuur;
3. Het in beeld brengen van handelingsperspectief voor terreinbeherende organisaties en de medeoverheden (vooral provincies en waterschappen) om droogteschade te beperken.

De beoogde doelgroep bestaat uit het Ministerie van LNVN, terreinbeherende organisaties, provincies en waterschappen.

In dit rapport analyseren we permanente kwadraten uit het LMF die zijn opgenomen van 1999 tot en met 2023. Het onderzoek zal worden herhaald nadat er twee jaar aan nieuwe opnamen zijn bijgekomen, met voorziene rapportages in 2026 en 2028.

Het onderzoek dat we hier beschrijven, gaat dus tot en met opnamen in 2023. Het wijkt op de volgende punten af van het voorgaande onderzoek van Witte (2021):

1. Nieuwe vegetatieopnamen, gemaakt in 2020, 2021 en 2022 worden in de analyse betrokken;
2. De resultaten worden statistisch beter onderbouwd;
3. We zoeken, anders dan in voorgaand onderzoek, naar variabelen die de respons van de vegetatie op de droogte kunnen verklaren.

### 1.4 Opbouw rapport

Hoofdstuk 2 beschrijft de gegevens en de analysemethoden die we hebben gebruikt. De resultaten daarvan worden beschreven in hoofdstuk 3. Maatregelen om de negatieve gevolgen van droogte te voorkomen, bespreken we in hoofdstuk 4. Dit betreft een samenvatting van een literatuurstudie die meer uitgebreid is beschreven in bijlage 4. De resultaten van onze studie en de mogelijke tekortkomingen komen aan de orde in hoofdstuk 5. Dit rapport besluit met een zelfstandig leesbaar hoofdstuk 6, waarin we de belangrijkste conclusies van ons onderzoek samenvatten en aanbevelingen doen voor vervolgonderzoek, onder andere om de analysemethoden te verbeteren.

---

## 2 Materiaal en methoden

### 2.1 Het Landelijk Meetnet Flora (LMF)

Het Landelijk Meetnet Flora (LMF) bevat duizenden opnamen van vaste locaties, zodanig gekozen via een 'gestratificeerde bemonstering', dat verschillende, vrij grove, begroeiingstypen voldoende worden vertegenwoordigd. Zulke vaste locaties worden permanente kwadraten genoemd, ofwel pq's (UK: *permanent quadrats*). De eerste opnamen werden in 1999 gemaakt en tot voor kort werd er een opnamefrequentie van vier jaar gehanteerd, waarbij ieder jaar dezelfde locaties van de betreffende vierjarige cyclus werden bezocht. In 2018 heeft men dit schema verlaten en is men in een aantal provincies overgegaan op een frequentie van drie jaar met een selectie van pq's die afwijkt van de voorheen gehanteerde vierjarige cyclus (CBS, 2019). Het meetnet was in eerste instantie bedoeld voor de evaluatie van het landelijk beleid, maar in 2018 hebben de bij het LMF betrokken organisaties (provincies en CBS) besloten het ook te gebruiken voor beleidsevaluaties op provinciaal niveau. Omdat het LMF zulke lange tijdreeksen van zeer veel pq's bevat, is het bestand bij uitstek geschikt om de gevolgen voor de vegetatie van veranderingen in het milieu te bestuderen. Daar is het LMF immers ook voor bedoeld.

### 2.2 Selectie van vegetatieplots en plantensoorten

Voor deze studie hebben we de beschikking over vegetatieopnamen tot en met het jaar 2023. Alleen pq's zijn geselecteerd die behoren tot de Hogere Zandgronden. Dit in Figuur 1 weergegeven gebied is afgeleid van de Landschappelijk Bodemkaart.<sup>1</sup> De reden voor deze geografische afbakening is dat natuurgebieden hier extra gevoelig zijn voor droogte, omdat ze grotendeels verstoken zijn van externe wateraanvoer en omdat hun omgeving meestal sterk is ontwaterd ten behoeve van de landbouw. Dat betekent dat in de natuurgebieden grondwaterstanden veelal te laag zijn en de benodigde kwelflux te gering of afwezig is. Ieder pq is in het LMF toegekend aan een interprovinciale inventarisatie-eenheid, een IPI (Tabel 2). Alleen pq's met een IPI die in Tabel 2 met een sterretje zijn gemarkeerd, doen in de analyse mee. Dat zijn pq's die kenmerkend zijn voor natuurgebieden. Op grond van de IPI zijn bijvoorbeeld productiebossen wegens hun kunstmatige karakter buiten beschouwing gelaten, evenals oppervlaktewateren (zeegaten, meren, sloten).



**Figuur 1** Omgrenzing van het projectgebied Hogere Zandgronden.

<sup>1</sup> <https://www.wur.nl/nl/nieuws/landschappelijke-bodemkaart-biedt-basis-voor-water-en-bodem-sturend.htm>.

Het aantal opnamen en pq's is verder ingeperkt via een stapsgewijze selectie die is beschreven in bijlage 1. Opnamen van een bepaald jaar zijn verwijderd als hun coördinaten of de oppervlakte van dat jaar afweek en tevens, wegens hun wisselvallige en brede karakter, opnamen met een zogenaamde 'algemene natuurkwaliteit'. Het aantal opnamen is nog verder ingeperkt door diegene weg te laten die ooit een keer zijn verstoord (zie bijlage 3 voor de verstoringscodes). Uiteindelijk blijven er (zie bijlage 1) 2761 pq's over die betrouwbaar en kenmerkend zijn voor natuurgebieden op de Hogere Zandgronden.

We analyseren alleen vaatplanten uit het Biobase-register (CBS, 2003), omdat mossen en korstmossen die ook in de pq's kunnen worden aangetroffen vaak determinatieproblemen opleveren en niet altijd zijn genoteerd in de vegetatieopname. Maar ook vaatplanten kunnen problemen bij de determinatie opleveren; daarom zijn soorten die vaak in het veld worden verward, samengenomen. Zo is de ondersoort Knolglanshaver (nr. 1608) vertaald naar de soort Glanshaver (nr. 96).

**Tabel 2** Beschrijving van de Interprovinciale inventarisatiecodes (overgenomen uit LMF-handleiding; CBS (2019)). De met een sterretje (\*) gemarkeerde IPI's zijn gebruikt voor de analyse.

Nr.	Beschrijving	Nr.	Beschrijving
*100	Bossen, struwelen, singels e.d.	335	Visvijvers
*111	Duinvalleibos	336	Stads- en dorpsvijvers
*112	Elzenbroekbos	341	Drinkputten, dobben, poelen
*113	Wilgen(vloed)bos	*342	Tichelgaten, kleiputten
*114	Berkenbroekbos	343	Karrevelden
121	Pinusbos	344	Plasjes in klaverbladen
122	Larixbos	345	Overige kleine gegraven plasjes
123	Naaldbos, niet behorend tot Pinus- en Larixbos	*351	Vennen
*124	Gemengd loof-/naaldbos	352	Duinplassen, duinmeertjes
*130	Droge loofbossen	353	Wielen, kolken, welen
*131	Droog, relatief voedselarm loofbos	354	Overige poelen en plasjes
*132	Droog, relatief voedselrijk loofbos	*361	Rabatten
*133	Droog loofbos, weinig kenmerkend ontwikkeld of gestoord	*362	Inlagen
*140	Vochtige loofbossen	*363	Overige kleine moerasjes
*141	Vochtig parkbos (vochtig bos met exotische of stinseflora)	*364	IJsbanen
*142	Bronbos	*411	Grasland en hooiland
*143	Loofbos op vochtige voedselrijke gronden	*412	Grasland met boomgaard of populierenaanplant
*144	Vochtig berkenbos	*413	Cultuurgrasland met een natuurlijke inslag
*145	Populieren-/wilgen-aanplant	414	Vervallen
*146	Eendenkooien	415	Kunstweiden
*147	Loofbos op matig vochtige, relatief voedselarme grond	421	Grootschalig akkerland
*151	Duinstruweel	422	Kleinschalig akkerland
*152	Jeneverbesstruweel	423	Intensief fruitteeltgebied
*153	Gagelstruweel	424	(Boom)kwekerijen
*154	Vlierstruweel / Braamstruweel	511	Braakliggend terrein
*155	Wilgenstruweel	512	Vuilstortplaatsen
*156	Doornstruweel	513	Opgespoten terrein
*161	Grienden	514	Recente droge afgravingen
*162	Essenhakhout	521	Erven, volkstuinten, moestuinten
*163	Elzenhakhout	522	Sportterreinen, recreatiegebieden, campings
*164	Eikenhakhout	523	Parken, kerkhoven, villawijken
*165	Hakhoutpercelen met gemengde samenstelling (geriefbosjes)	524	Glastuinbouwgebieden
*170	Houtwallen, kaden, windsingels e.d.	525	Industriegebied
*171	Houtwallen, wildwallen, wallen langs beken	526	Binnensteden en woonwijken
*172	Met hout begroeide tuinwallen en schurvelingen	527	Muren en wallenkanten
*173	Beplante polderkaden	611	Verharde wegen met berm
*174	(Mei)doornhagen	612	Parkeerplaatsen

Nr.	Beschrijving	Nr.	Beschrijving
*175	Elzen-Essensingels	613	Onverharde wegen en paden met berm
*176	Eiken-Berkensingels	621	Spoorbanen
*177	Graften en stuifwallen	622	Emplacementen en overslagterreinen
*178	Bomenrijen	631	Waterkerende dijken
*179	Ruilverkavelings- en landschappelijke aanplanten	*632	Zomerkaden
*180	Opslagbosjes	*633	Binnendijken
*181	Opslagbos in hoogveengebied	634	Deltadammen, asfaltdijken
*182	Opslagbos in heidegebied	635	Steenglooiingen
*183	Opslagbos in laagveengebied	*636	Polderkaden
191	Kapvlakten etc. in naaldbos	637	Onbeplante tuinwallen en schurvelingen
192	Kapvlakten etc. in droog loofbos	711	Grote rivieren
193	Kapvlakten etc. in vochtig loofbos	712	Kleine (laagland) rivieren en veenstromen
*211	Zeereep	713	Oude rivierarmen
*212	Infiltratiegebied	721	Natuurlijke laaglandbeken
*213	Natte duinvalleien	722	Genormaliseerde laaglandbeken
*214	Open duingebied	723	Bergbeken
*221	Slikken en zandplaten	724	Korte beken
*222	Schorren en kwelders	725	Oude beekarmen
*223	Riet- en biezenorzen	741	Kanalen
*230	Heidegebied	742	Weteringen, vaarten en brede waterschapsleidingen
*231	Droge heiden	743	Veenwijken
*232	Vochtige heiden	751	Sloten
*233	Zandverstuivingen	752	Vervallen
*240	Halfnatuurlijke graslanden	753	Vervallen
*241	Kalkhellinggrasland	754	Slootkanten
*242	Blauwgrasland	755	Greppels
*243	Halfnatuurlijke vochtige tot natte graslanden op matig voedselrijke gronden	756	Waterschapsleidingen (smal)
*244	Heischraal grasland		
*245	Halfnatuurlijke droge graslanden op matig voedselrijke gronden	757	Bermsloten en -greppels
*246	Zilt grasland	759	Spoorsloten
*250	Hoogveengebied	811	Akrokrenen (puntbronnen)
*251	Levend hoogveen	812	Rheokrenen
*252	Ontwaterd hoogveen	813	Limnokrenen
*253	Afgetakeld hoogveen	814	Helokrenen
254	Veenputten	815	Gekluisterde bronnen
*261	Laagveenmoeras en petgaten	816	Bronvijvers
262	Laagveenplassen	*817	Artesische bronnen
*263	Riet- en biezenland	*925	Oeverzone van hoogveenplassen of -putten
*264	Legakkers	*926	Oeverzone van laagveenplassen, petgaten e.d.
311	Afgesloten zearmen	*931	Oeverzone van niet gegraven grote plassen
312	Ijsselmeer	*932	Oeverzone van grote aangelegde (gegraven) plassen
313	Meren en meertjes	*933	Oeverzone van vijvers en grachten
321	Zandgaten, grindgaten, kleigaten	*934	Oeverzone van kleine aangelegde plassen
322	Infiltratiebekkens	*935	Oeverzone van kleine niet gegraven (natuurlijke) plassen
*323	Vloeiervelden	*971	Oeverzone van rivieren, kleine rivieren en veenstromen
324	Drinkwaterspaarbekens	*972	Oeverzone van beken
331	Vijvers (bijvoorbeeld op landgoederen)	*973	Oeverzone van afgesloten krekren
332	Slot- en fortgrachten	*974	Oeverzone van kanalen, weteringen e.d.
333	Stadsgrachten	*975	Oeverzone van sloten en greppels
334	Kleine recreatieplassen, zwemvijvers	*981	Oeverzone van bronvijvers



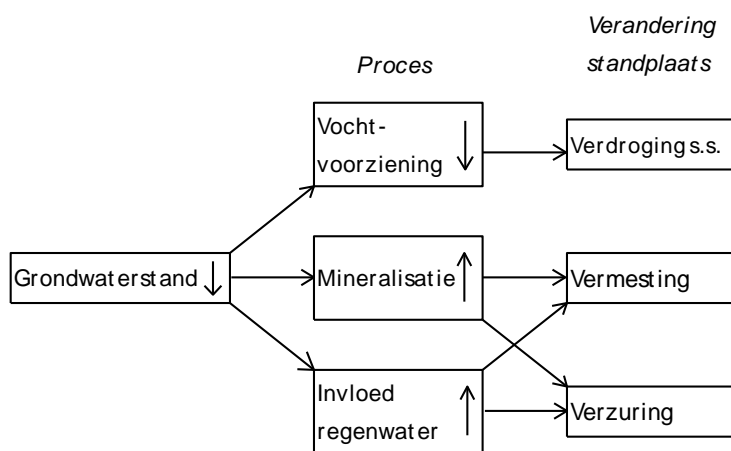
## 2.3 Bewerking van vegetatieopnamen

### 2.3.1 Inleiding

De gevolgen van droge jaren analyseren we aan de hand van het voorkomen en de bedekking van individuele soorten in een opname, maar ook door soorten in een opname te aggregeren op basis van hun voorkeur voor een bepaalde standplaats en op basis van hun botanische waarde.

### 2.3.2 Indicatiewaarden voor de standplaats

Een zeer droge periode heeft niet alleen gevolgen voor de beschikbaarheid voor planten van vocht en zuurstof, maar ook voor de beschikbaarheid van nutriënten en de bodemzuurgraad (Figuur 2). Die veranderingen uiten zich in de soortensamenstelling van de vegetatie en daarmee in de gemiddelde indicatiewaarden van de aanwezige soorten voor respectievelijk vocht ( $F_m$ ), voedselrijkdom ( $N_m$ ) en zuurgraad ( $R_m$ ).



**Figuur 2** Invloed van verlaging van de grondwaterstand op belangrijke standplaatsfactoren. Verlaging kan leiden tot een gebrek aan water in de wortelzone, waardoor planten niet meer potentieel kunnen transpireren: verdroging in strikte zin. Doordat meer zuurstof in de bodem doordringt, mineraliseert organisch materiaal, waarbij nutriënten vrijkomen: de standplaats 'vermest'. Bij de afbraak komen protonen vrij waardoor de pH daalt: de standplaats verzuurt. Verzuring kan ook optreden doordat de invloed van regenwater toeneemt en de pH niet meer gebufferd wordt door baserijk grondwater. Fosfaat kan worden gebonden aan ijzer (bij  $pH < 6$ ) of calcium ( $pH > 6$ ) dat met kwelwater is meegevoerd. Wanneer de invloed in de wortelzone van het regenwater dus toeneemt ten koste van kwelwater, zal meer fosfaat beschikbaar kunnen komen voor de plant, met vermesting als gevolg (Witte & Runhaar, 2000).

Van iedere opname zijn gemiddelde indicatiegetallen  $I_m$  berekend uit de indicatiewaarde  $I$  ( $F$ ,  $N$  en  $R$ ) van de  $N$ -soorten in de opname. Dat kan op twee manieren. Met de zogenaamde 'kwalitatieve methode' (*sensu* Ellenberg (1992)), waarbij alleen de presentie van iedere soort  $i$  meetelt:

$$I_m = \frac{1}{N} \sum_{i=1, N} I_i$$

Of met de 'kwantitatieve methode' (*ibed.*), waarbij de indicatie wordt gewogen naar de bedekking  $B$  van de soort:

$$I_m = \left( \sum_{i=1, N} B_i I_i \right) / \left( \sum_{i=1, N} B_i \right)$$

Op basis van een analyse van opnamen bij gemeten grondwaterstanden werd door Käfer & Witte (2004) geconcludeerd dat de kwalitatieve methode veruit de voorkeur verdient, in ieder geval als het gaat om het karakteriseren van de vochttoestand van de standplaats. We hebben daarom alleen die manier toegepast.

---

We betrekken in onze analyse enkele bekende indicatiewaarden voor de standplaats, namelijk die van Ellenberg (1992), die van Wamelink (Wamelink et al., 2005; Wamelink & Van Adrichem, 2011; Wamelink et al., 2012) en de ESTAR-indicatiewaarden (Witte et al., 2007). De Wamelink-waarden (afgekort: WW) zijn uitgedrukt in fysische of chemische grootheden: WW-vocht is de indicatie van het percentage vocht in de bodem, WW-pH-H2O is de geïndiceerde bodem-pH, WW-Ca en -Mg, -NO<sub>3</sub>, -NH<sub>4</sub> en -PO<sub>4</sub> de geïndiceerde concentraties (mg/kg bodem, bepaald met CaCl<sub>2</sub>-extractiemethode) in de bovenste 10 cm van de bodem. De indicatiewaarden van Ellenberg en ESTAR betreffen grootheden op een ordinale schaal. Laatstgenoemde waarden zijn met het programma ESTAR (Witte et al., 2014) afgeleid van de indeling van plantensoorten in ecologische groepen (Runhaar et al., 2004) (zie § 2.3.4). Voor de vergelijkbaarheid met de bekende indicatiewaarden van Ellenberg (1992) zijn de ESTAR-indicatiewaarden in deze studie lineair getransformeerd naar een schaal van 1 tot 10 ( $F_m$ : zeer droog – zeer nat,  $N_m$ : zeer voedselarm – zeer voedselrijk,  $R_m$ : zeer zuur – zeer basisch) (zie p. 79 in Van den Eertwegh et al., 2019).

### 2.3.3 Botanische waarden

Bij zorgen om het verlies van biodiversiteit richt het beleid zich niet op alle soorten en ecosystemen, maar vooral op soorten en ecosystemen die zeldzaam zijn, die zeldzaam dreigen te worden (bedreigd) en die kenmerkend zijn voor een zeldzaam milieu. Brandnetel en Straatgras zijn daarmee geen soorten die speciale bescherming behoeven, zeldzaamheden als Welriekende nachtorchis en Veenbloembies hebben die bescherming wel nodig en die komen dan ook uitsluitend voor in natuurgebieden. Bij de beoordeling van de aantasting van de natuur door extreme droogte weegt dus niet ieder type natuur even zwaar mee: aantasting van een zeldzaam trilveen wordt door de natuurbescherming ernstiger gevonden dan de droogteschade die ontstaat in bijvoorbeeld een weiland met Engels raaigras en Paardenbloem.

Via weegmethoden is het mogelijk aan vegetatieopnamen een natuurwaarde toe te kennen: een waarde die een opname vertegenwoordigt voor de natuurbescherming. Aangezien wij ons in deze studie richten op de vegetatie, duiden we die betekenisgeving aan als 'botanische waarde'. Er zijn vele manieren om de botanische waarde van vegetatieopnamen te berekenen. Door Witte et al. (2011) zijn met twaalf verschillende methoden botanische waarden van vegetatieopnamen berekend waarna de resultaten dubbelblind en individueel werden voorgelegd aan deskundigen op botanisch gebied. Daaruit kwam een aantal methoden het beste overeen met de oordelen van de geraadpleegde deskundigen, waaronder de methode Gelderland (Hertog & Rijken, 1992) en de daarmee nauw gecorreleerde methode DEMNAT die in een eerdere confrontatie met deskundige botanisten ook al goed werd beoordeeld (Witte, 1996; de methode Gelderland zat toen nog niet in de vergelijking). Alle twaalf methoden zijn in dit onderzoek met het programma ASTER (Witte & Strasser, 2010) berekend en overgedragen aan de opdrachtgever. De Gelderland-methode houdt rekening met de abundantie en de waarde van iedere soort in de opname, waarbij de soortwaarde door Hertog & Rijken (1992) eenmalig is afgeleid aan de hand van zes criteria: nationale zeldzaamheid, internationale zeldzaamheid, tendens, kwetsbaarheid in Gelderland, mate van inheems zijn en type vegetatie waarvoor de soort kenmerkend is. Ook de methode DEMNAT (Witte, 1996) betrekken we in de analyse, omdat die in beleidsstudies veel is toegepast en de methode ook goed scoorde bij deskundigen omdat de getallen op de waarderingsschaal, mits toegepast op de ruimtelijke schaal van een kilometerhok, een kardinale betekenis hebben (we komen daar in hoofdstuk 5 op terug). De DEMNAT-methode houdt rekening met de nationale en internationale zeldzaamheid van het ecosysteemtype waartoe de opname behoort en van de relatieve soortenrijkdom van de opname.

Het probleem met deze natuurwaarderingsmaten is dat deze de schijn van subjectiviteit kan worden verweten. Daarom zijn in navolging van Witte et al. (2011) per opname nog drie andere waarderingsmaten berekend die minder gevoelig zijn voor deze kritiek en die internationaal ook beter kunnen worden uitgelegd. Twee van deze methoden maken gebruik van de indeling van soorten in kilometerfrequentieklassen (KFK's) volgens Tamis & van 't Zelfde (2003). De KFK-schaal is een zeer scheve indeling, gebaseerd op het aantal kilometerhokken waarin soorten zijn aangetroffen en loopt op van 1 (uiterst zeldzaam) tot 9 (zeer algemeen) (Tabel 3). De meeste soorten zien we bijna nooit als we er niet naar op zoek gaan; onze wereld wordt gedomineerd door de zeer algemene soorten. Voorbeelden: Moerasspirea en Echte koekoeksbloem hebben een KFK van 9, Dotterbloem van 8, Ronde zonedauw van 7 en Klokjesgentiaan van 6. De drie waarderingsmaten zijn:

- Aantal soorten (soortenrijkdom);
- Aantal zeldzame soorten NZ, waarbij zeldzaamheid is gedefinieerd als  $KFK < 8$ ;
- Som van zeldzaamheidswaarde:  $WZ = \sum_{i=1,N} (10 - KFK_i)$ .

Het laatste getal is vergelijkbaar met de waarderingsmethode die werd gebruikt in een van de eerste ecohydrologische voorspellingsmodellen, het model WAFLO (alleen toen met zogenaamde uurhokfrequentieclassen UFK's i.p.v. KFK's; Gremmen et al. (1990)). Drie KFK9-soorten Gestreepte witbol, Kropaar en Gewone paardenbloem hebben in de methode bij elkaar opgeteld dus evenveel waarde als een KFK7-soort als Brede orchis, wat zowel theoretisch als gevoelsmatig betwistbaar is. We komen daar in § 5.2.4 op terug.

De berekening van deze waarderingsmaten is uitgevoerd op basis van zowel de presentie als de bedekking van soorten (kwalitatief en kwantitatief, *sensu* Ellenberg (1992)).

**Tabel 3** KFK-Zeldzaamheidsklassen (Tamis & Van 't Zelfde, 2003).

KFK	omschrijving	aantal soorten	% soorten	aantal km-hokken
0	afwezig	61	4.4	0
1	uiterst zeldzaam	47	3.4	1-3
2	uiterst zeldzaam	91	6.6	4-10
3	zeer zeldzaam	102	7.4	11-30
4	zeer zeldzaam	137	9.9	31-100
5	zeldzaam	156	11.3	101-300
6	vrij zeldzaam	200	14.5	301-1.000
7	vrij algemeen	156	11.3	1.001-3.000
8	algemeen	220	16.0	3.001-10.000
9	zeer algemeen	207	15.0	>10.000

Bij de analyse van ecosysteemttypen hebben we ook nog een andere maat voor botanische waarde gebruikt, namelijk het aantal kenmerkende soorten. De idee daarbij is dat de waarde van een ecosysteemtype lager wordt als het aantal kenmerkende soorten ervan afneemt. In de volgende paragraaf wordt uitgelegd hoe kenmerkende soorten zijn bepaald.

### 2.3.4 Ecosysteemttypen

Het effect op de vegetatie van een droge periode is afhankelijk van het type ecosysteem waarin die vegetatie voorkomt. Om die ecosysteemafhankelijke respons te onderzoeken, maken we hier gebruik van het ecotopensysteem (Stevens et al., 1987). Dat is een op Nederland toegesneden indeling in ecosysteemttypen, ecotooptypen genaamd. Het praktische systeem wordt onder andere gebruikt in de door STOWA gedragen Waterwijzer Natuur.

Bij de definitie van ecotooptypen zijn vegetatiestructuur/successiestadium en abiotische factoren gebruikt als indelingskenmerken, waarbij binnen ieder kenmerk een aantal klassen is onderscheiden. Ecotooptypen zijn gedefinieerd als combinaties van kenmerkklassen, bijvoorbeeld 'graslanden op natte, voedselrijke bodems', of 'pioniervegetaties op droge, voedselarme, basische bodems'. In Tabel 4 zijn de kenmerken en kenmerkklassen uit het systeem opgenomen, met hun symbolen. Ecotooptypen worden aangeduid met een code die bestaat uit een combinatie van deze symbolen. Zo duidt de code G27 op graslanden (G) van natte (2), matig voedselrijke (7) bodems. Niet alle combinaties van kenmerkklassen vormen in werkelijkheid een ecotooptype. Bepaalde combinaties komen in Nederland namelijk niet voor, en andere combinaties zijn ecologisch irrelevant. Binnen zilte milieus bijvoorbeeld is de invloed van het zoutgehalte op de vegetatiesamenstelling zo overheersend, dat onderscheid naar voedselrijkdom niet meer zinvol is. Een overzicht van alle in werkelijkheid in Nederland voorkomende ecotooptypen geeft Tabel 5.

Naast een classificatie bestaat het ecotopensysteem uit een indeling van plantensoorten in ecologische groepen die overeenkomen met de onderscheiden ecotooptypen (Runhaar et al., 2004). Daarbij is rekening gehouden met de ecologische amplitudes van soorten, namelijk doordat een soort bij meerdere ecotooptypen kan zijn ingedeeld. Bijvoorbeeld *Caltha palustris subsp. palustris* (Gewone dotterbloem) is door Runhaar et al. (2004) ingedeeld bij G27, H28, H27 en G28. De volgorde van de indeling heeft betekenis: hoe eerder genoemd in de rij, des te kenmerkender de soort is voor dat ecotooptype.

Om verschillen in droogterespons tussen ecosysteemtypen te kunnen aantonen, zijn voldoende pq's per type nodig. Dat is de reden waarom we ecotooptypen (met hun bijbehorende ecologische groepen) hebben geaggregeerd tot eenheden die in het landschap samen kunnen worden verwacht (Tabel 6). Ecosysteemtypen op dit niveau noemen we in het vervolg 'verzameltypen'.

**Tabel 4** Kenmerken en kenmerkklassen van het ecotopensysteem (excl. suffixen; Runhaar et al., 1987).

Saliniteit (prefix)	
-	zoet
b	brak
z	zilt
Vegetatiestructuur en successiestadium (hoofdletter)	
G	grasland
H	bos en struweel
P	pioniervegetatie
R	ruigte
V	verlandingsvegetatie
W	watervegetatie
Vochttoestand (eerste cijfer)	
1	aquatisch
2	nat
4	vochtig
6	droog
Trofietoestand en zuurgraad (tweede cijfer)	
1	voedselarm zuur
2	voedselarm zwak-zuur
3	voedselarm basisch
7	matig voedselrijk
8	zeer voedselrijk
9	matig tot zeer voedselrijk
0	niet van toepassing

**Tabel 5** Overzicht van de onderscheiden ecotooptypen (Runhaar et al., 1987; Runhaar et al., 2004).

	Zoet					brak	zilt
	zuur	voedselarm		matig voedselrijk	Zeer voedselrijk		
		zwak zuur	basisch				
water	V11	V12	W13	V17	V18	bV10	
	W11	W12		W17	W18	bW10	
nat	P21	P22	P23	P27	P28	bP20	zP20
	G21	G22	G23	G27	G28	bG20	zG20
	H21	H22		R27	R28	bR20	zR20
				H27	H28		
vochtig	P41	P42	P43	P47	P48	bP40	
	G41	G42	G43	G47	G48	bG40	
	H41	H42	H43	R47	R48	bR40	
				H47	H48		
droog	P61	P62	P63	P67	P68	bP60	
	G61	G62	G63	G67	G68		
	H61	H62	H63	R67	R68		
					H69		

Ten behoeve van een regressieanalyse (§ 2.5.3) is van alle opnamen van het LMF, op basis van de soortensamenstelling, het dominante ecotooptype bepaald (bijlage 3), waaruit via Tabel 6 het verzameltype volgt. Opnamen zijn zelden eenduidig aan één type toe te kennen (vaak heeft een opname de kenmerken van meerdere typen, bijvoorbeeld van G21 én G41), maar in deze studie nemen we telkens het ecotooptype waar de opname het meest op lijkt. Een aanzienlijk aantal pq's blijkt in de loop der jaren te veranderen qua ecotooptype, bijvoorbeeld doordat in een jaar soorten van voedselrijkere bodems wat dominantier zijn geworden. We hebben hier voor de classificatie van elke pq het ecotooptype aangehouden van de opname zo dicht mogelijk vóór 2018, het jaar met extreme droogte. Op die manier kunnen de droogte-effecten worden bepaald op het verzameltype dat voor aanvang van de extreme droogte aanwezig was.

Alle soorten die door Runhaar et al. (2004) als eerste of tweede zijn ingedeeld bij een ecotooptype worden beschouwd als kenmerkende soorten van het verzameltype waaronder het ecotooptype valt. Voorbeeld: Gewone dopheide (*Erica tetralix*), door Runhaar et al. (2004) ingedeeld bij G41, G21 en H21, wordt op basis van de eerste twee ecotootypen gebruikt als kenmerkende soort voor verzameltypen '100 Natte heide en hoogveen', '101 Natte heide' en '102 Vochtige heide'. Verder beperken we onze analyse van ecotootypen tot inheemse plantensoorten omdat het areaal van exoten zich kan uitbreiden of inkrimpen zonder dat dit iets met droogte te maken heeft en omdat die soorten niet bijdragen aan de botanische waarde.

**Tabel 6** Aggregatie van ecotootypen naar grovere verzameltypen.

Set	Verzamelttype	Ecotootypen
100	Natte heide en hoogveen	V11 W11 G21 P21 G41 P41
101	Natte heide	G21 P21
102	Vochtige heide	G41 P41
103	Droge zure heide en graslanden	P61 G61
104	Droge zwak-zure graslanden	P62 G62
105	Droge heide en stuifzanden	G61 P61 G62 P62
109	Heischrale graslanden	G42 P42
110	Dijkhellingen, glanshaverhooilanden	G47 P47
113	Bronbossen	H22 H27
114	Droge arme bossen	H61 H62
115	Vochtig bos	H42 H47
116	Voedselrijke ruigten en natte cultuurgraslanden	G28 P28
117	Korte beekdalvegetaties	G22 P22 G23 P23 G27 P27

## 2.4 Verklarende variabelen

### 2.4.1 Inleiding

Er zijn in deze studie twee typen analyses uitgevoerd:

- Paarsgewijze vergelijking van LMF-opnamen van dezelfde set pq's in verschillende perioden (§ 2.5.1 en § 2.5.2);
- Toepassing van regressieanalyse met jaarcijfers 1999-2023 (§ 2.5.3).

Met de paarsgewijze vergelijking kan de schoksgewijze verandering ten gevolge van een droge periode worden onderzocht; met de regressieanalyse kunnen verklaringen worden gevonden voor de waargenomen veranderingen in de vegetatie. Met name voor de regressieanalyse zijn verklarende variabelen nodig.

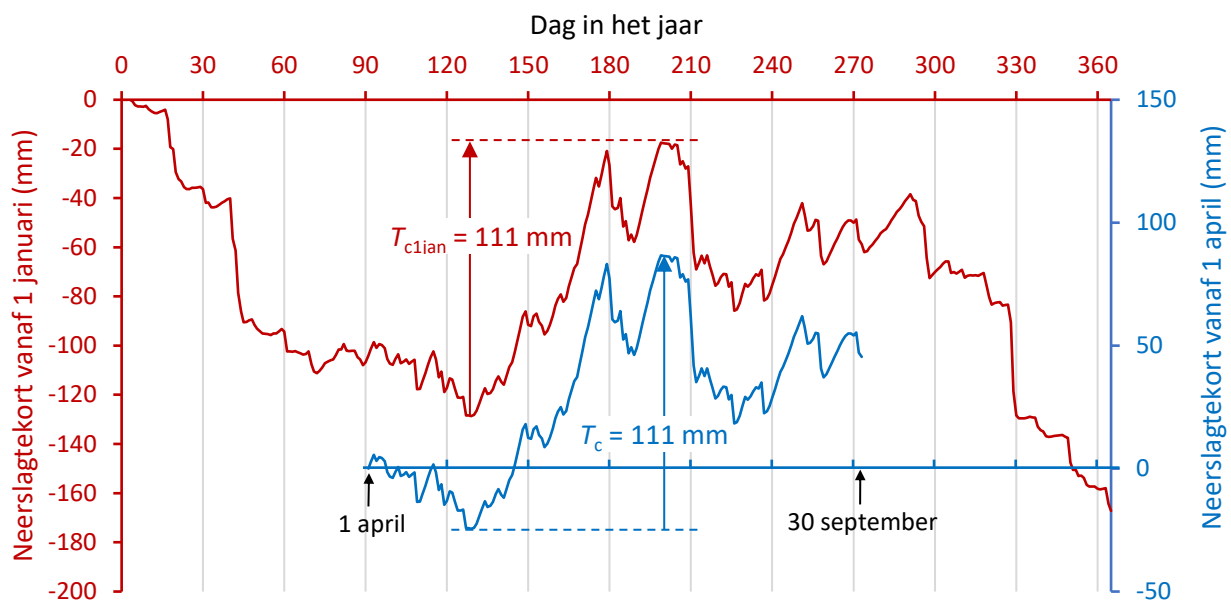
### 2.4.2 Droogte-effect en soorteigenschappen

Om in de paarsgewijze vergelijking te onderzoeken of de respons van soorten samenhangt met hun eigenschappen, maken we onderscheid naar zowel hun groeivorm (bomen, struiken, grassen etc.) als naar hun maximale worteldiepte. Beide kenmerken zijn ontleend aan Biobase (2003; kolom 'Groeivorm simpel' en kolom 'Worteldiepte 1').

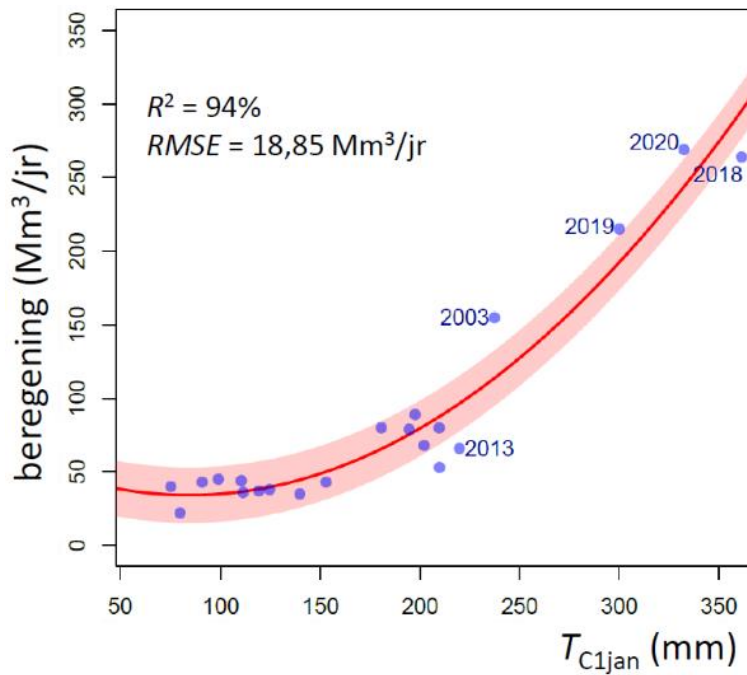
### 2.4.3 Meteorologische droogtegraad en droogteschok

In navolging van Van Loon (2015) beschrijven Van den Eertwegh et al. (2021) een cascade van drie vormen van droogte. Het begint met meteorologische droogte, een langdurige periode met weinig neerslag en een hoge potentiële verdamping. Die meteorologische droogte plant zich voort in de wortelzone, waar de hoeveelheid bodemvocht zodanig afneemt dat planten niet meer voldoende water kunnen opnemen om potentieel (maximaal) te transpireren: bodemvochtdroogte. Ten slotte werkt het gebrek aan neerslag door op de grondwaterstand en de afvoer van grondwater naar beken en andere oppervlaktewateren: hydrologische droogte. Het effect van het weer in deze cascade wordt met vertraging doorgegeven: veel neerslag vermindert direct de meteorologische droogte, voor verdamping op een potentieel niveau moet eerst de bodemvochtvoorraad worden aangevuld en pas als de bodem op veldcapaciteit is, herstellen de grondwaterstanden en beekafvoeren. Dat hydrologische herstel duurt het langst; voor een traag systeem als de Veluwe zijn daar jaren voor nodig.

Maar het begint dus met meteorologische droogte: een langere periode met weinig tot geen neerslag en een hoge verdampingsvraag van de atmosfeer, die groter is naarmate de temperatuur hoger is en de lucht droger. Er zijn meer manieren om de meteorologische droogtegraad van een jaar te kwantificeren. Het KNMI gebruikt bijvoorbeeld het potentiële neerslagtekort, gemeten vanaf 1 april. Dat is het totale verschil tussen de neerslag en referentiegewasverdamping volgens Makkink, gemeten vanaf 1 april. De Makkink-verdamping wordt berekend aan de hand van de ontvangen kortgolvlige zonnestraling en de temperatuur. Omdat in de zomer de verdamping de neerslag doorgaans overtreft, heeft het neerslagtekort dan op iedere dag in de zomer een positieve waarde. De maat die we hier gebruiken, is de maximale stijging van het neerslagtekort, gemeten vanaf 1 januari. Dat is de som van de neerslag minus de som van de referentiegewasverdamping in een kalenderjaar, aangeduid met het symbool  $T_{c1jan}$  (Witte & Torfs, 2024) (Figuur 3). Dus op iedere dag in het jaar wordt het verschil berekend tussen de hoeveelheid neerslag en referentiegewasverdamping vanaf 1 januari; dat levert een grafiek op en de maximale stijging in die grafiek is  $T_{c1jan}$ . Deze maat blijkt van alle door Witte & Torfs (2024) onderzochte maten het best te correleren met een geregistreerde respons op droogte: de hoeveelheid water die in de landbouw wordt gebruikt voor beregening (Figuur 4). De achterliggende idee is dat deze maat wordt opgebouwd gedurende een aaneengesloten periode van meerdere dagen waarin de verdamping de neerslag overtreft, wat impliceert dat het gewas aan 'zijn groeiseizoen' is begonnen en de bodemvochtvoorraad slinkt. Dat het in de periode daarvoor heel nat was maakt daarbij niet uit, omdat de bodem al dat water toch niet kan vasthouden en kort na een regenbui weer op veldcapaciteit is.



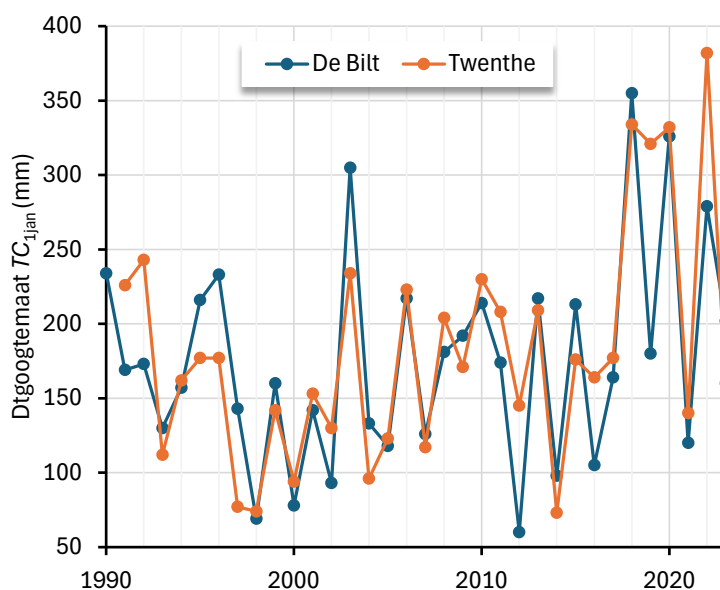
**Figuur 3** Doorlopend neerslagtekort in 2005 gemeten vanaf 1 april (blauwe grafiek, rechter y-as) en vanaf 1 januari (rode grafiek, linker y-as), en de daarvan afgeleide maximale stijging van het tekort:  $T_c$  en  $T_{c1jan}$ . In de praktijk blijkt het niet nodig de start van het groeiseizoen te definiëren voor het berekenen van de droogtemaat: voor 2015 leidt dat dan zelfs tot precies dezelfde uitkomst (Witte & Torfs, 2024).



**Figuur 4** Relatie tussen droogtemaat  $T_{C1jan}$  en beregeningsgift (Witte & Torfs, 2024).

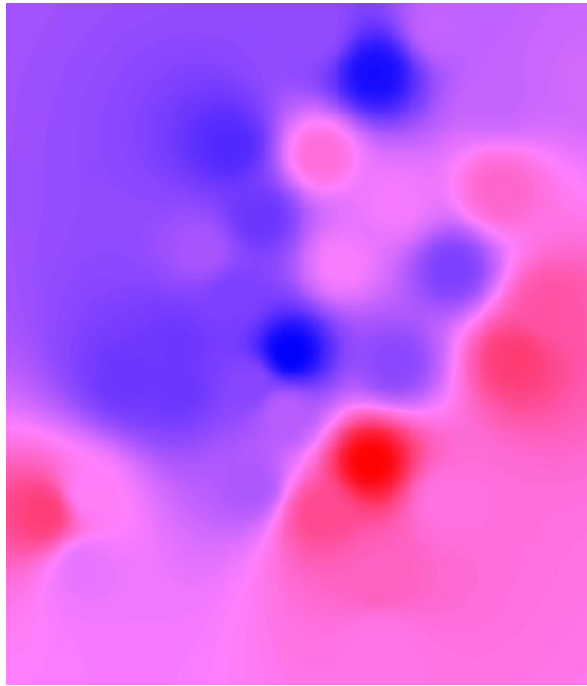
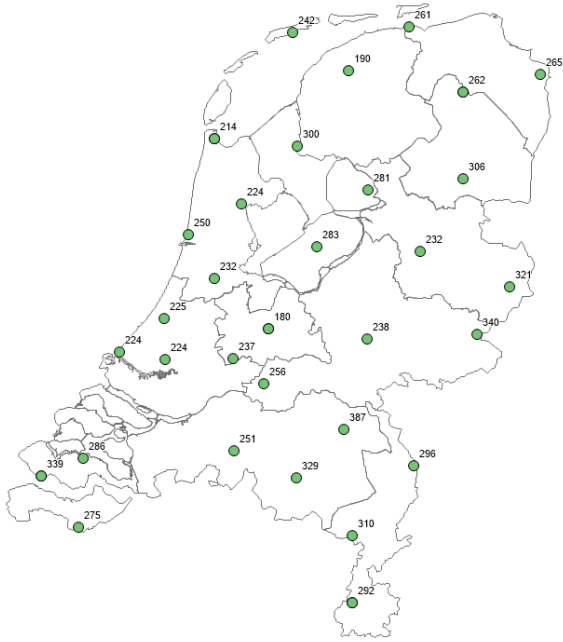
De droogtemaat is voor ieder hoofdstation van het KNMI met een voldoende lange meetreeks berekend. Als voorbeeld geven we hier de tijdreeks van twee stations: De Bilt en Twente (Figuur 5). Vooral in 2019 en 2021 blijkt het in Twente een flink stuk droger te zijn geweest. De droogtemaat is niet alleen berekend voor de jaren met LMF-data (1999-2023), maar ook voor vijf jaren daaraan voorafgaand, zodat in de regressieanalyse kan worden gerekend met de droogte in de jaren voorafgaand aan elke vegetatieopname, dus ook opnamen van 1999.

Vervolgens is voor ieder jaar en voor iedere variabele een interpolatie uitgevoerd met behulp van *Inverse Distance Weighted Interpolation* (IDW-interpolatie; Figuur 6). Deze interpolatie geeft een gewicht aan ieder monsterpunt, zodat de invloed van het ene punt op een ander afneemt met de afstand tot het nieuwe punt.<sup>2</sup> Tot slot zijn met behulp van hun coördinaten de bij de pq's passende tijdreeksen afgelezen van de geïnterpoleerde kaarten.



**Figuur 5** Jaarlijks verloop van droogtemaat  $T_{C1jan}$  op twee KNMI-stations.

<sup>2</sup> [https://docs.qgis.org/3.34/nl/docs/gentle\\_gis\\_introduction/spatial\\_analysis\\_interpolation.html](https://docs.qgis.org/3.34/nl/docs/gentle_gis_introduction/spatial_analysis_interpolation.html).



**Figuur 6** Ruimtelijke interpolatie van droogtemaat  $T_{C1jan}$  voor het jaar 2019. Links de waarden op de meteorologische hoofdstations, rechts de geïnterpoleerde waarden (rood = relatief hoog, blauw = laag).

Alle opnamen zijn dus voorzien van een waarde voor  $T_{C1jan}$  per jaar. De verwachting is dat de vegetatie van natuurgebieden goed is aangepast aan het weer van de meeste jaren en dat pas substantiële veranderingen in de vegetatie zijn te verwachten als een bepaalde drempelwaarde wordt overschreden, waarmee de vegetatie een droogteschok krijgt.

De vraag is bij welke drempelwaarde de grens ligt. We hebben daartoe een frequentieverdeling per jaar gemaakt van de  $T_{C1jan}$ -waarden per pq (Tabel 7). Daaruit komt naar voren dat een  $T_{C1jan} > 300$  mm op de Hogere Zandgronden vooral optrad in 2018, 2019 en 2020 en 2022. Die jaren zijn als extreem droog te beschouwen. De jaren 2003 en 2006, die ook droog zijn maar minder, classificeren we niet als extreem droog; de drempelwaarde leggen we bij  $T_{C1jan} = 300$  mm. De paarsgewijze vergelijking rond het droge jaar 2003 ( $T_{C1jan}$  van 250-300 mm) die we in § 3.2 tonen, onderbouwt die grenswaarde: dat jaar liet in tegenstelling tot 2018, 2019 en 2020 nauwelijks droogte-effecten op de vegetatie na. De drempelwaarde passen we per pq toe, wat bijvoorbeeld betekent dat niet alle pq's in 2018 volgens onze definitie (droogteschok als  $T_{C1jan} > 300$  mm) een droogteschok hebben ondergaan.



**Tabel 7** Frequentieverdeling (klassen van 100 mm) voor ieder jaar van  $T_{C1jan}$  bij de pq's van de Hogere Zandgronden. Hoe dikker de blauwe balkjes, des te meer opnamen in een klasse vallen.

	0-100	100-200	200-300	300-400	400-500	Weergave in balkjes:
1999	0	765	207	0	0	
2000	961	276	0	0	0	
2001	103	922	117	0	0	
2002	726	695	0	0	0	
2003	0	23	1265	48	0	
2004	79	1336	4	0	0	
2005	2	1335	9	0	0	
2006	0	149	1073	0	0	
2007	0	1382	0	0	0	
2008	123	824	567	0	0	
2009	0	871	458	2	0	
2010	0	651	666	0	0	
2011	0	858	517	0	0	
2012	726	727	0	0	0	
2013	0	533	745	2	0	
2014	201	1251	2	0	0	
2015	30	986	498	0	0	
2016	0	1387	18	0	0	
2017	0	1167	255	0	0	
2018	0	0	264	1427	130	
2019	0	16	1035	358	0	
2020	0	0	610	770	55	
2021	513	1269	0	0	0	
2022	0	0	697	954	75	
2023	0	588	948	0	0	

#### 2.4.4 Winterkou

Per opname is informatie over winterkou gebruikt, uitgedrukt als zowel de daggemiddelde temperatuur in december t/m februari als in het aantal vorstdagen in die periode. Wintertemperatuur en aantal vorstdagen zijn sterk gecorreleerd en mede daarom gebruiken we alleen de laatste grootte die gebruikt is in de regressieanalyse. Het aantal vorstdagen kan een direct effect op de vegetatie hebben, want een langere vorstperiode kan voor zuidelijke soorten fataal zijn.

Het aantal vorstdagen is als schokeffect in de regressieanalyse opgenomen, met het idee dat vooral boven een bepaalde drempelwaarde het effect in de vegetatie zichtbaar wordt. Het aantal vorstdagen varieert van 1999-2023 over alle meteostations van 0 tot 61 (gemiddeld 13); op basis van verkennende analyses is 35 dagen als drempelwaarde gekozen.

#### 2.4.5 Vernatting

Van ca. 75 pq's is bekend dat in het gebied maatregelen zijn getroffen om de waterstanden te verhogen, doorgaans in het kader van natuurherstelprogramma's. De informatie komt van de LMF-veldmedewerkers die dat noteerden bij hun veldbezoek. Wat de maatregelen precies behelsden, is door de veldmedewerkers niet vermeld, zodat we ook hier te maken hebben met een binaire variabele (wel/niet vernat). Deze zal worden gebruikt in de regressieanalyse.

## 2.5 Statistische analyses

### 2.5.1 Paarsgewijze vergelijking voor de droogte van 2018-2020

Witte (2021) paste de paarsgewijze vergelijking toe door de vegetatie van pq's voor en na het extreem droge jaar 2018 te vergelijken. Deze analyse wordt hier herhaald. Met deze vergelijking wilden we niet alleen inzicht krijgen in de grootte van het effect van een droogteschok in natuurgebieden, uitgedrukt in bijvoorbeeld lagere soortenrijkdom of verandering in het aandeel vochtminnende soorten, maar ook in het herstellvermogen van de

vegetatie. Daarbij wilden we het herstelvermogen afmeten aan de terugkeer van indicatiewaarden en botanische waarden naar het niveau voordat de droogteschok optrad.

Bij nader inzien valt er over het herstelvermogen echter weinig te zeggen. Er is sinds de droge jaren 2018, 2019 en 2020 namelijk slechts één normaal jaar geweest: 2021. In 2022 was het weer erg droog (§ 2.4.3). Dit betekent dat in deze studie geen uitspraken kunnen worden gedaan over het herstel van de vegetatie en dat alleen opnamen uit het jaar 2021 kunnen worden vergeleken met opnamen van vóór de droge jaren 2018, 2019 en 2020.

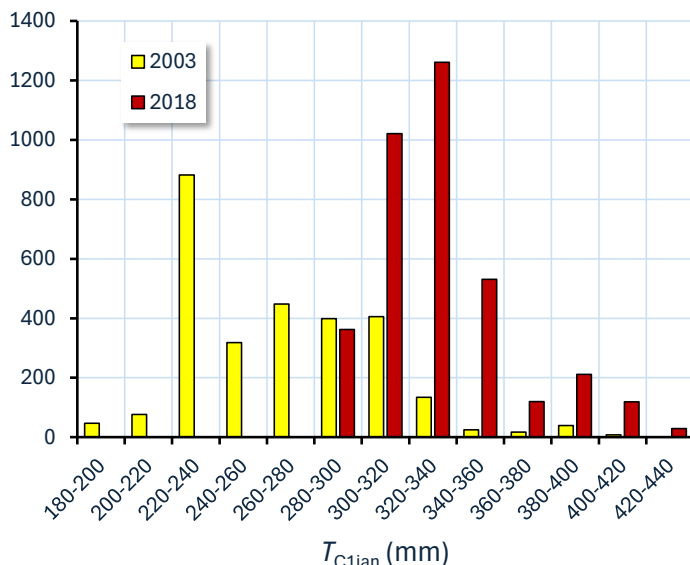
Omdat veel pq's slechts eens in de vier jaar zijn opgenomen, gebruikte Witte (2021) de opnamen van alleen de 289 pq's op de Hogere Zandgronden die zowel in 2015 (vóór droge jaar 2018) als in 2019 (na droge jaar) zijn onderzocht. Hier worden de opnamen in 2021 vergeleken met de opnamen vóór de droge jaren 2018, 2019 en 2020 en nemen we niet alleen de opnamen van 2015 mee, maar ook die van 2016 en 2017. Verder zijn, zoals vermeld in § 2.1, verstoorde pq's buiten de selectie gehouden. Dat levert 498 pq's om te vergelijken. Het aantal gebruikte pq's per standplaatsindicatie of botanische waarde kan echter minder zijn als van geen enkele soort in een opname informatie bekend is om de variabele te kunnen berekenen; als dat het geval is voor een van de twee opnamen van een pq, dan is die pq in de paarsgewijze vergelijking buiten beschouwing gelaten (gaat om zeer soortenarme opnamen). Verder vallen pq's af als de waarden in elke periode 0 is, want zulke pq's zijn niet informatief over veranderingen. Denk aan pq's waarin er in geen enkele periode soorten voorkomen met  $KFK < 8$ , zoals bij het aantal zeldzame soorten ( $NZ$ ) in een opname.

Of de verschillen in standplaatsindicatie en botanische waarde significant zijn, wordt getoetst met een gepaarde t-toets. Van een afzonderlijke plantensoort kan de gemiddelde bedekking veranderen in de opnamen waarin die is aangetroffen. Dat verschil wordt getoetst met een tekentoets. Verder is het aantal toenemende en afnemende soorten in sets van opnamen vergeleken; dat verschil is getoetst met een Chi2-test.

## 2.5.2 Aanvullende paarsgewijze analyse voor het droge jaar 2003

De paarsgewijze vergelijking van opnamen passen we ook toe op het minder extreem droge jaar 2003. Mogelijk is daaruit ook een droogtesignaal te halen en geeft de analyse van dit jaar wél inzicht in de herstelduur. Het jaar 2003 was zeer droog, maar met een  $T_{C1jan}$  van tussen 250 en 300 mm beduidend minder droog dan 2018, 2019 en 2020 (Figuur 7).

Net als bij de jaren 2018-2020 onderzoeken we de effecten van de droogte in 2003 met behulp van een paarsgewijze vergelijking. Daartoe worden dezelfde pq's van 1999-2002 (voor het droge jaar 2003) vergeleken met die van 2004 (direct na 2003) en die van 2007-2008 (langer na 2003). Dezelfde selectieregels als genoemd in bijlage 1 zijn ook hier aangehouden, dus geen pq's met verstoringen erbij e.d.



**Figuur 7** Frequentieverdeling van  $T_{C1jan}$ -waarden over de pq's in 2003 en in 2018.

---

### 2.5.3 Regressieanalyse

Een multi-pele regressieanalyse biedt meer mogelijkheden dan een paarsgewijze vergelijking. Het is in zo'n analyse niet meer nodig om alleen pq's te selecteren die in allebei de perioden zijn onderzocht, maar in principe kunnen alle pq's in alle jaren 1999-2023 worden gebruikt. Dat zijn zoveel pq's dat er afzonderlijke analyses per verzameltipe (Tabel 6) kunnen worden uitgevoerd. Ook kan dan worden gecorrigeerd voor andere factoren die een droogte-effect beïnvloeden.

De algemene vorm van een multiple regressiemodel is:

$$Y = C_1X_1 + C_2X_2 + \dots C_nX_n,$$

waarbij  $Y$  de afhankelijke variabele voorstelt, bijvoorbeeld de Gelderland-waarde,  $X_1..X_n$  de onafhankelijke variabelen voorstellen en  $C_1..C_n$  de regressiecoëfficiënten zijn die de effecten weergeven. De bedoeling van het model is om de regressiecoëfficiënten te schatten. Wijkt een regressiecoëfficiënt significant af van nul, dan heeft de onafhankelijke variabele een significant effect op de  $Y$ . In de onderstaande notaties van regressiemodellen zijn de regressiecoëfficiënten voor de leesbaarheid achterwege gelaten.

De paarsgewijze analyse van hierboven is ook in de vorm van een regressiemodel te schrijven:

$$Y = \text{periode} + \text{pq's}$$

De verklarende variabelen zijn daarbij de twee gebruikte perioden (2015-2017 en 2021) en de pq's. Door de pq's in het model op te nemen, worden de verschillen in  $Y$  tussen de perioden per pq bekeken en dat maakt het een paarsgewijze vergelijking. De uitkomsten van dit eenvoudige model zijn in principe identiek aan die van een gepaarde t-test.

In de regressieanalyse is dit eenvoudige model uitgebreid met een paar extra termen: droogte, koude en vernattingsmaatregelen. Al deze drie termen zijn in de vorm van een schok (wel of niet) in het model opgenomen, zoals hierboven uiteengezet in § 2.4.3, § 2.4.4 en § 2.4.5. Verder bevat het model drie termen met droogteschokken. We willen namelijk testen of droogte-effecten sterker worden na meerdere droogtejaren achtereen. Dat laatste kunnen we doen door deelsets van de vegetatieopnamen te maken: (1) opnamen met extreme droogte ( $T_{C1jan} > 300$  mm) in het voorafgaande jaar, maar niet in een eerder jaar, (2) opnamen met extreme droogte in het voorafgaande jaar en tevens in ten minste een eerder jaar, en (3) opnamen met extreme droogte in ten minste een eerder jaar, maar niet in het voorafgaande jaar. Hierbij is 'een eerder jaar' gedefinieerd als 2-5 jaar voor de vegetatieopname. Die drie deelsets hebben we niet stuk voor stuk geanalyseerd, maar zijn samen in één model opgenomen.

De volledige formulering van het model is daarmee:

$$Y = \text{periode} + \text{pq's} + \text{droogteschok alleen in voorafgaande jaar} + \text{droogteschok in voorafgaande jaar plus 2-5 jaar geleden} + \text{droogteschok 2-5 jaar geleden en niet in voorafgaande jaar} + \text{koude} + \text{vernatt}$$

Onze interesse gaat in de eerste plaats uit naar de regressiecoëfficiënten van de drie droogtermen en daarnaast naar die van koude en vernatting. We verwachten dat het effect van de droogteschok in het voorafgaande jaar plus 2-5 jaar geleden zal lijken op de resultaten van de paarsgewijze analyse. In beide gevallen gaat het namelijk om pq's die meerdere droogtejaren in de afgelopen vijf jaar hebben doorstaan.

We zijn niet geïnteresseerd in de pq-effecten; die zijn alleen in het model opgenomen om er zo veel mogelijk een paarsgewijze vergelijking van te maken; pq's in het model opnemen is een gangbaar gebruik bij analyses van gegevens van meetpunten die meerdere jaren zijn onderzocht. Ook in de periode-effecten in het model zijn we niet speciaal geïnteresseerd; die dienen alleen om te corrigeren voor een eventuele trend in de  $Y$ -waarde. Zo'n trend kan ontstaan door bijvoorbeeld successie of stikstofdepositie en je wilt niet dat zo'n trend de schatting van een droogte-effect in de weg zit. De gekozen perioden zijn 1999-2002, 2003-2006, 2007-2010, 2011-2014, 2015-2018 en 2019-2022. Deze vallen samen met de meetfrequentie in het LMF, dat wil zeggen dat veel pq's in elk van de perioden één keer zijn onderzocht.

---

Effecten van storende factoren, zoals plaggen van pq's of grondwerkzaamheden, zijn geminimaliseerd door de gegevens daarop van tevoren te filteren en deze pq's te verwijderen uit de analyse (bijlage 1 voor details).

Een complicatie is dat de vegetatie in 2018 in de loop van het veldseizoen al veel te lijden had onder de verdroging van dat jaar. LMF-veldmedewerkers merkten op dat het maken van een opname in de zomer van 2018 vaak moeilijk was, omdat de vegetatie sterk was verdroogd. Daarom zijn de data van 2018 niet gebruikt in de regressieanalyse. Ook de gegevens van 2023 zijn niet gebruikt, omdat dat het enige jaar in een nieuwe periode (zevende) zou zijn en omdat 2023 volgde op de extreem droge zomer van 2022. Dat maakt het ondoenlijk om bij de gegevens van 2023 droogte-effect en periode-effect van elkaar te onderscheiden. Bovendien brak gedurende de zomer van 2023 een langdurige periode van extreem veel neerslag aan.

In de regressieanalyse zijn de indicatiewaarden en enkele botanische waardematen (met name Gelderland-waarde en WZ-gewogen naar bedekking) als afhankelijke variabelen gebruikt. Bij deze variabelen is ervan uitgegaan dat de ruis in de meetwaarden normaal verdeeld is. Het model is op Bayesiaanse wijze uitgevoerd met behulp van R en JAGS (Plummer, 2009; R Core Team, 2013).

# 3 Resultaten

## 3.1 Paarsgewijze vergelijking voor de droogte van 2018-2020

### 3.1.1 Verandering in standplaatsindicaties

In Tabel 8 zijn de indicatiewaarden van 2021 vergeleken met die van voor de droogte van 2018, 2019 en 2020. De richting en de grootte van de verandering zijn procentueel aangegeven:<sup>3</sup>

- Positief getal: het is natter, voedselrijker, minder zuur geworden;
- Negatief getal: het is droger, voedselarmer, zuurder geworden;
- Verder is met een sterretje aangegeven of en hoe significant de verandering is:

\*\*\*  $p < 0.001$

\*\*  $p < 0.01$

\*  $p < 0.05$

nsig verandering niet significant.

De vochtindicaties volgens Ellenberg, Wamelink en ESTAR geven aan dat de vegetatie in 2021 significant drogere kenmerken heeft dan vóór 2018 (Tabel 8).

De indicatiewaarde voor voedselrijkdom is volgens ESTAR enigszins gedaald in 2021. Dit is mogelijk geen afname van de bodemvruchtbaarheid, maar het gevolg van droogtestress waar soorten van voedselrijkere standplaatsen, die meer verdampen, minder goed tegen kunnen dan soorten van schralere standplaatsen Witte (2021). Volgens WW-PO4 is de voedselrijkdom juist toegenomen; Ellenberg, WW-NO3 en WW-NH4 laten geen significante verandering zien.

Voor en na de droge jaren is er geen significant verschil te zien in zuurindicatie en basenrijkdom.

**Tabel 8.** Gemiddelde standplaatsindicaties per opname vóór en na de droogte van 2018-2020. De waarden in 2021 zijn met een gepaarde t-test getoetst tegen die in 2015-2017.

	# pq's	2015-2017		2021		%	sign
		gemiddelde	se	gemiddelde	se		
<b>Vocht</b>							
Ellenberg Fm	475	6.38	0.06	6.31	0.06	-1.3	***
ESTAR Fm	496	5.91	0.05	5.82	0.05	-1.8	**
WW-Vocht	489	21.2	0.55	20.8	0.56	-1.9	**
<b>Voedselrijkdom</b>							
Ellenberg Nm	478	3.85	0.07	3.82	0.07	-1.1	nsig
ESTAR Nm	497	3.39	0.08	3.34	0.08	-2.1	*
WW-NO3	489	5.94	0.27	5.85	0.27	-1.5	nsig
WW-NH4	489	8.61	0.10	8.56	0.10	-0.6	nsig
WW-PO4	489	0.59	0.02	0.62	0.02	+5.1	*
<b>Zuurgraad</b>							
Ellenberg Rm	464	3.96	0.07	3.97	0.07	+0.3	nsig
ESTAR Rm	497	4.74	0.08	4.74	0.08	0.0	nsig
WW-pH-H2O	489	4.88	0.04	4.88	0.04	0.0	nsig
WW-Ca	489	1148	55	1129	55	-1.7	nsig
WW-Mg	489	108.1	4.6	105.9	4.6	-2.0	nsig

\*\*\*  $p < 0.001$ ; \*\*  $p < 0.01$ ; \*  $p < 0.05$ ; +: natter, voedselrijker, minder zuur; -: tegengestelde van +.

<sup>3</sup> Waarbij er rekening mee is gehouden dat bij Ellenberg en ESTAR de schaal bij 1 begint. Voorbeeld: een verandering van  $F_m$  van 6 naar 5 wordt  $100 \cdot (5-6)/(6-1) = -20\%$ .

### 3.1.2 Veranderingen in botanische waarden

Alle onderzochte botanische waarden zijn significant afgenomen in de droge jaren (Tabel 9). Uit deze tabel blijkt bijvoorbeeld dat in 239 opnamen 7.9% van de zeldzame soorten is verdwenen (NZ-presentie) en dat de bedekking van deze soorten in die opnamen met 19.5% is afgenomen (NZ-bedekking).

We hebben de analyse verfijnd door de 498 gepaarde opnamen te splitsen in 401 pq's met extreme droogte ( $T_{C1jan} > 300$  mm) en 97 pq's zonder extreme droogte ( $T_{C1jan} < 300$  mm) in 2018. Uit dit onderscheid blijkt bijvoorbeeld dat de gemiddelde Gelderland-waarde alleen significant is afgenomen in de extreem droge pq's ( $p < 0.001$ ) en niet in de 97 andere pq's ( $p = 0.29$ ). Dat onderbouwt dat de  $T_{C1jan}$ -drempel de droogteschok weergeeft.

Andere waarderingsmaten gaven ook sterkere afnamen aan bij de pq's met extreme droogte dan zonder die droogte, zij het dat er ook wel significante afnamen gevonden werden bij de set van niet extreem droge pq's. Dat is een aanwijzing dat er ook al droogte-effecten kunnen optreden onder de  $T_{C1jan}$ -drempel.

**Tabel 9** Gemiddelde botanische waardematen per opname voor en na de droge jaren 2018-2020. De waarden in 2021 zijn met een gepaarde t-test getoetst tegen die in 2015-2017.

	#pq's	2015-2017		2021		%	sign
		gemiddelde	se	gemiddelde	se		
Soortenrijkdom	498	14.3	0.37	13.8	0.35	-3.5	**
DEMNAT	459	2.31	0.1	2.11	0.09	-8.7	***
Gelderland waarde	497	102.1	3.7	96.6	3.5	-5.4	***
NZ-bedekking	239	16.9	1.5	13.6	1.3	-19.5	***
NZ-presentie	239	2.02	0.12	1.86	0.11	-7.9	**
WZ-bedekking	498	149.7	2.9	139.4	2.8	-6.9	***
WZ-presentie	498	18.0	0.5	17.2	0.47	-4.4	**

\*\*\*  $p < 0.001$ ; \*\*  $p < 0.01$ ; \*  $p < 0.05$ .

### 3.1.3 Veranderingen in soortensamenstelling

Er zijn in 2021 meer inheemse soorten afgenomen in bedekking dan toegenomen ten opzichte van 2015-2017 (249 afnamen versus 184 toenames;  $\text{Chi}^2 p < 0.05$ ; als alleen op significante trends wordt gelet dan nemen er 51 af en 12 toe;  $\text{Chi}^2 p < 0.05$ ). Dat suggereert dat de vegetatie globaal genomen is verarmd, in lijn met de afname van botanische waarden.

De afnemende soorten zijn zowel zeldzame soorten als algemene soorten, wat wil zeggen dat algemene soorten ongeveer net zo vaak achtergaan door de droogte als zeldzame soorten (Tabel 10). Dat geldt ook voor de zeer algemene soorten (KFK9).

Het is opmerkelijk dat er vooral significant meer soorten achteruitgaan met een hoge Gelderland-waarde (Tabel 11). De afname van de Gelderland-waarde per opname (§ 3.1.2) komt dus niet alleen doordat de soortenrijkdom afneemt, maar vooral ook doordat soorten met een hoge waarde afnemen.

**Tabel 10** Aantal inheemse soorten dat afneemt of toeneemt in bedekking tussen 2015-2017 en 2021 (tussen haakjes het aantal soorten met significante verandering, met lage significantiedrempel  $p = 0.15$ ) per KFK. De vergelijking is gebaseerd op 498 pq's. Het totaalaantal soorten is lager dan in de algemene tekst, omdat niet van alle soorten de KFK bekend is. Chi2-test op aantal toenemende versus afnemende soorten.

KFK	Aantal soorten			fractie afnemend	sign
	totaal	afnemend	toenemend		
4,5	35	15 (1)	12 (0)	0.43	nsig
6	36	18 (4)	14 (0)	0.50	nsig
7	60	30 (6)	23 (0)	0.50	nsig
8	112	67 (14)	38 (1)	0.60	**
9	145	76 (19)	61 (10)	0.52	nsig

\*\*  $p < 0.01$ .

**Tabel 11** Als Tabel 10, maar nu zijn de soorten ingedeeld volgens de Gelderland-waarde. Die waarde varieert van -8 voor een ongewenste exoot tot 76 voor een heel bijzondere soort. Chi2-test op aantal toenemende versus afnemende soorten.

waarde	Aantal soorten			fractie afnemend	sign
	totaal	afnemend	toenemend		
<2	130	59 (12)	65 (7)	0.45	nsig
2-5	136	81 (14)	46 (3)	0.60	**
>5	222	117 (25)	81 (2)	0.53	**

\*\*  $p < 0.01$ .

### 3.1.4 Ecosysteemafhankelijke veranderingen

De veranderingen in de soortensamenstelling van alle pq's samen kunnen ook worden vertaald naar veranderingen in ecosysteemtypen. Daartoe wordt gekeken naar de veranderingen in de soorten die kenmerkend zijn voor bepaalde verzameltypen. Bij bijna alle ecosysteemtypen gaan er meer kenmerkende soorten in bedekking achteruit dan vooruit (Tabel 12). De verschillen zijn echter alleen significant bij '100 Natte heide en hoogveen', '101 Natte heide', '102 vochtige heide' en '116 Voedselrijke ruigten en natte cultuurgraslanden'. Het is opmerkelijk dat '104 Droge zwak-zure graslanden' en '110 Dijkhellingen, glanshaverhooilanden' meer vooruitgang dan achteruitgang vertonen. Ook al is dit resultaat niet significant, het is wel in overeenstemming met de bevindingen uit een enquête onder natuurorganisaties (Tabel 1), waarin beheerders aangaven dat (Witte et al., 2020b):

*"Matige schade tot kleine schade en zelfs winst zijn van toepassing op schrale gras- en hooilandvegetaties: N11.01 Droog schraalland, N12.02 Kruiden- en faunarijke grasland, N12.03 Glanshaverhooiland, N12.05 Kruiden- en faunarijke akker, met bij eventuele schade telkens grote kans op herstel. Als belangrijke reden voor een gunstige ontwikkeling wordt genoemd dat gras, met name Gestreepte witbol, door de droogte is afgestorven, waardoor open plekken ontstonden voor de vestiging van o.a. Margriet, Muizenootje, Duizendblad, Geel walstro, Grasklokje en Knoopkruid."*

**Tabel 12** Aantal kenmerkende inheemse soorten dat in bedekking afneemt of toeneemt tussen 2015-2017 en 2021 (tussen haakjes het aantal soorten met significante verandering, met lage significantiedrempel  $p = 0.15$ ) per verzameltype. De vergelijking is gebaseerd op 498 pq's van alle ecosysteemtypen samen. Chi2-test op aantal toenemende versus afnemende soorten.

Set	Verzameltype	Aantal kenmerkende soorten			fractie afnemend	sign
		totaal	afnemend	toenemend		
100	Natte heide en hoogveen	29	22 (11)	5 (1)	0.76	**
101	Natte heide	13	10 (4)	1 (1)	0.77	**
102	Vochtige heide	13	10 (8)	3 (0)	0.77	*
105	Droge heide en stuifzanden	34	17 (9)	15 (2)	0.5	nsig
103	Droge zure heide en graslanden	11	7 (7)	3 (0)	0.64	nsig
104	Droge zwak-zure graslanden	25	10 (2)	14 (2)	0.4	nsig
109	Heischrale graslanden	21	10 (7)	10 (0)	0.48	nsig
110	Dijkhellingen, glanshaverhooilanden	65	28 (6)	31 (4)	0.43	nsig
113	Bronbossen	42	22 (6)	15 (0)	0.52	nsig
114	Droge arme bossen	25	14 (3)	9 (0)	0.56	nsig
115	Vochtig bos	95	50 (9)	37 (2)	0,53	nsig
116	Voedselrijke ruigten en natte cultuurgraslanden	26	18 (3)	7 (0)	0.69	*
117	Korte beekdalvegetaties	88	45 (7)	37 (3)	0.51	nsig

### 3.1.5 De invloed van soorteigenschappen op het droogte-effect

Grassen zijn in aantal soorten en kruiden in bedekking significant afgenomen in 2018-2020 (Tabel 13). Het aandeel soorten dat in de droge jaren afneemt, is groter naarmate hun worteldiepte kleiner is (Tabel 14), wat lijkt op een oorzakelijk verband met droogte. Soorten met langere wortels lijken dus minder gevoelig voor de droogte. Juist van veel bomen en struiken, die minder droogtegevoelig zijn, ontbreken gegevens over worteldiepte, waardoor het effect waarschijnlijk nog groter is dan gesuggereerd in Tabel 14.

**Tabel 13** Gemiddeld aantal inheemse soorten en bedekking van soortgroepen per opname voor en na de droge jaren 2018-2020. De waarden in 2021 zijn met een gepaarde t-test (aantal) of met een tekentoets (bedekking) getoetst tegen die in 2015-2017.

	# pq's	2015-2017		2021		%	sign
		gemiddelde	se	gemiddelde	Se		
<b>Aantal soorten</b>							
Alle soorten	498	14.1	0.37	13.6	0.34	-3.5	**
Bomen	362	2.40	0.09	2.30	0.09	-4.2	nsig
Struiken	278	2.40	0.12	2.36	0.11	-1.7	nsig
Grassen	481	5.07	0.15	4.90	0.15	-3.4	*
Kruiden	424	6.09	0.27	5.96	0.26	-2.1	nsig
Pioniersoorten	295	1.69	0.08	1.78	0.09	+5.3	nsig
Ruigtesoorten	343	2.01	0.10	1.91	0.09	-5.0	nsig
<b>Gesommeerde bedekking</b>							
Bomen	362	21.9	1.38	21.8	1.36	-0.5	nsig
Struiken	278	17.0	1.29	18.5	1.34	+8.8	nsig
Grassen	481	38.1	1.20	37.8	1.21	-0.8	nsig
Kruiden	424	21.9	1.01	20.4	0.91	-6.8	*
Pioniersoorten	295	6.49	0.50	6.82	0.53	+5.1	nsig
Ruigtesoorten	343	15.6	1.22	14.8	1.18	-5.1	nsig

\*\*\*  $p < 0.001$ ; \*\*  $p < 0.01$ ; \*  $p < 0.05$ .



**Tabel 14** Aantal inheemse soorten dat in bedekking afneemt of toeneemt tussen 2015-2017 en 2021 (tussen haakjes het aantal soorten met significante verandering, met lage significantiedrempel  $p = 0.15$ ) per klasse worteldiepte. De vergelijking is gebaseerd op de selectie van 498 pq's in bijlage 1. Het totaal aantal soorten is iets lager dan in de algemene tekst, omdat niet van alle soorten de worteldiepte bekend is. Chi2-test op aantal toenemende versus afnemende soorten.

max. worteldiepte	# soorten			fractie afname	sign
	totaal	afnemend	toenemend		
10 cm	72	42 (10)	23 (2)	0.58	*
20 cm	71	41 (13)	25 (3)	0.58	*
50 cm	44	24 (5)	16 (3)	0.55	nsig
100 cm	34	18 (5)	15 (0)	0.53	nsig
> 100 cm	14	6 (0)	7 (1)	0.43	nsig

## 3.2 Paarsgewijze vergelijking voor de droogte van 2003

Tussen 1999-2002 en 2004 zijn in de 542 gepaarde opnamen 206 soorten in bedekking afgenomen en 205 soorten toegenomen. Beschouwen we alleen soorten met een significant trend (met  $p$ -drempel 0.15), dan gaat het om 23 soorten die afnemen en 27 die toenemen. Voor- en afname zijn dus vrijwel in balans. Ter vergelijking: tussen 2015-2017 en 2021 was de afname veel sterker en niet in balans: 249 soorten namen af en 184 toe (significant: 51 af en 12 toe).

In tegenstelling tot de verwachting (namelijk dat droogte zorgt voor een daling van de botanische waarde) is de Gelderland-waarde door 2003 niet veranderd. De botanische waardemaat NZ-bedekking is in 2004 zelfs significant iets hoger en in 2007-2008 nog hoger (Tabel 15), terwijl het gemiddeld aantal soorten in de laatste periode juist iets is gedaald (van 13.4 naar 12.9). Dat betekent dat vooral de algemene soorten in de laatste periode zijn afgenomen, wat zich ook uit in een significante daling van WZ-bedekking (zoals in §2.3.3 is uitgelegd, hebben algemene soorten in deze maat een te groot gewicht). Al met al kunnen we concluderen dat de droogte van 2003 geen duidelijk signaal heeft nagelaten in de botanische waarde van de opnamen, op de korte (2004) noch op de langere (2007-2008) termijn. Om een indruk te krijgen van de verandering op de langere termijn zijn de waarden in 2004 getoetst tegen die in 2007-2008 (Tabel 16). De afname in soortenrijkdom en bedekking van zeldzame soorten WZ heeft zich in die jaren voortgezet.

Qua standplaatsfactoren zijn de veranderingen niet eenduidig en lastig te interpreteren:

- De vegetatie zou in 2004 iets minder vocht-indicerend zijn, maar alleen bij WW is die afname significant en bovendien ook nog significant aanwezig in 2007-2008.
- De indicatiewaarden van Ellenberg en ESTAR voor voedselrijkdom zijn in 2004 significant verlaagd en die verlaging zet zich bij ESTAR significant door van 2004 naar 2007-2008 (Tabel 16). Dat laatste kan moeilijk toegeschreven worden aan een schijnbare afname van de voedselindicatie als gevolg van de droogte van 2003. De WW-getallen laten zowel een significante toename van de indicatiewaarde zien ( $\text{NO}_3$ ,  $\text{NH}_4$ ) als een significante afname ( $\text{PO}_4$ ), niet alleen in de vergelijking voor en na de droogte van 2003 (Tabel 15), maar ook in die van 2004 naar 2007-2008 (Tabel 16).
- De WW-indicaties wijzen op een significant lagere pH en op significant minder basenrijke condities, terwijl met Ellenberg en ESTAR geen veranderingen worden gedetecteerd.

Al met al lijkt het erop dat de droogte van 2003 weinig invloed heeft gehad, dan wel dat die invloed niet eenduidig blijkt uit de resultaten.

**Tabel 15** Gemiddelde botanische waarden en standplaatsindicaties per opname vóór en na de droogte van 2003. De waarden in 2004 en 2007-2008 zijn met een gepaarde t-test getoetst tegen die in 1999-2002.

	# pq's	1999-2002	2004	%	sign	2007-2008	%	sign
<b>Waarde</b>								
Soortenrijkdom	542	13.4	13.4	0.0	nsig	12.9	-3.7	**
Gelderland waarde	541	90.0	90.1	+0.1	nsig	89.0	-1.1	nsig
NZ-bedeckking	237	11.3	12.7	+12.4	*	13.5	+19.5	**
NZ-presentie	237	1.66	1.68	+1.2	nsig	1.70	+2.4	nsig
WZ-bedeckking	567	155	153	-1.3	nsig	153	-1.3	nsig
WZ-presentie	567	16.4	16.4	0.0	nsig	16.0	-2.4	*
<b>Vocht</b>								
Ellenberg $F_m$	472	6.23	6.22	-0.2	nsig	6.25	+0.4	nsig
ESTAR $F_m$	542	5.50	5.46	-0.9	nsig	5.50	0.0	nsig
WW Vocht	533	18.1	17.8	-1.7	**	17.8	-1.7	**
<b>Voedselrijkdom</b>								
Ellenberg $N_m$	503	3.83	3.79	-1.4	*	3.78	-1.8	*
ESTAR $N_m$	542	3.16	3.03	-6.0	***	2.98	-8.3	***
WW-NO3	533	5.65	5.67	+0.4	nsig	5.80	+2.7	*
WW-NH4	533	8.97	9.08	+1.2	***	9.24	+3.0	***
WW-PO4	533	0.59	0.57	-3.4	***	0.53	-10.2	***
<b>Zuurgraad</b>								
Ellenberg $R_m$	470	3.81	3.79	-0.7	nsig	3.81	0.0	nsig
ESTAR $R_m$	542	4.33	4.33	0.0	nsig	4.33	0.0	nsig
WW-pH-H2O	533	4.70	4.67	-0.6	***	4.64	-1.3	***
WW-Ca	533	879	856	-2.6	*	839	-4.6	***
WW-Mg	533	83.6	82.7	-1.1	nsig	83.0	-0.7	nsig

\*\*\* p < 0.001; \*\* p < 0.01; \* p < 0.05; +: waardevoller, natter, voedselrijker, minder zuur; -: tegengestelde van +.

**Tabel 16** Gemiddelde botanische waarden en standplaatsindicaties per opname kort en langer na het droge jaar 2003. De waarden 2007-2008 zijn met een gepaarde t-test getoetst tegen die in 2004.

	# pq's	2004	2007-2008	%	sign
<b>Waarde</b>					
Soortenrijkdom	542	13.4	12.9	-3.7	**
Gelderland waarde	541	90.1	89.0	-1.2	nsig
NZ-bedeckking	237	12.7	13.5	+6.3	nsig
NZ-presentie	237	1.68	1.70	+1.2	nsig
WZ-bedeckking	567	153	153	0.0	nsig
WZ-presentie	567	16.4	16.0	-2.4	**
<b>Vocht</b>					
Ellenberg $F_m$	472	6.22	6.25	+0.6	nsig
ESTAR $F_m$	542	5.46	5.50	+0.9	nsig
WW Vocht	533	17.8	17.8	0.0	nsig
<b>Voedselrijkdom</b>					
Ellenberg $N_m$	503	3.79	3.78	-0.4	nsig
Estar $N_m$	542	3.03	2.98	-2.5	**
WW-NO3	533	5.67	5.80	+2.3	nsig
WW-NH4	533	9.08	9.24	+1.8	***
WW-PO4	533	0.57	0.53	-7.0	**
<b>Zuurgraad</b>					
Ellenberg $R_m$	470	3.79	3.81	+0.7	nsig
ESTAR $R_m$	542	4.33	4.33	0.0	nsig
WW-pH-H2O	533	4.67	4.64	-0.6	***
WW-Ca	533	856	839	-2.0	nsig
WW-Mg	533	82.7	83.0	+0.4	nsig

\*\*\* p < 0.001; \*\* p < 0.01; \* p < 0.05; +: waardevoller, natter, voedselrijker, zuurder/minder basisch; -: tegengestelde van +.

### 3.3 Resultaten regressieanalyse

#### 3.3.1 Verandering in standplaatsindicaties

Voor elk van de dertien verzameltypen van Tabel 6 zijn regressieanalyses uitgevoerd. Het effect van droogte op de indicatiewaarden voor vocht per type staat in Tabel 17. De waarden in kolom '1+2-5 jaar' in deze tabel zijn het best vergelijkbaar met de resultaten van de paarsgewijze vergelijking. In beide gevallen gaat het namelijk om pq's die ten minste twee droogtejaren hebben doorstaan: in het jaar voor de vegetatieopname én een of meer keer in de 2 tot 5 jaar daarvoor.

Dat de vochtindicatie bij meerdere typen als gevolg van een droogteschok bij Ellenberg en WW stijgt, dus aangeeft dat het natter wordt, is onverwacht en in tegenspraak met de paarsgewijze vergelijking. ESTAR geeft wat dit betreft een consistent beeld: de significante veranderingen duiden vooral op verdroging. Vernatting heeft bij één type een significant positief effect volgens ESTAR, en bij drie typen volgens WW.

Dat er vooral bij Ellenberg en WW geen overeenkomst is met de paarsgewijze analyse wijst erop dat het regressiemodel hier faalt. De regressieresultaten kloppen wel met ESTAR, maar achten wij nog onbetrouwbaar voor bepaalde verzameltypen. We komen hier in de discussie op terug (§ 5.2.3).

**Tabel 17** Regressiecoëfficiënten voor Ellenberg  $F_m$ , ESTAR  $F_m$  en WW-vocht. Groen = significant stijgend effect (vochtiger); oranje = significant dalend effect (droger). 1 jaar = droogte voorafgaand jaar; 1 + 2-5 jaar = droogte in voorafgaand jaar en tevens 2-5 jaar geleden; 2-5 = droogte 2-5 jaar geleden.

	Ellenberg $F_m$						ESTAR $F_m$					
	#	droogteschok voorgaand					#	droogteschok voorgaand				
		1 jr	1+2-5 jr	2-5 jr	kouschok	vernatting		1 jr	1+2-5 jr	2-5 jr	kouschok	vernatting
100 Natte heide en hoogveen	756	0.0853	0.2197	0.1905	0.0147	0.5894	773	-0.002	-0.037	-0.042	-0.022	0.272
101 Natte heide	508	0.0519	0.0750	0.1009	-0.0516	0.2377	515	-0.024	-0.073	-0.0778	-0.012	0.117
102 Vochtige heide	241	0.1239	0.4497	0.3164	0.0713	0.4482	250	0.011	0.006	0.001	-0.035	0.126
103 Droge zure heide en graslanden	572	-0.1320	0.2332	0.1914	0.1251	-0.6609	592	-0.026	0.035	0.022	0.023	-2.407
104 Droge zwakzure graslanden	138	-0.0724	-0.0586	-0.0401	-0.0049	-1.6747	140	-0.032	-0.035	0.002	-0.005	0.360
105 Droge heide en graslanden	710	-0.1215	0.1731	0.1465	0.1054	-1.2098	732	-0.0281	0.025	0.018	0.019	1.637
109 Heischrale graslanden	91	-0.0049	-0.1219	0.3040	-0.2625	-0.3673	93	-0.019	-0.104	0.046	-0.1037	-4.662
110 Dijkhellingen, glanshaverhooilanden	307	-0.1822	-0.1349	-0.0378	0.0212	-2.4111	308	-0.0609	-0.0612	-0.013	-0.014	-1.901
113 Bronbossen	187	0.0173	-0.1131	-0.0834	-0.0462	0.7300	187	0.004	0.015	-0.003	-0.002	0.385
114 Droge arme bossen	161	-0.1074	0.0730	0.1326	-0.1819	0.7736	185	-0.0752	-0.0923	-0.044	-0.042	0.342
115 Vochtig bos	651	0.0094	0.1377	0.0368	-0.0096	0.9449	663	0.006	0.003	-0.006	0.008	0.336
116 Voedselrijke ruigten en natte cultuurgraslanden	134	-0.1244	-0.1631	0.0772	-0.2494	-0.3954	134	-1.718	-42.0343	-2.982	2.081	-2.865
117 Korte beekdalvegetaties	606	-0.0517	-0.1853	-0.0181	-0.0391	-0.0759	607	-0.011	-0.0830	0.001	-0.030	0.023

	WW-Vocht					
	#	droogteschok voorgaand				
		1 jr	1+2-5 jr	2-5 jr	kouschok	vernatting
100 Natte heide en hoogveen	772	0.070	0.646	0.612	0.253	8.333
101 Natte heide	515	0.089	-0.046	0.318	-0.114	13.113
102 Vochtige heide	250	-0.149	1.597	0.998	0.644	4.719
103 Droge zure heide en graslanden	588	-0.083	0.479	0.680	0.347	-2.550
104 Droge zwakzure graslanden	139	-0.095	-0.184	0.870	0.260	-6.890
105 Droge heide en graslanden	727	-0.048	0.247	0.605	0.271	-0.191
109 Heischrale graslanden	93	-0.232	-3.3745	0.345	-1.044	-1.361
110 Dijkhellingen, glanshaverhooilanden	308	-1.2668	-0.751	0.060	-0.143	-0.076
113 Bronbossen	187	0.198	0.907	0.377	-0.251	21.651
114 Droge arme bossen	185	-1.8388	0.768	1.032	-0.367	2.186
115 Vochtig bos	659	-0.3986	0.619	0.250	0.636	6.426
116 Voedselrijke ruigten en natte cultuurgraslanden	134	-1.257	-1.390	-0.523	-2.0119	20.927
117 Korte beekdalvegetaties	607	-0.228	-1.3390	0.003	-0.224	34.117

Tabel 18 geeft de waarden voor de regressiecoëfficiënten voor voedselrijkdom. Over het algemeen zijn de coëfficiënten niet significant. Weinig verzameltypen vertonen een significante reactie van WW-NO<sub>3</sub> en Ellenberg  $N_m$  en ESTAR  $N_m$ . Dat komt overeen met de resultaten van de paarsgewijze vergelijking (Tabel 8), behalve dat daarbij wel een significante verandering in ESTAR  $N_m$  werd gevonden. Significante effecten zijn er vooral voor WW-PO<sub>4</sub> (vooral positief) en WW-NH<sub>4</sub> (vooral negatief). Ook die effecten lijken te sporen met de resultaten van de paarsgewijze vergelijking.

Winterkou en vernatting hebben maar zelden invloed op de indicatiewaarden voor voedselrijkdom.

De matige overeenkomsten tussen paarsgewijze vergelijking en de regressieanalyse en de tegenspraak tussen de indicatiesystemen doen ook hier twifelen aan de bruikbaarheid van het regressiemodel. Zoals vermeld, komen we hier in de discussie op terug (§ 5.2.3).

**Tabel 18** Regressiecoëfficiënten voor Ellenberg  $N_m$ , ESTAR  $N_m$  en de WW-NH<sub>4</sub>, -NO<sub>3</sub> en -PO<sub>4</sub>. Groen = significant stijgend (voedselrijker); oranje = significant dalend (armer). 1 jaar = droogte voorafgaand jaar; 1 + 2-5 jaar = droogte in voorafgaand jaar en tevens 2-5 jaar geleden; 2-5 = droogte 2-5 jaar geleden.

	Ellenberg $N_m$						ESTAR $N_m$					
	#	droogteschok voorgaand					#	droogteschok voorgaand				
		1 jr	1+2-5 jr	2-5 jr	kouschok	vernatting		1 jr	1+2-5 jr	2-5 jr	kouschok	vernatting
100 Natte heide en hoogveen	764	-0.0255	-0.0412	-0.0455	-0.0194	-0.0553	773	-0.009	0.002	-0.006	-0.004	-0.033
101 Natte heide	509	-0.0174	-0.0114	-0.0307	-0.0165	0.0464	515	0.006	0.004	0.003	-0.013	-0.029
102 Vochtige heide	248	0.0050	-0.0914	-0.0767	-0.0238	-0.4563	250	-0.026	0.004	-0.011	0.007	-0.105
103 Droge zure heide en graslanden	585	-0.0406	-0.0042	-0.0129	-0.0050	1.4373	592	0.018	-0.003	-0.003	0.006	-0.693
104 Droge zwakzure graslanden	138	-0.0503	-0.1718	0.0267	-0.0001	3.6727	140	0.029	0.014	0.015	-0.043	-0.409
105 Droge heide en graslanden	723	-0.0420	-0.0560	-0.0234	-0.0033	0.9745	732	0.020	-0.002	-0.002	-0.006	2.779
109 Heischrale graslanden	91	-0.0624	0.0639	0.0211	0.0698	0.0529	93	-0.015	0.004	0.041	-0.006	-0.266
110 Dijkhellingen, glanshaverhooilanden	308	-0.0359	0.1663	0.0279	-0.0413	0.6924	308	0.013	0.033	0.009	-0.037	0.560
113 Bronbossen	187	0.1061	-0.3147	-0.1916	0.0163	-0.5151	187	0.012	0.054	0.023	0.020	0.081
114 Droge arme bossen	169	-0.2595	0.5185	0.2768	0.1214	0.4946	185	-0.107	0.073	0.040	0.016	-1.171
115 Vochtig bos	636	-0.0752	0.1276	-0.0042	0.0530	-0.5058	663	-0.019	0.031	-0.015	0.041	-0.179
116 Voedselrijke ruigten en natte cultuurgraslanden	134	0.3050	-0.1031	0.1418	0.1144	-0.4215	134	0.015	0.079	0.040	-0.030	0.003
117 Korte beekdalvegetaties	607	-0.0250	0.0398	-0.0503	-0.0709	-0.2576	607	-0.008	0.027	-0.024	-0.020	-0.055

	WW-NH <sub>4</sub>						WW-NO <sub>3</sub>					
	#	droogteschok voorgaand					#	droogteschok voorgaand				
		1 jr	1+2-5 jr	2-5 jr	kouschok	vernatting		1 jr	1+2-5 jr	2-5 jr	kouschok	vernatting
100 Natte heide en hoogveen	772	0.041	0.048	-0.140	-0.090	0.837	772	-0.018	0.070	0.016	-0.068	-0.195
101 Natte heide	515	-0.070	0.025	-0.083	-0.061	0.874	515	0.023	0.136	0.083	-0.089	0.124
102 Vochtige heide	250	0.220	0.180	-0.154	-0.113	-0.353	250	-0.069	-0.052	-0.112	-0.072	-0.979
103 Droge zure heide en graslanden	588	-0.219	0.265	0.252	-0.095	0.935	588	-0.039	-0.028	0.029	-0.035	-2.516
104 Droge zwakzure graslanden	139	-0.333	0.010	0.063	-0.001	-2.503	139	0.006	0.114	0.140	-0.029	6.600
105 Droge heide en graslanden	727	-0.239	0.189	0.200	-0.073	0.665	727	-0.011	-0.048	0.031	-0.040	-1.847
109 Heischrale graslanden	93	-0.148	-0.057	0.295	-0.206	1.995	93	-0.074	-0.797	0.158	0.337	3.209
110 Dijkhellingen, glanshaverhooilanden	308	-0.272	-0.104	-0.093	-0.031	-0.839	308	-0.391	0.456	0.094	-0.092	-2.352
113 Bronbossen	187	0.099	0.059	0.117	-0.126	0.453	187	0.379	0.309	0.015	-0.308	5.163
114 Droge arme bossen	185	0.461	-0.208	-0.043	-0.197	-1.164	185	0.039	0.255	0.311	0.190	-2.132
115 Vochtig bos	659	0.041	-0.223	-0.019	-0.239	0.786	659	-0.169	0.206	0.165	0.092	0.262
116 Voedselrijke ruigten en natte cultuurgraslanden	134	0.059	-0.484	-0.100	-0.021	-0.606	134	0.871	-1.319	-0.005	0.244	5.359
117 Korte beekdalvegetaties	607	-0.184	-0.220	0.019	-0.051	0.573	607	0.006	0.117	0.143	-0.388	-0.506

	WW-PO <sub>4</sub>					
	#	droogteschok voorgaand				
		1 jr	1+2-5 jr	2-5 jr	kouschok	vernatting
100 Natte heide en hoogveen	772	-0.018	0.007	0.009	0.013	-0.045
101 Natte heide	515	-0.005	-0.009	-0.003	0.005	-0.019
102 Vochtige heide	250	-0.037	0.031	0.031	0.023	-0.095
103 Droge zure heide en graslanden	588	0.051	-0.026	-0.036	0.014	-3.362
104 Droge zwakzure graslanden	139	0.077	0.117	0.028	-0.046	-4.240
105 Droge heide en graslanden	727	0.052	-0.011	-0.035	0.003	-3.618
109 Heischrale graslanden	93	0.014	-0.214	-0.043	0.017	1.624
110 Dijkhellingen, glanshaverhooilanden	308	0.096	0.085	0.037	-0.003	-2.106
113 Bronbossen	187	-0.051	-0.085	-0.084	-0.050	0.488
114 Droge arme bossen	185	-0.089	0.122	0.080	0.049	-3.472
115 Vochtig bos	659	0.084	0.030	0.025	0.022	0.041
116 Voedselrijke ruigten en natte cultuurgraslanden	134	-0.090	0.522	0.079	-0.212	0.125
117 Korte beekdalvegetaties	607	0.038	-0.027	-0.030	0.001	-0.001

Tabel 19 geeft de regressiecoëfficiënten voor de zuurindicaties weer. Volgens Ellenberg  $R_m$  en WW-pH-H<sub>2</sub>O is er geen effect van de droogte op enkele waarden. Bij ESTAR zijn er iets meer significante waarden aanwezig, maar de effecten zijn klein. Het geringe effect op de zuurgraad is in lijn met de paarsgewijze vergelijking.

Wezenlijk anders is de respons bij WW-Ca, waar er vele significante negatieve waarden wijzen op verzuring. Twee typen vertonen geen enkele significante respons op de droogteschokken: '103 Droge zure heide en graslanden' en '105 Droge heide en graslanden'. Deze typen indiceren overwegend al zure bodems en dus is het verklaarbaar dat hun gemiddelde zuurindicatie nauwelijks reageert op droogte. Er is nog wel een verzurend effect na twee droogteschokken bij '104 Droge zwak-zure graslanden' apart, een type dat op zwak-zure bodems duidt en waar enige daling dus wél mogelijk is. Het lijkt er dus op dat de droogteschok een negatief effect heeft op de indicator voor het calciumgehalte in de bodem: als er een droge periode is geweest in het recente verleden, dan daalt WW-Ca (geen enkele waarde stijgt). Ook bij de paarsgewijze vergelijking zien we een afname in WW-Ca, zij het dat die niet significant is.

Koude geeft ook nog drie negatieve waarden (voor '113 Bronbossen', '116 Voedselrijke ruigten en natte cultuurgraslanden' en '117 Korte beekvegetaties').

Opvallend is het grote verschil in respons tussen WW-Ca en WW-Mg. Droogte lijkt een negatief effect (verzuring) te hebben op WW-Mg van '109 Heischrale graslanden', '110 Dijkhellingen, glanshaverhooilanden' en '117 Korte beekdalvegetaties', maar een positief effect op '103 Droge zure heide en graslanden', '105 Droge heide en graslanden' en '115 Vochtig bos'.

Al met al zijn er in dit geval redelijke overeenkomsten met de paarsgewijze vergelijking.

**Tabel 19** Regressiecoëfficiënten voor Ellenberg  $R_m$ , ESTAR  $R_m$  en de WW-getallen pH-H<sub>2</sub>O, Ca en Mg.

Groen = significant stijgend effect (basischer); oranje = significant dalend effect (zuurder).

1 jaar = droogte voorafgaand jaar; 1 + 2-5 jaar = droogte in voorafgaand jaar en tevens 2-5 jaar geleden;

2-5 = droogte 2-5 jaar geleden.

	Ellenberg $R_m$						ESTAR $R_m$					
	droogteschok voorgaand						droogteschok voorgaand					
	#	1 jr	1+2-5 jr	2-5 jr	kouschok	vernatting	#	1 jr	1+2-5 jr	2-5 jr	kouschok	vernatting
100 Natte heide en hoogveen	743	0.0037	-0.0229	-0.0458	0.0405	0.0304	773	-0.002	0.033	0.009	0.004	-0.017
101 Natte heide	497	-0.0110	-0.0027	-0.0017	0.0179	0.1007	515	-0.004	0.016	0.004	0.001	0.021
102 Vochtige heide	241	0.0387	0.0061	-0.0779	0.0615	-0.4583	250	0.002	0.060	0.020	0.006	-0.139
103 Droge zure heide en graslanden	580	0.0432	-0.0380	0.0780	-0.0141	5.5985	592	0.019	-0.040	-0.008	0.000	-1.901
104 Droge zwakzure graslanden	136	0.0291	0.0777	-0.0013	0.1127	0.6397	140	0.050	0.014	0.014	-0.009	4.330
105 Droge heide en graslanden	716	0.0477	-0.0294	0.0578	0.0066	1.4885	732	0.023	-0.036	-0.004	-0.007	-0.004
109 Heischrale graslanden	89	-0.1011	-0.4140	-0.2008	0.0380	-0.5066	93	-0.013	-0.063	-0.069	0.039	-4.572
110 Dijkhellingen, glanshaverhoilanden	307	-0.0238	0.1378	-0.0320	-0.0930	3.3936	308	-0.002	0.023	0.023	-0.009	-2.216
113 Bronbossen	187	0.0771	-0.1617	-0.1673	-0.0527	-0.6246	187	0.016	-0.019	-0.026	-0.022	0.014
114 Droge arme bossen	168	-0.3102	-0.0242	0.1386	0.1182	1.4244	185	-0.059	0.020	0.003	0.030	0.187
115 Vochtig bos	634	-0.0423	0.0271	-0.0527	0.0206	-0.5727	663	-0.011	-0.008	0.001	0.004	-0.148
116 Voedselrijke ruigten en natte cultuurgraslanden	131	0.0480	0.0576	0.0626	0.0373	-0.5370	134	0.019	0.093	0.052	0.015	-0.026
117 Korte beekdalvegetaties	603	0.0901	0.0355	0.0130	-0.0436	-0.5772	607	0.001	0.018	-0.021	0.007	-0.156

	WW-pH H <sub>2</sub> O						WW-Ca					
	droogteschok voorgaand						droogteschok voorgaand					
	#	1 jr	1+2-5 jr	2-5 jr	kouschok	vernatting	#	1 jr	1+2-5 jr	2-5 jr	kouschok	vernatting
100 Natte heide en hoogveen	772	-0.018	-0.007	0.013	0.019	0.056	772	-37.254	-22.586	-39.701	-14.609	8.832
101 Natte heide	515	-0.010	-0.059	-0.028	0.002	-0.051	515	-33.924	-28.674	-43.988	-17.791	1.472
102 Vochtige heide	250	-0.058	0.079	0.070	0.044	-0.101	250	-29.136	-5.263	-27.299	-0.739	2.822
103 Droge zure heide en graslanden	588	0.045	-0.034	-0.025	0.024	-3.083	588	10.478	8.255	12.473	7.325	-0.706
104 Droge zwakzure graslanden	139	0.096	0.023	0.030	-0.064	-5.573	139	-14.047	-40.303	-18.798	-15.506	-0.834
105 Droge heide en graslanden	727	0.047	-0.030	-0.022	0.009	1.171	727	3.282	-15.273	4.064	-1.591	-3.151
109 Heischrale graslanden	93	0.018	-0.095	-0.026	0.015	1.285	93	-40.483	-47.642	-32.102	-21.063	2.575
110 Dijkhellingen, glanshaverhoilanden	308	0.032	0.023	0.036	-0.002	-0.448	308	-44.579	-46.808	-47.058	-18.371	1.094
113 Bronbossen	187	-0.003	-0.020	-0.044	0.014	0.262	187	-43.856	-8.480	-48.044	-34.833	4.103
114 Droge arme bossen	185	-0.139	0.132	0.116	0.057	-1.718	185	-44.522	1.677	5.949	5.168	-0.147
115 Vochtig bos	659	-0.018	0.053	-0.004	0.070	-0.033	659	-39.202	-36.674	-45.149	30.490	2.691
116 Voedselrijke ruigten en natte cultuurgraslanden	134	0.014	0.098	0.030	-0.023	0.106	134	-47.003	-39.266	-43.652	-44.591	0.848
117 Korte beekdalvegetaties	607	0.041	0.016	-0.012	-0.010	-0.138	607	-46.869	-48.632	-44.381	-31.964	9.521

	WW-Mg					
	droogteschok voorgaand					
	#	1 jr	1+2-5 jr	2-5 jr	kouschok	vernatting
100 Natte heide en hoogveen	772	-2.386	-1.789	-1.863	0.299	38.753
101 Natte heide	515	-2.048	-3.337	-3.757	-0.827	27.391
102 Vochtige heide	250	-0.440	1.985	-0.399	1.318	18.657
103 Droge zure heide en graslanden	588	1.025	3.328	4.614	1.037	0.197
104 Droge zwakzure graslanden	139	0.109	-4.400	-0.245	1.306	3.146
105 Droge heide en graslanden	727	0.793	2.042	3.900	0.784	-2.521
109 Heischrale graslanden	93	-3.747	-42.606	-4.315	-1.245	-1.191
110 Dijkhellingen, glanshaverhoilanden	308	-10.485	-7.841	-4.914	1.848	1.261
113 Bronbossen	187	-3.529	3.718	-5.997	-5.931	3.349
114 Droge arme bossen	185	-6.015	1.976	3.314	-0.960	-0.532
115 Vochtig bos	659	-0.701	-1.063	-1.521	3.732	14.284
116 Voedselrijke ruigten en natte cultuurgraslanden	134	-12.507	-28.728	-9.776	-18.352	8.106
117 Korte beekdalvegetaties	607	-5.356	-9.614	2.156	-3.304	27.606

### 3.3.2 Verandering in botanische waarden

De Gelderland-waarde en WZ-waarde (naar bedekking gewogen) geven overwegend een daling van de botanische waarde ten gevolge van de droogteschok aan (Tabel 20), wat overeenkomt met de resultaten van de paarsgewijze vergelijking.

Zowel droogte in het voorafgaande jaar als droogte in een jaar daarvoor hebben een significant negatief effect op vrijwel alle verzameltypen en het effect is het grootst bij de pq's die twee keer door droogte zijn getroffen (Tabel 20). Dat laatste is vooral duidelijk bij de Gelderland-waarde.

De Gelderland-waarde geeft meer significante effecten dan de gewogen WZ-waarde, wat komt doordat de schaal van de Gelderland-methode langer is, zodat waardeverschillen tussen vegetatieopnamen beter tot uitdrukking komen.

Net als bij de paarsgewijze vergelijking zijn in de regressieanalyse negatieve effecten te zien bij '100 Natte heide en hoogveen', '101 Natte heide' en bij '102 Vochtige heide', maar niet bij '116 Voedselrijke ruigten en natte cultuurgraslanden'. Daarnaast geeft de regressieanalyse negatieve effecten aan van droogte bij een aantal andere ecosystemen.

Koude lijkt een positief effect te hebben op de waarde van '117 Korte beekdalvegetaties'. Vernatting lijkt bij veel verzameltypen positief uit te pakken, maar de effecten zijn nooit significant. Dat kan komen doordat er erg weinig pq's met vernatting in het LMF voorhanden zijn.

**Tabel 20** Regressiecoëfficiënten voor de Gelderland-waarde en WZ bedekking. Groen = significante stijging waarde; oranje = significant daling waarde. 1 jaar = droogte voorafgaand jaar; 1 + 2-5 jaar = droogte in voorafgaand jaar en tevens 2-5 jaar geleden; 2-5 = droogte 2-5 jaar geleden.

	Gelderland						WZ-gewogen					
	droogteschok voorgaand						droogteschok voorgaand					
	#	1 jr	1+2-5 jr	2-5 jr	kouschok	vernatting	#	1 jr	1+2-5 jr	2-5 jr	kouschok	vernatting
100 Natte heide en hoogveen	773	-5.60	-17.77	-5.84	-3.78	24.14	773	3.02	-0.96	-1.19	3.77	24.60
101 Natte heide	515	-5.33	-21.93	-8.65	-6.94	6.74	515	2.87	3.63	6.11	7.13	22.28
102 Vochtige heide	250	-3.42	-13.74	-2.90	0.13	14.02	250	-4.13	-7.32	-12.25	-0.21	12.00
103 Droge zure heide en graslanden	592	-7.12	-17.32	-4.77	-2.82	-1.66	592	-20.18	-13.69	-6.01	-12.95	-1.25
104 Droge zwakzure graslanden	140	-7.62	-12.71	-8.72	6.30	3.59	140	1.72	1.53	-8.58	8.37	-1.57
105 Droge heide en graslanden	732	-6.63	-16.55	-4.66	-1.08	2.79	732	-16.14	-10.61	-5.91	-10.11	2.74
109 Heischrale graslanden	93	-0.12	-39.68	-10.34	14.99	0.28	93	-24.51	-29.01	-8.18	6.69	5.73
110 Dijkhellingen, glanshaverhooilanden	308	-2.43	2.78	2.67	3.14	-0.88	308	-12.99	8.02	-8.70	1.32	-6.97
113 Bronbossen	187	-12.49	-3.10	-7.99	2.78	5.58	187	-19.55	-1.19	-0.93	-5.72	7.27
114 Droge arme bossen	176	-1.81	-16.89	-6.90	0.94	-0.10	185	8.13	-29.67	5.05	-14.36	2.15
115 Vochtig bos	660	-1.11	-5.34	-0.58	1.52	13.15	663	-8.63	-3.27	-1.74	0.76	4.05
116 Voedselrijke ruigten en natte cultuurgraslanden	134	2.58	13.83	-6.70	3.25	18.01	134	6.21	12.83	2.66	-9.05	13.72
117 Korte beekdalvegetaties	607	-4.77	-6.81	-5.54	11.67	22.27	607	-4.85	1.96	-4.65	10.76	25.69

De resultaten voor soortenaantal en soortgroepen zijn niet verder uitgewerkt. Het is nodig om de regressiemodellen eerst beter te begrijpen en mogelijk aan te passen. Een tweede aandachtspunt is de verschillen tussen de paarsgewijze vergelijking en de regressievergelijkingen.

---

## 4 Hydrologische consequenties op basis van de LMF-resultaten

Aan de in het vorige hoofdstuk gepresenteerde resultaten zijn geen specifieke aanbevelingen te ontleen voor het waterbeheer van natuurgebieden die door extreme droogte zijn of dreigen te worden getroffen. Dat zou anders zijn geweest als de droogte-effecten zich specifiek zouden hebben geopenbaard in bepaalde ecosystemen: dan had aanbevolen kunnen worden juist daar de kwel te herstellen of juist daar te zorgen voor een betere buffering tegen de ontwaterende invloed van de omgeving.

Maar dit betekent dat de beoogde aanbevelingen voor waterbeheerders los zijn komen te staan van de LMF-analyse. Het betekent ook dat we aan de derde doelstelling van de studie (handelingsperspectief in beeld brengen) weinig handen en voeten kunnen geven. Niettemin kunnen op basis van vooral het eerdergenoemde droogteonderzoek Hogere Zandgronden (Van den Eertwegh et al., 2021) in algemene zin wel degelijk concrete aanbevelingen voor zulke gebieden worden geformuleerd, al zal de uitwerking daarvan op de specifieke locatie dienen te worden toegesneden. In bijlage 4 bespreken we die maatregelen en ook de mogelijkheden via hydrologische metingen om de gevolgen van droogte en maatregelen te monitoren.

Samengevat zijn de belangrijkste punten uit bijlage 4:

- In de afgelopen decennia zijn in natuurgebieden volop vernattingsmaatregelen uitgevoerd (maar nieuwe zijn misschien mogelijk; zie Figuur 8), maatregelen liggen nu vooral buiten natuurgebieden.
- Herstel van verdroogde natuur stukt vaak doordat in de omgeving te veel is ontwaterd en leeggepompt voor de drinkwatervoorziening, industrie en beregening van de landbouw (Witte et al., 2020c).
- De effectiefste manier om droogteschade aan de natuur maar ook aan landbouw te voorkomen, is in veel gevallen het voorjaar ingaan met een hoog peil in de watergangen. Die maatregel dient dan niet alleen te worden doorgevoerd in de watergangen van het waterschap, maar overal, tot in de haarvaten van het watersysteem.
- Tevens dienen beperkingen te worden gesteld aan het oppompen van grondwater door drinkwaterbedrijven, industrie en landbouw. Vooral voor kwelafhankelijke vegetaties en bovenlopen van beken is dit van belang.
- Bufferzones met een hoog oppervlaktewaterpeil en een beregeningsverbod kunnen effectieve vernattingsmaatregelen zijn. Bij kwelafhankelijke vegetaties dienen die bufferzones breed genoeg te zijn om ervoor te zorgen dat de kwel niet wordt weggedrukt naar de ontwaterde omgeving.
- Er is een gebrek aan hydrologische gegevens: metingen in peilbuizen in en rond natuurgebieden, afvoermetingen, bodemvochtmetingen, registratie van vernattingsmaatregelen. Dit gebrek bemoeilijkt niet alleen de interpretatie van de LMF-gegevens, maar ook een afgewogen waterbeleid en waterbeheer.



**Figuur 8** Ter bestrijding van de verdroging is op landgoed 't Medler een beek dichtgeschoven en een laagte gecreëerd waar vee op kan grazen en die alleen functioneert als afwateringsmiddel bij hevige neerslag.

---

# 5 Discussie

## 5.1 Bespreking resultaten

### 5.1.1 Veranderingen in de vegetatie door de droogte van 2018-2020

Verwacht kan worden dat extreme droogte invloed heeft op de beschikbaarheid van vocht, zuurstof en nutriënten en op de zuurgraad van de bovenste bodemlaag waarin planten wortelen. Volgens dit inzicht zou deze invloed zich moeten manifesteren in veranderingen in de opnamegemiddelde indicatiewaarde van de vegetatie voor vocht, voedselrijkdom en zuurgraad. We gebruikten verschillende indicatiewaardesystemen om deze veranderingen op te sporen: de ordinale getallen van Ellenberg en ESTAR en de fysisch-chemische kardinale getallen van Wieger Wamelink (WW). Verder gebruikten we twee analysemethoden: de paarsgewijze vergelijking van jaren vóór en na de droge jaren 2018-2020 en een regressieanalyse.

Bij alle drie de systemen daalden volgens de paarsgewijze vergelijking in 2018-2020 de opnamegemiddelde indicatiewaarden voor vocht licht (met 1.3-1.9%) maar wel significant ( $p < 0.01$ ), wat duidt op drogere omstandigheden: soorten die de voorkeur hebben voor een natte of vochtige bodem gingen iets meer achteruit dan soorten van droge bodems. De respons van gemiddelde indicatiewaarden voor voedselrijkdom bleek minder eenduidig. WW-PO<sub>4</sub> steeg significant ( $p < 0.05$ ), met 5.1%, terwijl de andere indicatiewaarden juist een lichte daling van de voedselrijkdom lieten zien, waarvan alleen de grootste daling, die van ESTAR (2.1%), significant was ( $p < 0.05$ ). De veranderingen van de zuurindicaties bleken zeer gering en nooit significant.

De resultaten van de regressieanalyse kwamen daar deels mee overeen, maar waren deels ook onlogisch. Wij schrijven dat toe aan tekortkomingen van het gebruikte regressiemodel (zie voor uitleg § 5.2.3). Deze tekortkomingen dienen in de volgende fase van het onderzoek (voorzien in 2026) te worden opgeheven.

Bij zorgen om het verlies van biodiversiteit richt het beleid zich vooral op soorten en ecosystemen die zeldzaam zijn, die zeldzamer dreigen te worden en die kenmerkend zijn voor een zeldzaam of bedreigd milieu. Hoe meer waardevolle soorten (dus zeldzame, bedreigde, kenmerkende soorten) in een vegetatieopname, des te hoger de botanische waarde van die opname. Via een aantal methoden hebben we die botanische waardering voor alle vegetatieopnamen in het LMF gekwantificeerd. De paarsgewijze vergelijking liet zien dat de droge jaren 2018-2020 zich duidelijk manifesteerden in de botanische waarde van de vegetatie: die daalde significant ( $p < 0.01$ ) met 4 tot 20%, afhankelijk van de waarderingsmethode. De extreme droogte leidde tot een verlies van zowel algemene als zeldzame soorten. Omdat algemene soorten doorgaans kenmerkend zijn voor voedselrijke milieus en omdat ze per definitie in veel opnamen voorkomen, is dat mogelijk een verklaring voor de door ESTAR gesignaleerde daling van de voedselrijkdom.

Dat opnamegemiddelde indicatiewaarden kort na de droge jaren 2018-2020 nauwelijks tot niet veranderden, is verklaarbaar: het opnamegemiddelde wordt berekend uit een breuk en als daarvan de teller en de noemer in ongeveer gelijke mate veranderen, blijft de uitkomst van de breuk vrijwel ongewijzigd. Dus: ook als de helft van de soorten bij wijze van spreken uit een pq verdwijnt, hoeft dat nog geen invloed te hebben op het opnamegemiddelde. Dat is anders bij de botanische waardering: die wordt berekend uit het aantal en de waarde van de soorten in een opname.

Soorten met kortere wortels gingen meer achteruit in bedekking dan soorten met langere wortels. Grassen gingen significant ( $p < 0.05$ ) in presentie achteruit (-3.4%) en kruiden significant ( $p < 0.05$ ) in bedekking (+6.8%). Zowel de presentie als de bedekking van pioniersoorten (kruiden) nam met ruim 5% toe, wat – hoewel deze verandering niet significant is – een aanwijzing is dat deze soorten (zoals gerapporteerd door terreinbeheerders (Witte et al., 2020b)) de opengevallen plekken van de grassen en kruiden innamen.



---

Bij bijna alle ecosysteemtypen gingen er meer kenmerkende soorten in bedekking achteruit dan vooruit, maar de verschillen zijn alleen significant bij soorten van '100 Natte heide en hoogveen', '101 Natte heide', '102 Vochtige heide' en '116 Voedselrijke ruigten en natte cultuurgraslanden'. '104 Droge zwak-zure graslanden' en '110 Dijkhellingen, glanshaverhooilanden' (beide grondwateronafhankelijk; de zuurbuffering komt uit het substraat) tonen als uitzondering een vooruitgang in 2018-2020 en ook al is dit resultaat niet significant, het is wel in overeenstemming met de hiervoor vermelde bevindingen van beheerders dat in dit soort drogere milieus door de afname van soorten als Gestreepte witbol open plekken ontstonden waarin pioniersoorten konden kiemen. Langere meetreeksen zouden kunnen aangeven dat de verschillen uiteindelijk wel significant zijn, maar ook dat de bedekking van grassen, waarvan de meeste soorten een groot regeneratievermogen hebben, weer snel toeneemt in normale jaren.

De resultaten van de regressieanalyse kwamen hiermee goed overeen. Bovendien gaven die aan dat de meeste onderzochte ecosysteemtypen significant in botanische waarde afnamen na droogte. Ook kon daarmee worden aangetoond dat de effecten van droogte sterker zijn als er zowel droogte in een voorafgaand jaar plaatsvindt als in een of meerdere jaren in de 2-5 jaar daarvoor.

### 5.1.2 Vergelijking met het droge jaar 2003

Om te achterhalen hoe robuust de conclusies over 2018-2020 zijn, onderzochten we ook de gevolgen van het zeer droge jaar 2003. In 2004 bleek er een lichte daling in de vochtindicatiewaarde te zijn opgetreden, maar alleen bij WW was die daling significant; de voedselindicatie bleek bij zowel Ellenberg als ESTAR significant te zijn gedaald, terwijl de WW-getallen geen eenduidig beeld gaven. Opmerkelijk is dat 2004 juist geen tot een flinke stijging van de botanische waarde liet zien, die alleen bij NZ-bedekking significant was ( $p < 0.05$ ).

Al met al zijn de uitkomsten voor het droge jaar 2003 minder eenduidig. Komt dat doordat het – anders dan 2018-2020 – niet gaat om drie droge jaren op een rij? Dat blijkt niet het geval te zijn: de droogte van het droge jaar 2018 was al na een jaar zichtbaar in de vegetatie (Witte, 2021), terwijl de opnamen uit 2004 een wisselend signaal van het voorgaande jaar lieten zien. Het verschil in respons kan dus waarschijnlijk worden toegeschreven aan de intensiteit van de droogte, hoewel de droogte in het jaar daarna ook een rol kan hebben gespeeld: 2018 was een stuk droger (en dus ook heter) dan 2003 (gemiddelde  $T_{C1jan}$ -waarde respectievelijk 342 en 214 mm), maar ook was 2019 veel droger dan 2004 (respectievelijk 280 en 99 mm). Vooralsnog hebben we in onze studie aangenomen dat een droogteschok pas optreedt bij  $T_{C1jan}$ -waarden boven 300 mm. Deze waarde willen we nog niet beschouwen als een algemene drempelwaarde voor onontkoombare natuurschade, waar de begeleidingsgroep van ons onderzoek om vroeg: voordat we over een drempelwaarde een uitspraak doen willen we eerst onze analysemethoden verbeteren en aanvullen met nieuwe gegevens.

### 5.1.3 De betekenis van indicatiewaarden voor de standplaats

Voor het berekenen van de effecten van omgevingsveranderingen op de vegetatie worden vaak computermodellen gebruikt, zoals de Waterwijzer Natuur, DEMNAT en NTM. Veel van die modellen maken gebruik van ordinale indicatiewaarden. Om de verandering in bijvoorbeeld pH of grondwaterstand te vertalen naar die indicatiewaarden, moeten de relaties van die indicatiewaarden met harde veldmetingen bekend zijn, bijvoorbeeld de relatie tussen de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand (GVG) en vochtindicatie  $F_m$ , of de relatie tussen de bodem-pH en de zuurindicatie van de vegetatie  $R_m$ . Die relaties hebben een bepaalde onzekerheid, wat betekent dat met iedere vertaalslag ruis in de uitkomsten sluipt. Een potentieel voordeel van de WW-getallen is dat je daarmee een vertaling naar een fysische of chemische grootheid vermijdt; de getallen zijn immers direct uitgedrukt in grootheden als de GVG en pH. Het vermijden van deze ruis is in de analyse van het LMF echter niet van belang, want die richt zich alleen op vegetatieveranderingen en ordinale getallen volstaan ook daarvoor.

De soortensamenstelling van de vegetatie drukt uit hoe planten zijn aangepast aan hun standplaats. Hoelang die aanpassing duurt, is onbekend en dit verschilt ongetwijfeld per soort en de lokale omstandigheden, maar in ieder geval is de vegetatie niet de reflectie van de gebeurtenis van een dag, week of maand eerder. De WW-waarden daarentegen zijn gebaseerd op metingen waarvan de resultaten in meer of mindere mate

---

afhangen van het moment waarop die worden uitgevoerd. Dat geldt in het bijzonder voor WW-vocht (percentage vocht in de bodem) en WW-NO<sub>3</sub>. De indicaties voor voedselrijkdom zijn bovendien gevoelig voor de mate van waterverzadiging: PO<sub>4</sub> bindt zich goed aan ijzer in drogere omstandigheden, voor NH<sub>4</sub> zijn natte omstandigheden bevorderlijk en natte zuurstofarme omstandigheden leiden tot denitrificatie, dus minder NO<sub>3</sub>. Daar komt bij dat tijdens de monsternamen en bodemchemische analyse concentraties kunnen veranderen, we verwachten vooral van NO<sub>3</sub> en NH<sub>4</sub>. De zuurindicaties WW-pH-H<sub>2</sub>O, -Ca en -Mg worden gebufferd door het adsorptiecomplex van de bodem en zijn mede daardoor minder gevoelig voor vochtvariaties. Al met al wordt met alle veldmetingen en bodemanalyses ook ruis geïntroduceerd. Hoe groot die ruis is, weten we niet en nader onderzoek hiernaar lijkt ons dan ook gewenst.

De drie WW-getallen voor voedselrijkdom (PO<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub> en NH<sub>4</sub>) gaven soms een ogenschijnlijk tegenstrijdige respons op de droogte. Naar de voedselrijkdom van de bodem in relatie tot natuurlijke vegetaties is veel onderzoek gedaan, waarbij niet altijd duidelijk was wat eronder werd verstaan (Fujita et al., 2013): gaat het om de werkelijke beschikbaarheid van nutriënten (die o.a. afhangt van bodemvochtigheid en bodemtemperatuur), de potentiële beschikbaarheid (in organische bodems vaak hoog, maar grotendeels niet bereikbaar voor de plant) of om de mogelijkheid van de vegetatie om de nutriënten ook op te nemen (is beperkt in een zeer droge bodem)? De verhouding tussen nutriënten speelt bovendien een rol: de bodem kan bijvoorbeeld zeer rijk zijn aan N, maar als er nauwelijks P aanwezig is, wordt de groei beperkt door dit element.

Omdat de indicatiewaarden voor zuurgraad (WW-pH-H<sub>2</sub>O, -Ca en -Mg) wel een eenduidige respons vertonen en gestuurd worden door het bodemadsorptiecomplex, denken we daar meer betekenis aan te kunnen hechten. Maar toch moeten we voorzichtig zijn met het trekken van conclusies op basis van deze indicatiegetallen, evenals we terughoudend dienen te zijn bij de interpretatie van de Ellenberg- en ESTAR-indicatiewaarden. Op de Hogere Zandgronden is bijvoorbeeld veruit de belangrijkste bron van calcium het grondwater, zeker als dat in de vorm van kwelwater het natuurgebied bereikt. Verlaging van de grondwaterstand door extreme droogte kan dan minder calciumaanrijking betekenen, maar het kan ook zijn dat soorten door vochtgebrek wegvallen en dat juist die soorten calciumindicatoren zijn: gaan soorten dan achteruit door verzuring of door fysiologische verdroging? Hetzelfde geldt voor de gesignaleerde toename van WW-PO<sub>4</sub> na de droogte van 2018-2020: fosfaat bindt zich goed aan ijzercomplexen als de bodem droog is, en komt daaruit bij vernatting vrij. Is de toename van WW-PO<sub>4</sub> daarom een gevolg van meer fosfaatminnende soorten of van het wegvallen van soorten van natte en vochtige milieus? Het is de moeite waard de correlaties tussen de verschillende indicatiegetallen te analyseren, niet alleen die van WW, maar ook die van ESTAR en Ellenberg, want daarvan zijn schijnrelaties net zo goed denkbaar.

#### 5.1.4 Consequenties van de LMF-analyse voor het waterbeheer

De analyse heeft nogmaals bevestigd dat het met name de natte, voedselarme ecosystemen zijn zoals hoogvenen en natte heiden en vochtige heiden die last hebben gehad van de droogte. Waterbeheersmaatregelen om deze te beschermen, zijn de aanleg van hydrologische bufferzones, het vasthouden van water door hogere peilen aan het begin van het groeiseizoen, het reduceren van grondwateronttrekkingen door drinkwaterbedrijven, industrie en landbouw of het aanpassen van het landgebruik. Vernattingsmaatregelen lijken positief op de botanische waarde van de vegetatie uit te pakken (dus op het aantal en de bedekking van zeldzame, bedreigde en/of kenmerkende soorten), maar het effect van deze maatregelen is door het gebrek aan pq's die zijn vernat niet significant aantoonbaar.

#### 5.1.5 Evaluatie doelstellingen onderzoek

De gevolgen van de droogte van de afgelopen jaren voor de terrestrische natuur op de Hogere Zandgronden van Nederland zijn in deze studie in beeld gebracht, waarmee de eerste doelstelling van het onderzoek is bereikt. Op basis van dit onderzoek menen we dat gevolgen van droogte in de natuur vooral kan worden gemonitord aan de hand van de botanische natuurwaarde, waarmee invulling is gegeven aan de tweede doelstelling. De resultaten van de LMF-analyse geven onvoldoende aanleiding specifieke aanbevelingen te doen ter voorkoming van droogteschade aan de natuur, zodat de derde doelstelling niet is gehaald. Maar de resultaten laten wel diverse mogelijkheden tot verbeteringen van de analyse toe, waardoor beter inzicht ontstaat in de gevolgen van droogte, de manier waarop die het best kan worden gemonitord, en mogelijk ook in de maatregelen die per type ecosysteem het best kunnen worden toegepast.

---

## 5.2 Aanbevelingen voor vervolgonderzoek

### 5.2.1 Inzicht in de betekenis van de standplaatsindicatiewaarden

Droogte leidt via de standplaats tot veranderingen in de vegetatie en in de daarvan afgeleide indicatiewaarden. Het samenspel tussen de verschillende indicatiewaarden begrijpen we nog onvoldoende: is er bijvoorbeeld werkelijk sprake van een toename van  $WW-PO_4$  en een afname van  $ESTAR-N_m$ , of zijn deze indicatiegetallen zodanig sterk gecorreleerd met de vochtindicatie van de vegetatie dat droogte vooral daarop effect heeft? Om tot een juiste interpretatie te komen, bevelen we aan het onderzoek uit te breiden met  $pq$ 's uit het OBN-onderzoek waaraan voor, tijdens en na 2018-2020 fysische en chemische veldmetingen zijn verricht.

### 5.2.2 Een nieuwe WW-maat voor voedselrijkdom

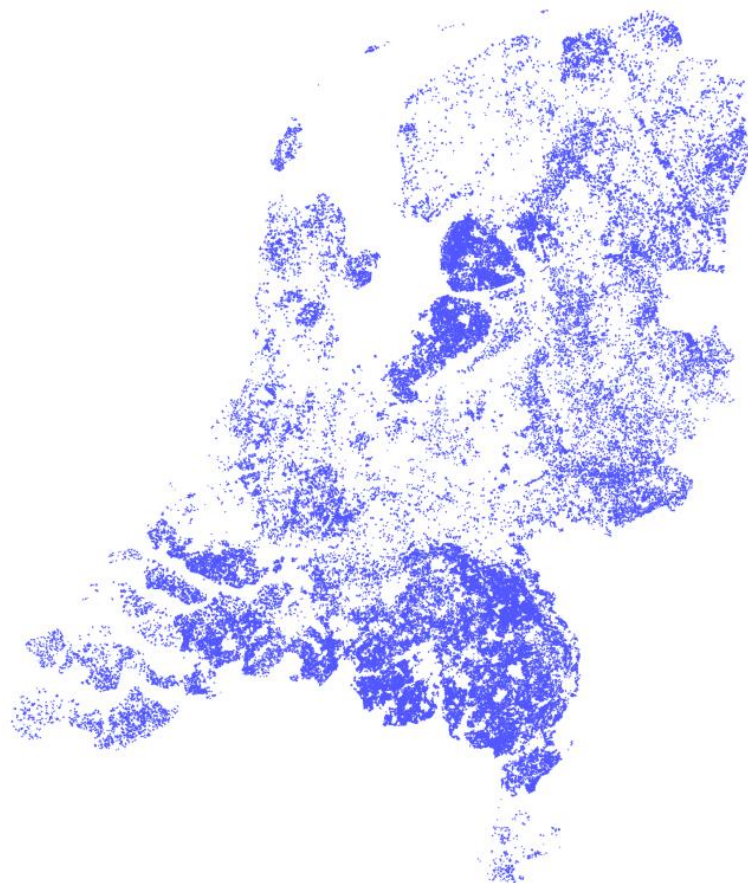
De WW-indicatiewaarden voor voedselrijkdom, voor  $PO_4$ ,  $NH_4$  en  $NO_3$ , gaven soms schijnbaar tegenstrijdige resultaten. En daar waar Ellenberg en ESTAR één maat hebben voor voedselrijkdom, geeft WW een hele range aan meetbare voedselrijkdomsindicatoren, waarvan er in dit onderzoek drie zijn gebruikt. Dat maakt de vergelijking tussen de drie methoden lastiger. Koerselman & Meuleman (1996) vonden dat N limiterend is voor de biomassa-productie van natuurlijke vegetaties bij een N:P-ratio  $< 14$ , en dat bij P limiterend is bij een N:P-ratio  $> 16$ . Wij stellen daarom voor om drie WW-waarden te combineren tot één maat (namelijk:  $\min(15P, N)$ ), waarbij  $P = P-PO_4$  en  $N = N-NO_3 + N-NH_4$ ) en daarvoor nieuwe WW-getallen te berekenen die we vervolgens in de LMF-analyse opnemen.

### 5.2.3 Verbetering van de regressieanalyse

De resultaten van de regressieanalyse sporen goed met die van de paarsgewijze vergelijking als het gaat om botanische waarden. Maar bij de resultaten over de indicaties voor vocht en voedselrijkdom is er frequent tegenspraak en zijn de uitkomsten van de regressieanalyse ook niet altijd logisch. De onverwachte resultaten komen waarschijnlijk door tekortkomingen van het gebruikte regressiemodel. Het is echter geen complex model en simulatiedata leveren wel correcte schattingen op. De droogtejaren in de analyse vallen voornamelijk aan het einde van de geanalyseerde tijdreeks, namelijk in 2018-2020. Daardoor kan een eventuele langetermijntrend, bijvoorbeeld door het langzaam dichtgroeien van terreinen, lastig zijn te onderscheiden van de effecten van de recente droge jaren. Aanpassingen van het model door de langjarige trend anders te formuleren, kunnen dat mogelijk nog verhelpen, zodat de uitkomsten beter matchen met die uit de paarsgewijze vergelijking.

Een andere aanpassing is een lagere drempelwaarde dan  $T_{C1jan} = 300$  mm te hanteren, want er zijn meldingen van veldmedewerkers over verdroogde vegetaties in 2018-2020 bij  $pq$ 's met  $T_{C1jan} < 300$  mm. Bovendien vonden wij in deze studie ook significante afnamen van de botanische waarde in opnamen met een lagere droogtegraad (§ 3.1.2). Een andere oplossing is de droogtemaat als continue variabele op te nemen in de regressieanalyse, mogelijk na deze eerst zodanig te hebben getransformeerd dat het droogte-effect meer dan evenredig toeneemt met  $T_{C1jan}$  (met beregeningsgift van boeren is er bijvoorbeeld sprake van een kwadratisch verband, zie Figuur 4).

Ook meer informatie over vernattingsmaatregelen kan tot betere uitkomsten leiden. Verder kunnen we aan de analyse nog geografische informatie toevoegen die zou kunnen verklaren waardoor droogte in het ene gebied meer effecten veroorzaakt dan in het andere gebied. Te denken valt aan de dichtstbijzijnde afstand van iedere  $pq$  tot de grens van het natuurgebied of de afstand tot beregeningsinstallaties. De verwachting is dat het droogte-effect kleiner is naarmate die afstanden groter zijn: de vegetatie aan de rand van een natuurgebied heeft immers meer last van een ontwaterde omgeving en beregening zorgt voor een extra verlaging van de grondwaterstand en verergert dus de gevolgen van extreme droogte. Voor het meenemen van de berekening zou gebruikgemaakt kunnen worden van een recentelijk ontwikkelde kaart (Figuur 9) met een classificatie van percelen die in 2018 waarschijnlijk werden beregend (Terink et al., 2023a).



**Figuur 9** In 2018 beregende percelen (Terink et al., 2023a).

#### 5.2.4 Verbetering van de botanische waardering

De Gelderland-waarde liet de duidelijkste en consistentste effecten zien. Dat komt doordat deze maat rekening houdt met het aantal soorten en het waardeverschil tussen soorten, zoals dat wordt beoordeeld door natuurbeschermers en zoals ook is vastgelegd in de natuurwetgeving en in de beoordeling van beheerprestaties door de overheid (zie de kwalificerende florasorten van natuurtypen op de website van BIJ12).<sup>4</sup> Tegelijkertijd is de Gelderland-waarde niet erg transparant en ingewikkeld en daardoor internationaal lastig uitlegbaar. Ook de manier waarop de bedekking van soorten wordt meegewogen, is aanvechtbaar. Het is wetenschappelijk eleganter om een nieuwe maat te ontwikkelen die het waardeverschil tussen soorten eveneens meeneemt, maar eenvoudiger is.

We hebben in onze analyse de som van zeldzaamheidswaarden ( $WZ = \sum [10-KFK]$ ) als maat meegenomen, omdat dat in de eerdere studie (Witte, 2021) ook was gedaan en omdat deze maat bekend is van het ecohydrologische model WAFLO (Gremmen et al., 1990). Maar bij de bespreking van deze maat in § 2.3.3 gaven we al onze bedenkingen:  $WZ$  houdt onvoldoende rekening met het gevoelsmatige waardeverschil tussen soorten van verschillende KFK-classes: klokjesgentiaan (KFK6) heeft in de berekening bijvoorbeeld een waarde die slechts vier keer hoger is dan die van kroppaar (KFK9) (want  $10-6=4$ ,  $10-9=1$ ). Ook aan het aantal zeldzame soorten  $NZ$  kleeft een bezwaar: deze maat negeert alle soorten met KFK8 en KFK9 (waaronder bijvoorbeeld Dotterbloem, Echte koekoeksbloem en Waterviolier vallen) en gooit alle andere soorten op één hoop.

We zouden daarom in een volgende analyse de zeldzaamheidswaarde van soorten op een kardinale schaal willen meenemen: waar een soort met een waarde 2 dus inderdaad twee keer zoveel waard is als een soort met waarde 1. Voor het berekenen van een dergelijke maat bestaat een methode, opgenomen in het model DEMNAT voor het waarderen van ecosysteemtypen, maar is ook toepasbaar op het niveau van plantensoorten (Witte, 1996); zie bijlage 5.

<sup>4</sup> <https://www.bij12.nl/onderwerp/natuursubsidies/index-natuur-en-landschap/natuurtypen/>.

---

### 5.2.5 Het gebruik van remotesensingbeelden

In de begeleidingscommissie van ons onderzoek werd gewezen op het gebruik van remotesensingbeelden voor het detecteren van droogteverschijnselen in de natuur. Remote sensing is eerder ingezet voor het detecteren van standplaatsfactoren (o.a. Roelofsen et al., 2015; Roelofsen et al., 2013; Schmidlein, 2005), maar ook voor het in beeld brengen van droogteschade aan Europese bossen door de droogte van 2018 (Buras et al., 2020; Schuldt et al., 2020) en voor het droogvallen van vennen in Nederland (paragraaf 3.7 en bijlage 8.2.7 in Van den Eertwegh et al., 2021).

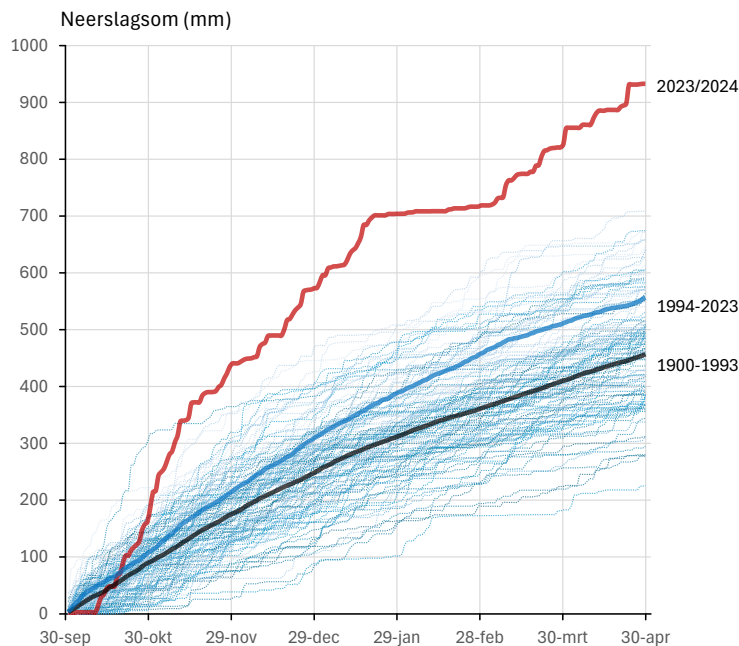
Het is zeker de moeite waard de bruikbaarheid van remotesensingbeelden verder te verkennen, al moeten we erbij vermelden dat we geen eenvoudige analyses verwachten. Sterfte aan bomen en het droogvallen van vennen zijn goed te zien vanuit de lucht, maar veranderingen in natte terrestrische vegetaties zullen lastiger zijn waar te nemen, omdat ze afhankelijk zijn van het type ecosysteem. Door bijvoorbeeld verdroging van blauwgrasland op een organische bodem zal de mineralisatie omhooggaan, wat zich uit in een verruiging van de vegetatie. Het beeld kan dan een groenere vegetatie zijn (die mogelijk meer verdampt), en dus niet een vegetatie die er door extreme droogte juist minder groen gaat uitzien (niet alleen te verwachten bij bossen, maar bijvoorbeeld ook bij vochtige en droge heideterreinen).

Dit onderzoek vraagt om een apart project.

### 5.2.6 Rekening houden met wisselvallig weer

Na de extreem droge jaren 2018, 2019, 2020 en 2022 zijn we in de nazomer van 2023 beland in een periode van extreem veel regenval (Figuur 10). Op basis van meer dan 100 jaar aan neerslagmetingen heeft zoveel regen in bijvoorbeeld een halfjaar tijd een kans op voorkomen van minder dan eens in de 1000 jaar, blijkt uit een analyse van verschillende meteorologische stations (Van den Eertwegh & Witte, 2024). Dat gaat consequenties hebben voor de vegetatie: soorten als bijvoorbeeld Klokjesgentiaan die tijdens de droge jaren zijn gemigreerd naar lagergelegen plekken, kunnen na die waterovervloed weer zijn verzopen. Het effect van deze grote wisselvalligheid in het weer maakt het heel lastig toekomstige veranderingen in de vegetatie toe te schrijven aan droogte.

We menen daarom dat het nodig is het onderzoek uit te breiden, waarbij wij bijvoorbeeld denken aan een jaarlijkse weermaat die zowel een negatieve als positieve waarde kan aannemen, naargelang het groeiseizoen droger dan wel natter is dan normaal. Ook valt te denken aan het berekenen van een responstijd van de vegetatie, net zoals hydrologen de respons van de grondwaterstand statistisch weten te beschrijven als functie van neerslag en verdamping. We denken dat zo'n integrale benadering noodzakelijk is om werkelijk te begrijpen hoe de vegetatie reageert op het weer, ook van het toekomstige klimaat.



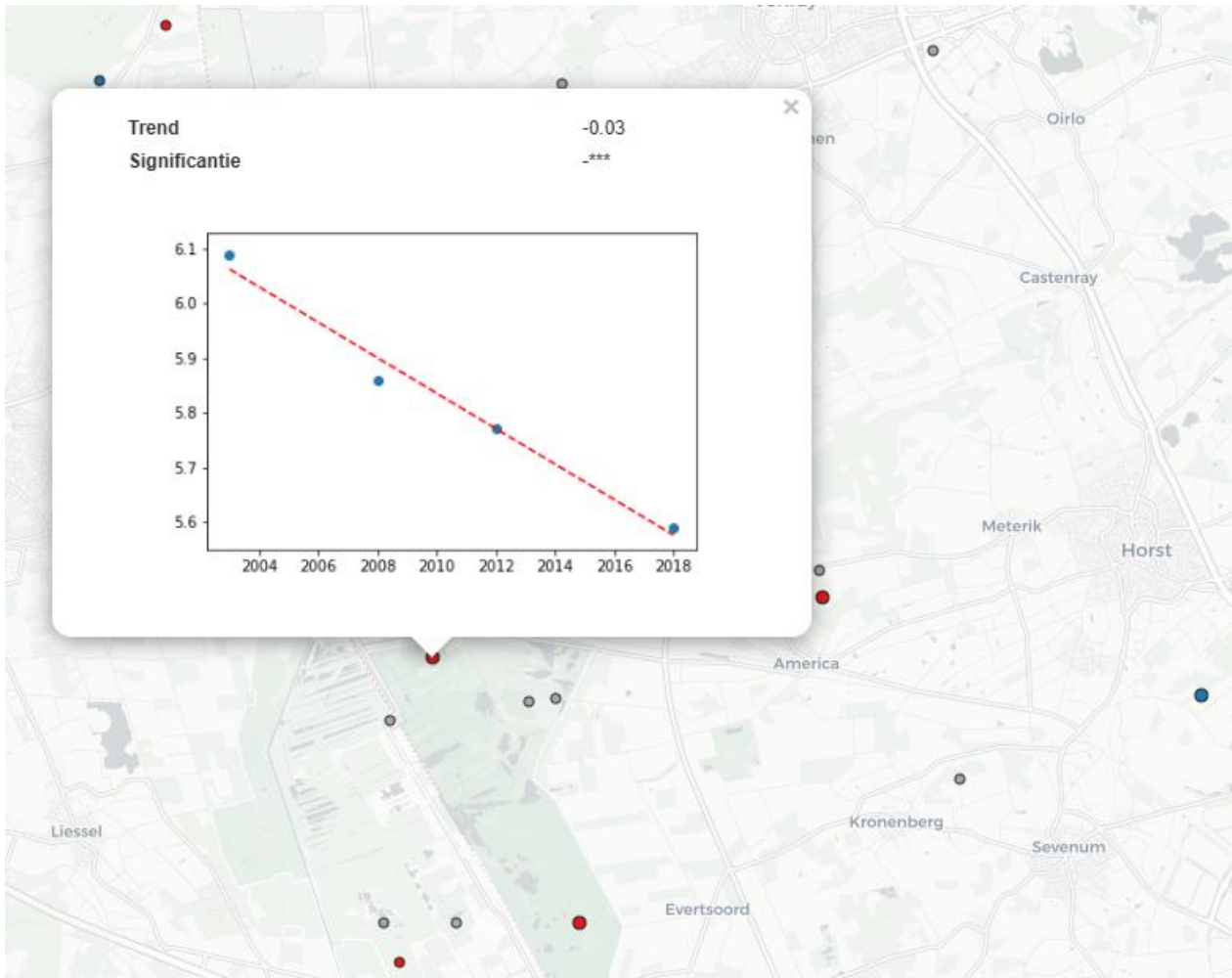
**Figuur 10** Cumulatieve neerslag vanaf 1 oktober tot en met 30 april voor 123 jaar aan neerslagmetingen op meteorologisch station Overveen (Van den Eertwegh & Witte, 2024). Andere stations in Nederland laten een vergelijkbaar beeld zien: 2023-2024 was extreem.

### 5.2.7 Hydrologische registraties en metingen

Een goede registratie van alle onttrekkingen en antiverdrogingsmaatregelen ontbreekt vaak, terwijl die noodzakelijk is om veranderingen in de vegetatie goed te kunnen verklaren en de effectiviteit van het waterbeheer ten behoeve van de natuur te kunnen beoordelen (bijlage 4). Bovendien zijn grondwaterstandmetingen pal naast pq's van groot belang voor de interpretatie van waargenomen veranderingen in de vegetatie.

### 5.2.8 Kennisoverdracht

Om het begrip en de bruikbaarheid van dit onderzoek te verbeteren, kunnen de resultaten beschikbaar worden gesteld op een website, bijvoorbeeld op [www.droogteportaal.nl](http://www.droogteportaal.nl), zie Figuur 11. De bezoeker kan dan bijvoorbeeld een pq aanklikken en dan een tijdreeks gepresenteerd krijgen van indicatiewaarde of botanische waarde. Een dergelijke ontsluiting van de resultaten kan leiden tot meer inzicht in de ontwikkeling van een specifiek terrein, wat van belang kan zijn voor de lokale terreinbeheerder en waterbeheerder.



**Figuur 11** In de eerste analyse van het LMF-bestand zijn indicatiewaarden en botanische waarden van de pq's op een interactieve kaart van het droogteportaal gezet.<sup>5</sup> Na aanklikken van een pq op deze kaart verschijnt een tijdreeks van de 'waarnemingen', met daarbij de trend en het significantieniveau. In deze figuur als voorbeeld de verandering van de vochtindicatie van een pq. Verbeteringen en uitbreiding van de kaart met nieuwe vegetatieopnamen zou een manier zijn om de resultaten van dit onderzoek te verspreiden.

<sup>5</sup> <https://droogteportaal.nl/fase-1.html#12/51.4346/5.9227>.

---

# 6 Conclusies en aanbevelingen

## 6.1 Conclusies

1. Een zeer droge periode heeft niet alleen gevolgen voor de beschikbaarheid van vocht en zuurstof voor planten, maar ook voor de beschikbaarheid van nutriënten en de bodemzuurgraad. Die veranderingen uiteten zich in de soortensamenstelling van de vegetatie en daarmee in de gemiddelde indicatiewaarden van de aanwezige plantensoorten voor respectievelijk vocht, voedselrijkdom en zuurgraad.
2. De droge jaren 2018-2020 hebben volgens alle drie de in dit onderzoek gebruikte indicatiesystemen (die van Ellenberg, ESTAR, en Wieger Wamelink (WW)) geleid tot een geringe (1.3-1.9%), maar significante daling van de gemiddelde vochtindicatie van de vegetatie. Soorten met een voorkeur voor natte en vochtige bodems gingen dus iets meer in presentie en bedekking achteruit dan soorten van droge bodems.
3. De respons op 2018-2020 van gemiddelde indicatiewaarden voor voedselrijkdom bleek minder eenduidig en veranderingen van de zuurindicaties bleken zeer gering en telkens niet significant.
4. Het duidelijkst was het effect van 2018-2020 op de botanische waarde van de vegetatie, wat wil zeggen dat zeldzame, bedreigde en kenmerkende plantensoorten achteruitgingen: de waarde daalde gemiddeld significant met 4 tot 20%, afhankelijk van de waarderingsmethode.
5. Een aanvullende regressieanalyse bevestigde de afname van de botanische waarde in vrijwel alle onderzochte ecosysteemtypen, waarbij twee of meer droogtejaren kort na elkaar de grootste afname lieten zien.
6. Dat opnamegemiddelde indicatiewaarden kort na de droge jaren 2018-2020 nauwelijks tot niet veranderden, is verklaarbaar: het opnamegemiddelde wordt berekend uit een breuk en als daarvan de teller en de noemer in ongeveer in gelijke mate veranderen, blijft de uitkomst van de breuk vrijwel ongewijzigd. Dat is anders dan bij de botanische waardering, die wordt berekend uit het aantal en de waarde van de soorten in een opname.
7. De reactie van extreme droogte onderscheiden naar soorten en ecosystemen:
  - a. Zowel algemene als zeldzame soorten gingen gemiddeld achteruit.
  - b. Soorten met kortere wortels gingen meer achteruit in bedekking dan soorten met langere wortels.
  - c. Grassen gingen significant in presentie achteruit, en kruiden significant in bedekking.
  - d. Bij bijna alle ecosysteemtypen gingen er meer kenmerkende soorten in bedekking achteruit dan vooruit, maar de verschillen zijn alleen significant bij 'Natte heide en hoogveen', 'Natte heide', 'Vochtige heide' en 'Voedselrijke ruigten en natte cultuurgraslanden'.
  - e. 'Droge zwak-zure graslanden' en 'Dijkhellingen, glanshaverhooilanden' (beide grondwateronafhankelijk) toonden een vooruitgang in botanische waarde en ook al is dit resultaat niet significant, het is wel in overeenstemming met de bevindingen van beheerders dat in dit soort drogere milieus door de afname van soorten als Gestreepte witbol open plekken ontstonden waarin pioniersoorten konden kiemen.
8. De respons van standplaatsindicaties en botanische waarden op de droogte van 2003 (die minder intens was dan die van 2018-2020 en die werd gevuld door een nat 2004) was minder eenduidig.
9. Doordat 2022 ook een zeer droog jaar was, konden er in deze studie geen uitspraken worden gedaan over het herstel van de vegetatie na extreme droogte.
10. Om de natuurschade van extreem droge jaren te voorkomen, zijn vernattingsmaatregelen nodig die grotendeels buiten het natuurgebied genomen liggen, zoals het instellen van bufferzones met een waterpeil en een verbod op grondwateronttrekkingen.



---

## 6.2 Aanbevelingen

1. **LMF-analyse.** Verschillende verbeteringen van de LMF-analyse zijn mogelijk, waarvan de belangrijkste zijn:
  - a. Verdiep het inzicht in de respons van indicatiewaarden op droogte door een vergelijking met veldmetingen.
  - b. Combineer de drie WW-getallen voor voedselrijkdom ( $PO_4$ ,  $NO_3$ ,  $NH_4$ ) tot één maat.
  - c. Verbeter de regressieanalyse.
  - d. Pas de botanische waarderingsmaat van vegetatieopnamen zodanig aan, dat die maat beter de botanische waarde weerspiegelt.
  - e. Breid de onderzoeksvraag uit om rekening te houden met de grote hoeveelheid neerslag die na de zomer van 2023 is gevallen, waardoor het vrijwel onmogelijk is geworden de effecten daarvan te onderscheiden van die van extreem droge jaren.
2. **Kennisoverdracht.** Zet de resultaten van de pq's op een interactieve kaart.
3. **Hydrologische kennisinwinning.** Verbeter de hydrologische informatie over natuurgebieden (verantwoordelijke: LVVN, provincies, TBO's):
  - a. Breid de metingen in en in de nabije omgeving van grondwaterafhankelijke natuurgebieden uit (grondwaterstand, stijghoogte in het onderliggende watervoerende pakket, afvoer van beken). Plaats vooral peilbuizen vlak bij pq's.
  - b. Verbeter de registratie van alle maatregelen die in en rond natuurgebieden worden uitgevoerd, in het bijzonder van hydrologische maatregelen.

---

# Literatuur

- Bakke, S. J., Ionita, M., & Tallaksen, L. M., 2023, Recent European drying and its link to prevailing large-scale atmospheric patterns: *Scientific Reports*, v. 13, no. 1, p. 21921.
- Balvanera, P., Pfaff, A., Viña, A., Garcia Frapolli, E., Hussain, S. A., Merino, L., Minang, P. A., Nagabhatla, N., & Sidorovich, A., 2019, Chapter 2.1 Status and trends—drivers of change: The global assessment report on biodiversity and ecosystem services. Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform for Biodiversity and Ecosystem Services. Bonn, Germany: IPBES.
- Brondízio, E. S., Settele, J., Diaz, S., & Ngo, H. T., 2019, Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services.
- Buras, A., Rammig, A., & Zang, C. S., 2020, Quantifying impacts of the 2018 drought on European ecosystems in comparison to 2003: *Biogeosciences*, v. 17, no. 6, p. 1655-1672.
- CBS, 2003, BioBase Register biodiversiteit, in CBS, ed.: Voorburg/Heerlen.
- CBS & IPO, 2019, Handleiding voor het Landelijk Meetnet Flora - Milieu- en Natuurkwaliteit. Herziene uitgave 2019: Centraal Bureau voor de Statistiek & Interprovinciale Werkgroep voor Inventarisatie en Monitoring van Natuur en Landschap (IAWM) Subwerkgroep Flora en Vegetatie.
- De Louw, P., Pouwels, J., Witte, J. P. M., & van den Eertwegh, G. A. P. H., 2022, Effecten van beregning uit grondwater op het watersysteem tijdens de droogte van 2018: *H2O*, v. 2022, no. 5, p. 46-47.
- De Louw, P. G. B., Schoonderwoerd, E., Witte, J. P. M., Jalink, M., Aggenbach, C., Van Deijl, D., & Van den Eertwegh, G. A. P. H., 2025, Doelgerichte hydrologische ingrepen voor de Nederlandse natuur door een toekomstbestendig ingericht en beheerd watersysteem. OBN-rapport natuur zandgronden.
- Deltares, KNMI, & RWS, 2023, Implications of the KNMI 2023 scenarios for the discharge of Rhine and Meuse.
- Duistermaat, H., Sparrius, L., & Denters, T., 2021, Standaardlijst van de Nederlandse flora 2020: *Gorteria Dutch Botanical Archives*, v. 43, no. 1, p. 109-156.
- Ellenberg, H., 1992, Zeigerwerte der Gefäßpflanzen (ohne *Rubus*), in Ellenberg, H., Weber, H. E., Düll, R., Wirth, V., Werner, W., & Paulißen, D., eds., *Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa*, Volume 3.
- Fujita, Y., Van Bodegom, P. M., & Witte, J.-P. M., 2013, Relationships between Nutrient-Related Plant Traits and Combinations of Soil N and P Fertility Measures: *PLoS ONE*, v. 8, no. 12, p. e83735.
- Gremmen, N. J. M., Reijnen, M. J. S. M., Wiertz, J., & Van Wirdum, G., 1990, A model to predict and assess the effects of groundwater withdrawal on the vegetation in the Pleistocene areas of the Netherlands: *Journal of environmental management*, v. 31, p. 143-155.
- Hennekens, S. M., & Schaminée, J., 2001, TURBOVEG, a comprehensive data base management system for vegetation data: *Journal of Vegetation Science*, p. 589-591.
- Hertog, A. J., & Rijken, M., 1992, Geautomatiseerde bepaling van natuurbehoudswaarde in vegetatie-opnamen.: Provincie Gelderland.
- IPO, & UvW, 2021, Overzicht grondwateronttrekkingen provincies en waterschappen.
- Käfer, J., & Witte, J. P. M., 2004, Cover-weighted averaging of indicator values in vegetation analyses: *Journal of Vegetation Science*, v. 15, no. 5, p. 647-652.
- KNMI, 2023, KNMI'23 klimaatscenario's voor Nederland: KNMI, KNMI-publicatie 23-03.
- Koerselman, W., & Meuleman, A. F. M., 1996, The vegetation N: P ratio: a new tool to detect the nature of nutrient limitation: *Journal of applied Ecology*, p. 1441-1450.
- Kröel-Dulay, G., Ransijn, J., Schmidt, I. K., Beier, C., De Angelis, P., De Dato, G., Dukes, J. S., Emmett, B., Estiarte, M., & Garadnai, J., 2015, Increased sensitivity to climate change in disturbed ecosystems: *Nature communications*, v. 6, no. 1, p. 6682.
- Monincx, S. V. d. W., F., Willems, G., Van der Scheer, J., Van den Eertwegh, G. A. P. H., Terink, W., Hoogewerf, S., Veldstra, R., & Van Dijk, B., 2024, Verkenning Klimaatrobuster Vechtstroomgebied. Over klimaat, consequenties en keuzes: Waterschap Vechtstromen, Land-iD & KnowH2O.
- Parmesan, C., Morecroft, M. D., Trisurat, Y., Adrian, R., Zakaria Anshari, G., Arneth, A., Gao, Q., Gonzalez, P., Harris, R., & Price, J., 2023, Terrestrial and freshwater ecosystems and their services.

- 
- Philip, S. Y., Kew, S. F., Van der Wiel, K., Wanders, N., & Van Oldenborgh, G. J., 2020, Regional differentiation in climate change induced drought trends in the Netherlands: *Environmental Research Letters*, v. 15, no. 9, p. 094081.
- Plummer, M., 2009, JAGS Version 1.0. 3 manual: URL: [http://www.ice.iarc.fr/~martyn/software/jags/jags\\_user\\_manual.pdf](http://www.ice.iarc.fr/~martyn/software/jags/jags_user_manual.pdf).
- R Core Team, 2013, R: A language and environment for statistical computing: Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Roelofsen, H. D., van Bodegom, P. M., Kooistra, L., van Amerongen, J. J., & Witte, J.-P. M., 2015, An evaluation of remote sensing derived soil pH and average spring groundwater table for ecological assessments: *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v. 43, p. 149-159.
- Roelofsen, H. D., Van Bodegom, P. M., Kooistra, L., & Witte, J. P. M., 2013, Trait Estimation in Herbaceous Plant Assemblages from in situ Canopy Spectra: *Remote Sensing*, v. 5, no. 12, p. 6323-6345.
- Runhaar, J., Groen, C. L. G., Van der Meijden, R., & Stevers, R. A. M., 1987, Een nieuwe indeling in ecologische groepen binnen de Nederlandse flora: *Gorteria*, v. 13, p. 277-359.
- Runhaar, J., Maas, C., Meuleman, A. F. M., & Zonneveld, L. M. L., 2000, Herstel van natte en vochtige ecosystemen: RIZA, 9036952808.
- Runhaar, J., & Van't Zelfde, M., 2003, Bepaling ecotooptype en toetsing indeling in ecologische soortengroepen van vegetaties.
- Runhaar, J., van Landuyt, W., Groen, C. L. G., Weeda, E. J., & Verloove, F., 2004, Herziening van de indeling in ecologische soortengroepen voor Nederland en Vlaanderen: *Gorteria*, v. 30, p. 12-26.
- Schmidtlein, S., 2005, Imaging spectroscopy as a tool for mapping Ellenberg indicator values: *Journal of Applied Ecology*, v. 42, p. 966-974.
- Schuldt, B., Buras, A., Arend, M., Vitasse, Y., Beierkuhnlein, C., Damm, A., Gharun, M., Grams, T. E., Hauck, M., & Hajek, P., 2020, A first assessment of the impact of the extreme 2018 summer drought on Central European forests: *Basic and Applied Ecology*, v. 45, p. 86-103.
- Sluijter, R., Plieger, M., Van Oldenborgh, G. J., Beermsa, J., & De Vries, H., 2018, De droogte van 2018. Een analyse op basis van het potentiële neerslagtekort: KNMI, 117162.
- Spek, T., 2021, Aanbeveling 10 beleidstafel droogte. Rapportage grondwateronttrekkingen en kwetsbare grondwaterafhankelijke natuurgebieden in Hoog Nederland.
- Stevens, R. A. M., Runhaar, J., Udo de Haes, H. A., & Groen, C. L. G., 1987, Het CML-ecotopensysteem, een landelijke ecosysteemtypologie toegespitst op de vegetatie: *Landschap* v. 4, p. 135-149.
- Stolte, J., Hack-ten Broeke, M. J. D., & Veldhuizen, A. A., 1998, Effect van de teelt van verschillende voedergrassen zonder beregening op de regionale waterhuishouding in het Beerze-Reusel gebied: DLO-Staring Centrum.
- Tamis, W. L. M., & van 't Zelfde, M., 2003, KFK, een nieuwe zeldzaamheidsschaal voor de Nederlandse flora: *Gorteria*, v. 29, p. 57-83.
- Terink, W., Van Deijl, D., Van den Eertwegh, G., Wonink, S., & Brombacher, J., 2023a, Een nieuwe kaart van potentieel beregende percelen in 2018 voor toepassing binnen het NHI. Combinatie van bestaande informatie en kennis ter realisatie van een nieuwe en gevalideerde kaart: KnowH2O & eLeaf.
- Terink, W., Van Deijl, D., & Van den Eertwegh, G. A. P. H., 2023b, Monitoring beregening in regio Natura-2000 gebied Regte Heide & Riels Laag. Beregening in land- en tuinbouw – kaartbeeld 2022: KnowH2O.
- Van Asseldonk, M., Stokkers, R., Jager, J., & Van der Meer, R., 2021, Economische schade landbouw als gevolg van droogte in 2018 en 2019: WUR, Wageningen Economic Research.
- Van den Eertwegh, G., Bartholomeus, R., De Louw, P., Witte, J. P. M., Van Dam, J. C., Van Deijl, D., Hoefsloot, P., Van Huijgevoort, M., De Wit, J., Clevers, C., & Hunink, J., 2019, Droogte in zandgebieden van Zuid-, Midden- en Oost-Nederland. Rapportage Fase 1: ontwikkeling van uniforme werkwijze voor analyse van droogte en tussentijdse bevindingen: KnowH2O, KWR, WUR, HSS, FWE.
- Van den Eertwegh, G., De Louw, P., Witte, J. P. M., Van Huijgevoort, M., Bartholomeus, R., Van Deijl, D., Van Dam, J. C., Hunink, J., America, I., Pouwels, J., Hoefsloot, P., & De Wit, J., 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.
- Van den Eertwegh, G. A. P. H., & Witte, J. P. M., 2024, Grondwateroverlast in de Gemeente Bloemendaal: Verkenning oorzaken en formulering vragen voor vervolgonderzoek: KnowH2O & FWE.
- Van den Eertwegh, G. A. P. H., Witte, J. P. M., & De Louw, P., 2022, Droogte in de zandgebieden van Hoog-Nederland. Wie is er na de droogte van 2018 aan zet?: *Water Governance*, v. 2022, no. 1, p. 54-57.

- Van der Schaaf, S., 1998, Balanceren tussen kwel en wegzijging; hydrologisch beheer bij het herstel van soortenrijke natte graslanden: *Landschap*, v. 15, p. 87-98.
- Van Dorland, R., Beersma, J., Bessembinder, J., Bloemendaal, N., Van den Brink, H., Brotons Blanes, H., Drijfhout, S., Groenland, R., Haarsma, R., & Homan, C., 2023, KNMI national climate scenarios 2023 for The Netherlands: KNMI.
- Van Loon, A. F., 2015, Hydrological drought explained: *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, v. 2, no. 4, p. 359-392.
- Vos, C., Grashof-Bokdam, C., Stremke, S., Oudes, D., Reidsma, P., Schaap, B., Bakker, M., Dijk, v. J., & Witte, F., 2014, Factsheet rapport adaptatiemaatregelen, Care 2014, thema 3: klimaatbestendig maken van het platteland.
- Wamelink, G. W. W., Goedhart, P. W., Van Dobben, H. F., & Berendse, F., 2005, Plant species as predictors of soil pH: Replacing expert judgement with measurements: *Journal of Vegetation Science*, v. 16, p. 461-470.
- Wamelink, G. W. W., & Kurvers, K., 2022 (preprint), The Netherlands may lose up to 40% of its plant species due to climate change: Available at Research Square.
- Wamelink, G. W. W., & Van Adrichem, M. H. C., 2011, Eindrapport project ecologische condities: Wageningen, Alterra Wageningen UR.
- Wamelink, G. W. W., Van Adrichem, M. H. C., Van Dobben, H. F., Frissel, J. Y., Den Held, M. E., Joosten, V., Malinowska, A. H., Slim, P. A., & Wegman, R. M. A., 2012, Vegetation relevés and soil measurements in the Netherlands: the Ecological Conditions Database (EC): *Biodiversity & Ecology*, v. 4, no. 17, p. 125-132.
- Warren, R., VanDerWal, J., Price, J., Welbergen, J. A., Atkinson, I., Ramirez-Villegas, J., Osborn, T. J., Jarvis, A., Shoo, L. P., & Williams, S. E., 2013, Quantifying the benefit of early climate change mitigation in avoiding biodiversity loss: *Nature Climate Change*, v. 3, no. 7, p. 678-682.
- Witte, J. P. M., 1996, De waarde van natuur. Zeldzaamheid en de botanische waardering van gebieden: *Landschap*, jrg, v. 13, p. 79-95.
- Witte, J. P. M., 2021, Gevolgen van de droogte van 2018 voor de vegetatie van natuurgebieden op de Hogere Zandgronden van Nederland, afgeleid van het Landelijk Meetnet Flora: FWE.
- Witte, J. P. M., Bartholomeus, R. P., Cirkel, D. G., Doomernik, E., Fujita, Y., & Runhaar, J., 2014, Manual and description of ESTAR, version 01; A software tool to analyse vegetation plots: KWR Watercycle Research Institute.
- Witte, J. P. M., De Louw, P., Van Ek, R., Bartholomeus, R. P., Van den Eertwegh, G. A. P. H., Gilissen, H. K., Van Rijswijk, H. F. M. W., Beugelink, G. P., Ruijtenberg, R. J., & Van der Kooij, W., 2020a, Aanpak droogte vraagt transformatie waterbeheer: *Water Governance*, no. 3, p. 120-131.
- Witte, J. P. M., & Runhaar, J., 2000, Planten als indicatoren voor water: *Stromingen*, v. 6, no. 1, p. 5-21.
- Witte, J. P. M., Runhaar, J., Van Ek, R., Van der Hoek, D. C. J., Bartholomeus, R. P., Batelaan, O., Van Bodegom, P. M., Wassen, M. J., & Van der Zee, S. E. A. T. M., 2012, An ecohydrological sketch of climate change impacts on water and natural ecosystems for the Netherlands: bridging the gap between science and society: *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, v. 16, no. 11, p. 3945-3957.
- Witte, J. P. M., & Strasser, T., 2010, Geautomatiseerde waardering van vegetatieopnamen en vegetatietypen. Beschrijving computerprogramma ASTER en vergelijking van waarderingsmethoden: KWR Watercycle Research Institute.
- Witte, J. P. M., Strasser, T., & Slings, R., 2011, Kwantitatieve vegetatiewaardering beperkt bruikbaar *Landschap*, v. 28, no. 2, p. 56-66.
- Witte, J. P. M., & Torfs, P. J. J. F., 2024, Meteorologische droogte zonder groeiseizoen: *Stromingen*, v. 31, no. 2, p. 47-52.
- Witte, J. P. M., Van Deijl, D., & Van den Eertwegh, G. A. P. H., 2020b, 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.
- Witte, J. P. M., Van den Eertwegh, G. A. P. H., & Van Deijl, D., 2023, Met graan meer grondwater: *Water Governance*, no. 1, p. 48-57.
- Witte, J. P. M., Van Ek, R., Runhaar, J., & Van den Eertwegh, G. A. P. H., 2020c, Verdroging van de Nederlandse natuur: bijna een halve eeuw goed onderzoek en falende politiek: *Stromingen*, v. 26, no. 2, p. 65-79.
- Witte, J. P. M., Wójcik, R. B., Torfs, P. J. J. F., De Haan, M. W. H., & Hennekens, S., 2007, Bayesian classification of vegetation types with Gaussian mixture density fitting to indicator values: *J. Veg. Sci.*, v. 18, p. 605-612.

# Bijlage 1 Selectie pq's en vegetatieopnamen

Onderstaande tabel geeft weer hoe stapsgewijs een selectie van pq's en opnamen is gemaakt die geschikt is voor de analyse van droogte-effecten.

Stap	Filtering	Pq's	Opnamen
	LMF-data 1999-2023 heel Nederland	16354	76915
		Pq's resterend	Opnamen resterend
1	Verstoorde pq's niet meegenomen	15670	67299
2	Problematische opnamen niet meegenomen	15623	65085
3	Alleen pq's in natuurterreinen meegenomen	10474	43646
4	Alleen pq's Hogere Zandgronden meegenomen	4608	19017
5	Alleen bepaalde ecotooptypen meegenomen	3646	14919
6	Data 2018 en 2023 niet meegenomen	3568	13324
7	Eenmalig onderzochte pq's niet meegenomen	2761	12522

## Toelichting

Stap 1. Een aantal pq's is in de loop van de tijd ernstig verstoord door grondwerkzaamheden, rijschade, betreding, verwaarlozing en dergelijke. Verder zijn in veel pq's natuurherstelwerkzaamheden uitgevoerd, zoals plaggen of opzetten van het waterpeil. Veldmedewerkers hebben zulke verstoringen vaak gemeld, zie bijlage 2. Het plaggen van pq's is ook systematisch gecheckt aan de hand van reeksen van luchtfoto's. Alle opnamen met dergelijke verstoringen zijn weggefilterd. Dat wil zeggen dat alle opnamen na verstoring zijn weggelaten, maar de opnamen vóór die verstoring niet. Pq's waarvan het waterpeil is opgezet, zijn echter juist wel meegenomen in de analyse.

Stap 2. Bij een aanzienlijk aantal opnamen meldde de veldmedewerker problemen om een goede opname te maken, zoals "net gemaaid", of "opname staat onder water". Die opnamen zijn weggelaten.

Stap 3. Alleen pq's in natuurterreinen zijn meegenomen en geen pq's in het landelijk gebied. Daarmee zijn onder meer pq's in bermen, slootkanten, sloten, akkerland en kunstweiden weggelaten. Ook zijn naaldbossen weggelaten vanwege het onnatuurlijke karakter ervan en kapvlakten vanwege de overheersende invloed van het kappen. Pq's met wateropnamen zijn eveneens weggelaten, omdat wateren weinig zijn bemonsterd in het LMF. Wel zijn de pq's die als vennen zijn geclassificeerd meegenomen, omdat die in de praktijk de oeverzone van het ven betreffen. Zie verder Tabel 2 voor een overzicht van niet meegenomen inventarisatie-eenheden.

Stap 4. Alleen pq's zijn meegenomen op de Hogere Zandgronden (Figuur 1).

Stap 5. Er is alleen een selectie van ecotooptypen onderzocht (zie Tabel 6 met de onderzochte verzameltypen). Deze stap geldt alleen voor de regressieanalyse; bij de paarsgewijze vergelijkingen zijn de pq's van alle ecotooptypen meegenomen.

Stap 6. In de regressieanalyse zijn 2018 en 2023 niet meegenomen. In de paarsgewijze analyse zijn nog veel meer jaren niet meegenomen, omdat alleen jaren voor en na droge jaren zijn geselecteerd. Zie de tekst voor de selectie van jaren bij de paarsgewijze vergelijkingen.

Stap 7. Eenmalig onderzochte pq's zijn weggelaten in de regressieanalyse en vanzelfsprekend ook bij de paarsgewijze vergelijkingen.

---

## Bijlage 2 Verstoringscodes in het LMF

*Verstoringscodes (overgenomen uit LMF-handleiding; CBS (2019)).*

---

w1 = Grote permanente daling grondwater  
w2 = Grote permanente stijging grondwater  
w3 = Begreppeld  
w4 = Greppels gedempt  
w5 = Onder water gestaan (afwijkende van de normale situatie)  
w6 = Drooggevallen (afwijkend van normale situatie)  
g1 = Afgegraven (> 10 cm van toplaag verwijderd)  
g2 = Afgeplagd (< 10 cm van toplaag verwijderd)  
g3 = Groot onderhoud sloot (herprofilering)  
g4 = Grond geroerd  
g5 = Grond opgebracht  
g6 = Ondergestoven  
g7 = (Vrij) diepe insporing door berijding  
g8 = (Vrij) sterke betreding  
v1 = Slootmateriaal gedeponneerd  
v2 = Vuilstort etc.  
v3 = Maaien zonder afvoer of klepelen of (vrij) veel maaisel blijven liggen  
v4 = (Vrij) veel hout of snoeihout blijven liggen  
v5 = (Vrij) veel mest of bladval gedeponneerd  
k1 = Strooisellaag verwijderd  
k2 = Stormschade  
k3 = Dunning  
k4 = Kap  
k5 = Brand  
k6 = Opslag verwijderd of struiken afgezet  
p1 = Bomen, struiken gepland  
p2 = Geheel ingezaaid of inzaai van soorten  
b1 = Begrazing beëindigd  
b2 = Begrazing gestart  
b3 = Maaibeheer beëindigd  
b4 = Maaibeheer gestart  
b5 = Bemesting gestart  
b6 = Bemesting beëindigd  
b7 = Bestrijdingsmiddelen gebruikt  
o1 = Overige verstoring (omschrijving in opmerkingenveld invullen)  
x1 = Net gemaaid  
x2 = Net geschoond  
x3 = Net begraasd

---

---

## Bijlage 3 Bepalen ecotooptype van opnamen

Voor het classificeren van vegetatieopnamen naar ecotooptypen bestaat software (Runhaar & Van't Zelfde, 2003). Omdat wij geen ervaring hebben met deze software en het ons niet lukte de FORTRAN-programmacode te compileren, hebben wij de classificatie uitgevoerd door eerst met ESTAR (Witte et al., 2014) per opname het aandeel van verschillende functionele soortengroepen te bepalen (zoals voor de factor vochttoestand: 'aquatisch', 'nat', 'vochtig', 'droog'). Vervolgens is op basis van die aandelen besloten tot welk standplaatstype een opname behoort. Bestaat een opname bijvoorbeeld overwegend uit soorten van natte, voedselarme en zwak-zure bodems, dan is die opname ingedeeld bij standplaatstype 22. Met TURBOVEG (Hennekens & Schaminée, 2001) zijn opnamen ook ingedeeld in planten-sociologische vegetatietypen. Op basis daarvan en het standplaatstype is de zogenaamde ecotoopgroep bepaald. Dat is een samenvoeging van ecotooptypen met eenzelfde vegetatiestructuur ( $K = P + G + R$ ,  $H$ ,  $A = V + W$ ). Is een opname bijvoorbeeld toegekend aan '08BC04 Associatie van Noordse zegge', dan is het duidelijk dat het om een korte vegetatie gaat (K). In combinatie met standplaatstype 22 leidt dat dan tot ecotoopgroep K22 (omvattende de ecotooptypen P22 en G22).

Als de opname niet duidelijk kon worden toebedeeld aan een van de standplaatsfactoren (maximale aandeel van een van de standplaatsfactoren minder dan 35% of aandeel soorten met een zuurindicatie minder dan 50%), dan werd deze buiten beschouwing gelaten. Ook opnamen van brakke en natte standplaatsen werden buiten de analyse gelaten, evenals opnamen waarvoor bij gebrek aan indicatorsoorten geen gemiddelde indicatiewaarde kon worden berekend.

---

# Bijlage 4 Hydrologische gevolgen van en maatregelen tegen droogteschade

Aan de resultaten van de LMF-analyse die tot nu toe is uitgevoerd, zijn geen specifieke aanbevelingen te ontleen voor het waterbeheer van natuurgebieden die door extreme droogte zijn of dreigen te worden getroffen. Dat betekent dat de beoogde aanbevelingen voor waterbeheerders los zijn komen te staan van die analyse. Niettemin kunnen in algemene zin wel degelijk concrete aanbevelingen voor zulke gebieden worden geformuleerd, al zal de uitwerking daarvan op de specifieke locatie dienen te worden toegesneden. In deze bijlage bespreken we die maatregelen en ook de mogelijkheden om via hydrologische metingen de gevolgen van droogte en maatregelen te monitoren.

## **Van droog weer naar droogte in 2018, 2019 en 2020**

Bijgaand kader geeft drie begrippen die verschillend van aard en omvang zijn en die op verschillende manieren ingrijpen op de natuur. Bij de verdroging van natuurgebieden gaat het onder andere om de structurele verlaging van de grondwaterstand, ongeacht de weersgesteldheid. Schade door verdroging ontstaat vooral in langere perioden met droog weer, als er sprake is van droogte. De problematiek en toestand van verdroogde natuurgebieden in Nederland is onder andere beschreven door Witte et al. (2020c).

- **Droog weer** is een combinatie van een periode zonder regenval én een aanhoudende hoge verdamping. Droog weer leidt niet altijd tot droogte.
- **Droogte** ontstaat als het langer dan gemiddeld niet regent en/of de verdamping zo intens is dat normale hydrologische patronen verstoord raken. De bodem droogt uit, grondwater daalt en beken en rivieren komen laag of droog te staan. Droogte is dus een situatie die sterk afwijkt van de normale situatie.
- **Verdroging** is een door menselijk handelen veroorzaakte structurele daling van de grondwaterstand in combinatie met de structurele vermindering van kwelhoeveelheden in grondwaterafhankelijke natuur. Verdroging leidt tot structurele schade aan de natuur, vooral tijdens droogte.

Zowel bovengronds (neerslagtekort; bodem- en oppervlaktewater) als ondergronds (grondwater; onttrekkingen) werd het in 2018 en 2019 droger en droger in het bodem-watersysteem van het zandgebied van Nederland (Van den Eertwegh et al., 2021). De voortplanting van de meteorologische droogte in de verschillende componenten van het systeem (bodemvocht in wortelzone, grondwater, afvoer) is afhankelijk van gebiedskarakteristieken. Deze bepalen de reactiesnelheid van het hydrologische systeem en de mate en snelheid van hydrologisch herstel bij een neerslagoverschot.

In de afgelopen droge jaren bleken de ontwatering en afwatering door het watersysteem onvoldoende ingesteld op droog weer. In natte wintermaanden werd het neerslagoverschot namelijk afgevoerd en onvoldoende vastgehouden als buffer voor eventueel daaropvolgende tijden met een neerslagtekort. Daardoor was er onvoldoende grondwater beschikbaar om perioden van droog weer te overbruggen en zo droogte te voorkomen. Ingrepen vonden in de afgelopen droge jaren ad hoc en te laat plaats, waardoor ze nauwelijks effect sorteerden (Van den Eertwegh et al., 2021). Wateraanvoer vond daar waar mogelijk plaats voor de lokale watervoorziening en met name voor de watervoerendheid van anders droogvallende beeksystemen.

Qua watergebruik waren de onttrekkingen uit het grondwater voor drinkwater, maar met name die voor beregening van landbouwgewassen groter dan normaal en daardoor versterkten ze de gevolgen van droog weer voor landbouw en natuur, juist tijdens het groeiseizoen (De Louw et al., 2022). Onttrekkingen uit het oppervlaktewater werden regionaal verboden, aan grondwateronttrekkingen voor beregening werden geen beperkingen opgelegd. Voor de beregening werden extra (variabele) kosten gemaakt. De land- en tuinbouwgebieden in het zandgebied hadden dus last van de droogte, met name omdat daardoor de drogestofopbrengst van gewassen daalde. Maar door de hogere marktprijzen waren de droogtejaren voor het



---

inkomen van de meeste boeren juist gunstig (Van Asseldonk et al., 2021). Dat betekent dat er weliswaar door de droogte lagere drogestofopbrengsten waren (gewasschade), maar de marktprijzen per eenheid van product deze lagere opbrengst meer dan compenseerden (meer economische opbrengst). De gewasschade bleek ook uit berekeningen ten aanzien van de transpiratiereductie en de vegetatie-indices, afgeleid uit remotesensingbeelden. Met name de gebieden in het oosten en noordoosten van Nederland hadden last.

### **Maatregelen tegen droogteschade aan de natuur**

Ad-hoc-ingrepen in het waterbeheer vlak vóór of tijdens droog weer hadden en hebben volgens onderzoek van Van den Eertwegh et al. (2021) zeer beperkt zin, behalve het verbieden van de onttrekking van grond- en oppervlaktewater. Dat verbod moet dan wel worden nageleefd en waar nodig afgedwongen door een goede controle. Om effecten van droogte op landbouw, natuur en het watersysteem te reduceren, zijn structurele maatregelen nodig, tot in de haarvaten van het watersysteem. Deze haarvaten worden door landeigenaren beheerd op basis van juridische kaders die in de 'Legger Watersysteem' van waterschappen staan: ten eerste dient de invloed van onttrekkingen van grondwater voor industrie- en drinkwater en beregening in de land- en tuinbouw te worden teruggedrongen; ten tweede kunnen goed beheerde bufferzones rondom natte natuurgebieden bijdragen aan het herstel van verdroogde habitats.

Over praktische maatregelen om droogteschade aan de natuur te voorkomen en die te herstellen, is al geschreven door bijvoorbeeld Runhaar et al. (2000), Vos et al. (2014) en Witte et al. (2020a). Recentelijk kwantificeerden Van den Eertwegh e.a. (2021) de effectiviteit van verschillende maatregelen. Zij lieten zien dat de huidige inrichting en het beheer van ons zoetwatersysteem, in combinatie met het gebruik van grond- en oppervlaktewater, niet in staat zijn om de effecten van een meteorologische droogte – veroorzaakt door weinig neerslag samen met een hoge verdampingsvraag – op het grondwatersysteem en de watervoerendheid van beken te beperken. Landbouw, natuur en het watersysteem zelf (o.a. door droogval van beken) ondervinden hiervan schade. Maar ook structurele maatregelen werken onvoldoende door op het grondwatersysteem, wanneer deze alleen worden doorgevoerd in watergangen die in direct beheer zijn van waterschappen. De meeste watergangen worden immers beheerd door landeigenaren. Alleen structurele maatregelen in het watersysteem over een groot gebied tot in de haarvaten van het systeem werken voldoende door. Om dat te realiseren, zijn aanpassingen nodig in beleid, inrichting en beheer van het huidige oppervlaktewatersysteem, alsmede van grondwateronttrekkingen.

#### *Water vasthouden*

Water vasthouden in het grondwater in perioden met een neerslagoverschot is een goede start om hogere grondwaterstanden in het groeiseizoen te realiseren. Met de zo opgebouwde grondwatervoorraad komen de stroomgebieden van beken in het zandgebied vaker de gehele zomer door tijdens droog weer. Droogval is het gevolg van te lage grondwaterstanden waar ook de grondwaterafhankelijke natuur last van heeft. Wateraanvoer (externe bron) kan deels soelaas bieden, beter is het een oplossing te bedenken en minder water te gebruiken voor de verdamping van gewassen in land- en tuinbouw, inclusief minder beregenen (Monincx et al., 2024; Stolte et al., 1998; Witte et al., 2023).

#### *Reductie van de grondwateronttrekkingen*

Reductie van grondwateronttrekkingen is een zinvolle ad-hoc-ingreep tijdens droogte, want die is direct van invloed op de grondwaterstand en op kwelstromen. Juridisch, technisch en sociaaleconomisch is deze maatregel echter niet eenvoudig op te leggen; zo iets vergt voorbereidingstijd. Het is in ieder geval van groot belang meer grip te krijgen op de hoeveelheid water die wordt onttrokken uit grond- en oppervlaktewater tijdens perioden van droogte. Zonder feitelijke kennis over dit waterverbruik is het immers lastig beleid en beheer voeren. Door registraties van onttrekkingen van tevoren en toezicht op onttrekkingen tijdens droogte te verbeteren én door structureel meer flexibel in ruimte en tijd te zijn om te kunnen variëren in locaties en hoeveelheden, kan beter met droogte omgegaan worden.

#### *Structurele maatregelen in natuurgebieden en in bufferzones*

Specifieke maatregelen zijn te treffen in de natuurgebieden zelf, gericht op de lokale situatie en natuurdoelen binnen de gebieden. Een voorbeeld hiervan is het beperken of soms volledig reduceren van de ontwatering binnen natuurgebieden, als dit ten goede komt aan de beoogde vegetatiedoelen. Hoewel gebaseerd op een zeer beperkt aantal pq's, blijkt uit de regressieanalyse (§ 3.3) dat interne vernattingsmaatregelen effectief kunnen zijn.

---

Als ondanks interne maatregelen natuurgebieden nog steeds verdroogd zijn, dan is het nodig de waterhuishouding in de omgeving structureel beter af te stemmen op het natuurgebied. Als de grondwaterstand in de omgeving lager is, dan draineert die het natuurgebied: grondwater stroomt dan uit het natuurgebied naar zijn omgeving. Als de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket onder het natuurgebied te laag is om kwel naar de wortelzone van de natuurlijke vegetatie te realiseren, moet deze stijghoogte verhoogd worden. Dat vergt maatregelen in een ruime omgeving rondom het natuurgebied (Van der Schaaf, 1998).

Uit de modelberekeningen blijkt dat de volgende maatregelen genomen kunnen worden (Van den Eertwegh et al., 2021):

- Aanvulling grondwater vergroten in infiltratiegebieden met een diepe grondwaterstand (gemiddeld hoogste grondwaterstand GHG >2,5 m-m.v.) leidt aan de randen tot hogere grondwaterstanden, meer kwel en meer beekafvoer.
- Vermindering van ontwatering is effectief als het gehele ontwateringsstelsel van een gebied aangepakt wordt: van de beken tot de watergangen van het waterschap, tot en met de haarvaten van het watersysteem die in beheer zijn van landeigenaren. Wanneer dit niet overal wordt gedaan, nemen de niet-verhoogde waterlopen de drainage van grondwater over en is het netto-effect een stuk kleiner, of wordt dit tenietgedaan binnen een korte tijdperiode. Het areaal aan land (ha) en de lengte van de waterlopen (120.000 km in het zandgebied), waar aanpassing van ontwatering aan de orde kan zijn, is groot. Uit de berekeningen blijkt dat deze breed uitgezette ingreep een zeer positieve bijdrage levert aan het realiseren van permanent hogere grondwaterstanden.
- Structurele reductie van de ontwatering is veel effectiever dan tijdelijke peilverhogingen in oppervlaktewater. In de periode dat de grondwaterstand nog structureel stijgt, wordt er water vastgehouden, daarna is het afvoerproces weer in evenwicht met het neerslagoverschot minus de onttrekkingen. Er wordt dan niet meer grondwater vastgehouden, echter het afvoerproces verschuift in de tijd van meer afvoer in de winter (vooral door toename van buisdrainage en maaiveldafvoer) naar minder afvoer in de zomer.
- Watergangen in beheer bij het waterschap zijn vaak breder en dieper dan sloten in het haarvatensysteem. De leggerwatergangen hebben een belangrijke functie bij zowel de ontwatering als de afwatering van een gebied. Om water vast te houden en hogere grondwaterstanden te realiseren, is het van belang de ontwateringsfunctie van deze watergangen te reduceren, terwijl de afwatering functioneel intact blijft. Dat betekent dat deze watergangen anders dienen te worden gedimensioneerd: ondieper tegen de verdroging, maar ter compensatie breder om toch piekafvoeren te kunnen verwerken.
- Voor waterlopen met stuwen bestaat de mogelijkheid hogere stuwpeilen te hanteren. Bij droogte kan er echter onvoldoende water zijn om stuwpeilen te handhaven. Het is dus van belang om hogere stuwpeilen te realiseren en dusdanig te verhogen, dat ze ook daadwerkelijk de ontwatering reduceren. Anders is er alleen sprake van een verhoogde berging van water in stuwvakken.
- Wateraanvoer: de aanvoer van water leidt tot een grotere beschikbaarheid van zoetwater in een gebied. Watergangen kunnen hierdoor watervoerend blijven. Er kan eventueel meer oppervlaktewater onttrokken worden, hetgeen kan leiden tot minder gebruik van grondwater.
- Onttrekkingen door industrie en waterbedrijven uit grondwater in diepe watervoerende pakketten hebben een grote invloed op stijghoogten van het regionale grondwater. Onttrokken hoeveelheden worden vrijwel direct aangevuld uit alle richtingen, uiteindelijk uit het freatische pakket. Onttrekkingen beïnvloeden grondwaterstanden, kwel- en infiltratiepatronen en de afvoer van beken. In voorkomende gevallen is het voor het beperken van de effecten van droogte effectief om de druk op het grondwater door grondwateronttrekkingen te verminderen, tijdelijk of permanent. De reductie van grondwaterwinning is met name van belang voor vegetaties die afhankelijk zijn van de aanvoer van grondwater, zoals de in dit rapport onderscheiden verzameltypen 117 Korte beekdalvegetaties (ecotootypen G22 P22 G23 P23 G27 P27), 109 Heischrale graslanden (G42, P42) en 113 Bronbossen (H22, H27).
- Onttrekkingen door land- en tuinbouw uit grondwater voor beregening: ook de effecten van onttrekkingen van grondwater voor beregening uit de ondiepe ondergrond, vaak ondieper dan de winningen voor drinkwater, op het watersysteem zijn direct merkbaar. Het sterk verminderen van beregening, of maatregelen die de irrigatievraag van gewassen verminderen, zijn dan ook ingrepen die vrijwel direct effect sorteren, vooral op het freatische grondwatersysteem. Als gevolg van beregenen uit grondwater dalen grondwaterstanden, nemen kwelstromen af en neemt de beekafvoer af. In natuurgebieden kan de kwel helemaal wegvallen en kunnen beken droogvallen bij gebrek aan basisafvoer. De effecten op de grondwaterstand, afvoer en kwel nemen gedurende de beregeningsperiode steeds verder toe.

---

Kortom, hydrologische bufferzones rondom grondwaterafhankelijke natuur, zeker als ze qua omvang afgestemd zijn op de lokale geohydrologische condities, kunnen een belangrijke bijdrage leveren aan het tegengaan van verdroging van natuur. In deze bufferzones moet de grondwaterstand structureel worden verhoogd ten gunste van hogere grondwaterstanden in natte natuur, door reductie van de ontwatering, door beperking van onttrekkingen en door wateraanvoer. Deze generieke maatregelen zijn hierboven benoemd. Vooral kwelafhankelijke natuurgebieden vragen om brede bufferzones, anders wordt de kwel door die bufferzones weggedrukt naar de ontwaterde omgeving.

#### *Een robuust watersysteem*

Uit de studie van Van den Eertwegh et al. (2021) zijn resultaten gekomen die bruikbaar zijn bij het formuleren van beleid op het gebied van water en ruimtelijke inrichting. Het droge weer van 2018 heeft onder klimaatverandering een herhaling van eenmaal per 20 tot 100 jaar voor (Kramer e.a., 2019). Actie vanuit beleid en bestuur is nodig en het is zaak niet te wachten op een volgende droogtecrisis. Het is gewenst om de ruimtelijke inrichting van het landelijk gebied, de teeltkeuzen en het waterbeheer beter op elkaar af te stemmen en te werken aan een meer robuuste zoetwatervoorziening met hogere grondwaterstanden. Juridische verantwoordelijkheden en taken zijn – ondanks de Waterwet – in de praktijk niet duidelijk verdeeld over de betrokken overheden. Indien we hier duidelijkheid in kunnen creëren, kunnen we binnen Nederland de komende tijd werken aan een transformatie van het watersysteem in het landelijk gebied. Een robuust watersysteem functioneert onder natte én onder droge omstandigheden; het is dan beter in balans, het grondgebruik is er beter op afgestemd en risico's en schade voor gebruiksfuncties blijven onder extreme condities beperkt, dan wel zijn voorzien en geaccepteerd.

Er kan een succesvolle combinatie gemaakt worden vanuit droogteopgaven met wateroverlastmaatregelen, door bijvoorbeeld beken wat meer ruimte te geven en functies die om een goede ontwatering vragen uit beekdalen te weren. Ook bij de ontmenging van afwatering en ontwatering door beken kan Nature Based Solutions een optie zijn, door agrarische bedrijven via een herverkaveling flexibeler te maken in omgang met te veel of te weinig water via het hebben van hoge én lage percelen binnen ieder bedrijf. Natuurgebieden zijn gebaat bij beter werkende bufferzones op basis van geohydrologische eigenschappen en een aangepaste waterhuishouding met minder onttrekkingen uit het grondwater. Een en ander aan maatregelen wordt momenteel verder uitgewerkt in het OBN-project 'Doelgerichte hydrologische ingrepen voor de Nederlandse natuur door een toekomstbestendig ingericht en beheerd watersysteem' (De Louw et al., 2025).

#### **Voorbeeld maatregelen Vechtstroomgebied**

Door de waterhuishoudkundige verbeteringswerken na 1950, de intensivering van de landbouw én de al optredende klimaatverandering, zijn gronden in het Vechtstroomgebied droger geworden door lagere grondwaterstanden. Dit is gunstig geweest voor de landbouwproductie, maar nadelig voor grondwaterafhankelijke natuur en de beken. Natura 2000-gebieden en gebieden binnen het Natuurnetwerk Nederland (NNN) kunnen door klimaatverandering zodanig veranderen dat de natuurdoelen zonder ingrepen niet gehaald gaan worden. Systeemherstel op het niveau van stroomgebieden is nodig.

Om de betekenis van klimaatverandering te bepalen, analyseerden Monincx et al. (2024) de waterbalans van twee stroomgebieden. De waterbalans geeft voor een bepaalde periode een overzicht (in m<sup>3</sup> of mm) van alle inkomende waterbronnen, het uitgaande watergebruik en de verandering in de voorraad aan water van een afgebakend stroomgebied. Grondwateronttrekking door de land- en tuinbouw horen via de post 'verdamping' aan de 'uitkant' van de waterbalans. Onttrekkingen die het stroomgebied verlaten, zijn aparte posten op de balans. Gedurende het groeiseizoen verdampt er meer water uit de bodem dan erin komt door gevallen neerslag in het seizoen. Hierdoor ontstaat een neerslagtekort. Door het neerslagtekort daalt de grondwaterstand tijdens het groeiseizoen. Door een neerslagoverschot (meer regen dan verdamping) in de winterperiode vullen de tekorten aan en stijgt de grondwaterstand weer.

Door klimaatverandering worden de winters natter en zomers droger. De kans op hoosbuien neemt in de zomerperiode weliswaar toe, maar in de toekomst zien we met name een toename van het neerslagtekort in het groeiseizoen. Door klimaatverandering neemt het huidige neerslagtekort in het groeiseizoen ruim 30% toe tegen 2050. Deze tekorten zijn in 2050 dan 'normaal' en komen aldus dan jaarlijks voor. In extreem droge jaren in 2050 – situaties die dan eens in de 10 jaar voorkomen –, loopt dit tekort zelfs op tot >200%. Deze veranderingen zijn groot.

---

Door lagere grondwaterstanden en een mogelijk afnemende kweldruk zijn met name natte en kwelafhankelijke natuurgebieden kwetsbaar voor veranderingen in het weer. Voor bestaande herstelplannen van N2000-gebieden is veelal geen rekening gehouden met de effecten van klimaatverandering. Verwacht mag dus worden dat klimaatverandering ertoe zal leiden dat er nog meer maatregelen genomen moeten worden om doelen voor N2000-gebieden te bereiken.

Klimaatverandering (KNMI, 2023) leidt voor waterschap Vechtstromen vooral tot meer droogte. De effecten tot 2050 zijn vergelijkbaar met de gevolgen van menselijk ingrijpen van de afgelopen 75 jaar. De toenemende droogte leidt tot minder productie in de landbouw, verdere verdroging van de natuur, slechtere waterkwaliteit, verzakking van infrastructuur en bebouwing, steeds minder mogelijkheden voor grondwateronttrekking voor de landbouw, drinkwater en industrie. We kunnen de effecten verminderen, maar niet volledig wegnemen. Dit komt onder meer door verschillen in hoogte en ondergrond. Landbouw op hoge gronden met lage grondwaterstanden is kwetsbaarder voor klimaatontwikkeling bij langdurige droogte.

De technische mogelijkheden om de gevolgen van klimaatverandering aan te pakken, zijn niet onbeperkt. Zo vermindert wateraanvoer de droogte slechts lokaal en beperkt. Daarnaast is wateraanvoer in de toekomst minder goed mogelijk door o.a. de verminderde waterbeschikbaarheid vanuit de Rijn en Maas en de verdringingsreeks bij het verdelen van het beschikbare rivierwater (Deltares et al., 2023). Door meer beregening toe te staan, daalt de grondwaterstand juist verder.

Het herstel van het natuurlijke watersysteem biedt betere perspectieven voor de opgaven die spelen op diverse schaalniveaus, van perceel tot stroomgebied. Essentie is het aanvullen van grondwatervoorraden (winter) én het niet te veel uitputten van deze voorraden (zomer). Dit kan door grondwater beter vast te houden (minder drainage/afvoer) én minder water te gebruiken gedurende het groeiseizoen (verdamping, onttrekking).

Door toenemende vraag en afnemend aanbod neemt de waterbeschikbaarheid af. Dit geldt voor lokale functies maar ook voor belangen die op stroomgebiedsniveau spelen. Zo levert een te beperkte watervoorraad op stroomgebiedsniveau te weinig stroming in beken en daarmee een extra opgave voor de waterkwaliteit (KRW). Realisatie van doelen vergt dan een grotere inspanning dan nu. Doelen en -bereik voor KRW-waterlichamen in grond- en oppervlaktewater, moeten goed onderling afgestemd worden: de basisafvoer van beken komt van het grondwater in het stroomgebied. Te lage grondwaterstanden leiden tot afnemende watervoerendheid of droogval van beken. Door toenemende droogte en reeds bestaande verdroging verwacht het waterschap dat in de toekomst aanvullende maatregelen nodig zijn om natuurwaarden in N2000-gebieden in stand te houden.

## **Meetprogramma hydrologie en natuur in en om natuurgebieden**

### *Informatievoorziening hydrologie en vegetatie*

De beschikbaarheid van actuele en accurate gegevens over de toestand van ons watersysteem (voorraad, grondwaterstanden en waterpeilen, afvoeren) en van informatie over de vraag naar en het aanbod van water is heden ten dage onvoldoende om het beschikbare (schaarse, beperkte) grond- en oppervlaktewater op een optimale manier te verdelen over verschillende gebruikers (Van den Eertwegh et al., 2021). Zo worden onttrekkingsgegevens vanuit de landbouw onvoldoende geregistreerd en zijn beekafvoeren en bodemvochtgehalten nauwelijks beschikbaar. Daardoor kan niet tijdig worden geanticipeerd op dreigende tekorten en als die er dan zijn, kan geen afgewogen beslissing worden genomen over de verdeling van het water.

Lange tijdreeksen van de toestand van natuurlijke vegetaties in combinatie met metingen van grondwaterstand, bodemvocht, zuurgraad en nutriënten zijn er nauwelijks. Het is voor het overeind houden van de functionaliteit van ons watersysteem juist tijdens droog weer voor beheerders noodzakelijk om te weten waar en wanneer er hoeveel water wordt onttrokken. Rationele maatregelen kunnen dan op deze meetgegevens worden gebaseerd. Gegevens die pas na de droogte binnenkomen, zijn nuttig voor een analyse achteraf, maar voor de actuele droogtebestrijding van geen betekenis.

---

Uit de voorafgaande hoofdstukken blijkt dat er veel lange tijdreeksen binnen het LMF aanwezig zijn. Ook qua freatische grondwaterstanden zijn er o.a. in [www.droogteportaal.nl](http://www.droogteportaal.nl) veel meetpunten en meetgegevens te zien. In een volgende fase van dit BO-onderzoek is het wellicht mogelijk deze gegevens te gebruiken voor een nadere analyse. Zijn waargenomen veranderingen in de vegetatie bijvoorbeeld te relateren aan gemeten grondwaterstanden? Hangen deze veranderingen samen met de nabijheid en dichtheid van beregeningsinstallaties? Voor trendonderzoek en het trekken van conclusies hieruit zijn meetgegevens en tijdreeksen van voldoende lengte en goede kwaliteit nodig. Voor trendonderzoek naar de toestand van grondwaterafhankelijke natuur zijn structureel lange meetreeksen nodig van de toestand van de vegetatie zelf, van de hydrologie in en om gebieden en van veranderingen binnen de natuurgebieden. Meetmethoden en -technieken dienen goed gedocumenteerd en uitgevoerd te zijn (geweest), zo mogelijk uniform in de onderhavige periode van het trendonderzoek. Het is van ook groot belang voor de analyse van de natuurwaarden en -doelen in de natuurgebieden om te weten welke maatregelen waar, wanneer en in welke mate door de terreinbeheerders zijn genomen. Oorzaak, gevolg en (verklaringen van) trends zijn pas goed te analyseren en te duiden als de informatie betreffende oorzaak-ingreep-maatregel-gevolg compleet en helder is, voor langere tijd. Informatie is nodig van binnen natuurgebieden en van de hydrologische omgeving die het gebied omringt.

Van den Eertwegh et al. (2021) ondervonden dat informatie over de toestand van het watersysteem voorafgaand en ten tijde van de droogte onvoldoende compartimenten van het watersysteem omvatte en niet volledig actueel was. Ze hebben bij het uitvoeren van analyses last (gehad) van een tekort aan goede en bruikbare veldinformatie om de droogte te duiden. Genomen maatregelen tijdens de droogte zijn nauwelijks geregistreerd en ook de registratie van beoogde effecten van maatregelen was zeer beperkt.

Langjarig gemeten grondwaterstanden zijn waardevol als basisinformatie, zowel freatisch als in een onderliggend eerste watervoerend pakket. Goed geplaatste en technisch goed gezette peilbuizen in en ook om natuurgebieden zijn belangrijk, bijvoorbeeld in raaien gezet, loodrecht op de rand van een natuurgebied, van binnen tot enkele kilometers buiten het natuurgebied. Ook in of nabij pq's goed geplaatste en technisch goed gezette peilbuizen zijn nodig. Kwel naar de wortelzone kan berekend worden uit berekende gradiënten in stijghoogte en geschatte weerstanden. Bodemvochtmetingen in natuurgebieden ter hoogte van de wortels van de vegetatie kunnen dienen om te zien of kwel, indien aanwezig, ook daadwerkelijk de wortelzone bereikt, met name tijdens droog weer. Bij ons weten zijn de laatste metingen zelden of niet beschikbaar. Wellicht is het goed om bij eventuele nieuwe meetopstellingen meteen de meting van de zuigspanning (negatieve drukhoogte van bodemvocht) mee te nemen. Deze meting levert nl. direct een indicatie op van droogtestress bij planten in de onverzadigde zone.

Omdat het vaak aan bodemvochtmetingen ontbreekt, is tijdens de studie Van den Eertwegh et al. (2021) begonnen met de opzet van bodemvochtmeetnet (NB Niet in natuurgebieden). Ook werd tijdens de studie geconstateerd dat het ontbreekt aan een actueel en nauwkeurig overzicht van alle beregeningsinstallaties en de beregeningsgiften die worden toegediend, in het algemeen en ook in de omgeving van natuurgebieden. Op basis van satellietwaarnemingen is daarom een wiskundig algoritme ontwikkeld waarmee percelen worden gedetecteerd die in 2018 en 2019 beregend zijn. Een kaart van deze potentieel beregende percelen is sinds eind 2021 onderdeel van het Landelijk Hydrologisch Model. Verder constateerde de studie dat er een gebrek is aan afvoergegevens van beken. Het langjarig meten van beekdebieten door regionale waterbeheerders is dringend nodig om de hydrologische droogte goed te kunnen signaleren en om het watersysteem te begrijpen.

#### *Registratie van onttrekkingen van water*

Uit de inventarisatie van Van den Eertwegh et al. (2021) en uit IPO & UvW (2021) blijkt dat de operationele omgang met en het beleid aangaande onttrekkingen van grond- en oppervlaktewater verschilt per waterschap en per provincie. Sommige waterschappen hebben geen informatie over de hoeveelheid grondwater die voor beregening wordt onttrokken en hebben geen registratieplicht. Andere waterschappen zijn nog steeds bezig om hun informatie te verwerken. Voor waterschappen waarvoor wel gegevens beschikbaar zijn, geldt dat deze gebaseerd zijn op een bepaald percentage respondenten.

---

Uit analyses van Van den Eertwegh et al. (2021) en Spek (2021) blijkt dat naast het tekort aan neerslag, de toename van grondwaterwinning voor drinkwater én voor de beregening de balans tussen watervraag en wateraanbod in 2018 en 2019 ernstig heeft verstoord. Freatische grondwaterstanden zijn daardoor te diep weggezakt voor landbouwgewassen, voor vegetaties in (normaal gesproken) natte natuurgebieden en voor de watervoerendheid van beken. Dit bevestigt het belang van een goede en actuele registratie van onttrekkingen, om daar vervolgens indien nodig tijdig beperkingen aan op te leggen vóór en tijdens een droge periode. Het Landelijk Grondwater Register, in beheer van BII12, blijkt een onbetrouwbare bron van gegevens (bijv. Terink et al., 2023b).

De beperkte registraties van onttrekkingen van water voor beregening (volume water, periode en diepte van onttrekking) is aldus een belangrijk punt van aandacht voor waterschappen en provincies. Het algemene wensbeeld is dat de provincie en het waterschap (NB Taken en verantwoordelijkheden zijn wettelijk verdeeld) bepalen wie, wanneer, waar en hoeveel kuub water er per jaar onttrokken mag worden uit het oppervlaktewater en uit het grondwater (zie o.a. IPO & UvW, 2021). Deze bepaling hangt af van de toestand van het watersysteem. Het waterschap bepaalt via de route van meldingsplicht waar, hoe diep en hoeveel water per jaar, of beter, per maand of kwartaal er uit het grondwater onttrokken mag worden tot een maximum van 150.000 m<sup>3</sup>/jaar (NB: beregening vindt veelal plaats in het zomerseizoen). Het waterschap dient een register met deze informatie bij te houden. Alle overige onttrekkingen uit het grondwater >150.000 m<sup>3</sup>/jaar zijn vergunningplichtig en worden door de provincie beoordeeld en al dan niet vergund aan watergebruikers. Ook de provincie heeft een register met deze informatie. In de praktijk blijken de registers onvolledig en niet up-to-date te zijn. Daarnaast gaat de melding en/of vergunning uit van watervolumes op jaarbasis, terwijl de feitelijke onttrekkingen tijdens droge perioden (weken tot maanden per jaar) plaatsvinden, juist op het moment dat grondwaterstanden en stijghoogten toch al dalen.

Het is voor het overeind houden van voldoende functiebediening (landbouw, natuur, infrastructuur, aquatische ecologie) van ons watersysteem tijdens droog weer nuttig voor beheerders om te weten waar en hoeveel water er wanneer onttrokken wordt in de actuele situatie, niet alleen achteraf. Koppeling van actuele onttrekkingen aan actuele grondwaterstanden buiten in het veld helpt hierbij.

### **Slot**

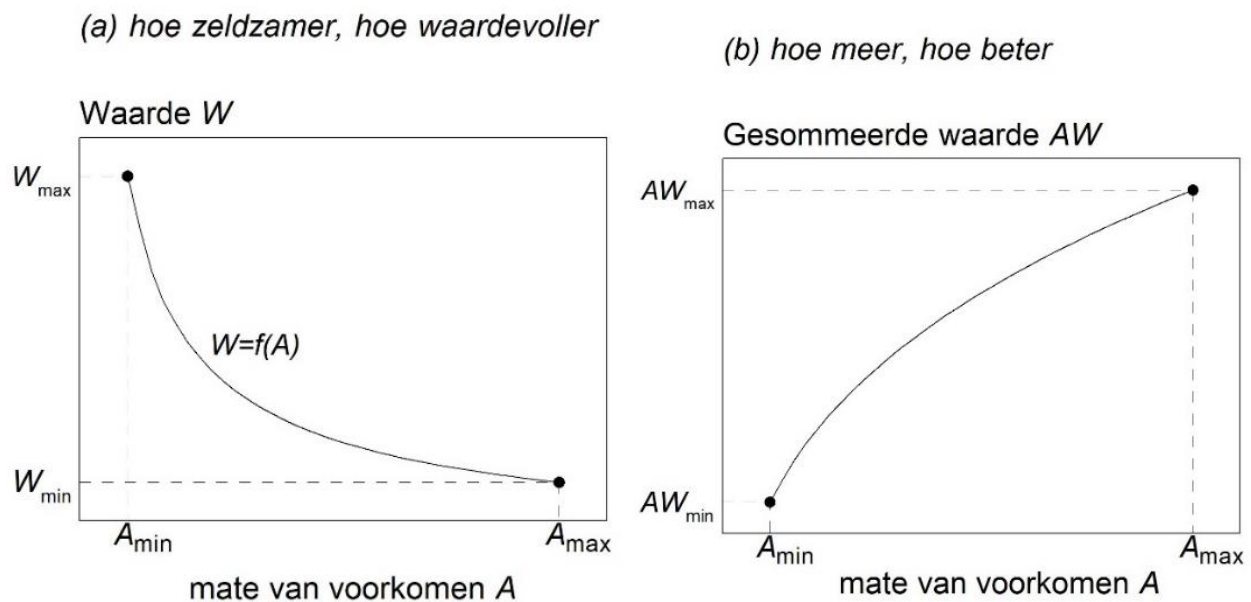
Het droge weer van 2018-2020 had negatieve gevolgen voor de grondwaterafhankelijke natuur. Om grondwaterafhankelijke natuurgebieden beter bestand te maken tegen droogte, dient eerst de waterhuishouding van de gebieden zelf te worden aangepakt. De afgelopen decennia is dat al uitvoerig gedaan, hoewel meer maatregelen vast nodig zullen blijven. Bekend is dat herstel van verdroogde natuur in veel gevallen stukt doordat de omgeving te veel is ontwaterd en leeggepompt. Bij deze gebieden dienen structurele en generiek maatregelen in de omgeving te worden getroffen. Het doel van deze maatregelen is om a) freatische grondwaterstanden jaarrond te verhogen en b) de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket te verhogen, opdat een kwelstroming in het natuurgebied gaat optreden of versterkt wordt. Zo gaat er geen grondwater verloren uit het natuurgebied en is de kwel in staat om in het groeiseizoen de wortelzone van de natuurlijke vegetatie te bereiken. Structurele en langjarige meteo-hydrologische metingen in en om natuurgebieden, samen met vegetatiekarteringen en registraties van getroffen beheermaatregelen, zijn nodig om trendanalyses uit te kunnen voeren en de gevolgen van maatregelen en van droogte in beeld te krijgen.

## Bijlage 5 Botanische waarde op kardinale schaal

De methode die oorspronkelijk voor het model DEMAT is ontwikkeld, gaat uit van de volgende twee criteria:

1. Hoe zeldzamer een soort, des te waardevoller.
2. Gaat een soort vooruit, dan draagt hij meer bij aan de totale natuurwaarde op een nationale balans.

Komt een soort X bijvoorbeeld in tien kilometerhokken voor, dan is hij, omdat hij zeldzamer is, waardevoller dan een soort Y die in twintig hokken voorkomt. Maar als we de waarde van X in al die tien hokken optellen, dan komen we lager uit dan de gesommeerde waarde van soort Y. Was dat niet het geval, dan zou bestrijding van soort Y een positieve bijdrage leveren aan de gesommeerde waarde van soort Y op de totale natuurwaardebalans: natuur bestrijden om de totale waarde ervan te verhogen.



**Figuur 12** Verband tussen de mate waarin een organisme of ecosysteem voorkomt ( $A$ ) en de waarde daarvan in zowel (a) de ruimtelijke resolutie van aantreffen als (b) op de nationale balans (Witte, 1996).

Een vergelijking die aan beide criteria voldoet is:  $Waarde = (A_{\max}/A)^{0.63}$ , waarin  $A$  de mate van voorkomen is (oppervlakte, aantal waarnemingen). In Tabel 21 is de methode toegepast op de KFK-schaal. Per KFK is het gemiddeld aantal kilometerhokken berekend (als maat voor  $A$ ), en daaruit de waarde bij een ruimtelijke resolutie van één kilometerhok (met  $A_{\max} = 20\,000$  km). Omdat een resolutie van kilometerhokken niet aansluit bij die van vegetatieopnamen, zijn de waarden van kolom 'gemiddeld' ook gekwadrateerd voor een schatting van de waarde op opnameniveau (laatste kolom). We denken dat met deze soortwaardering een evenwichtiger en duidelijker beeld wordt gekregen van veranderingen in de natuurwaarde van de vegetatie. In de volgende analyseronde willen we de laatste KFK-scores gebruiken (Duistermaat et al., 2021).

**Tabel 21** Van de KFK-schaal afgeleid het gemiddelde aantal kilometerhokken per klasse en de botanische waarde bij een ruimtelijke resolutie van zowel kilometerhokken als vegetatieopnamen.

KFK	# km-hokken	gemiddeld	waarde	
			km-hok	opname
1	1-3	2	331	109 644
2	4-10	7	150	22 618
3	11-30	21	76	5 841
4	31-100	66	37	1 352
5	101-300	201	18	330
6	301-1000	651	9	75
7	1001-3000	2 001	4	18
8	3001-10000	6 500	2	4
9	>10000	20 000	1	1





---

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

Wageningen Environmental Research  
Rapport 3407  
ISSN 1566-7197



---

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 7.700 medewerkers (7.000 fte), 2.500 PhD- en EngD-kandidaten, 13.100 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

---



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



---

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

Rapport 3407  
ISSN 1566-7197

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 7.700 medewerkers (7.000 fte), 2.500 PhD- en EngD-kandidaten, 13.100 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

