



KWR Waterwijs

KWRW 2025.061 | December 2025

Versterken van biodiversiteit tegen weersextremen

Colofon

Versterken van biodiversiteit tegen weersextremen

Dit onderzoek is uitgevoerd in het kader van KWR Waterwijs, het collectieve drinkwateronderzoeksprogramma van KWR, de waterbedrijven en Vewin.

KWRW 2025.061, December 2025

Projectnummer

404300-065

Projectmanager

Ir. Eric Broers

Opdrachtgever

KWR Waterwijs

Auteurs

Dr. A. Martijn Antheunisse, Janine de Wit MSc., Drs. Mark Jalink,

Kwaliteitsborger

Dr. Ir. Gijsbert Cirkel

Verzonden naar

Dit rapport is verspreid onder deelnemers aan het KWR Waterwijs-programma.

Openbaarheid

Dit rapport is openbaar.

Keywords

Weersextremen, biodiversiteit, natuur, droogte, natte periode, klimaat, vegetatie

Jaar van publicatie
2025

Meer informatie

Dr. A. Martijn Antheunisse

T +31 (0)30 6069548

E martijn.antheunisse@kwrwater.nl

PO Box 1072
3430 BB Nieuwegein
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511

E info@kwrwater.nl

I www.kwrwater.nl

The logo for KWR (Koninklijk Wetenschappelijk Instituut voor Water en Rijkswateringen) is displayed in a large, bold, blue font.

December 2025 ©

Alle rechten voorbehouden aan de KWR Waterwijs-deelnemers.

Niets uit deze uitgave mag - zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van KWR - worden veeleenvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier.

Samenvatting

Versterken van biodiversiteit tegen weersextremen: gevolgen van extreme droogte en natte periode op vegetatie (een beetje) ontrafeld

Auteurs: Dr. A. Martijn Antheunisse, Janine de Wit MSc, Drs. Mark Jalink

Aanleiding: Weersextremen nemen toe

Door klimaatverandering neemt de kans op het optreden van weersextremen, zowel droogte als natte perioden toe in West-Europa. Uit veldwaarnemingen en eerste onderzoeken lijkt dat het optreden van deze extremen grote gevolgen kunnen hebben voor de biodiversiteit van natuurlijke vegetaties. Hiermee raken mogelijk natuurbeschermingsdoelen zoals vastgelegd in de Europese Habitatrichtlijn buiten bereik; in ieder geval wordt de opgave voor beheerders van Natura 2000 groter wanneer gevoelige soorten en habitattypen verder onder druk komen te staan. In dit literatuuronderzoek is een eerste verkenning gedaan van achterliggende mechanismen en is verkend of er algemene maatregelen geformuleerd kunnen worden om de negatieve gevolgen van weersextremen op de biodiversiteit te voorkomen of te mitigeren.

Aanpak: hoe beïnvloeden weersextremen de diversiteit van natuurlijke vegetaties?

Ondanks de maatschappelijke relevantie is er tot nog toe weinig onderzoek gedaan naar de effecten van weersextremen op natuurlijke vegetaties. Daarom is binnen dit onderzoek een overzicht opgesteld van biogeochemische, hydrologische, fysiologische en ecologische processen die beïnvloed worden door weersextremen. Dit is gedaan op basis van bestaande kennis, onder andere van bodemprocessen onder verschillende condities, studies naar gevolgen van vernatting en verdroging en autecologische informatie¹ over specifieke soorten en plantengemeenschappen.

Resultaten: grote gevolgen, maar niet altijd even groot.

Zowel droogte als natte perioden kunnen via verschillende mechanismen grote gevolgen hebben voor natuurlijke vegetaties. In principe geldt dat hoe langer een weersextreem duurt, hoe groter de gevolgen en hoe langer er weer sprake moet zijn van normale weersomstandigheden voordat de effecten geneutraliseerd zijn. In de Nederlandse situatie is de benodigde herstelperiode na een droogte over het algemeen langer dan die na een natte periode met vergelijkbare intensiteit: Een van de oorzaken is het optreden van irreversibele bodemprocessen bij droogte, waaronder afbraak van organische stof en daarmee gepaard gaand verlies van bodemadsorptiecapaciteit. Uit de analyse blijkt dat kort na elkaar – enkele maanden tot een jaar – optreden van tegengestelde weersextremen een additief en daarmee nog sterker (negatief) effect heeft op de diversiteit van natuurlijke vegetaties. Zeker op locaties waar de biodiversiteit al onder druk stond – bijvoorbeeld door verhoogde stikstofdepositie of de aanwezigheid van concurrentiekrachtige invasieve exoten – kan dit desastreus uitpakken. Beekdalen en natte systemen op zand lijken door hun specifieke eigenschappen het meest gevoelig voor het optreden van weersextremen, terwijl laagveen en (zee)kleipolders lang buiten schot blijven door intensief waterbeheer.

Vervolg: Gradiëntonderzoek in het veld om adaptief vermogen van soorten in beeld te brengen.

Een belangrijke uitkomst van het literatuuronderzoek was de constatering dat er weinig specifieke kennis (en gegevens) bestaat over de gevolgen van weersextremen op natuur. Om hierin te voorzien is inmiddels gestart met een veldonderzoek naar de gevolgen van weersextremen op de samenstelling van de vegetatie over een hydrologische gradiënt. Hierbij wordt niet alleen de toestand van de natuurlijke vegetatie in beeld gebracht worden, maar worden ook abiotische gegevens verzameld om meer inzicht te verkrijgen in de onderliggende

¹ De autecologie van plantensoorten in Nederland wordt vaak beschreven in termen van indicatorwaarden, die de relatie met milieucondities samenvatten.

bodemprocessen. Op basis hiervan kan meer gericht advies worden gegeven aan beheerders van terreinen over welke maatregelen het meest effectief zullen zijn om de gevolgen van weersextremen te minimaliseren.

Implementatie: uitrol van veldprotocol bij terreinbeheerders

Als bijlage bij dit rapport is een veldprotocol toegevoegd. Hiermee kunnen beheerders eenvoudig directe en indirecte gevolgen van een weersextreem op de vegetatie en een set bodemparameters vastleggen. Deze informatie kan beheerders ondersteunen om de juiste maatregelen te nemen en een analyse van gegevens op een hoger schaalniveau kan het inzicht in de gevolgen van weersextremen op vegetatiesamenstelling verbeteren.

Maatschappelijke impact: gezamenlijk aanpak essentieel

Weersextremen raken alles en iedereen: of het nu gaat om schade door overstromingsrampen, verminderde opbrengsten door droogte of zoals uit dit onderzoek gebleken de verdere achteruitgang van de natuur door sterke toename van *extreme transitions* (snelle wisseling tussen droge en natte weersextremen). Een aanpak waarin verschillende partijen samenwerken: waterbeheerders, natuurbeheerders en beleidsmakers verantwoordelijk voor klimaatadaptatie- en mitigatie is een randvoorwaarde is essentieel om de negatieve gevolgen te beperken.

Summary

Strengthening biodiversity against weather extremes: consequences of extreme drought and wet events on vegetation composition

Authors: Dr. A. Martijn Antheunisse, Janine de Wit MSc, Drs. Mark Jalink

Context: Severe weather extremes

Climate change is increasing the chance of weather extremes, both drought and wet periods occurring in Western Europe. Field observations and initial studies suggest that these extremes can have major consequences for the biodiversity of natural vegetation. This may put nature conservation goals as set out in the European Habitats Directive out of reach; in any case, the task for Natura 2000 managers will increase when sensitive species and habitats come under further pressure. In this literature review, a first exploration was made of underlying mechanisms and whether general measures can be formulated to prevent or mitigate the negative consequences of weather extremes on biodiversity.

Approach: How do weather extremes affect natural vegetation diversity?

Despite the clear societal importance of this issue, research on how weather extremes affect natural vegetation remains limited. To address this knowledge gap, an overview was compiled of the biogeochemical, hydrological, physiological, and ecological processes influenced by weather extremes. This review drew from three key sources: existing research on soil processes under varying conditions, studies examining the effects of alternating wet and dry cycles, and autoecological data on specific species and plant communities.

Results: Significant impacts with varying severity

Both dry and wet weather extremes can severely affect natural vegetation through multiple mechanisms. Their duration directly correlates with their severity—longer extremes cause greater damage and require more time for ecosystems to recover. In the Netherlands, recovery from drought typically takes longer than recovery from comparable wet periods. The analysis reveals that when opposing weather extremes occur in rapid succession, their effects are additive, creating even more negative impacts on vegetation biodiversity. This pattern proves particularly severe in areas where biodiversity is already compromised by factors such as elevated nitrogen deposition or invasive species encroachment. Ecosystem vulnerability varies significantly by location. Stream valleys show the highest sensitivity to weather extremes, while fen and clay polders are largely protected due to intensive water management systems that buffer against extreme conditions.

Follow-up: Field research to assess species adaptive capacity

A key finding from the literature review was the significant lack of knowledge and data on weather extremes' effects on natural ecosystems. To address this critical gap, a multi-year field study that will examine how weather extremes influence vegetation composition along hydrological gradients has been set-up and started. This comprehensive field investigation will involve two complementary approaches: detailed mapping of natural vegetation changes and systematic collection of abiotic environmental data. By understanding both the ecological responses and the underlying physical processes, researchers aim to provide managers with evidence-based recommendations on the most effective measures for minimizing weather extreme impacts.

Implementation: Field protocol deployment for site managers

A straightforward field protocol has been developed and included as an appendix to this report. This practical tool enables site managers to systematically document both direct and indirect effects of weather extremes on vegetation and key soil parameters. The protocol serves dual purposes: it provides managers with immediate, site-specific data to inform targeted management decisions, while in-time contributing to a larger dataset that will enhance understanding of how weather extremes influence vegetation composition at regional and national scales.

Social impact: Integrated approaches are essential.

Weather extremes create widespread impacts across all sectors of society: from flood damage and drought-induced agricultural losses to the accelerated degradation of natural ecosystems through rapid transitions between extreme dry and wet conditions, as demonstrated in this research. Addressing these multifaceted challenges requires integrated mitigation and adaptation strategies that transcend traditional sectoral boundaries. Fragmented, sector-specific responses are insufficient given the interconnected nature of these impacts. During prolonged droughts particularly, problems cascade across multiple systems, making cross-sectoral coordination critical for effective management.

Inhoud

Colofon	2
Samenvatting	3
Summary	5
Inhoud	7
1 Inleiding	9
1.1 Aanleiding en context	9
1.2 Onderzoeksvragen	10
1.3 Leeswijzer	10
2 Weersextremen gedefinieerd	11
2.1 Droogte	11
2.2 Natte periode	15
2.3 Frequentie afwisseling van droogte en natte perioden	17
3 Abiotische en biotische doorwerking	19
3.1 Abiotische en biogeochemische doorwerking	19
3.1.1 Water- en zuurstofbeschikbaarheid	19
3.1.2 Beschikbaarheid van macro- en micronutriënten	21
3.1.3 Toxische stoffen	23
3.1.4 Fysische bodemeigenschappen	23
3.1.5 Temperatuur	24
3.2 Biotische doorwerking	24
3.2.1 Plant-plant interacties	24
3.2.2 Plant-dier interacties	25
3.2.3 Pathogenen	26
4 Van standplaats naar vegetatie en landschap	27
4.1 Adaptaties en adaptief vermogen	27
4.2 Vegetatiesamenstelling en plantengemeenschappen	28
4.3 Weersextremen en natuurkwaliteit op landschapsniveau	29
4.4 Een tweetal voorbeelden uit de praktijk	32
4.4.1 Extreme droogte 2018-2020: afname biodiversiteit in de hogere zandgronden	32
4.4.2 Zomerhoogwater en inundatie van uiterwaarden	32
5 Maatregelen	34
5.1 Inrichtingsmaatregelen	34
5.2 Hydrologische maatregelen	35
5.3 Beheermaatregelen	35
5.4 Risico's voor achteruitgang biodiversiteit herkennen	36
6 Discussie en conclusies	37

6.1	Onderzoeksvragen beantwoord?	37
6.2	Geïdentificeerde kennisleemten	38
6.3	Aanvullend onderzoek en werkzaamheden	39
Referenties		42
Bijlage 1. Veldprotocol weersextremen en biodiversiteit		48

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en context

De frequentie en omvang van extreem droge en natte perioden²⁾ is de afgelopen 75 jaar toegenomen (Buishand et al., 2011) en dit zal door klimaatverandering verder intensiveren (Philip et al., 2020; Teuling, 2018; Ummenhofer & Meehl, 2017). In de winter zal de neerslag toenemen in heel Nederland, 's zomers vooral in de kustregio (Cirkel & Aggenbach, 2024). Daarnaast is het de verwachting dat het watergebruik door onder meer bevolkingsgroei verder toeneemt, waardoor de disbalans in watervraag en wateraanbod versterkt en de effecten van weersextremen op natuur nog groter kunnen worden (Pronk et al., 2021). Extreem droge en natte perioden en afwisseling tussen beide extremen hebben gevolgen voor natuur. Lokaal kunnen soorten uitsterven, ecosystemen verarmen en het areaal en de kwaliteit van habitattypen afnemen wat gezamenlijk kan leiden tot blijvend verlies van biodiversiteit. Het behalen van (inter)nationale natuurdoelen raakt hierdoor nog verder uit zicht (Aradottir & Hagen, 2013).

Weersextremen kunnen plotseling hoge (grond)waterstanden of juist droogte en een hoge verdampingsvraag: planten zullen dan verdrinken of last krijgen van droogtestress (Farooq et al., 2012). Naast deze directe effecten zijn er ook indirecte effecten op de vegetatie door kort- en langdurende verandering in de standplaatsfactoren. Zoals een verandering in hydrologische en hydro- en biogeochemische condities (Stirling et al., 2020). Ook biologische interacties kunnen beïnvloed worden door weersextremen (Gao et al., 2023; Luo & Gilbert, 2022).

Er is inmiddels al veel bekend over de gevolgen van permanente verandering van het watersysteem op standplaatscondities en de gevolgen voor plantensoorten en verschuivingen in soortensamenstelling (Runhaar et al., 1994, 2000, 2009). Deze kennis is verwerkt in herstelstrategieën voor ecologische systemen (Klimkowska et al., 2011) in de opzet van landschapsecologische systeemanalyses (LESA's) en in modellen als Waterwijzer Natuur en NICHE Vlaanderen (Callebaut et al., 2007; Witte et al., 2018). LESA's worden onder meer gebruikt om inzicht te krijgen in de afhankelijkheid van natuurwaarden van het watersysteem (Van der Molen et al., 2010). Genoemde modellen geven inzicht in de effecten van permanente hydrologische veranderingen op het (potentieel) voorkomen van vegetatietypen. Toepassing van deze kennis en modellen is gangbaar bij de voorspelling van ingrepen, zoals grondwateronttrekking en peilveranderingen, maar ook bij vernattingprojecten en bij de beoordeling van vergunningsaanvragen. Wat betreft de effecten van droogte of natte perioden, de herstelkansen en het handelingsperspectief voor terreinbeheerders ontbreekt een dergelijke langjarige opbouw van kennis.

Wel is bekend dat de effecten van kortdurende meteorologische droogte vaak lang door kunnen werken, doordat bijvoorbeeld langdurige grondwaterdroogte ontstaat (Van den Eertwegh et al., 2021), waardoor bodem- en waterkwaliteit verandert (Bobbink et al., 2019), of populaties lokaal uitsterven (Ploughe et al., 2019). Beschikbare informatie over meteorologie en (grond)waterstandsreeksen kan een indicatie geven voor de oorzaak van lokale vegetatieveranderingen, maar geeft geen uitsluitsel in oorzakelijk verbanden op grotere ruimtelijke schaal. Observaties van vegetatieveranderingen worden door terreinbeheerders bovendien niet methodisch vastgelegd of ontsloten, waardoor het nauwelijks mogelijk is kwantitatieve relaties te bepalen en de sturende processen te ontrafelen. Het is onduidelijk of veranderingen in vegetatie het gevolg zijn van structurele veranderingen in grondwaterhuishouding of van tijdelijke extreme omstandigheden. Ook is vaak niet bekend of (en in welke mate) ingrepen in beheer en inrichting van gebieden dergelijke veranderingen kunnen mitigeren.

²⁾ Er is geen ingeburgerde term in het Nederlands om een gebeurtenis tegengesteld aan 'droogte' aan te duiden. In deze rapportage zal hiervoor de term *natte periode* gebruikt worden.

1.2 Onderzoeksvragen

Het doel van dit literatuuronderzoek is een overzicht te geven van wat er in de bodem en vegetatie gebeurt tijdens en na weersextremen en hoe dit op verschillende ruimtelijke en temporele niveaus plantengemeenschappen beïnvloedt. Ook vormt deze studie een eerste verkenning van mogelijk maatregelen om natuurgebieden robuuster te maken en strategieën voor herstel na weersextremen. Bestaande kennis is op een rij gezet ter beantwoording van de volgende onderzoeksvragen:

1. *Wat zijn sturende factoren en processen op het gebied van plantenfysiologie, hydrologie, ecologie en bodem(chemie) die de impact van extreme weercondities op natuurlijke vegetatie bepalen?*
2. *Wat zijn (daardoor) de gevolgen van weersextremen op natuurlijke vegetatie – en daarmee direct en indirect op de biodiversiteit in het algemeen?*
3. *Welk onderscheid is er in de mate van gevoeligheid voor extreem weer tussen verschillende landschapsecologische eenheden (landschapstypen, habitattypen, plantengemeenschappen etc.).*
4. *Is het op basis van beschikbare informatie mogelijk om een handelingsperspectief te schetsen voor beheerders om landschapsecologische eenheden op het niveau van plantengemeenschappen minder gevoelig te maken voor extreme droogte en natte perioden? En wat zijn dan de belangrijkste adviezen?*

1.3 Leeswijzer

In dit rapport wordt de bestaande kennis - uit internationale (wetenschappelijke), vakliteratuur en ervaring van de opstellers samengebracht. In **hoofdstuk 2** worden de definities en doorwerking van verschillende weersextremen besproken. Vervolgens wordt in **hoofdstuk 3** beschreven hoe de weersextremen ingrijpen op abiotische en biotische processen. **Hoofdstuk 4** start met een beschrijving van mogelijke adaptaties van planten aan condities die optreden door weersextremen en werkt vervolgens toe naar een eerste analyse van effecten van weersextremen op habitat- en landschapsniveau. In **hoofdstuk 5** worden vervolgens maatregelen beschreven om de negatieve gevolgen van weersextremen op natuurwaarden te verminderen. Ten slotte worden in **hoofdstuk 6** de belangrijkste conclusies van dit literatuuronderzoek beschreven, waarbij ook stilgestaan wordt bij geïdentificeerde kennishiaten en hoe deze ingevuld kunnen worden. Als **bijlage** is een veldprotocol weersextremen en biodiversiteit toegevoegd. Dit kan terreinbeheerders een handvat bieden om gevolgen van weersextremen op een eenvoudige manier in beeld te brengen en waarnemingen vast te leggen.

2 Weersextremen gedefinieerd

Een 'extreem' is een situatie of een gebeurtenis die (sterk) afwijkt van de normaal, weinig frequent optreedt en niet (op voorhand) te voorspellen is. Een extreem droge of natte periode is een periode die sterk afwijkt van het gemiddelde weersbeeld. De periode kan enkele dagen, maanden of jaren duren met opeenvolgend droog of nat weer. De term weersextremen roept beelden op van verwoeste infrastructuur, bebouwde omgeving en natuur (figuur 1). Een weersextreem is echter niet altijd even makkelijk zichtbaar, met name droogte kan voor het grote publiek relatief onopgemerkt blijven. Het waterbeheer is in Nederland namelijk zo effectief dat eindgebruikers lange tijd niet veel merken van droogte, terwijl er wel grote gevolgen kunnen zijn voor bijvoorbeeld natuur en landbouw. Het is daarom van groot belang een objectieve definitie van droogte en van een natte periode te formuleren. In onderstaande paragrafen wordt dit voor beide weersextremen gedaan aan de hand van kwantitatieve criteria.

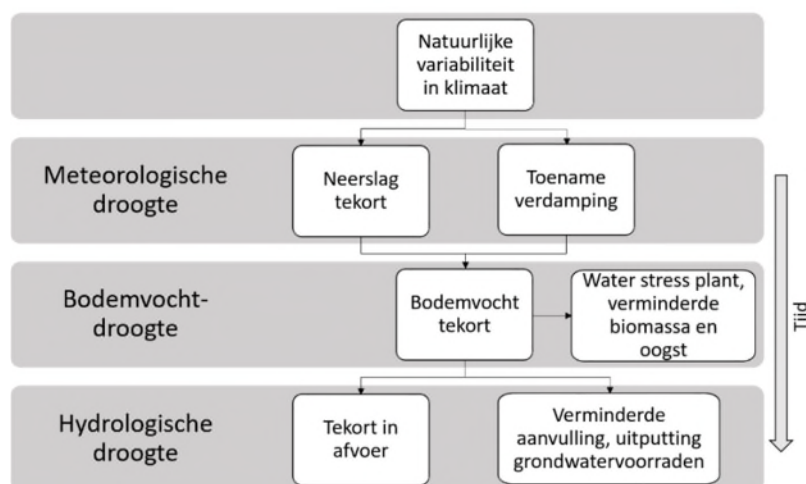


Figuur 1. Beelden van weersextremen. Overstroming van Chaudfontaine (België) door hoogwater in de Vesdre tijdens de 'waterbom' van juli 2021 (links, foto: ABC News) en heideveld in Hoog-Nederland na natuurbrand (rechts, foto: ANP)

2.1 Droogte

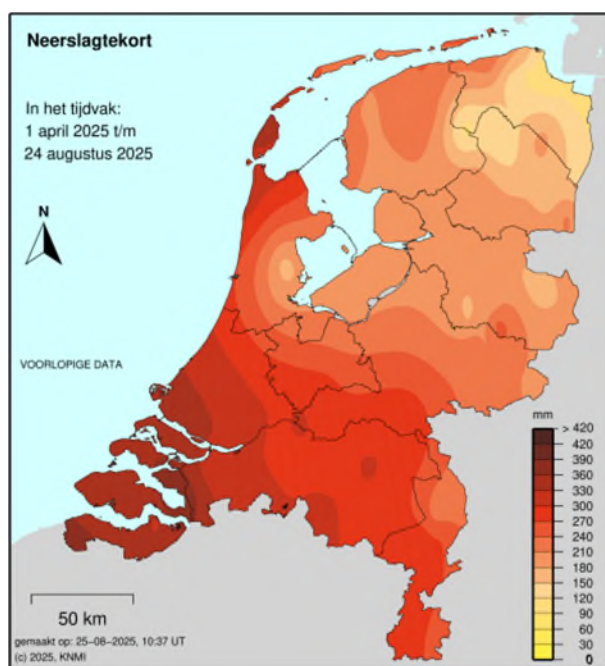
Droogte is het gevolg van een periode met minder neerslag dan normaal, vaak in combinatie met grotere verdamping als gevolg van hogere zonnestraling, hogere temperaturen en lage luchtvochtigheid. Droogteperiodes leiden onder andere tot vochttekort voor planten, verlaagde grondwaterstanden, droogval van vennen en moerassen en afname van stroming in beken en rivieren. Gedurende een droogte is er minder of zelfs geen aanvulling van het grondwater. De algemene perceptie bij droogte (in Noordwest-Europa) is een periode met een duur van enkele weken tot maanden, maar de jaren 2018-2020 laten zien dat meerdere jaren droogte op rij sterk doorwerken, doordat het groeiseizoen al begint met lage grondwaterstanden en het watersysteem daardoor niet goed gebufferd is tegen het weer oplopende neerslagtekort in het volgende groeiseizoen.

Afhankelijk van de intensiteit, duur en intrinsieke (eco)systeemkenmerken zijn er verschillende typen droogte te onderscheiden (Mishra & Singh, 2010). Als eerste ontstaat meteorologische droogte: er ontstaat een neerslagtekort doordat de hoeveelheid neerslag lager is dan verliezen door verdamping en transpiratie. Hierdoor droogt de bovenste bodemlaag – waarin de meeste planten wortelen – uit waardoor bodemvochtdroogte ontstaat. Tenslotte ontstaat hydrologische droogte: de grondwaterstand daalt. Voeding uit grondwater naar beken, sloten en andere oppervlaktewateren vermindert waardoor waterpeil en stroomsnelheid afnemen (figuur 2).



Figuur 2. Schematisch overzicht van de doorwerking van droogte van meteorologische droogte, naar bodemvochtdroogte, naar hydrologische droogte. Figuur overgenomen uit Van den Eertwegh et al. (2019).

Meteorologische droogte is, logischerwijs, afhankelijk van de weercondities op een specifieke locatie, maar opereert vaak op regionaal schaalniveau (figuur 3). Bodemvocht- en hydrologische droogte hangt daarentegen sterk samen met de geohydrologische en ook biotische karakteristieken op het kleinste lokale schaalniveau (Ciríaco Da Silva et al., 2013). Hierdoor hangt ook de intensiteit en daarmee dus ook het herstel van de verschillende soorten droogte sterk samen met de lokale karakteristieken. Zo zullen snelle hydrologische systemen sneller droogte ervaren, maar ook sneller (in ieder geval hydrologisch) herstellen dan tragere geohydrologische systemen.



Figuur 3. Regionale verschillen in het neerslagtekort (meteorologische droogte) aan het eind van de zomer van 2025: zeer sterke droogte in het zuidwesten ($\pm 350\text{mm}$) en veel minder sterk in het noordoosten van Nederland ($\pm 150\text{mm}$) (bron: KNMI).

De verschillende soorten droogte kunnen in kaart worden gebracht met behulp van gestandaardiseerde indices, waardoor een vergelijking tussen de droogtetypen mogelijk wordt (tabel 1, zie ook figuur 3).

Tabel 1. Verschillenden indices die gebruikt worden om mate van droogte en natheid te kwantificeren. Tijdvakken waarvoor SPI en SPEI bepaald wordt zijn standaard 1, 3 en 6 maanden, aangegeven met een toevoegingen (bijv. SPEI-3 voor een berekening van SPEI over de voorgaande 3 maanden).

Index	Variabele	Bron
SPI Standardized Precipitation Index	Neerslag	McKee et al., 1993
SPEI Standardized Precipitation Evapotranspiration Index	Neerslagtekort (neerslag - evapotranspiratie)	Vicente-Serrano et al., 2010
SMI Soil Moisture Index	Bodemvocht	Shukla & Wood, 2008
SRI Standardized Runoff Index	Afvoer (run-off)	Shukla & Wood, 2008
SGI Standardized Groundwater Index	Grondwater	Bloomfield & Marchant, 2013

Het KNMI gebruikt de SP en SPE indices om over een specifieke periode de mate van extreemheid van de weerscondities weer te geven (tabel 2). Deze indices geven in principe geen informatie over sterke afwisseling in weersextremen, omdat die – zeker door het middelen over langere periode, zoals 6 maanden – uit zicht verdwijnen.

Tabel 2. Beschrijving van het optredende weersextreem op basis van waarden van neerslag en neerslagtekortindices.

Waarde SPI/ SPEI	Conditie
≥ 2,0	Extreem nat
1.5 – 1.99	Zeer nat
1.0 – 1.49	Vrij nat
-0.99 – 0.99	Normaal
-1.0 -- -1.49	Vrij droog
-1.5 -- -1.99	Zeer droog
≤ -2.0	Extreem droog

Naast het gebruik van indexwaarden, wordt ook gezocht naar specifieke drempelwaarde van bijvoorbeeld het neerslagtekort waarbij grootschalige gevolgen voor natuurlijke vegetatie optreden. Zo suggereren Witte et al. (2024) een drempelwaarde van 300mm neerslagtekort op jaarbasis waarboven droogteschok optreedt met grootschalige gevolgen voor de natuur.

Droogteduur

Met deze indices is het mogelijk droogte met verschillende duur te definiëren en de karakteriseren. Kortdurende droogte manifesteert zich voornamelijk door haar impact op het bodemvocht en de intensiteit kan daarmee het best bepaald worden met de SPEI1-index. Deze vorm van droogte kan doorgaans worden opgeheven door één of meerdere dagen met significante neerslaghoeveelheden. De gevolgen voor vegetatie en natuurwaarden blijven over het algemeen beperkt, behalve wanneer de droogte optreedt tijdens kritieke momenten in het groeiseizoen of wanneer drempelwaarden voor positieve terugkoppelingsmechanismen worden overschreden.

Langer durende droogte heeft niet alleen impact via het bodemvocht, maar beïnvloedt ook het grondwater en oppervlaktewater. De intensiteit van deze vorm van droogte kan worden gekarakteriseerd met de SPEI3- en SPEI6-indices en vereist een nat seizoen om volledig te worden opgeheven. Bij langdurige droogte worden de gevolgen voor vegetatie en natuurwaarden duidelijk zichtbaar en meetbaar.

Meerjarige droogte heeft haar weerslag vooral op het grondwater- en oppervlaktewatersysteem en de mate van droogte (en het voortduren) kan worden gekenmerkt met SPEI6 en indices die met nog langere tijdschaal rekenen. Het opheffen van meerjarige droogte vereist een (zeer) nat jaar met aanzienlijke neerslagoverschotten. Deze vorm van droogte resulteert in grote en mogelijk permanente gevolgen voor vegetatie en natuurwaarden, waarbij ecosystemen structurele veranderingen kunnen ondergaan. Denk hierbij aan het veraarden (mineraliseren) van veen, krimpen van klei, oxidatie van pyrietlagen of verlies aan complete gemeenschappen planten en dieren door wegvallen van aquatische habitats.

Droogte en verdroging

De termen *droogte* en *verdroging* worden in algemeen gebruik vaak door elkaar gebruikt. In de ecohydrologie en in het natuurbeleid zijn het echter twee zeer verschillende situaties: droogte is een toestand en verdroging is een proces (tabel 3). De term verdroging is vanaf de jaren 1980 in gebruik genomen voor door de mens veroorzaakte, structurele veranderingen in het grond- en oppervlaktewatersysteem (Paarlberg et al., 1999).

Tabel 3. Verschillen tussen droogte en verdroging (naar: Runhaar, 2006)

	Droogte	Verdroging
Beschrijving	Incidenteel optredende perioden met watertekorten	Structurele veranderingen in de waterhuishouding: verlaging gemiddelde (grond)waterstanden of verdwijnen van kwel
Effecten	Al dan niet tijdelijke veranderingen binnen ecosysteemtype (bv. achteruitgang of lokaal uitsterven van klokjesgentiaan in natte heide)	Blijvende verandering van ecosysteemtype (bv. transitie van natte naar droge heide).

In het beleid is verdroging als volgt gedefinieerd (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1998): “Een gebied wordt als verdroogd aangemerkt, als aan dat gebied een natuurfunctie is toegekend en de grondwaterstand in het gebied onvoldoende hoog is. Of de kwel is onvoldoende sterk om bescherming van karakteristieke, grondwater-afhankelijke ecologische waarden waarop de functietoekenning is gebaseerd, in dat gebied te garanderen. Een gebied met een natuurfunctie wordt ook als verdroogd aangemerkt als ter compensatie van een te lage grondwaterstand water van onvoldoende kwaliteit moet worden aangevoerd.” De oorzaken van verdroging liggen meestal bij (historische) inrichting en het huidige beheer van het watersysteem voor specifieke functies, zoals landbouw, bewoning, watervoorziening en hoogwaterveiligheid.

Watergebruik en -beheer tijdens droogte

Droogte heeft niet alleen gevolgen voor natuur, maar ook voor gebruiksfuncties die afhankelijk zijn van bodemvocht, grondwater en/of oppervlaktewater. Tijdens een droogteperiode neemt de watervraag naar oppervlaktewater en grondwater voor beregening toe en ook het drinkwatergebruik stijgt. Dit kan watertekorten veroorzaken en de gevolgen van droogte verergeren. In West-Nederland kunnen tekorten aan zoet grond- en oppervlaktewater ontstaan, met het risico op verzilting van natuurgebieden en landbouwgronden via rivieren, kanalen of brakke kwel. Ook binnenvaart (beperking aan diepgang) en industrie (beperking aan inname van voldoende koud koel- en proceswater) kunnen erdoor belemmerd worden. Waterbeheerders kunnen met instrumenten als beregenings- en ontrekkingsverboden en het tijdelijk verhogen van stuwpeilen de gevolgen van droogte enigszins mitigeren.

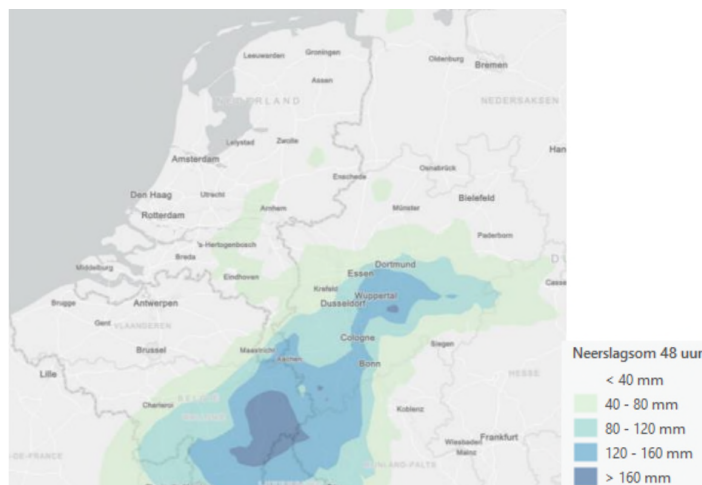
Om in tijden van droogte het schaarse water te verdelen is door het Ministerie van Verkeer en Waterstaat in 1985 de verdringingsreeks opgesteld en daarna geregeld aangescherpt (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2020). De verdringingsreeks geeft aan waar in perioden van watertekorten de prioriteit ligt bij de verdeling van water (oppervlaktewater) en is vooral relevant voor laag Nederland. Bij de update in 2004 is (anders dan eerdere

versies) een hoge prioriteit toegekend aan het voorkomen van 'onomkeerbare schade' aan natuur, dat vanaf dat moment in de hoogste categorie valt en een hogere prioriteit heeft dan bijvoorbeeld drinkwater- en energievoorziening (categorie 2). Dat heeft vervolgens de discussie geopend wanneer van onomkeerbare schade sprake is en natuur prioriteit zou moeten krijgen bij de verdeling van water (Runhaar, 2006).

Het begrip onomkeerbare schade impliceert dat er een tweedeling te maken valt tussen herstelbare en niet herstelbare schade, maar in werkelijkheid is de overgang van herstelbaar tot niet herstelbaar gradueel. Schade aan de bodem kan irreversibel zijn, andere schade kan mogelijk vanzelf of door ingrepen herstellen. Runhaar (2006) stelt dat er sprake is van onomkeerbare schade, wanneer herstel van aanwezige populaties niet binnen 5-10 jaar te verwachten is. In dat geval hebben ecosystemen niet of nauwelijks de mogelijkheid om tussen twee droogteperiodes te herstellen. Dit is echter niet hoe de verdringsreeks nu wordt toegepast, waardoor afwegingen bij waterverdeling toch vaak in het nadeel van kwetsbare natuur uitvallen. Bovendien is de meest kwetsbare natuur in veel gevallen grondwaterafhankelijk: aanvoer van oppervlaktewater van elders om een watertekort aan te vullen is zelden een goede oplossing (zie ook hoofdstuk 3).

2.2 Natte periode

Natte weersextremen hebben vanzelfsprekend andere gevolgen voor natuur en vegetatie dan droge weersextremen, ook grijpen ze in op een ander schaalniveau en kennen een andere dynamiek. Afhankelijk van de intensiteit en de schaal van de gebeurtenis kunnen de gevolgen voor de natuur minstens zo groot en langdurig zijn als bij droge weersextremen. Waar droogte (meestal) geleidelijk en in een groot gebied toeslaat, hebben extreem natte perioden plotseling (figuur 4) en vaak geconcentreerd grote effecten in de lage delen van het landschap. Veelal zijn daar (grondwaterafhankelijke) natte natuurwaarden gesitueerd. Die zijn vaak gevoelig voor verdroging (en droogte), maar ook kwetsbaar voor de effecten van extreem natte perioden, zoals verdrinking door onderdompeling of zuurstofgebrek en blootstelling aan toxische stoffen bij langdurig hoge waterstanden.



Figuur 4. Zeer intensieve neerslag in korte tijd zorgde in juli 2021 voor substantiële, verwoestende overstromingen in delen van het Maasstroomgebied, terwijl op locaties slechts tientallen kilometers van het rampgebied verwijderd geen druppel water uit de lucht viel (uit: de Bruijn & Slager, 2021)

Natte perioden leiden tot waterverzadiging van het bodemprofiel. Na langdurige regen of piekbuien stroomt het surplus aan regenwater veelal over maaiveld naar lage delen van gebieden waar plasvorming op kan treden. Voor sommige landschapselementen (zoals vennen, of natte duinvalleien) is dat min of meer natuurlijk. Op holle graslandpercelen in veenweiden of beekdalen kan het leiden tot complete, langdurige inundatie en zelfs afsterven van de aanwezige vegetatie door overstromingsstress. In natuurgebieden gelegen in de zone met kwelgevoede, (matig) voedselarme natuurwaarden, kan overstroming met rivierwater leiden tot aanvoer van extra nutriënten en sulfaat via indringend oppervlaktewater, maar vooral via sediment dat meegevoerd wordt met het

overstromingswater en bij afnemende stroomsnelheid afgezet wordt. Deze slibaanvoer leidt tot verruiging van de vegetatie en toename van concentraties toxische stoffen.

Duur van natte perioden

De indices geïntroduceerd in paragraaf 2.1 (tabel 1 en 2) werken analoog voor natte weersextremen en hiermee kunnen ook natte perioden van verschillende duur en intensiteit beschreven en gedefinieerd worden.

Kortdurende extreme natheid ontstaat door intensieve neerslaggebeurtenissen in een beperkte tijd en is vooral zichtbaar in kortdurende oppervlakkige wateroverlast en verzadiging van de bovenste bodemlagen. Hoe extreem de gebeurtenis is kan bepaald worden met de SPEI1. Binnen enkele dagen tot weken na het einde van de neerslagperiode wordt de situatie weer normaal door natuurlijke drainage en verdamping. De gevolgen voor vegetatie en natuur zijn doorgaans tijdelijk en beperkt, tenzij de extreme natheid optreedt tijdens kwetsbare fasen zoals de bloeiperiode of wanneer direct zuurstoftekort in de bodem ontstaat.

Langdurige natheid heeft impact via zowel overstromend oppervlaktewater als verhoogde grondwaterstanden. Hoe extreem een dergelijke gebeurtenis is kan bepaald worden aan de hand van SPEI3- en SPEI6. De terugkeer naar een normale situatie vereist een langere droge periode met aanzienlijke verdamping en drainage. Bij langdurige extreme natheid worden de gevolgen voor vegetatie en natuurwaarden duidelijk zichtbaar, waarbij anaerobe omstandigheden in de bovenste bodemlaag kunnen leiden tot wortelrot, toxiciteit en verschuivingen in soortensamenstelling naar meer watertolerante soorten.

Meerjarige extreme natheid wordt gekenmerkt door structureel verhoogde grond- en oppervlaktewaterstanden en persistente negatieve SPEI6-waarden over meerdere jaren. Het herstel naar normale hydrologische omstandigheden vereist een langere periode met droge (of normale) condities. In het grootste deel van Nederland wordt het maximum hydrologische effect van een natte periode relatief snel bereikt doordat afwatering sneller gaat lopen of water over maaiveld gaat afstromen, waardoor ook het herstel relatief snel gaat – en in ieder geval sneller dan het herstel van een droogteperiode van vergelijkbare intensiteit. Dit geldt minder voor stuwwallen en zandgebieden zonder afwatering, zoals duingebieden waar het wel langer kan duren voordat er weer sprake is van een normale hydrologische situatie.

Het ecologische effect van weersextremen kan verstrekkend zijn en resulteren in fundamentele en zelfs permanente veranderingen in ecosystemen, waarbij oorspronkelijke vegetatiegemeenschappen uiteindelijk zelfs kunnen worden vervangen door waterplantengemeenschappen, en waarbij bodemstructuur en -chemie langdurig beïnvloed worden door anaerobe processen en nutriëntenmobilisatie.

Natte periode en vernatting

In analogie van verdroging en droogte kan ook worden gesproken van vernatting en natte periode. De term vernatting wordt voornamelijk gebruikt voor het herstel van verdroogde natuurgebieden, dat wil zeggen het verhogen van grondwaterstanden, peilen en kwelfluxen ten behoeve van de natuur. Dat is beleidsmatig altijd een heikele afweging, waarbij andere functies meestal geen last van de vernatting mogen krijgen. Hiervoor is in de jaren 1990 het GGOR-instrumentarium ontwikkeld 'Gewenste Grond- en Oppervlaktewater Regime' (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1998). Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen de sectorale (natuur, landbouw, bebouwd) *optimale* (OGOR) en de maatschappelijk uit-onderhandelde *gewenste* (GGOR) situatie.

Waterbeheer tijdens natte perioden

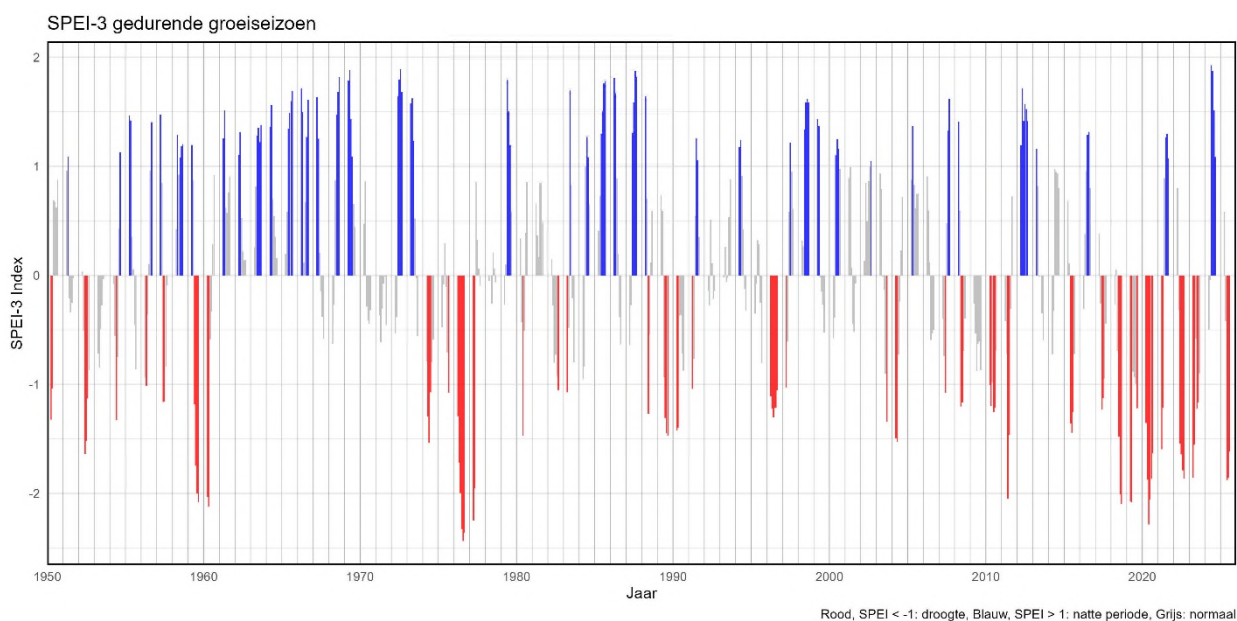
Sinds de Vierde Nota waterhuishouding is vasthouden, bergen en afvoeren de te volgen trits bij overtollig water (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1998). Naast het vergroten van de afvoercapaciteit van de grote rivieren is de afgelopen decennia ook veel geïnvesteerd in de aanleg van waterbergingsgebieden in regionale watersystemen en er wordt ook gewerkt aan het herstellen van de sponswerking van de inrijgebieden, zoals het vernatten van hoogveengebieden, het verontdiepen of dempen van diepe ontwateringssloten in zandgronden en ophogen van beekbodems. Dit heeft ertoe geleid dat er nu (bewust) meer en langer oppervlaktewater geparkeerd staat in

natuurgebieden waar dat vroeger niet zo was. Dat pakt zeker niet altijd positief uit voor die bestaande natuurwaarden door onder meer verruiging en verdwijnen van bijzondere soorten (Runhaar et al., 2004; Smolders et al., 2013).

Tijdens extreme neerslag kunnen piekafvoeren optreden in beeksystemen of rivieren met lokale overstroming van oevers, uiterwaarden en andere overstromingsvlakten tot gevolg. Zeker in riviersystemen met een groot stroomgebied kunnen (indirecte) gevolgen van een natte weersextreem zich over een veel groter gebied verspreiden dan de locatie van de gebeurtenis zelf.

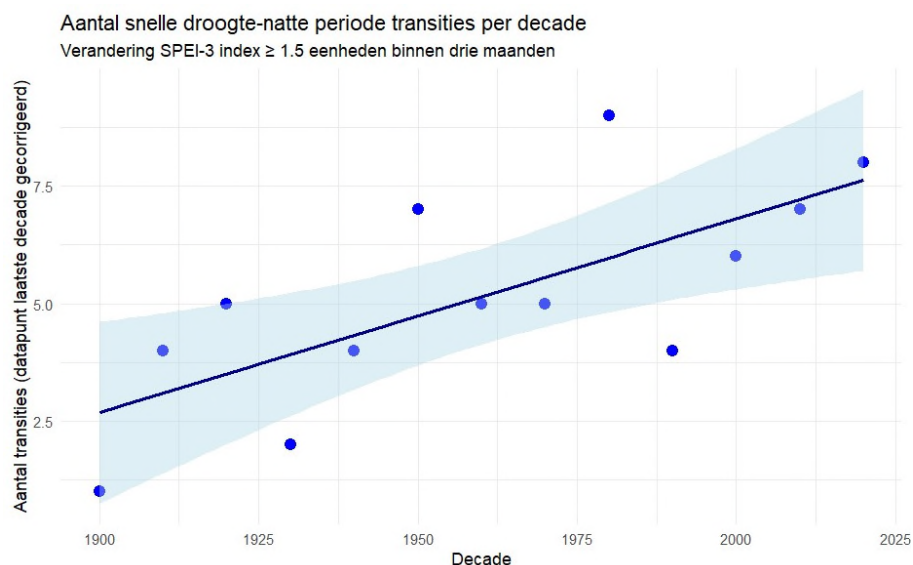
2.3 Frequentie afwisseling van droogte en natte perioden

Een deel van de (negatieve) gevolgen van extreem droge of natte perioden kan nog versterkt worden als droge en natte perioden elkaar (snel) afwisselen. Zo werd bijvoorbeeld het extreem natte jaar 2024 gevolgd door een zeer droog (en warm) voorjaar in 2025 (figuur 5). Hydrologische droogte blijft in een dergelijke situatie mogelijk achterwege – het grondwater is immers maximaal aangevuld, maar bodemvochttekort kan wel snel optreden, vooral in de sterk ontwaterde delen waar een uitgebreid oppervlaktewaterstelsel tot snelle afvoer leidt. Daardoor werd de droogte van begin 2025 vooral gevoeld op flanken en in beekdalen, en niet op hoge gronden waar bodeminfiltratie het overheersende mechanisme is en niet afvoer via oppervlaktewater. Juist aan het begin van het groeiseizoen kan dit grote gevolgen hebben voor groei en overleving van planten.



Figuur 5. Berekende SPEI-3 index waarden gebaseerd op gegevens van het dagelijks neerslagtekort van 1 april tot 1 oktober vanaf 1950 voor meetstation De Bilt (data: KNMI). Zowel zeer droge langdurige als zeer natte condities zijn in het recente verleden opgetreden.

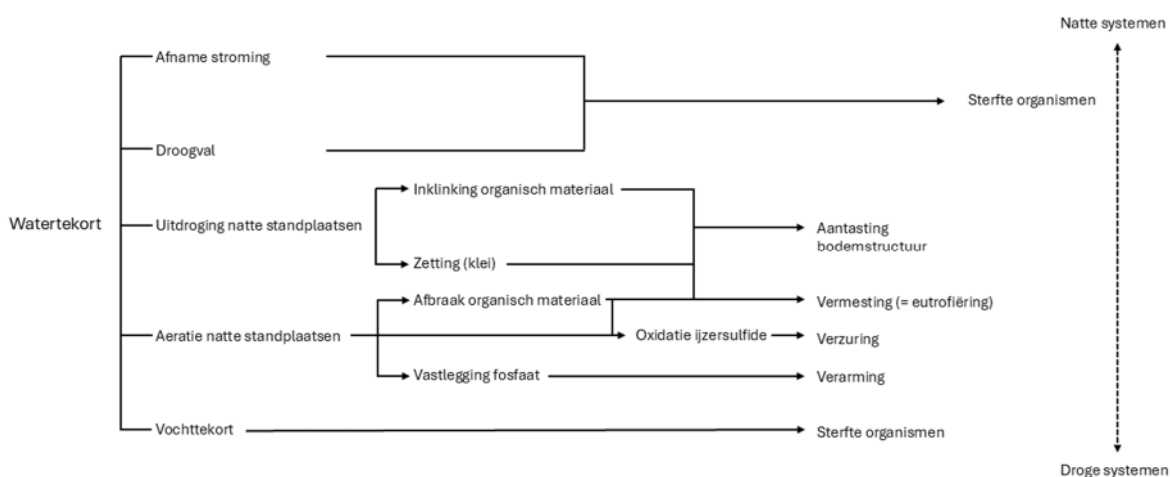
Een analyse van KNMI-data van doorlopend neerslagtekort laat zien dat de snelle afwisseling van droge en natte condities (berekend als een verandering in SPEI-3 van minimaal 1,5 eenheden binnen drie maanden) significant toegenomen is sinds het begin van de vorige eeuw (figuur 6). Waarbij het aantal *extreme transitions* een eeuw geleden nog rond de 3 lag, is dit inmiddels tot 7,5 gestegen. Deze toename aan afwisseling tussen natte en droge condities (in deze definitie niet extreem, maar wel groot), is een mondiaal fenomeen dat toegeschreven wordt aan klimaatverandering (Chen & Wang, 2022). Het is daarom van wezenlijk belang niet alleen de abiotische en biotische effecten van extreme droogte en natte perioden op biodiversiteit – en vegetatie in het bijzonder – te beschouwen, maar juist ook naar eventueel versterkende of remmende effecten wanneer uitersten elkaar snel afwisselen. Het is aannemelijk dat *extreme transitions* in de toekomst alleen maar vaker zullen voorkomen en mogelijk ook extremer worden.



Figuur 6. Het aantal snelle transitie tussen natte en droge perioden (en vice versa) per decade, gedefinieerd als verandering van minimaal 1,5 SPEI-3 eenheden binnen drie maanden. Gebaseerd op gegevens van het dagelijks neerslagtekort van 1 april tot 1 oktober vanaf 1906 voor meetstation De Bilt (data: KNMI). Het datapunt voor het eerste en laatste decennium is gecorrigeerd (geen volledige decade aan gegevens beschikbaar). De blauwe lijn geeft de lineaire regressie weer, waarvan de helling statistisch significant is ($p < 0,05$) met een adjusted R^2 van 40%. Het blauw gearceerde gebied toont het 95%-betrouwbaarheidsinterval van de regressielijn.

3 Abiotische en biotische doorwerking

Al vele decennia worden in ecologische en landbouwkundige studies gevolgen van droogte (of verdroging) en natte condities (of vernatting) op standplaatscondities en andere relevante randvoorwaarden voor overleving, samenstelling, diversiteit van natuurlijke en niet-natuurlijke vegetaties onderzocht (Deng et al., 2021; Descamps et al., 2021; He & Dijkstra, 2014; Ponting et al., 2021; Sanders et al., 2025). Het bij elkaar brengen en samenvatten van alle informatie en inzichten is binnen het kader van dit literatuuronderzoek niet haalbaar. Hieronder zijn voor de Nederlandse situatie de belangrijkste punten uitgelicht en toegelicht, waarbij zowel de abiotische gevolgen van weersextremen als biotische aspecten besproken worden. Runhaar (2006) heeft voor verdroging een deel van deze inzichten samengevat en in sterk versimpelde diagrammen weergegeven (figuur 7). Dit doet echter geen recht aan de complexiteit en samenhang van processen die gezamenlijk de verandering in standplaats en overige factoren vormgeven.



Figuur 7: Een selectie van fysische, chemische, biochemische en biologische gevolgen van droogte voor natte en droge(re) systemen, aangepast naar Runhaar (2006)

In de beschrijving van de effecten in het vervolg van dit hoofdstuk is onderscheid gemaakt tussen abiotische (fysisch en chemisch) en biogeochemische doorwerking enerzijds en biologische doorwerking aan de andere kant. Beide opereren op zeer uiteenlopende schalen, zowel in tijd als ruimte en zijn ook zeer verweven met elkaar.

3.1 Abiotische en biogeochemische doorwerking

3.1.1 Water- en zuurstofbeschikbaarheid

Beschikbaarheid van water in de wortelzone

Weersextremen hebben direct invloed op de waterbeschikbaarheid in de wortelzone. Deze kan snel en langdurig toenemen gedurende een natte periode of juist afnemen bij droogte. De snelheid (en duur) van het effect is afhankelijk van de snelheid van het grondwatersysteem. In snelle grondwatersystemen, zoals die van vennen op hoge zandgronden, zijn de verblijftijden kort en reageert de grondwaterstand snel op neerslagtekorten en -overschotten. Hierdoor kunnen waterstanden en vochtcondities in de wortelzone sterk fluctueren, wat leidt tot een snelle ecologische respons van de vegetatie. In tragere grondwatersystemen, zoals kwelzones langs de Veluwe, is sprake van langere stromingsroutes en grotere grondwaterbuffers. Deze systemen reageren vertraagd op weersextremen en dempen pieken en dalen in waterbeschikbaarheid, waardoor de flora minder snel maar vaak

langduriger wordt beïnvloed. Afhankelijk van de grondsoort kan capillaire werking ook bij uitzakkende grondwaterstand er nog voor zorgen dat er nog steeds water beschikbaar is in de wortelzone. In gebieden met sterk gecontroleerd peil zoals laagveenpolders kan tot op zeker hoogte de beschikbaarheid van water in de wortelzone gecontroleerd worden, tot het moment dat de situatie zo extreem wordt dat de aanvoer van water de verdampingsvraag niet meer kan bijhouden.

Afhankelijk van specifieke eigenschappen zijn plantensoorten aangepast aan een nauwe of brede range aan bodemvochtcondities. Anatomische en fysiologische eigenschappen van plantensoorten zoals dichtheid van aantal huidmondjes, type metabolisme (C3, C4, CAM)³, worteldiepte en vele andere kenmerken bepalen hoe goed en hoe lang planten met droogtestress om kunnen gaan (Aroca, 2013). Wanneer waterbeschikbaarheid in de wortelzone door droogte aanmerkelijk en voor langere tijd verandert, zullen eerst de soorten getroffen worden die het minst goed aangepast zijn: dit uit zich dan in verminderde groei en daardoor verlaagde concurrentiekracht, verminderd reproductief vermogen, gedeeltelijk en uiteindelijk zelfs volledig afsterven.

Waterverzadiging en inundatie: zuurstofstress

Gedurende een extreem natte periode kunnen terrestrische standplaatsen voor kortere of langere tijd onder water komen te staan. Dit kan zowel veroorzaakt worden door stijgend grondwater, stagnerend regenwater of overstroming door oppervlaktewater. Een belangrijke adaptatie van planten aan reguliere overstroming is inactiviteit (winterrust) gedurende het overstromingsseizoen. Groene (groeierende) planten zijn netto producenten van zuurstof, maar wel afhankelijk van externe beschikbaarheid van zuurstof op enig moment voor respiratieprocessen. Dit geldt onder andere voor zuurstofbeschikbaarheid in de wortelzone. In terrestrische bodems is de toplaag van de bodem vaak (gedeeltelijk) geaëreerd. Zuurstof kan daardoor de bodem indringen en is beschikbaar voor opname door de plantenwortels. Als gevolg van natte weersextremen kan door waterverzadiging de bodem snel anoxisch – zuurstofarm en zelfs zuurstofloos - worden. Ondergrondse delen van planten die niet aan dergelijk condities aangepast zijn sterven dan snel af door zuurstofgebrek.

Net als bij droogtestress zijn er veel anatomische en fysiologische adaptaties om de negatieve gevolgen van waterverzadiging van de bodem en inundatie van de gehele plant te verminderen. Deze zijn gericht op het zo lang mogelijk transporteren van zuurstof naar de wortels via aerenchym, versnelde groei (stengelstrekking) om boven water te komen en aanpassingen om onder water door te kunnen gaan met fotosynthese (Catford & Jansson, 2014). De gevolgen van inundatie door een weersextreem voor vegetatie opereren vaak op een kortere tijdschaal dan droogtestress. Zelfs een kortdurende periode van waterverzadiging (bij hogere temperaturen) kan al leiden tot grootschalige sterfte van planten die hier normaal niet mee te maken krijgen. Het is bekend dat weinig frequente zomeroverstroming langs grote laaglandrivieren een (veel) langdurig en sterker effect heeft op vegetatiesamenstelling dan jaarlijkse inundaties in de winter (Antheunisse & Verhoeven, 2008; Beltman et al., 2007)).

De grootste en in sommige gevallen ook meest langdurige gevolgen van (snel) toenemend of afnemend zuurstofgehalte in de bodem zijn van chemische en vooral biochemische aard. Een verscheidenheid aan oxidatie en reductie reacties bepaalt namelijk de beschikbaarheid van macro- en micronutriënten, vorming of neutralisering van toxische stoffen en snelheid van afbraak (en opbouw) van organisch materiaal. De redoxpotential die sterk afhankelijk is van de aanvoer van zuurstof, maar ook van temperatuur, pH en de aanwezigheid van andere oxidatoren is sturend voor de condities in de bodem (zie ook figuur 8). In de paragrafen 3.1.2 en 3.1.3 komt dit in meer detail aan bod.

³ C3-, C4- en CAM-metabolisme zijn verschillende fotosynthesestrategieën van planten. C3-planten nemen CO₂ direct op tijdens de fotosynthese en zijn efficiënt onder koele, vochtige omstandigheden, maar gevoelig voor droogte en hoge temperaturen. C4-planten concentreren CO₂ in speciale cellen, waardoor zij efficiënter zijn bij hoge lichtintensiteit en temperaturen en beter bestand tegen droogte. CAM-planten nemen CO₂ vooral 's nachts op en slaan dit tijdelijk op, waardoor waterverlies overdag sterk wordt beperkt; dit metabolisme komt vooral voor bij planten uit zeer droge of extreme milieus.

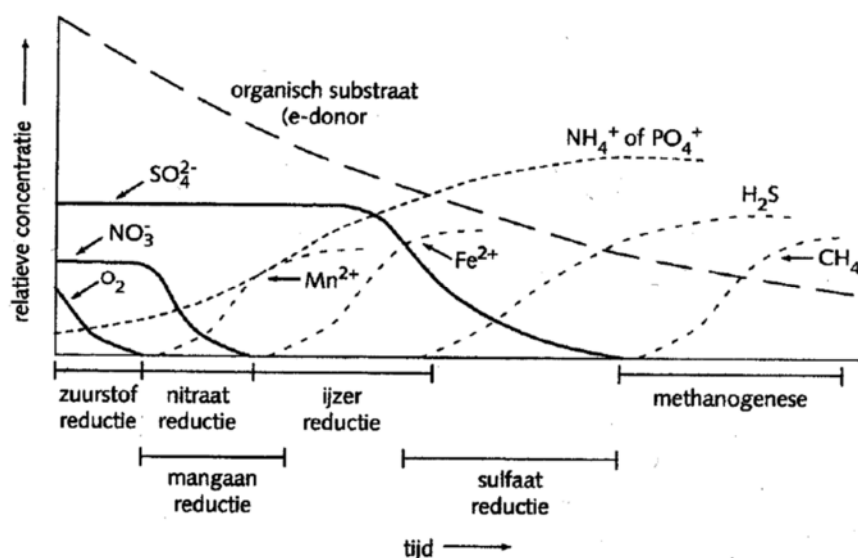
Stroming en droogval

Een stabiele stroomsnelheid is een belangrijke standplaatsconditie voor waterplantenvegetatie. Weersextremen kunnen grote invloed hebben op stroomsnelheid in beken en rivieren, in zowel gestuwde als ongestuwde systemen. Zo leidde het extreme hoogwater in de Maas van juli 2021 en daarmee gepaard gaande stroomsnelheden van meer dan 7 m/s tot lokaal uitsterven van vlottende waterranonkel in de Gemeenschappelijke Maas (Antheunisse et al., 2023). Andersom kan reductie van stroomsnelheid in beken en rivieren tijdens een droogteperiode leiden tot opwarming, afname van zuurstofconcentraties en toename van algengroei waardoor competitie voor licht toeneemt en waterplanten het onderspit delven.

In extreme gevallen kunnen waterlopen en andere oppervlaktewateren gedeeltelijk of zelfs volledig droogvallen. Hierdoor verandert de standplaats voor waterplanten zodanig sterk, dat met name submerse planten zeer snel zullen afsterven, ze zijn immers afhankelijk van enige mate van waterdiepte omdat ze stevigheidsweefsel ontberen. Veel obligate waterplanten gebruiken opgelost bicarbonaat als koolstofbron, en zullen niet in staat zijn om koolstof uit de lucht in de vorm van CO_2 op te nemen bij droogval. Een kortdurende droogval kan dan ook al tot grootschalig afsterven van waterplantenvegetaties leiden.

3.1.2 Beschikbaarheid van macro- en micronutriënten

Hydrologische veranderingen veroorzaakt door weersextremen kunnen grote gevolgen hebben voor beschikbaarheid van macro- en micronutriënten die sturend zijn voor plantengroei. In 2002 hebben Sival et al. uitgebreid beschreven wat de effecten van zijn van inundatie (overstroming) op bodemprocessen en daarmee de beschikbaarheid van nutriënten. In zijn algemeenheid geldt dat bij extreme droogte in principe tegengestelde processen als die optreden gedurende zuurstofloosheid van de bodem de overhand krijgen, waarbij beschikbaarheid van oxidatoren en reductoren sturend is in de uitkomsten.



Figuur 8. Schema van optreden van een aantal bodemprocessen en beschikbaarheid van een aantal stoffen bij afnemende redoxpotentiaal in de tijd (door inundatie en daarmee waterverzadiging van de bodem). Uit: Sival et al. (2002).

Naast de zuurstofconcentratie in de bodem is ook de bodem pH en temperatuur een belangrijke factor in optreden van en snelheid van reductie- en oxidatieprocessen. De reductieprocessen die optreden onder anoxische condities zijn alkaliserend: H^+ ionen worden verbruikt en bicarbonaat (HCO_3^-) wordt geproduceerd. Andersom geldt dat bij uitdroging en aeratie van bodems er veelal verzuring optreedt.

Stikstof

Onder geoxideerde condities is mineraal stikstof vooral als nitraat (NO_3^-) aanwezig in de bodem. Nitraat is zeer mobiel in de bodem, goed beschikbaar voor opname door planten en onderhevig aan uitspoeling naar (dieper)

grondwater. Onder natte condities, wanneer zuurstofconcentraties afnemen, is nitraat de eerstvolgende alternatieve bron van elektronen voor bacteriële processen. Bij lage C:N ratio's in de bodem zal denitrificatie dominant zijn, waarbij uiteindelijk stikstof (N_2) en onder bepaalde condities ook lachgas (N_2O) naar de atmosfeer ontsnapt (Guo et al., 2014). Bij hoge C:N ratio's – bijvoorbeeld in veenbodems – treedt vooral ammonificatie op. Organisch gebonden stikstof wordt dan gemineraliseerd tot ammonium (NH_4^+). Ammonium is minder gevoelig voor uitspoeling omdat het als positief geladen ion bindt aan het negatief geladen bodemcomplex (kleimineralen en organische stof). Wanneer tijdens een droge periode zuurstof indringt in natte, gereduceerde bodems krijgt nitrificatie de overhand, waarbij ammonium geoxideerd wordt tot nitraat (NO_3^-). Nitraat is negatief geladen, bindt niet aan de bodem en is daardoor zeer mobiel en gevoelig voor uitspoeling.

Fosfor

Het element fosfor wordt door planten opgenomen in de vorm van fosfaat (PO_4^{3-}). Dit negatieve ion (anion) wordt in de bodem sterk geadsorbeerd aan metaaloxiden (vooral in zure bodems) of slaat neer in slecht oplosbare vormen. Daardoor is fosfaat slechts beperkt beschikbaar voor opname door planten. Om deze beperkte beschikbaarheid te compenseren, hebben planten verschillende fysiologische adaptaties ontwikkeld om toch voldoende fosfor op te kunnen nemen (Bucher, 2007). De beschikbaarheid van fosfaat is het hoogst bij een pH tussen 6 en 7. Bij lagere pH-waarden bindt fosfaat sterk aan ijzer- en aluminiumoxiden, terwijl bij hogere pH-waarden (>7,5) fosfaat neerslaat als calciumfosfaat (apatiet) of – reversibel – adsorbeert aan calciet (Barrow, 2017; Sørensen et al., 2011).

In bodems met relatief hoge ijzer- en sulfaatconcentraties kan tijdens perioden van anoxia een paradoxaal effect optreden waarbij de fosfaatbeschikbaarheid juist toeneemt. Onder anaerobe condities worden ijzer(III)oxiden – waaraan normaal gesproken veel fosfaat gebonden is – gereduceerd tot opgelost ijzer(II), waardoor het gebonden fosfaat vrijkomt. Tegelijkertijd wordt sulfaat gereduceerd tot sulfide (H_2S). Het sulfide reageert met het opgeloste ijzer(II) en vormt stabiel pyriet (FeS_2). Doordat het ijzer als pyriet wordt vastgelegd, kan het fosfaat niet opnieuw aan ijzerverbindingen binden en blijft het beschikbaar in het poriewater (Van Gerven et al., 2011). Ook bij de anaerobe afbraak van organisch materiaal waarbij sulfaat als elektronenacceptor fungeert, komt organisch gebonden fosfaat vrij.

De mate waarin sulfaatreductie leidt tot interne eutrofiëring hangt echter sterk af van de locatie-specifieke biogeochemische omstandigheden. In kalkrijke, alkalische venen kan sulfaatreductie gepaard gaan met calcietprecipitatie, waarbij fosfaat mee neerslaat en de beschikbaarheid juist laag blijft (Cirkel et al., 2014). In dergelijke systemen met hoge alkaliniteit en een hoge C:P-ratio in het organisch materiaal kan co-precipitatie van fosfaat met calciet interne eutrofiëring voorkomen, ondanks actieve sulfaatreductie en pyrietvorming.

Dit mechanisme vormt echter wel een groot probleem bij natuurherstelprojecten in meer zure of neutrale systemen waarbij vernat wordt met sulfaatrijk (gebiedsvreemd) water (Lamers et al., 1998). De verhoogde fosfaatbeschikbaarheid leidt dan tot sterke eutrofiëring. Een bijkomend risico is dat bij droogval en heroxidatie het pyriet oxideert, waarbij grote hoeveelheden zuur vrijkomen die de bodem sterk verzuren en de mobiliteit van toxische metalen kunnen verhogen.

Mineralisatie

Een deel van de stikstof en fosfor voorraad in de bodem is – evenals andere nutriënten – geïncorporeerd in organisch materiaal en daardoor niet tot nauwelijks beschikbaar voor opname door planten. Als tijdens een droge periode een groter deel van de bodem geaëroëerd raakt, kan dit leiden tot versnelde afbraak van organisch materiaal, want er is immers meer zuurstof beschikbaar voor bacteriologische processen, met als gevolg het vrijkomen van fosfaat en mineraal stikstof (nitraat en ammonium). Als de bodem echter volledig uitdroogt, zullen de meeste bacteriële processen tot stilstand komen en kan de afbraak van organisch materiaal geremd worden (Schärer et al., 2025).

Als door mineralisatie fosfaat gevormd wordt hoeft evenwel niet (allemaal) direct beschikbaar te zijn, omdat dit bijvoorbeeld (sterk) bindt aan geoxideerd ijzer als dit in de bodem aanwezig is. Ammonium (NH_4^+) bindt als positief geladen ion aan negatief geladen bodemdeeltjes, met name aan organische stof en in mindere mate aan kleimineralen. De effectiviteit van deze binding neemt toe bij hogere pH-waarden ($>5,5$), omdat er dan minder concurrentie is van H^+ -ionen om bindingsplaatsen. Pas als na een natte periode de bodem weer waterverzadigd en anoxisch wordt, kan het fosfaat dan weer beschikbaar komen (en blijven). Het vaker voorkomen van *extreme transitions* kan dus een versterkend effect hebben op beschikbaarheid van fosfaat en daarmee langdurige gevolgen voor de samenstelling van de vegetatie waarbij ruderaal soorten de overhand krijgen op specialistische, zeldzame soorten van intermediaire standplaatscondities.

Naast gevolgen voor stikstof en fosforbeschikbaarheid kan mineralisatie ook leiden tot een verhoogde beschikbaarheid van andere macro- en micronutriënten zoals kalium, magnesium en zink.

Aanvoer en afvoer via oppervlakte-, regen- en grondwater

Uit bovenstaande blijkt dat het optreden van weersextremen veel invloed kan hebben op interne processen en daarmee de beschikbaarheid van nutriënten. Tijdens extreem natte perioden kan water ook een belangrijke vector zijn voor aanvoer (of afvoer) van stoffen, zowel opgeloste fracties als gebonden aan sediment in suspensie.

Oppervlaktewater heeft een andere (minerale) samenstelling dan grondwater of regenwater. Inundatie van niet-verzadigde bodems kan leiden tot het indringen van gebiedsvreemd water en daarmee een verandering van concentraties aan stoffen. Denk bijvoorbeeld aan indringing van sulfaatrijk oppervlaktewater door overstroming, of het wegdrukken van kwel door stagnerende regenwaterlenzen bij het ontbreken van afwatering. Tijdens droge weersextremen kan de waterkwaliteit van oppervlaktewateren ook sterk wijzigen. Door verdamping van oppervlaktewater concentreren opgeloste stoffen met mogelijk negatieve gevolgen voor waterplantenvegetaties.

Overstromingen door oppervlaktewater zijn een grote bron van sediment en daarmee geassocieerde nutriënten, bufferstoffen, sulfiden en andere stoffen, dit is in overstromingsvlakten van grote rivieren en beken zelfs een van de belangrijkste bronnen van nutriënten (Lucassen et al., 2022) en daardoor een sturend proces in bodemkwaliteit en vegetatiepatronen (Tockner et al., 2000; Jalink et al., 2003).

Tijdens intensieve buien kan ook oppervlakkige afstroming van regenwater met meststoffen vanaf landbouwgronden naar lageregelegen natuurgebied optreden. Met name in de randen van natuurgebieden, maar bijvoorbeeld ook in verder natuurgebied in lopende sloeken en grubben kan dit een belangrijke bron van eutrofiëring zijn.

3.1.3 Toxische stoffen

De biogeochemische processen die in de bodem kunnen optreden als het gevolg van weersextremen kunnen ook leiden tot een toe (of afname) van toxische stoffen. Onder sterk gereduceerde condities zal in waterverzadigde bodems sulfide (Lamers et al., 2013) en ammonium geproduceerd worden. Onder aanhoudende zuurstofloze condities kunnen dan concentraties ontstaan die voor veel plantensoorten toxisch worden, zeker als er weinig gereduceerd ijzer beschikbaar is om sulfide vast te leggen in de vorm van pyriet (Geurts et al., 2009). Dit kan bijvoorbeeld leiden tot het afsterven van bomen, bijvoorbeeld Elzenbroek in de Moeselpeel (Jalink & Brouwer, 2022) en achteruitgang van Spaanse ruiter in de Dommelbeemden (pers. med., Aggenbach). Ook gereduceerde metalen (ijzer, mangaan, aluminium) kunnen bij hoge concentraties toxisch zijn.

Aanvoer van gebiedsvreemd water bij overstroming kan ook direct leiden tot een toename van stoffen die de groei van planten beïnvloeden, zoals sulfiden en zout maar ook pesticiden en andere organische vervuilingen.

3.1.4 Fysische bodemeigenschappen

Zowel extreme droogte als extreem natte condities kunnen leiden tot grote en langdurige (of zelfs permanente) veranderingen van de fysische bodemeigenschappen, met gevolgen voor onder meer het vasthouden van water en luchtindringing. In hoeverre verslemping en andere vormen van structuurverlies optreden is afhankelijk van

bodemtype: het risico hierop is hoger in bodems met een hogere klei- of leemfractie dan organische en zandige bodems.

Bij aanhoudende droogte kan een bodem hydrofoob worden (Hoekstra et al., 2020). Dit verschijnsel komt vooral voor in bodems met hoge organische stofgehaltes en lage klei- en leemgehaltes (veenbodems). Ook zandbodems kunnen een hoge mate van waterafstotendheid ontwikkelen bij langdurige droogte (Dao et al., 2023). De infiltratiecapaciteit van de toplaag van de bodem neemt sterk af, regenwater stroomt af waardoor het effect van droogte op planten lokaal extra versterkt wordt en/of langer aanhoudt dan onder gemiddelde omstandigheden

Een versnelde mineralisatie, die veroorzaakt kan worden door frequent afwisselende droge en natte condities, leidt tot verlies aan organisch materiaal. Zeker in bodems met lage organische stofgehalte kan dat gevolgen hebben voor bijvoorbeeld de buffercapaciteit (kleiner adsorptiecomplex) en het watervasthoudend vermogen.

3.1.5 Temperatuur

In deze studie worden weersextremen gedefinieerd op basis van afwijking in neerslag (en verdamping) ten opzichte van de normaal. Dit valt nagenoeg altijd samen met een afwijking van de (lucht) temperatuur: lager bij natte weersextremen en hoger bij droge weersextremen. Maar niet altijd: juist bij kortdurende intensieve neerslaggebeurtenissen in de zomer kan de temperatuur direct voorafgaand en direct aansluitend aan de bui hoog zijn.

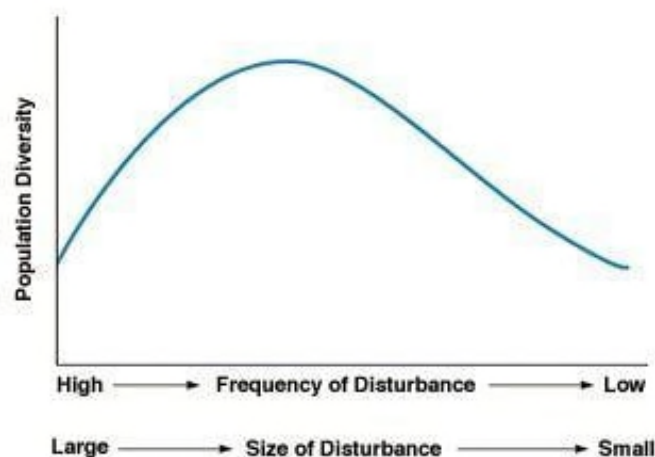
Naast directe lethale effecten van hoge temperaturen op planten zijn er een aantal indirecte effecten van afwijkingen van de normaal. Temperatuur is een van de belangrijke factoren die de snelheid van biologische en (bio)geochemische processen bepalen: bij hogere temperaturen vinden (enzymatische) omzettingen sneller plaats en verbruiken meer zuurstof waardoor sneller zuurstofstress kan ontstaan voor planten. Op een gegeven moment wordt de temperatuur zo hoog wordt dat eiwitten denatureren en omzettingssnelheden afnemen. Dit heeft dan bijvoorbeeld directe gevolgen voor denitrificatiesnelheden (Qu et al., 2022)

3.2 Biotische doorwerking

Uit bovenstaande blijkt dat weersextremen via (veel) biochemische en fysische mechanismen invloed kunnen hebben op de plantengroei. Daarnaast zijn er ook directe en indirecte biologische gevolgen van weersextremen met hun weerslag op plantengroei en vegetatiesamenstelling.

3.2.1 Plant-plant interacties

Extreme condities vormen een verstoring voor gevestigde levensgemeenschappen – en dus ook voor planten en vegetaties. De Intermediate Disturbance Hypothesis (o.a. Grime, 1973) voorspelt dat bij een toename van verstoring zowel in frequentie als grootte de diversiteit afneemt (figuur 9). Soorten sterven lokaal uit, niches worden beschikbaar en er ontstaan vestigingsplaatsen voor pioniers.



Figuur 9. De relatie tussen diversiteit en verstoring zoals in de Intermediatie Disturbance Hypothesis gepostuleerd door Grime (1973) en anderen.

Veranderingen in standplaatscondities door weersextremen zorgen voor een toegenomen selectiedruk, waardoor soorten die minder goed aangepast zijn hun concurrentiekracht verliezen en verdwijnen of in dichtheid afnemen. Dit kan direct zichtbaar zijn in de vegetatie, maar kan zich ook pas later manifesteren: als een eenjarige soort met een kortlevende zaadbank door een zeer droge periode geen zaad heeft kunnen zetten, kan het aandeel van deze soort in volgende jaren een stuk lager zijn. Planten met uitgebreide ondergrondse structuren, bijvoorbeeld veldrus en riet met wortelstokken kunnen zich ten koste van andere soorten uitbreiden na verstoring door een weersextreem.

Een speciale categorie zijn invasieve exotische planten. Per definitie zijn dit concurrentiekrachtige soorten (want invasief), die tot grote uitbreiding kunnen komen in een situatie waarbij niches plotsklaps beschikbaar komen (Mojzes et al., 2020). Het kan dan gaan om soorten van droogvallende oevers zoals watercrassula, maar ook soorten die gedijen onder nattere condities zoals de kleine waterteunisbloem of de grote waternavel. Veel van deze soorten maken gebruik van water als vector voor zaden en andere kiemkrachtige plantendelen. Als een natte periode leidt tot overstroming met gebiedsvreemd water, kunnen kiemkrachtige plantendelen een eerder geïsoleerd gebied bereiken. Dat kan dan tot grote, snelle verandering in vegetatiesamenstelling leiden, zeker als er door de weersextreem lege (geschikte) niches gecreëerd waren.

Meer complexe, symbiotische relaties tussen planten en schimmels (en bacteriën) zijn kenmerkend voor stabiele levensgemeenschappen. Als deze relaties door een weersextreem verstoord worden – bijvoorbeeld verlies van een symbiont door droogte of overstroming – kan dit ook de concurrentiepositie van planten verzwakken waardoor ze mogelijk verdwijnen uit de vegetatie. Daar staat tegenover dat dergelijke verbintenissen planten ook weerbaarder kunnen maken tegen de gevolgen van droogte (Abdalla et al., 2023).

3.2.2 Plant-dier interacties

Naast gevolgen voor de plantengroei kunnen weersextremen ook grote gevolgen hebben voor bodemfauna. De meest voorkomende adaptatie van bodemfauna aan overstroming is verplaatsing naar niet-overstroomde delen (Plum, 2005). Dat is zeker bij extreme situaties niet altijd mogelijk, en het kan dan enige tijd duren na de gebeurtenis totdat de bodemfauna zich hersteld heeft. Een functioneel diverse bodemfauna is van grote invloed op de snelheid van biogeochemische processen (zie ook paragraaf 3.1). Belangrijke stappen in afbraak van organisch materiaal, het homogeniseren van de bodem en graven van gangen waardoor aeratie mogelijk wordt zijn cruciaal (Briones, 2014).

Ook kan de samenstelling en dichtheid van herbivore populaties van insecten en kleine zoogdieren (Jacob, 2003) afnemen (of toenemen) door weersextremen. Dit kan dan leiden tot vermindering of toename van vraat wat ook kan leiden tot veranderingen in vegetatiesamenstelling.

3.2.3 Pathogenen

Tot slot kan een verandering in bodemcondities door weersextremen leiden tot een toe- of afname van pathogene activiteit van bacteriën, schimmels, virussen en andere microben in de bodem met gevolgen voor planten (Martínez-Arias et al., 2022). Het gaat hier om zeer complexe, multidimensionale interacties waarvan het niet eenvoudig in te schatten is wat het cumulatieve effect is van veranderingen die optreden als gevolg van weersextremen (Jones & Barbetti, 2012). Het is wel belangrijk dit als mogelijke complicerende factor in het achterhoofd te houden als potentiële alternatieve verklaring van verandering in vegetatiepatronen tijdens of na een weersextreem.

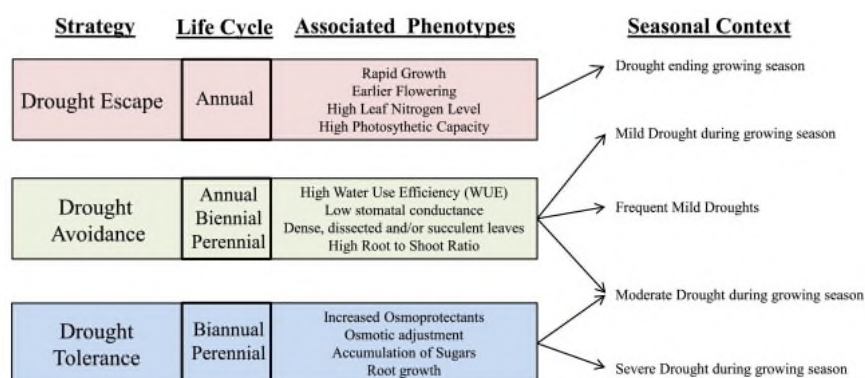
4 Van standplaats naar vegetatie en landschap

Uit voorgaand hoofdstuk (H3) blijkt dat weersextremen grote veranderingen kunnen veroorzaken in lokale standplaatscondities voor plantensoorten: direct en indirect, door verandering in biochemische processen en biotische interacties, waarbij positieve en negatieve terugkoppelingen op kunnen treden tussen verschillende processen. In de vervolgstap in dit hoofdstuk wordt getracht op hoofdlijnen een doorvertaling te maken van potentiële veranderingen naar vegetatiesamenstelling en uiteindelijk de kwaliteitsimpact op landschapsschaal.

4.1 Adaptaties en adaptief vermogen

Om duurzaam te kunnen overleven moeten de condities voor planten geschikt zijn om te kiemen, groeien, bloeien en een zaadbank vormen - op het moment dat het ertoe doet. Dat geldt ook voor andere organismen waarvan een plantensoort afhankelijk is via biotische interacties: bestuiving door insecten, transport van zaden, symbiose met schimmels (bijv. mycorrhiza). Als de levenscyclus door het ontbreken van dergelijk geschikte condities op enige moment doorbroken wordt, zal een soort tijdelijk, lokaal verdwijnen.

De meeste planten hebben enige mate van fysiologische of anatomische plasticiteit (Kristensen et al., 2020); ze kunnen gedurende een korte periode van ongeschikte condities overleven door bijvoorbeeld tijdelijk respiratie te onderdrukken, of ze hebben de mogelijkheid snel te investeren in stengelstrekking of wortelgroei om *resources* die door een weersextreem buiten bereik waren gekomen (water, zuurstof en/of nutriënten) weer beschikbaar te maken. Die plasticiteit is begrensd en zal onder extreme condities, waarbij ongeschikte condities lang aanhouden, in veel gevallen niet voldoende zijn voor planten om succesvol hun levenscyclus te voltooien. Dat zorgt dan voor een competitief voordeel voor planten met specifieke aanpassing voor droogtestress (zie figuur 10, Kooyers, 2015), bijvoorbeeld CAM-metabolisme bij succulenten, diepere beworteling of kleinere bladeren met dikke cuticula. Of juist aanpassingen als de mogelijkheid tot stengelstrekking, vorming van aerenchym en adventieve wortels voor het om gaan met overstromingsstress tijdens extreem natte condities. Dit leidt tot verschuivingen in vegetatiesamenstelling met dominantie van planten die beter aangepast zijn aan extreme droge of juist natte condities.



Figuur 10. Verschillende strategieën hoe planten omgaan met droogte: ontsnappen, vermijden of tolereren (Kooyers, 2015).

De bulk van wetenschappelijk onderzoek naar tolerantie en adaptaties van soorten voor droogte, inundatie en andere extreme condities heeft voedselgewassen als onderwerp, vooral rijst en andere granen (Basu et al., 2016). Onderzoek naar tolerantie bij natuurlijk vegetatie is zeldzamer. Ook nu nog wordt in landschapsecologische analyses veelal gebruik gemaakt van indicatorwaarden van plantensoorten, zoals Ellenberg (Ellenberg, 1974) en Wamelink waarden (Wamelink et al., 2002, 2012), die toegankelijk zijn via interfaces zoals ESTAR. Die zijn niet

mechanistisch (causaal) vastgesteld, maar met name gebaseerd op standplaatscondities van locaties waar de soort (in het verleden) is aangetroffen – en levert daardoor *a priori* geen nieuwe inzichten op in achterliggende aanpassingen. Relatief eenvoudig te identificeren plantkenmerken zoals groeivormen kunnen al een indicatie geven voor mate van tolerantie van soorten voor extreme conditie (zie tabel 4). Kleine verschillen in adaptief vermogen tussen plantensoorten met enigszins vergelijkbare (of deels overlappende) niche kunnen evenwel niet op zo'n manier in beeld gebracht worden. Er bestaan databases met (functionele) eigenschappen, zoals de *LEDA traitbase* (Kleyer et al., 2008), maar deze zijn zeker niet uitputtend in beschrijving van alle eigenschappen, zo ontbreekt in deze database bijvoorbeeld voor veel soorten informatie over (maximale) worteldiepte. Ondanks alle goede bedoelingen zijn dergelijke databases vaak toch statisch, waardoor nieuwe inzichten uit recent onderzoek pas na langere tijd ontsloten worden.

Tabel 4. Vereenvoudigde indeling van waterplanten naar groeivorm en gevoeligheid voor uitdroging. (Uit: Runhaar, 2006)

Groeivorm	Voorbeelden	Gevoeligheid voor droogval
ondergedoken waterplanten	Waterpest, Hoornblad, de meeste Fonteinkruiden	++
waterplanten met drijfbladen	Gele plomp en Waterlelie	+/-
planten met land- en watervorm, isoetiden	Waterranonkel, Oeverkruid	+/-
waterplanten met boven water uitstekende stengels en bladen	Egelskop, Pijlkruid	-
moerasplanten met boven water uitstekende stengels en bladen	Zeggen, Riet en Biezen	--

4.2 Vegetatiesamenstelling en plantengemeenschappen

De samenstelling van de vegetatie vormt een cruciale schakel tussen processen die (vooral) acteren op soortniveau en patronen op landschapsniveau. Waar individuele soorten reageren op abiotische omstandigheden en beheer, worden deze reacties op een hoger niveau zichtbaar in de samenstelling van plantengemeenschappen. Deze worden door ecologen onderscheiden op basis van niet-willekeurige combinaties van soorten die samen voorkomen onder vergelijkbare standplaatscondities, in combinatie met beheer en (land)gebruik. Deze patronen ontstaan doordat abiotische factoren en beheer een filter vormen voor welke soorten zich kunnen (succesvol) kunnen vestigen. In Nederland worden op het fijnste detailniveau (associatie of subassociatie) ruim 500 verschillende plantengemeenschappen onderscheiden. Daarnaast zijn er ongeveer 200 romp- en derivaatgemeenschappen beschreven – afgeleiden van associaties die ontstaan door suboptimale standplaatscondities of verstoring (Schaminée et al., 2017).

De samenstelling van een vegetatie is de resultante van de respons van individuele soorten op omgevingsfactoren. Bij plotselinge veranderingen, zoals weersextremen, kan de vegetatiesamenstelling in korte tijd zodanig wijzigen dat het vegetatietype verandert. Verstoring leidt vaak tot rompgemeenschappen: verarmde vegetaties met een beperkt aantal soorten. Bij aanhoudende veranderingen, bijvoorbeeld door vestiging van andere soorten, kunnen zich nieuwe vegetatietypen ontwikkelen die passen bij gewijzigde omstandigheden, zoals voedselrijkere, grondwateronafhankelijke of nattere standplaatsen.

Specifieke soorten en vegetatietypen zijn zeer gevoelig voor dynamiek. Zo reageren waterplantenvegetaties sterk op droogval, en schraallanden op langdurige, volledige inundatie – vooral als dit gepaard gaat met nutriëntenaanvoer. Soorten van vochtige tot natte standplaatsen zijn kwetsbaar voor droogtestress. Daartegenover staan soorten en vegetatietypen die juist profiteren van dynamiek en het frequent terugzetten van successie, zoals pionierssoorten op kale zandbodems (bijv. bruine snavelbies, moeraswolfsklauw), droogvallende waterbodems (soorten van het oeverkruidverbond en de tandzaadklasse) en soorten die goed omgaan met sterk wisselende waterstanden, zoals grote zeggen.

Bij soorten met een korte levenscyclus (annuellen en tweejarigen) kunnen aantallen en verspreiding sterk fluctueren door variatie in kiemingsomstandigheden in droge of natte jaren. Hierdoor kan de vegetatiesamenstelling tussen jaren sterk wisselen, zonder dat dit direct leidt tot een blijvende verandering van het vegetatietype.

Habitattypen

Er zijn verschillende typen landschapsecologische eenheden die qua schaal en complexiteit tussen vegetatie (hierboven) en landschap (zie paragraaf 4.3) zitten, zoals habitattypen en ecotootypen. Voor natuurbeleid zijn habitattypen relevant, want dit beleid is onder andere gericht op het duurzaam in stand houden, verbeteren van de kwaliteit en uitbreiding van het areaal van deze habitattypen binnen en buiten Natura2000. Deze habitattypen vormen in veel gevallen aggregaties van mozaïeken van goed ontwikkelde vegetatietypen. De gevolgen van weersextremen kunnen ertoe leiden dat (lokaal) de kwaliteit van habitattypen achteruitgaat waardoor de wettelijk vastgelegde (landelijke) staat van instandhouding uit beeld verdwijnt.

4.3 Weersextremen en natuurkwaliteit op landschapsniveau

Met de informatie over de gevolgen van weersextremen op standplaatsfactoren, plantensoorten en plantengemeenschappen kan een eerste poging gedaan worden om op te schalen naar het niveau van het landschap en dan met name hoe droogte en natte perioden de natuurkwaliteit op dat niveau tijdelijk of blijvend kunnen beïnvloeden. Om dit enigszins behapbaar te houden is een selectie gemaakt van de meest relevante (en meest kwetsbare) landschapstypen en bijbehorende landschapselementen, waarbij de indeling zoals gebruikt door het platform OBN Natuurkennis is aangehouden (www.natuurkennis.nl). Een eerste verkenning wordt hieronder voor deze typen kort besproken, aan de hand van een selectie van een aantal landschapselementen (of habitattypen) die hun zwaartepunt in het betreffende landschap hebben.

Droog zandlandschap: droge heiden en droge schraallanden

Droge heiden en droge schraallanden zijn grondwateronafhankelijke vegetaties en dat maakt het droge zandlandschap minder gevoelig voor extreme droogte dan andere landschapstypen. Droogte kan ertoe leiden dat grassen en andere kruiden die in aandeel zijn toegenomen door stikstofdepositie juist afnemen, waardoor dit zelfs mogelijk een positief effect zou kunnen hebben op de vegetatiesamenstelling en instandhouding van natuurwaarden. Maar met name in de houtige heidevegetaties is het risico op grote en onbeheersbare natuurbranden bij langdurige droogte groot, vooral in het voorjaar. Zo ging in april 2025 nog een fors deel van de Eder Heide in vlammen op. Een natuurbrand kan verjonging van de heide mogelijk maken, maar ook vestiging en dominantie van grassen (bochtige smele en later ook pijpenstrootje) in de hand werken door verhoging van de voedselrijkdom.

Natte weersextremen hebben grotere (en langdurige) gevolgen voor droge heiden en vooral droge schraallanden. Bij volledig inundatie verdrinken planten die aangepast zijn aan droge condities ten faveure van andere soorten. Maar ook een net iets grotere beschikbaarheid van water in de wortelzone door een langdurige natte periode kan al een verschuiving in soortensamenstelling teweegbrengen. Door de hoge stikstofdepositie kunnen –meer waterbehoeftige – grassen de heide gaan domineren. Onder dergelijke condities zal de humusopbouw toenemen, met gevolgen voor vasthouden van water en nutriënten waardoor standplaatscondities voor langere tijd kunnen veranderen en soorten van vochtiger en meer voedselrijke omstandigheden bevoordeeld worden (Bijlsma et al., 2020).

Nat zandlandschap: natte heiden, vennen en hoogveen

De natuur van het natte zandlandschap is gevoelig voor weersextremen. Langdurige droogte leidt tot verschuivingen in vegetatiesamenstelling: specifieke soorten van vochtige condities zoals klokjesgentiaan, beenbreek en mossoorten van vochtige condities verdwijnen, terwijl soorten als haarmos of tankmos kunnen gaan domineren. Bij extreme neerslag en inundatie is de herkomst van het inonderende water (regenwater vs.

beekwater) van doorslaggevend belang voor de grootte van eventuele negatieve effecten. Inundatie met sulfaatrijk beekwater kan in organische bodems onder gereduceerde condities de pH laten stijgen.

Ook voor vennen kunnen weersextremen problematisch zijn. Langdurige droogte kan leiden tot het afnemen van grondwaterinvloed in vennen, waardoor oeverzones met snavelbiezen en moeraswolfsklauw in de knel komen door toenemende verzuring. Geïsoleerde, zure vennen die afhankelijk zijn van hemelwater zijn door hun dynamische karakter wellicht minder kwetsbaar voor deze wisselingen dan vennen met enige grondwaterinvloed die zich onder stabielere condities hebben ontwikkeld.

Dit geldt in nog sterkere mate voor hoogvenen. Dit ecosysteemtype is nagenoeg volledig grondwateronafhankelijk en zeer gevoelig voor langdurige droogte. Het grootste knelpunt is dat bij aanhoudende droogte de acrotelm kan uitdrogen en zijn 'ademende structuur' verliezen (Tomassen et al., 2022). Oxidatie versnelt mineralisatie en in combinatie met stikstofdepositie krijgen dan soorten van drogere en voedselrijkere standplaatsen de kans te domineren, zoals berken en pijpenstrootje. Behalve dat deze de echte hoogveenplanten wegconcurreren, veranderen ze door hun wortels ook de bodemstructuur zodanig dat deze niet meer als acrotelm functioneert. De acrotelm geeft hoogvenen bufferend vermogen om het waterpeil op niveau te houden: intacte hoogvenen kunnen de effecten van extreme droogte lang buiten de deur houden.

Laagveen- en zeekleilandschap: kleipolders en veenweide

Holoceen Nederland (laagveengebieden en het oude en jonge zeekleilandschap) zijn minder gevoelig voor weersextremen omdat de waterhuishouding sterker gereguleerd is. In zowel veen- als kleipolders zijn peilbesluiten ingesteld, die met gemalen en stuwtjes bij langdurige droge of natte condities gehandhaafd kunnen worden. Toch kan vooral extreme droogte onder dergelijk condities wel grote gevolgen hebben door sterk oplopende vochttekorten. Zo is de zijdelingse indringing van oppervlaktewater in veenpercelen gering – slechts 1 à 2 meter vanaf de oever – daar treedt eutrofiëring en alkalinisatie op, zeker als gebiedsvreemd (sulfaatrijk) oppervlaktewater ingelaten wordt om het peil te handhaven. In het midden van de percelen vindt versterkte mineralisatie plaats met bodemdaling tot gevolg. Hierdoor ontstaan holle percelen, waar regenwater kan blijven staan met vergrassing tot gevolg.

Daarnaast kan zoutindringing (via oppervlaktewater- of zoute kwel) toenemen bij langdurige droogte met direct lethale effecten voor planten wanneer dit ook in de wortelzone komt, maar ook indirect door verhoogde sulfaatconcentraties. Dit kan op termijn leiden tot significante verschuiven naar brakke vegetaties (binnendijkse zilte graslanden).

Beekdallandschap: beken en basenrijke schraallanden

In beekdalen komt een groot deel van de negatieve gevolgen van droge- en natte weersextremen bij elkaar. Vegetatie van basenrijke schraallanden zijn zeer gevoelig voor verandering in grondwaterstanden. Die kan in dit basenrijke milieu namelijk leiden tot mineralisatie van organische stof en tot het beschikbaar komen van P. Langdurige inundatie met beekwater kan ertoe leiden dat basenrijke kwel niet meer in de wortelzone door kan dringen en voedselrijk slib wordt afgezet. Vorming van sulfide onder waterverzadigde condities kan direct leiden tot mortaliteit en de daaropvolgende oxidatie van ijzersulfides bij het wegzakken water en grondwater leidt tot sterke verzuring en afname van het bufferend vermogen van bodems met langdurige gevolgen (Jalink, 2010).

In veel gebieden – met name in Noord-Brabant, zoals de Kampina (mond. med. Natuurmonumenten) – heeft zich dit de afgelopen jaren onder meer geuit in grootschalige achteruitgang van soorten als Spaanse ruiter. Waarbij vooral het optreden van een zeer nat jaar (2024) volgend op meerdere droge jaren in de vijf jaar daarop voorafgaand de nekslag voor deze soort heeft gegeven. In 1995 leidde inundaties van het Bossche Broek juist tot een kwaliteitsverbetering van blauwgrasland, waarschijnlijk door aanvoer van sediment met bufferend vermogen of indringing van gebufferd oppervlaktewater.

Het overgrote deel van de Nederlandse beken is sterk vergraven (of zelfs helemaal kunstmatig: lossingen, leyen, griften), gericht op het zo effectief mogelijk afvoeren van regen- en kwelwater en landbouwkundig gewenste

drooglegging. Daardoor wordt het grondwatersysteem leeg getrokken: er is minder kwelwater beschikbaar en op een lagere NAP-hoogte. Stuwen en bodemvallen die worden geplaatst om water vast te houden beperken de stroming, wat leidt tot stagnatie met negatieve gevolgen voor de fysisch-chemische waterkwaliteit. Bij aanhoudende droogte treedt uiteindelijk droogval op waarbij hele aquatische levensgemeenschappen lokaal kunnen uitsterven (Verdonschot et al., 2020).

Voor het aangrenzende natte zandlandschap leidt de ontwatering tot (eerder) wegvallen van kwel, dieper wegzakkende grondwaterstanden en vullen van het bodemprofiel met regenwater, met als gevolg mineralisatie, verzuring en/of eutrofiëring. Natte heiden, vennen en andere grondwaterafhankelijke vegetatietypen in het dal en op de flanken worden hierdoor extra kwetsbaar: bij droogte verdwijnen kwelgevoede gradiënten sneller, terwijl bij extreme neerslag het gebufferde water dat normaal negatieve effecten zou dempen ontbreekt. Deze systemen zijn dan extra gevoelig voor beide weersextremen.

Duin- en kustlandschap (duinen): droge duinen (xeroserie) en natte duinen (hydroserie)

Door klimaatverandering neemt de neerslag in Nederland toe. Trends in metingen in kuststations wijzen erop dat deze toename direct langs de kust hoger kan zijn dan in het binnenland. Dit zal vooral in de winter zijn, maar ook de zomerneerslag zal toenemen (Cirkel & Aggenbach, 2024). Het natte jaar 2024 was voor de duinen een voorproefje van wat er (mogelijk) gaat komen. Grote arealen duingrasland en vochtige duinvalleien bleven in de zomer nog maandenlang geïnuundeerd, zeker in situaties waarbij er geen oppervlakkige afvoer van water mogelijk was. In gebieden beheerd door PWN waren zeldzame soorten van natte duinvalleien in 2024 nauwelijks te vinden (zoals slanke gentiaan, parnassia) en ook in 2025 nog veel minder dan voor het zeer natte jaar, maar wel sprake van herstel en ontwikkeling op nieuwe groeiplaatsen. Daarbij zijn ook de randen van veel valleien sterk verruigd met vooral duinriet (pers. med. D. Groenendijk).

Door een verdere vergroting van de zoetwaterbel in de duingebieden kunnen duingebieden in het geheel natter worden (ook in droge perioden), wat ten kostte kan gaan van duinhabitattypen van droge standplaatsen zoals grijze duinen, duinheiden en struwelen. In de duingebieden waar infiltratie voor drinkwaterwinning plaatsvindt zal enige mate van buffering van weersextremen plaatsvinden: bij natte weersextremen zal infiltreren niet nodig (of zelfs niet mogelijk zijn) en onder zeer droge condities kan extra infiltreren negatieve effecten mitigeren.

Rivierenlandschap: rivieren, overstromingsvlakten en komgronden

Natuurlijke rivierenlandschappen zijn sterk dynamisch en worden gekenmerkt door grootschalige, frequente overstromingen in de winter en droogval en uitzakken van grondwaterstanden in de winter. De grote Nederlandse rivieren en hun overstromingsvlakten zijn de afgelopen eeuwen echter zo sterk gereguleerd dat de natuurlijke dynamiek grotendeels verdwenen is. Met stuwen wordt het waterpeil grotendeels gereguleerd en door zomerbedvergroting en aanleg van winter- en zomerdijken is inundatie van overstromingsvlakten sterk beperkt: een groot deel van (komgronden) is volledig afgesloten geraakt van de invloed van rivieren. De huidige min-of-meer natuurlijke vegetatie van het rivierlandschap is voor het overgrote deel niet meer zeer goed aangepast aan zeer dynamische condities – enkele uitzonderingen daargelaten zoals bijvoorbeeld delen van de Waal (rivierduinen bij de Millingerwaard) en de Maas (slikkige oevers van de Gemeenschappelijke Maas). Dit heeft ertoe geleid dat ook de dynamiek veroorzaakt door weersextremen een grotere invloed heeft op de natuur van rivieren en hun invloedssfeer dan in een echt natuurlijke situatie. Zie ook paragraaf 4.4.3 voor een praktijkvoorbeeld van zomeroverstroming in de Gemeenschappelijke Maas.

Extreem lage rivierwaterstanden in de zomer en uitblijven van neerslag kan leiden tot droogval van uiterwaardwateren zoals strangen en geulen en ook oevers vallen droog. Rivierkleibodems zijn van nature zeer rijk aan N en P, wat bij mineralisatie door droogval kan vrijkomen en zorgen voor een sterke verruiging van de vegetatie (Dorenbosch et al., 2022).

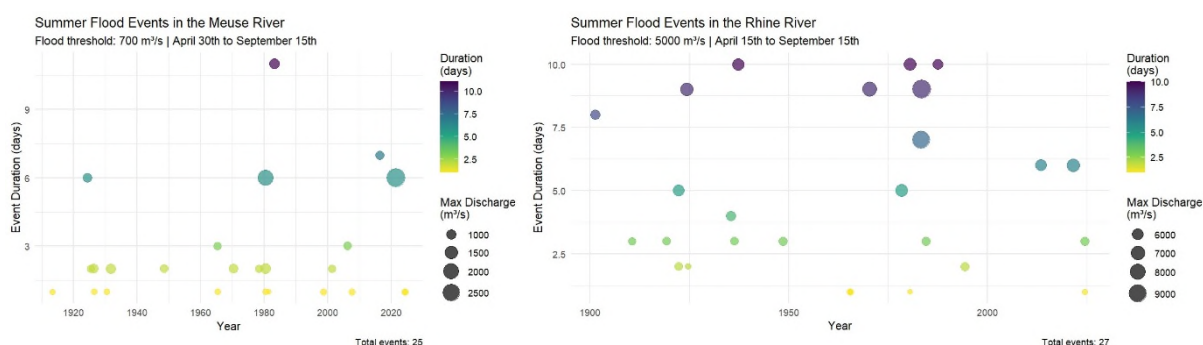
4.4 Een tweetal voorbeelden uit de praktijk

4.4.1 Extreme droogte 2018-2020: afname biodiversiteit in de hogere zandgronden

Witte et al. (2024) hebben op basis van de LMF-PQdataset onderzocht wat de gevolgen van de extreme droogte in de zomers van 2018, 2019, 2020 en 2022 waren voor de hogere zandgronden van Nederland. Deze zomers waren bijzonder droog, waardoor schade ontstond aan de natuur. De gebieden zijn extra gevoelig voor verdroging door gebrek aan externe wateraanvoer en vaak hoge mate van ontwatering in omliggende gebieden voor landbouw. De natuureffecten zijn geanalyseerd aan de hand van vegetatieopnamen uit het Landelijk Meetnet Flora, waarbij per opname indicatiewaarden voor vocht, voedselrijkdom en zuurgraad bekeken werden. De droge jaren 2018-2020 leidden tot een geringe (<2%), maar significante daling van de gemiddelde vochtindicatie van de vegetatie, er werden echter geen eenduidige verschillen gevonden voor voedselrijkdom en zuurgraad. De onderzoekers hebben vervolgens door te kijken naar de aanwezigheid van zeldzame en kenmerkende soorten een maat van biodiversiteit per opname vastgesteld. Deze bleek tot 20% afgenomen te zijn door de opeenvolgende droge jaren, vooral in de vochtige en meer stikstofgevoelige systemen zoals heischrale graslanden en natte heiden, waarbij een tweede droog jaar tot een (nog) grotere verlaging van de biodiversiteit leidde.

4.4.2 Zomerhoogwater en inundatie van uiterwaarden

West-Europese rivieren die volledig of grotendeels door regenwater gevoed worden kennen grote seizoensverschillen in rivierafvoer. Piekafvoeren die wel een factor 100 hoger kunnen zijn dan de laagste afvoeren treden vooral in de 2^e helft van de winter op: er is dan weinig tot geen evapotranspiratie, veel neerslag en een grote kans op verzadigde gronden in het stroomgebied. Dit patroon lijkt de afgelopen decennia te veranderen, ook (extreem) hoge afvoeren in de zomer en bijbehorende inundatie van uiterwaarden lijkt toe te nemen door extreme neerslaggebeurtenissen in onder andere de Elbe en Oder (Hesse, 2018). Een analyse van gemiddelde dagafvoeren van de Rijn en Maas laat geen significante toename of afname zien van het aantal of de duur van inundatie, maar er lijkt wel een trend zichtbaar waarbij zeer grote zomerhoggwaters afgelopen decennia vaker voorkomen. Uit onderzoek is bekend dat met name zomerhoogwater een langdurige invloed heeft op de vegetatiesamenstelling (Van Eck et al., 2004).



Figuur 11. Zomerinundatiegebeurtenissen langs de Maas en Rijn vanaf het begin van de vorige eeuw tot heden. Als drempelwaarde voor het optreden van inundatie is een afvoer gekozen waarbij (onder bepaalde condities) uiterwaarden kunnen beginnen met inunderen: 700 m³/s bij de Maas (ongedeelde Maasafvoer bij Monsin te Luik) en 5000 m³/s bij de Rijn (Lobith). Door zomerbedverlaging en opslibbing van uiterwaarden is die drempelwaarde gedurende de periode niet stabiel: anno 2025 lopen uiterwaarden langs de Rijn pas bij een hogere afvoer (en bijbehorende waterstand) onder dan aan het begin van de meetreeks. Kleurverschillen in de figuren indiceren de lengte van de gebeurtenis (in aantal dagen) en de grote van de punten de maximale afvoer tijdens de gebeurtenis: hoe hoger hoe meer uiterwaard onder water komt te staan.

Van Looy en Kurstjens (2023) hebben uitgebreid onderzoek gedaan naar de gevolgen van het extreme, maar kortdurende zomerhoogwater in de Maas van 2021. Zij hebben gekeken naar de effecten van inundatie op de vegetatie van een aantal weerden langs de Gemeenschappelijke Maas in Nederlands en Vlaams Limburg. Sterke morfologische veranderingen (erosie en sedimentatie) leidde tot het terugzetten van successie en toename van pioniervegetatie van grindmilieus en zandbanken ten kostte van wilgstruweel met bittere wilg en

stroomdalgraslanden. Er werd een (lichte) afname van soortenrijkdom gezien in het eerste jaar, maar al na een jaar was er een toename van soortenrijkdom. Daarnaast werd vastgesteld dat soorten van stroomdalgraslanden zoals ijzerhard na het hoogwater veel frequenter en ook hoger op de gradiënt voorkomen. Onder voorwaarden - kiemkrachtige zaadbank en/of aanvoer van zaden en geschikt alternatief habitat – is het pendelen van bepaalde soorten hier dus succesvol gebleken.

5 Maatregelen

Om te anticiperen op zowel drogere als nattere extremen is het noodzakelijk de natuur te versterken om negatieve effecten op biodiversiteit te voorkomen of in ieder geval zoveel mogelijk te mitigeren. Uit de analyse in deze studie is gebleken dat de gevolgen van weersextremen via een complex aan processen tot stand komen (H3) waarbij ook de opeenvolging van droge en natte weersextremen voor blijvende of langdurige negatieve gevolgen kan zorgen. Oorzaken en gevolgen zijn niet dezelfde voor verschillende landschapstypen en habitattypen, en in veel gevallen zelfs gebiedsspecifiek. Het is dus daarom niet mogelijk om een zeer uitgebreide en gedetailleerde set aan maatregelen te beschrijven: de 'geen-spijt' maatregelen zijn generiek en voor de hand liggend. Een gedetailleerde analyse (bijv. een LESA) op gebiedsniveau zal in veel gevallen noodzakelijk zijn om de juiste maatregelen om de natuur te versterken in beeld te brengen (Mens et al., 2024). Daarbij is het echter essentieel om niet alleen uit te gaan van gemiddelde of historische situaties, maar expliciet rekening te houden met de impact van weersextremen en hoe hiermee in de inrichting omgegaan kan worden. Hieronder volgt een beschrijving van mogelijke generieke maatregelen onderverdeeld in inrichtings-, hydrologische en beheermaatregelen. Hoewel sommige maatregelen ook relevant zijn voor het omgaan met structurele droogte of natheid, is bij de beschrijving waar mogelijk specifieke aandacht gegeven aan aspecten die vooral vanuit de optiek van extremen relevant zijn.

5.1 Inrichtingsmaatregelen

Voorkom harde grenzen. Bij het inrichten van nieuwe natuurgebieden of herinrichting van bestaande gebieden dienen harde grenzen die een barrière voor pendelende soorten kunnen veroorzaken te voorkomen. Steile overgangen zijn vanuit dit oogpunt ongewenst. Echter: flauwe oevers met lange hydrologische gradiënten kunnen ook zeer geschikt habitat vormen voor invasieve soorten als watercrassula en zijn vanuit dat oogpunt dus ongewenst. Hierbij moet wel opgemerkt worden dat (ogenschijnlijk) kleine verschillen in aanpak en uitgangssituatie al grote verschillen kunnen opleveren in het eindresultaat. Ook kunnen steile overgangen juist waardevol habitat aan natuurgebieden toevoegen, een afweging op gebiedsniveau is voor deze mogelijk maatregel dus essentieel. Specifieke aandacht verdienen soorten en ecotopen die zich aan de onder- of bovengrens van een gradiënt bevinden. Een verschuiving van de gradiënt als gevolg van een weersextreem kan er direct toe leiden dat deze soorten of ecotopen verdwijnen doordat ze letterlijk 'over het randje kieperen'. Maatregelen kunnen liggen in het verlengen van een gradiënt wanneer dit voor behoud van soorten wenselijk en qua uitvoerbaarheid mogelijk is, het verschuiven van het meest kritische punt van de gradiënt van de rand meer naar het midden van een gebied en het robuuster maken van de gradiënt waardoor soorten op minder optimale plekken tijdelijk kunnen overleven tot het weersextreem voorbij is.

Verbinden van gebieden. Het zo goed mogelijk verbinden van natuurgebieden en gebiedsdelen kan helpen om populaties van soorten die door een weersextreem lokaal uitgestorven zijn de mogelijkheid weer her te vestigen. Dit is echter alleen zinvol als de standplaatscondities vanzelf (of door ingrepen) zodanig hersteld zijn dat deze weer geschikt zijn voor hervestiging.

Voorkomende aanvullende verstoring. Populaties en vegetatietypen die onder druk staan door weersextremen zijn daardoor gevoeliger voor andere vormen voor verstoring en milieudrukken, zoals intensieve recreatie en stikstofdepositie. Het is daarom van belang de mogelijke impact van dergelijke versturende factoren zoveel mogelijk te verminderen. Deels zal dit met lokale inrichtingsmaatregelen kunnen, maar andere problemen vergen een landelijke of zelfs internationale aanpak.

5.2 Hydrologische maatregelen

Aangezien weersextremen grote gevolgen hebben voor hydrologische systemen, is het logisch om maatregelen daarop te richten:

Bufferen watervoorraad, lokaal en op landschapsschaal. Grote delen van Nederland zijn door middel van sloten, greppels en drainbuizen (te) diep en intensief ontwaterd. Dit zorgt ervoor dat de gevolgen van droogte snel ingrijpen op natuurlijke vegetaties in nabijgelegen natuurgebieden. Minder intensieve en minder diepe ontwatering in en om natuurgebieden resulteert in meer buffering van water en kan het moment uitstellen waarop significant ongewenste gevolgen optreden. Tegelijkertijd moet voorkomen worden dat er 'badkuipen' ontstaan waarbij overtollig hemelwater niet weg kan. In gebieden waar ontwateringsmiddelen zijn gedempt om vernatting te bereiken, kunnen aanvullende maatregelen nodig zijn om negatieve gevolgen van natte weersextremen te beperken, zoals het onderhoud (of aanleg) van duinrellen of vergelijkbare voorzieningen die alleen in zeer natte tijden watervoerend zijn.

Waterkwantiteit en -kwaliteit. De vigerende Verdringingsreeks (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2020) heeft de focus op oppervlaktewaterkwantiteit, waterkwaliteit is ondergeschikt. Daardoor worden de gevolgen van watertekorten tijdens extreme droogte onderschat: veel meer natuur valt dan eigenlijk in de categorie 'onomkeerbare schade'. Voor terrein- en waterbeheerders is het van belang om nog meer te kunnen sturen op samenstelling van water, met name bij inlaten van gebiedsvreemd water. Dit kan bijvoorbeeld door ongewenste stoffen door een (natuurlijke) voorzuivering te verwijderen alvorens tot inlaten overgegaan worden

Stimuleren (oppervlakkige) afvoer in samenhang met vasthouden van water. Een groot knelpunt bij natte weersextremen is stagnatie van regenwater of oppervlaktewater in van nature grondwaterafhankelijke habitats. Maatregelen om afvoer van overtollig water te bevorderen (zoals ondiepe ontwatering of onderhoud en aanleg van tijdelijk watervoerende voorzieningen zoals duinrellen) kunnen positief uitpakken. Deze maatregelen moeten echter wel op zo'n manier uitgevoerd worden dat dit niet tot (verdere) ontwatering leidt dat gebieden juist kwetsbaarder worden voor extreme droogte of dat kwel die nog tot in de wortelzone kan komen ook wordt afgevoerd (Aggenbach et al., 2023). Dergelijke hydrologische maatregelen dienen zo robuust mogelijk te worden uitgevoerd met zo weinig mogelijk mogelijkheden tot actieve sturing.

Focus op (klimaatrobuustheid) landschapsschaal. Uiteindelijk zijn maatregelen die op de schaal van het landschap klimaatrobuustheid inbouwen noodzakelijk om negatieve gevolgen van weersextremen op de biodiversiteit te voorkomen of te mitigeren. Dit is des te belangrijker omdat hydrologische systemen op landschapsschaal functioneren: infiltratiegebieden voor liggen vaak vele kilometers verder, en als daar te weinig infiltratie kan plaatsvinden, zal het systeem geleidelijk verdrogen. Dergelijke maatregelen (zoals het verminderen van de ontwateringsdiepte of het herstellen van infiltratiecapaciteit) kunnen echter wel grote gevolgen hebben voor andere functies, zoals wonen, landbouw, transport (over water) en recreatie. Op politiek-bestuurlijk niveau moeten hierover beslissingen genomen worden, waarbij het van groot belang is informatie zoals verzameld in deze studie als input te gebruiken om een zo gebalanceerd mogelijke afweging te maken.

5.3 Beheermaatregelen

Tijdens en na extreme droogte of natte perioden is het ook mogelijk om met aanpassingen van regulier beheer de gevolgen te verminderen: mitigatie, met mogelijke negatieve neveneffecten op langere termijn voor de biodiversiteit

Terugzetten van competitief voordeel ongewenste soorten. Door aanvullend beheer kunnen de effecten van weersextremen op voedselrijkdom en verschuiving in vegetatiesamenstelling in sommige gevallen worden verminderd. Door vaker te maaien (en af te voeren) of te plaggen kan de toegenomen beschikbaarheid aan nutriënten (door interne eutrofiering of input via sediment) teruggebracht worden. Vaker en eerder maaien is

echter niet bevorderlijk voor faunagemeenschappen en beperkt de mogelijkheid voor zaadzetting, en zorgt ook voor homogenisering (en nivellering) in gebieden met lokale afname van de biodiversiteit tot gevolg.

Herintroductie sleutel- (en doel)soorten. Zowel droge- als natte weersextremen kunnen leiden tot het verdwijnen van soorten en terugzetten van de successie naar pionierssituaties. Zeker in gebieden waar invasieve exoten al aanwezig zijn, kan dit tot hele snelle uitbreiding leiden, waarna het voor inheemse soorten kenmerkend voor vegetatietypen en habitattypen niet meer mogelijk is zich te vestigen. In dergelijke situaties kan het herintroduceren van inheemse soorten (via maaisel of zaaïen) gunstig uitpakken. Het is dan wel belangrijk dat gebruikt materiaal genetisch (en fenotypisch) niet afwijkt van de lokale situatie.

Afvoer ongewenste stoffen. Grootschalige inundaties met oppervlaktewater kan leiden tot het afzetten van een sedimentpakket dat rijk is aan nutriënten en mogelijk ook toxische stoffen bevat (metalen, organische verbindingen). Zeker als de oorspronkelijke vegetatie en natuurwaarden verdwenen zijn, kan het positief uitpakken om het aangevoerde materiaal te verwijderen. Echter, dit zijn zeer kostbare aangelegenheden – zeker als het sediment ernstig vervuild is.

Timing beheermaatregelen afstemmen op weersextremen. Onderhoud van natuurgebieden wordt tegenwoordig vaak in grote aanbestedingscontracten geregeld, waardoor er minder gestuurd kan worden op lokale gebeurtenissen. Zoals hierboven al uiteengezet: in bepaalde gevallen kan het positief zijn om een extra maaironde uit te voeren of juist om beheer uit te stellen als de condities door bijvoorbeeld langdurige regenval niet geschikt zijn. Het is essentieel dat de ecologische (en hydrologische) kennis op gebiedsniveau of zelfs perceelniveau sturend is voor type en timing van beheermaatregelen.

5.4 Risico's voor achteruitgang biodiversiteit herkennen

Succesvolle inzet van maatregelen zoals hierboven besproken kan alleen als de risico's voor de achteruitgang van de biodiversiteit tijdig herkend worden. Hierbij is lokale kennis van gebieden nog steeds onontbeerlijk omdat dekking van bodemchemische en hydrologische gegevens en het detailniveau van modelresultaten (nog) onvoldoende is om de risico's op perceelsschaal in beeld te brengen. *Early warning* tekenen voor achteruitgang van biodiversiteit gerelateerd aan het voorkomen van extreme gebeurtenissen zijn onder andere:

- Jaar op jaar vermindering van het areaal kritische, bijzondere of zeldzame soorten in een gebied;
- Grote schommelingen in bedekking en aanwezigheid van (dominante) soorten;
- Plotselinge vestiging van ander soorten, zowel inheems, uitheems, invasief en non-invasief in een gebied.

Het bijgevoegde veldprotocol '*Weersextremen en biodiversiteit*' (bijlage 1) kan terreinbeheerders een handvat geven om bovenstaande risico's in beeld te brengen waardoor tijdig maatregelen genomen kunnen worden om de gevolgen van weersextremen voor biodiversiteit te minimaliseren.

6 Discussie en conclusies

Deze eerste verkenning van de impact van weersextremen op biodiversiteit heeft duidelijk gemaakt dat een breed scala aan bio(geo)chemische, fysische, hydrologische en ecologische processen invloed heeft op de mate van impact en ook in hoeverre deze positief of negatief uitpakt voor floristische diversiteit. Hiermee is in de eerste plaats de complexiteit van dit onderzoeksveld bevestigd. Ook is er na deze verkenning meer zicht op relevante mechanismen hoe weersextremen ingrijpen in vegetatiesamenstelling. Veel kennis is afkomstig uit onderzoek naar verdroging en vernatting: een directe vertaling van effecten is niet mogelijk, maar de respons van individuele plantensoorten en vegetaties zal niet anders zijn op veranderingen in standplaatscondities. Hierdoor is het mogelijk om op hoofdlijnen een inschatting te maken van de te verwachten effecten (zie 6.1 hieronder).

Een belangrijke bevinding – onder andere voortvloeiend uit de praktijkvoorbeelden in H4 – is dat elkaar snel opvolgende afwisseling van droge en natte weersextremen (en andersom) voor een additief effect zorgt of kan zorgen op de gevolgen van weersextremen op de biodiversiteit. Een eerste analyse wijst uit dat dit soort snelle transitie steeds vaker voorkomen. Dit vraagt dus om vervolgonderzoek, aanvullende analyse zodat op termijn goede effectinschattingen van deze *extreme transitions* op de biodiversiteit kunnen worden gemaakt.

6.1 Onderzoeksvragen beantwoord?

In deze paragraaf worden de onderzoeksvragen uit Hoofdstuk 1 behandeld: In hoeverre kunnen deze nu zonder voorbehoud, goed onderbouwd beantwoord worden en wat ontbreekt hiervoor nog. Factoren, oorzaken en processen zijn in veel gevallen niet uniek gekoppeld aan het optreden van weersextremen, maar worden vaak versterkt (of verminderd) door het optreden van weersextremen.

1. *Wat zijn sturende factoren en processen op het gebied van plantenfysiologie, hydrologie, ecologie en bodem(chemie) die de impact van extreme weercondities op natuurlijke vegetatie bepalen?*

In hoofdstuk 3 en 4 zijn veel processen en interacties de revue gepasseerd hoe weersextremen direct en indirect de biodiversiteit kunnen beïnvloeden. Deze kunnen afhankelijk van de lokale condities in meer- of mindere mate sturend zijn. Een algemeen beeld dat ontstaat is wel dat vooral de afwisseling van extreem droge- en natte condities in verschillende voedselarme en matige voedselrijke systemen tot een (sterke) toename van nutriënten beschikbaarheid kunnen leiden. Dit soort afwisselingen (*extreme transitions*) lijkt de afgelopen decennia toe te nemen, waarmee dus ook dit elkaar versterkende effect zich vaker zal uiten.

2. *Wat zijn (daardoor) de gevolgen van weersextremen op natuurlijke vegetatie – en daarmee direct en indirect op de biodiversiteit in het algemeen?*

Een (nog sterkere) toename in nutriëntenbeschikbaarheid zal de verruiging en het verlies van minder concurrentiekrachtige soorten doen toenemen. Hierdoor zal in ieder geval wat betreft de flora de biodiversiteit afnemen. Invasieve exoten varen wel bij sterke verstoringen zoals die veroorzaakt worden door weersextremen. Hoewel dit theoretisch biodiversiteit-verhogend is, blijkt de praktijk weerbarstig. Soorten zoals watercrassula, kleine waterteunisbloem en grote waternavel kunnen door hun concurrentiekracht in korte tijd de vegetatie sterk domineren waardoor inheemse soorten het onderspit delven.

3. *Welk onderscheid is er in de mate van gevoeligheid voor extreem weer tussen verschillende landschapsecologische eenheden (landschapstypen, habitattypen, plantengemeenschappen etc.).*

Planten, gemeenschappen en landschappen die al sterk onder druk staan, bijvoorbeeld door verhoogde stikstofdepositie, die op de rand of buiten optimale condities opereren zijn gevoelig voor de gevolgen van weersextremen. Habitattypen van vochtige standplaatsen zijn over het algemeen gevoeliger voor droogte dan

habitattypen die niet grondwaterafhankelijk zijn. En andersom geldt ook dat habitattypen van hoog (en droog) Nederland gevoeliger zijn voor langdurige natte condities, dan habitattypen van nattere standplaatsen. Het zijn echter wel de details (met name in water- en bodemkwaliteit) die de werkelijke respons en mate van gevoeligheid, waardoor het lastig is om generieke uitspraken te doen. Vooral de natuur in beekdalen lijkt erg gevoelig voor weersextremen, zowel droogte als natte perioden.

4. *Is het op basis van beschikbare informatie mogelijk om een handelingsperspectief te schetsen voor beheerders om landschapsecologische eenheden op het niveau van plantengemeenschappen minder gevoelig te maken voor extreme droogte en natte perioden? En wat zijn dan de belangrijkste adviezen?*

Het is verreweg het meest effectief om gebieden zo robuust mogelijk in te richten om in eerste instantie de directe hydrologische gevolgen van weersextremen te minimaliseren. Denk hierbij aan de aanleg van (water)buffers om gevolgen van droge of natte perioden te verminderen, maar ook het verbeteren van zuurbufferend vermogen van systemen door hydrologisch systeemherstel maakt basenrijke natuur weerbaarder tegen bodemverzuring door extreme droogte. Het voorkomen van harde grenzen in gebieden kan het pendelen van soorten te faciliteren om de gevolgen van hydrologische effecten te verminderen. Dit kan door bij inrichting van gebieden met lange, flauwe hoogtegradiënten te werken en te voorkomen dat paden en wegen en beheeractiviteiten parallellopen met hoogtelijnen in een gebied. Dit is echter niet in alle gevallen wenselijk, bijvoorbeeld bij een verhoogd risico op vestiging van invasieve exoten.

Ook kunnen gevoelige plantengemeenschappen (en landschapstypen) onderscheiden worden waar specifieke (technische) maatregelen nodig zijn om de negatieve gevolgen van weersextremen op voorhand te voorkomen. Denk bijvoorbeeld aan technische maatregelen om droogtegevoelige gebieden hydrologisch te isoleren van omliggende (ontwaterde) gebieden.

Er zijn echter geen *golden bullits* waarmee de gevolgen van weersextremen voor elke plantengemeenschap in elk landschapstype gemitigeerd kunnen worden. Er zijn wel generieke geen-spijt maatregelen, maar die zullen zeker niet overal afdoende zijn. Een meer gedetailleerde analyse voor specifieke landschapstypen (en elementen) – buiten de scope van dit onderzoek kan hier mogelijk al meer inzichten opleveren, waarbij bijvoorbeeld gebruik gemaakt kan worden van de beschrijving van de herstelstrategieën van Natura 2000 habitattypen (Jansen et al., 2012).

6.2 Geïdentificeerde kennisleemten

Naast de relatie tussen bodemchemische condities en plantensoorten (C. Aggenbach et al., 1999; Wamelink et al., 2012) bestaat er ook veel inzicht in de relatie tussen vegetatiesamenstelling en gemiddelde grondwatersituatie, en vaak ook over een bandbreedte voor de gemiddelde grondwaterstanden (GxG's) (Runhaar et al., 2009; Runhaar & Hennekens, 2015). Dit zegt echter niet alles over de effecten van tijdelijke extremen: want deze opereren op een hele andere (kortere) tijdschaal en mogelijk via hele andere processen.

Weersextremen hebben tot nu toe minder aandacht gehad in onder meer landschapsecologisch onderzoek, en dat is logisch te verklaren. Beschouwend onderzoek naar deze gebeurtenissen is namelijk niet planbaar, omdat het immers niet van tevoren te voorspellen is of een natte of droge weersextreem gaat optreden. Hierdoor vindt onderzoek plaats nadat het weersextreem opgetreden is, waardoor onderzoek voor een nulsituatie (of referentie) vaak afhankelijk is van informatie die toevallig vooraf verzameld was en niet met dit specifieke doel voor ogen. Walter (1980) schreef hierover “Het experiment wordt meestal door de natuur zelf uitgevoerd (droogteperioden, koudegolf e.d.) en de ecooloog moet op het juiste moment en op de juiste wijze het resultaat van dat experiment door metingen vastleggen”.

6.3 Aanvullend onderzoek en werkzaamheden

Gebiedsspecifieke data verzamelen en analyseren

Met voorliggende literatuurstudie wordt bevestigd dat generiek kwalificeren (laat staan kwantificeren) van de effecten van weersextremen op vegetatie en natuurkwaliteit op landschapsschaal niet eenvoudig is, zeker als extreem droge en natte perioden elkaar snel opvolgen. Om goed advies te geven over beheer (en inrichting) van natuurgebieden om de negatieve gevolgen van weersextremen te minimaliseren is gebiedsspecifieke informatie over de respons van vegetatie op weersextremen op dit moment nog onontbeerlijk -en mogelijk zal dit altijd zo blijven. Als hulpmiddel hiervoor is een eenvoudig veldmeetprotocol opgesteld (bijlage 1) waarmee de basale toestand van bodem, water en vegetatie zonder veel moeite kan worden vastgelegd tijdens en/of na het optreden van weersextremen.

Data verkregen met dit veldprotocol wordt nog waardevoller als de gegevens (automatisch) centraal verzameld worden, zodat robuuste analyses op landschapniveau tot de mogelijkheden gaan behoren. Bij voorkeur wordt hier aangesloten bij een bestaand systeem (en database) om gegevens te verzamelen en te delen.

Langlopende PQ-reeksen

Witte et al. (2024) gebruikten een selectie van de PQ-reeksen van het Landelijk Meetnet Flora om de gevolgen van droge jaren (2018-2020) op de vegetatiesamenstelling in beeld te brengen. Dergelijke analyses kunnen uitgebreid worden naar andere landschapstypen en ook naar langere perioden. In veel gevallen is er echter alleen informatie verzameld over de vegetatiesamenstelling (door vegetatieopnames) en ontbreekt direct gemeten informatie over de standplaatscondities. Mogelijk dat een analyse van gegevens in de ECOBASE van KWR, waar duizenden vegetatieopnames en gemeten waarden van standplaatscondities (zoals bodem pH, nutriëntenbeschikbaarheid) de afgelopen jaren in verzameld zijn meer inzicht in de onderliggende processen oplevert.

Directe effectmetingen in het veld

Een andere aanpak was die van Sykora (1979) na de droogte van (nog steeds) het recordjaar 1976. Hij heeft in 1977 de vegetatie opnieuw beschreven van vennen en duinvalleien waarvan gegevens van kort voor 1976 beschikbaar waren, en de verschillen geanalyseerd. Een dergelijke aanpak kan bij komende extremen ook worden gevolgd, mits daarvoor de slagkracht (budget en geschikte locaties) bestaat. Van veel meer plekken zijn nu recente vegetatiegegevens beschikbaar, niet alleen van de duizenden LMF-PQ's, maar ook uit vegetatiemonitoring o.a. in N2000-gebieden. Dit maakt het ook mogelijk om de koppeling met abiotische toestand te leggen, omdat op veel plaatsen hoogfrequent waterstanden worden gemonitord en er ook vaak data van bodem- en waterkwaliteit voorafgaand aan de beschikbaar zijn, die herhaald kunnen worden.

Experimenteel onderzoek in het lab

Daarnaast is er de mogelijkheid van gecontroleerde experimenten onder lab-condities. Een voorbeeld is het OBN-onderzoek naar de effecten van beekslibafzetting tijdens en na overstroming van broekbossen (Lucassen et al., 2022). Voor specifieke vraagstellingen is dit een handige methode, maar het is praktisch niet uitvoerbaar voor een breed scala aan vegetatietypen en ecosystemen, en de landschappelijke context ontbreekt. Overigens is eerder in het kader van risico-analyse voor waterberging en natuur wel veldonderzoek gedaan naar (spontane) slibafzetting en vegetatiesamenstelling (Stuijzand et al., 2007). Dit betreft voor deze gebieden geen extremen, maar periodiek optredende situaties).

Veldonderzoek in gradiënten

Als praktisch vervolg op dit verkennende literatuuronderzoek worden momenteel gegevens verzameld in de Empese en Tondense Heide (ETH). Hierbij wordt de aanpak van een deel van bovengenoemde mogelijke vervolgonderzoek gecombineerd. ETH is onderdeel van het Natura 2000-gebied Landgoederen Brummen en er loopt al een uitgebreide monitoring naar indicatoren van de toestand van het gebied. Aanvullend wordt er nu op een viertal hoogt gradiënten in dit gebied informatie verzameld over zonering van vegetatie en bijbehorende

abiotische toestand (Figuur 12). Dit zal in 2026 en/of 2027 opnieuw uitgevoerd worden, waarbij de zwaarte, timing en duur van optredende weersextremen zal bepalen wanneer data wordt verzameld. Dit zal dan informatie geven in hoeverre soorten kunnen pendelen langs een hoogtegradiënt en wat de gevolgen zijn (op het niveau van de vegetatie) van weersextremen op de biodiversiteit.



Figuur 12. Overzicht van een van de gradiënten die bij het veldonderzoek in de Empese en Tondense Heide onderzocht wordt met relatief smalle vegetatiegordels met veelstengelige waterbies, gewone waternavel en geoord veenmos als constante soorten (Foto: Martijn Antheunisse)

Referenties

- Abdalla, M., Bitterlich, M., Jansa, J., Püschel, D., & Ahmed, M. A. (2023). The role of arbuscular mycorrhizal symbiosis in improving plant water status under drought. In *Journal of Experimental Botany* (Vol. 74, Issue 16). <https://doi.org/10.1093/jxb/erad249>
- Aggenbach, C. J. S., Berg, M. P., Frouz, J., Hiemstra, T., Norda, L., Roymans, J., & van Diggelen, R. (2023). *Handreiking voor de omvorming van voormalige landbouwgronden naar schrale natuur* (I. Borkent, G. van Duinhoven, & W. Wiersinga, Eds.). Vereniging van Bos- en Natuurterreineigenaren (VBNE). <https://natuurkennis.nl/wp-content/uploads/2024/11/OBN-advies-handreiking-omvorming-landbouwgronden.pdf>
- Aggenbach, C., Jalink, M., & Nooren, M. (1999). *Indicatorenserie - Droge duinen, indicatorsoorten voor verdroging, verzuring en eutrofiëring in droge duinen* (Vol. 8).
- Antheunisse, A. M., Collas, F., Van Diepen, A., Van Braeckel, A., & Jocque, M. (2023). *Natuur en hoogwater in de Maas. Ecologische gevolgen van het zomerhoogwater van 2021 op de riviernatuur van de Maas. Interreg Euregio Meuse-Rhine project EMFloodResilience*.
- Antheunisse, A. M., & Verhoeven, J. T. A. (2008). Short-term responses of soil nutrient dynamics and herbaceous riverine plant communities to summer inundation. *Wetlands*, 28(1). <https://doi.org/10.1672/06-33.1>
- Aradottir, A. L., & Hagen, D. (2013). Ecological restoration: approaches and impacts on vegetation, soils and society. *Advances in Agronomy*, 120, 173–222. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780124076860000038>
- Aroca, R. (2013). Plant responses to drought stress: From morphological to molecular features. In *Plant Responses to Drought Stress: From Morphological to Molecular Features*. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-32653-0>
- Barrow, N. J. (2017). The effects of pH on phosphate uptake from the soil. *Plant and Soil*, 410(1–2). <https://doi.org/10.1007/s11104-016-3008-9>
- Basu, S., Ramegowda, V., Kumar, A., & Pereira, A. (2016). Plant adaptation to drought stress. In *F1000Research* (Vol. 5). <https://doi.org/10.12688/F1000RESEARCH.7678.1>
- Beltman, B., Willems, J. H., & Güsewell, S. (2007). Flood events overrule fertiliser effects on biomass production and species richness in riverine grasslands. *Journal of Vegetation Science*, 18(5). <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2007.tb02576.x>
- Bijlsma, R. J., van Delft, S. P. J., Loeb, R., & Bobbink, R. (2020). *Kansen voor oude droge heide in het heidelandschap*. VBNE.
- Bloomfield, J., & Marchant, B. (2013). Analysis of groundwater drought building on the standardised precipitation index approach. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17(12), 4769–4787.
- Bobbink, R., Loeb, R., Bijlsma, R. J., & van Delft, S. P. J. (2019). Doet extreme droogte stikstofbom in droge heide barsten? *Vakblad Natuur Bos Landschap*, 160, 3–6.
- Briones, M. J. I. (2014). Soil fauna and soil functions: A jigsaw puzzle. In *Frontiers in Environmental Science* (Vol. 2, Issue APR). <https://doi.org/10.3389/fenvs.2014.00007>
- Bucher, M. (2007). Functional biology of plant phosphate uptake at root and mycorrhiza interfaces. In *New Phytologist* (Vol. 173, Issue 1). <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2006.01935.x>
- Buishand, T. A., Brandsma, T., de Martino, G., & Spreeuw, J. N. (2011). Ruimtelijke verdeling van neerslagtrends in Nederland in de afgelopen 100 jaar. *H2O*, 44(24), 31–33.
- Callebaut, J., De Bie, E., De Becker, P., & Huybrechts, W. (2007). *NICHE Vlaanderen: SVW: 1-7*.
- Catford, J. A., & Jansson, R. (2014). Drowned, buried and carried away: Effects of plant traits on the distribution of native and alien species in riparian ecosystems. In *New Phytologist* (Vol. 204, Issue 1). <https://doi.org/10.1111/nph.12951>

- Chen, H., & Wang, S. (2022). Accelerated Transition Between Dry and Wet Periods in a Warming Climate. *Geophysical Research Letters*, 49(19), e2022GL099766. <https://doi.org/https://doi.org/10.1029/2022GL099766>
- Ciríaco Da Silva, E., Albuquerque, M., Azevedo Neto, A., & Silva Junior, C. (2013). Drought and Its Consequences to Plants – From Individual to Ecosystem. In S. Akinci (Ed.), *Responses of Organisms to Water Stress*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/53833>
- Cirkel, D. G., & Aggenbach, C. J. S. (2024). Gevolgen zeespiegelstijging en klimaatverandering op zoetwaterbel en duinvalleien - Literatuurstudie. In *KWR rapport - KWR 2024.073*. KWR.
- Cirkel, D. G., Van Beek, C., Witte, J. P. M., & van der Zee, S. (2014). Sulphate reduction and calcite precipitation in relation to internal eutrophication of groundwater fed alkaline fens. *Biogeochemistry*, 117, 375–393.
- Dao, M. T. T., Dell, B., Henry, D. J., & Harper, R. J. (2023). *Soil Water Repellency in Sandy Soils: A Review*. https://doi.org/10.1007/978-3-031-50285-9_24
- De Bruijn, K., & Slager, K. (2021). Wat als ‘de waterbom’ elders in Nederland was gevallen? In *Hackathon Deltares*. Deltares.
- Deng, L., Peng, C., Kim, D. G., Li, J., Liu, Y., Hai, X., Liu, Q., Huang, C., Shangguan, Z., & Kuzyakov, Y. (2021). Drought effects on soil carbon and nitrogen dynamics in global natural ecosystems. *Earth-Science Reviews*, 214, 103501. <https://doi.org/10.1016/J.EARSCIREV.2020.103501>
- Descamps, C., Quinet, M., & Jacquemart, A. L. (2021). The effects of drought on plant–pollinator interactions: What to expect? *Environmental and Experimental Botany*, 182, 104297. <https://doi.org/10.1016/J.ENVEXPBOT.2020.104297>
- Dorenbosch, M., de la Haye, M., van de Haterd, R., Huthoff, F., van Kleunen, A., & Liefveld, W. (2022). Klimaat effecten op riviernatuur. In *Rapport nummer OBN-2020-121-RI*. Kennisnetwerk OBN.
- Ellenberg, H. (1974). *Indicator values of the vascular plants of central Europe*.
- Farooq, M., Hussain, M., Wahid, A., & Siddique, K. H. M. (2012). Drought stress in plants: An overview. In *Plant Responses to Drought Stress: From Morphological to Molecular Features* (Vol. 9783642326530). https://doi.org/10.1007/978-3-642-32653-0_1
- Gao, C., van Bodegom, P. M., Bezemer, T. M., Veldhuis, M. P., Mancinelli, R., & Soudzilovskaia, N. A. (2023). Soil Biota Adversely Affect the Resistance and Recovery of Plant Communities Subjected to Drought. *Ecosystems*, 26(3). <https://doi.org/10.1007/s10021-022-00785-2>
- Geurts, J. J. M., Sarneel, J. M., Willers, B. J. C., Roelofs, J. G. M., Verhoeven, J. T. A., & Lamers, L. P. M. (2009). Interacting effects of sulphate pollution, sulphide toxicity and eutrophication on vegetation development in fens: A mesocosm experiment. *Environmental Pollution*, 157(7). <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2009.02.024>
- Grime, J. P. (1973). Competitive exclusion in herbaceous vegetation. *Nature*, 242(5396). <https://doi.org/10.1038/242344a0>
- Guo, X., Drury, C. F., Yang, X., Daniel Reynolds, W., & Fan, R. (2014). The Extent of Soil Drying and Rewetting Affects Nitrous Oxide Emissions, Denitrification, and Nitrogen Mineralization. *Soil Science Society of America Journal*, 78(1). <https://doi.org/10.2136/sssaj2013.06.0219>
- He, M., & Dijkstra, F. A. (2014). Drought effect on plant nitrogen and phosphorus: a meta-analysis. *New Phytologist*, 204(4), 924–931.
- Hesse, C. (2018). *Integrated water quality modelling in meso-to large-scale catchments of the Elbe river basin under climate and land use change*.
- Hoekstra, N. J., Sleiderink, J. W. M., Deru, J. G. C., van Agtmaal, M., & van Eekeren, N. (2020). *Hydrofobie op veengrond: oorzaken en maatregelen - Rapportage van lab-experimenten in Project Integrale Bodemverbetering Feangreide*. Louis Bolk Instituut.
- Jacob, J. (2003). The response of small mammal populations to flooding. *Mammalian Biology*, 68(2). <https://doi.org/10.1078/1616-5047-00068>
- Jalink, M. H. (2010). *Basenrijk grondwater in het Binnenveld*. KWR Watercycle Research Institute.
- Jalink, M. H., & Brouwer, E. (2022). *Versjangeleert één bever de Moeselpel? Adviesvraag OBN-031-NZ, BE*. VBNE.

- Jansen, A. J. H., van Dobben, H. F., Bal, D., & Smits, N. A. C. (2012). *Herstelstrategieën stikstofgevoelige habitats Deel III: Landschapsecologische inbedding van de herstelstrategieën*. Programmadirectie Natura 2000 (Unie van Bosgroepen, Alterra Wageningen UR).
- Jones, R. A. C., & Barbetti, M. J. (2012). Influence of climate change on plant disease infections and epidemics caused by viruses and bacteria. In *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources* (Vol. 7). <https://doi.org/10.1079/PAVSNNR20127022>
- Kleyer, M., Bekker, R. M., Knevel, I. C., Bakker, J. P., Thompson, K., Sonnenschein, M., Poschlod, P., Van Groenendael, J. M., Klimeš, L., Klimešová, J., Klotz, S., Rusch, G. M., Hermy, M., Adriaens, D., Boedeltje, G., Bossuyt, B., Dannemann, A., Endels, P., Götzenberger, L., ... Peco, B. (2008). The LEDA Traitbase: A database of life-history traits of the Northwest European flora. In *Journal of Ecology* (Vol. 96, Issue 6). <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2008.01430.x>
- Klimkowska, A., van Dobben, H., Keizer-Vlek, H., Wallis de Vries, M., Bijlsma, R.-J., & Schotman, A. (2011). *Urgente maatregelen voor Habitattypen; behoud van urgent bedreigde typische soorten en vegetietypen* (Issue Alterrapport 2278). Alterra Wageningen UR (University & Research centre).
- Kooyers, N. J. (2015). The evolution of drought escape and avoidance in natural herbaceous populations. *Plant Science*, 234, 155–162. <https://doi.org/10.1016/J.PLANTSCI.2015.02.012>
- Kristensen, T. N., Ketola, T., & Kronholm, I. (2020). Adaptation to environmental stress at different timescales. In *Annals of the New York Academy of Sciences* (Vol. 1476, Issue 1). <https://doi.org/10.1111/nyas.13974>
- Lamers, L. P. M., Govers, L. L., Janssen, I. C. J. M., Geurts, J. J. M., Van der Welle, M. E. W., Van Katwijk, M. M., Van der Heid, T., Roelofs, J. G. M., & Smolders, A. J. P. (2013). Sulfide as a soil phytotoxin-a review. In *Frontiers in Plant Science* (Vol. 4, Issue JUL). <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00268>
- Lamers, L. P. M., Tomassen, H. B. M., & Roelofs, J. G. M. (1998). Sulfate-induced eutrophication and phytotoxicity in freshwater wetlands. *Environmental Science and Technology*, 32(2). <https://doi.org/10.1021/es970362f>
- Lucassen, E. C. H. E. T., Jalink, M. H., Dorland, E., Ertsen, D., & Schipper, R. (2022). De invloed van overstroming op de bodemchemie en vegetatie van broekbossen in beekdalen. Experimenteel onderzoek op een drietal bodem- en vegetietypen. *Stromingen*, 2022(02).
- Luo, R., & Gilbert, B. (2022). Timing of short-term drought structures plant–herbivore dynamics. *Oikos*, 2022(1). <https://doi.org/10.1111/oik.08860>
- Martínez-Arias, C., Witzell, J., Solla, A., Martin, J. A., & Rodríguez-Calcerrada, J. (2022). Beneficial and pathogenic plant-microbe interactions during flooding stress. In *Plant Cell and Environment* (Vol. 45, Issue 10). <https://doi.org/10.1111/pce.14403>
- McKee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*.
- Mens, M., Klostermann, J., & Klijn, F. (2024). Terug naar de (water)basis. In *Een herbeschouwing van drie beproefde onderzoeksmethoden voor het integreren van ruimtelijke ordening en waterbeheer*. STOWA.
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (2020). Handleiding Verdringsreeks bij Watertekorten. In *Handleiding*. Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. https://www.infomil.nl/publish/pages/162770/handleiding_verdringsreeks_-_versie_2020.pdf
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat. (1998). Vierde Nota Waterhuishouding - anders omgaan met water. In *Beleidsnota*. Ministerie van Verkeer en Waterstaat. <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/kst-25800-XIV-22.html>
- Mishra, A. K., & Singh, V. P. (2010). A review of drought concepts. In *Journal of Hydrology* (Vol. 391, Issues 1–2). <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.07.012>
- Mojzes, A., Ónodi, G., Lhotsky, B., Kalapos, T., & Kröel-Dulay, G. (2020). Experimental drought indirectly enhances the individual performance and the abundance of an invasive annual weed. *Oecologia*, 193(3). <https://doi.org/10.1007/s00442-020-04711-y>
- Paarlberg, A., Eijssink, R., Vermulst, H., van Herk, A., & Garritsen, T. (1999). *De toekomst van de natte natuur in Nederland: eindrapport Nationaal Onderzoek Verdroging*. RIZA.

- Philip, S. Y., Kew, S. F., van der Wiel, K., Wanders, N., & van Oldenborgh, G. J. (2020). Regional differentiation in climate change induced drought trends in the Netherlands. *Environmental Research Letters*, 15(9), 094081. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab97ca>
- Ploughe, L. W., Jacobs, E. M., Frank, G. S., Greenler, S. M., Smith, M. D., & Dukes, J. S. (2019). Community Response to Extreme Drought (CRED): a framework for drought-induced shifts in plant–plant interactions. In *New Phytologist* (Vol. 222, Issue 1). <https://doi.org/10.1111/nph.15595>
- Plum, N. (2005). Terrestrial invertebrates in flooded grassland: A literature review. In *Wetlands* (Vol. 25, Issue 3). [https://doi.org/10.1672/0277-5212\(2005\)025\[0721:TIFGA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1672/0277-5212(2005)025[0721:TIFGA]2.0.CO;2)
- Ponting, J., Kelly, T. J., Verhoef, A., Watts, M. J., & Sizmur, T. (2021). The impact of increased flooding occurrence on the mobility of potentially toxic elements in floodplain soil – A review. *Science of The Total Environment*, 754, 142040. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2020.142040>
- Pronk, G. J., Stofberg, S. F., Van Dooren, T. C. G. W., Dingemans, M. M. L., Frijns, J., Koeman-Stein, N. E., Smeets, P. W. M. H., & Bartholomeus, R. P. (2021). Increasing Water System Robustness in the Netherlands: Potential of Cross-Sectoral Water Reuse. *Water Resources Management*. <https://doi.org/10.1007/s11269-021-02912-5>
- Qu, W., Suo, L., Liu, R., Liu, M., Zhao, Y., Xia, L., Fan, Y., Zhang, Q., & Gao, Z. (2022). Influence of Temperature on Denitrification and Microbial Community Structure and Diversity: A Laboratory Study on Nitrate Removal from Groundwater. *Water (Switzerland)*, 14(3). <https://doi.org/10.3390/w14030436>
- Runhaar, J. (2006). *Natuur in de verdringingsreeks* (Issue 1302). Alterra.
- Runhaar, J., Arts, G. H. P., Knol, W. C., Makaske, B., & van den Brink, N. G. M. (2004). *Waterberging en natuur; kennisoverzicht ten behoeve van regionale waterbeheerders*. STOWA.
- Runhaar, J., Gieske, J. M. J., & Rolf, H. L. M. (1994). Een kwantitatieve methode voor de bepaling van de verdroging van natuurterreinen. *H2O*, 27, 304–309.
- Runhaar, J., & Hennekens, S. (2015). *Hydrologische randvoorwaarden natuur: gebruikershandleiding (waternoodapplicatie versie 3)*. Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA).
- Runhaar, J., Jalink, M. H., Hunneman, H., Witte, J. P. M., & Hennekens, S. M. (2009). *Ecologische vereisten habitattypen*. KWR Water Research Institute.
- Runhaar, J., van Wirdum, G., & Hendriks, C. M. A. (2000). Naar een meetnet verdroging. In *Alterra-rapport;108*.
- Sanders, S. K. D., van Kleunen, M., Allan, E., & Thakur, M. P. (2025). Effects of extreme drought on the invasion dynamics of non-native plants. *Trends in Plant Science*, 30(3), 291–300. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2024.10.009>
- Schaminée, J., Haveman, R., Hommel, P. W. F. M., Janssen, J. A. M., de Ronde, I., Schipper, P. C., Weeda, E. J., van Dort, K. W., & Bal, D. (2017). *Revisie vegetatie van Nederland*. Westerlaan Publisher.
- Schärer, M.-L., Fuchslueger, L., Canarini, A., Richter, A., Lüscher, A., & Kahmen, A. (2025). Post-drought organic carbon mineralization leads to high productivity and nutrient uptake efficiency of perennial grassland after rewetting. *Soil Biology and Biochemistry*, 204, 109744. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2025.109744>
- Shukla, S., & Wood, A. W. (2008). Use of a standardized runoff index for characterizing hydrologic drought. *Geophysical Research Letters*, 35(2).
- Sival, F. P., Jansen, P. C., Nijhof, B., & Heidema, A. H. (2002). Overstroming en vegetatie: literatuurstudie over de effecten van overstroming op voedselrijkdom en zuurgraad. *Wageningen, Alterra, 2002. Alterra-Rapport 335, 66 Blz*.
- Smolders, A. J. P., Verhoeven, J., Tomassen, H. B. M., Mullekom, M. van, van Kempen, M. M. L., Roelofs, J., & Lamers, L. P. M. (2013). *Waterberging en veenvorming als klimaatbuffer: Kansen en valkuilen vanuit biogeochemisch perspectief*.
- Sø, H. U., Postma, D., Jakobsen, R., & Larsen, F. (2011). Sorption of phosphate onto calcite; results from batch experiments and surface complexation modeling. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 75(10). <https://doi.org/10.1016/j.gca.2011.02.031>

- Stirling, E., Fitzpatrick, R. W., & Mosley, L. M. (2020). Drought effects on wet soils in inland wetlands and peatlands. *Earth-Science Reviews*, 210, 103387. <https://doi.org/10.1016/J.EARSCIREV.2020.103387>
- Stuijtzand, S., van Ek, R., Belien, E., Beumer, V., Croese, E., Diggelen, R., Eigenhuijsen, E., Goeij, S., Grotenboer, A., & Hommel, P. (2007). *Praktijkervaringen met waterberging in natuur (ontwikkelings) gebieden: hoofdrapport pilotprogramma waterberging en natuur* (Issue 1632). RWS Waterdienst [etc.].
- Sykora, K. V. (1979). The effects of the severe drought of 1976 on the vegetation of some moorland pools in The Netherlands. *Biological Conservation*, 16(2), 145–162. [https://doi.org/10.1016/0006-3207\(79\)90062-4](https://doi.org/10.1016/0006-3207(79)90062-4)
- Teuling, A. J. (2018). A hot future for European droughts. *Nature Climate Change*, 8(5), 364–365.
- Tockner, K., Malard, F., & Ward, J. V. (2000). An extension of the flood pulse concept. *Hydrological Processes*, 14(16–17). [https://doi.org/10.1002/1099-1085\(200011/12\)14:16/17<2861::AID-HYP124>3.0.CO;2-F](https://doi.org/10.1002/1099-1085(200011/12)14:16/17<2861::AID-HYP124>3.0.CO;2-F)
- Tomassen, H. B. M., Limpens, J., Nijp, J. J., van Duinen, G. A., & Smolders, A. J. P. (2022). *Stimuleren van acrotelmontwikkeling in hoogveenrestanten: Eindrapportage OBN-17-87-NZ en acrotelmonderzoek Noord-Brabant*.
- Ummenhofer, C. C., & Meehl, G. A. (2017). Extreme weather and climate events with ecological relevance: A review. In *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* (Vol. 372, Issue 1723). <https://doi.org/10.1098/rstb.2016.0135>
- Van den Eertwegh, G., Bartholomeus, R., de Louw, P., Witte, F., van Dam, J., van Deijl, D., Hoefsloot, P., Clevers, S., Hendriks, D., van Huijgevoort, M., Hunink, J., Mulder, N., Pouwels, J., & De Wit, 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*.
- Van den Eertwegh, G., de Louw, P., Witte, J.-P., van Huijgevoort, M., Bartholomeus, R., van Deijl, D., van Dam, J., Hunink, J., America, I., Pouwels, J., Hoefsloot, P., & de Wit, J. (2021). *Eindrapport project “Droogte Zandgronden Nederland” (Fase 3): Droogte in zandgebieden van Zuid-, Midden- en Oost-Nederland: het verhaal - analyse van droogte 2018 en 2019 en bevindingen*.
- Van der Molen, P. C., Baaijens, G., Grootjans, A., & Jansen, A. (2010). *LESA Landschapsecologische Systeemanalyse*.
- Van Eck, W. H. J. M., Van De Steeg, H. M., Blom, C. W. P. M., & De Kroon, H. (2004). Is tolerance to summer flooding correlated with distribution patterns in river floodplains? A comparative study of 20 terrestrial grassland species. *Oikos*, 107(2). <https://doi.org/10.1111/j.0030-1299.2004.13083.x>
- Van Gerven, L., Hendriks, R., Harmsen, J., Beumer, V., & Bogaart, P. (2011). *Nalevering van fosfor naar het oppervlaktewater vanuit de waterbodem: Metingen in een veengebied in de Krimpenerwaard* (Issues 1566–7197).
- Van Looy, K., & Kurstjens, G. (2023). *Maas in Beeld. Ecologische impact van hoogwater juli 2021 op flora en fauna langs de Grensmaas*.
- Verdonschot, R. C. M., Verdonschot, P. F. M., Knol, B., Schmidt, G., Scheepens, M., Brugmans, B., van Beers, P., & Lenssen, J. (2020). Effecten van de droge zomer van 2018 op de macrofauna in laaglandbeken. *H2O Online*.
- Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., & López-Moreno, J. I. (2010). A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate*, 23(7), 1696–1718.
- Walter, H. (1980). *Confessions of an Ecologist*. Fischer Verlag.
- Wamelink, G. W. W., Joosten, V., van Dobben, H. F., & Berendse, F. (2002). Validity of Ellenberg indicator values judged from physico-chemical field measurements. *Journal of Vegetation Science*, 13(2). <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2002.tb02047.x>
- Wamelink, G. W. W., van Adrichem, M., van Dobben, H., Frissel, J., den Held, M., Joosten, V., Malinowska, A., Slim, P., & Wegman, R. (2012). Vegetation relevés and soil measurements in the Netherlands: The Ecological Conditions Database (EC). *Biodiversity & Ecology*, 4. <https://doi.org/10.7809/b-e.00067>

- Witte, J. P. M., Runhaar, J., Bartholomeus, R. P., Fujita, Y., Hoefsloot, P., Kros, J., Mol, J., & de Vries, W. (2018). *De waterwijzer natuur: instrumentarium voor kwantificeren van effecten van waterbeheer en klimaat op terrestrische natuur* (Issues 2018–44). Stowa.
- Witte, J. P. M., van Strien, A., Hennekens, S., Wamelink, G. W. W., van den Eertwegh, G. A. P. H., & van Klaveren, S. (2024). Gevolgen van de droge jaren 2018-2020 voor de vegetatie van natuurgebieden op de Hogere Zandgronden van Nederland. In *Een analyse van vegetatieopnamen uit het Landelijk Meetnet Flora* (Rapport/ Wageningen Environmental Research). Wageningen Environmental Research. <https://doi.org/10.18174/684849>

Bijlage 1. Meetprotocol weersextremen en biodiversiteit



Meetprotocol weersextremen: in beeld brengen van effecten op biodiversiteit

Dit document is een bijlage bij het rapport: Antheunisse, A.M., J. de Wit, M. Jalink (2025) Versterken van biodiversiteit tegen weersextremen. Rapport KWRW 2025.061, KWR Waterwijs, Nieuwegein

1.	Inleiding.....	2
2.	Classificatie van het weersextreem op locatie	4
3.	Algemene werkwijze en vastleggen van data.....	6
4.	Water	8
5.	Bodem.....	11
6.	Vegetatie	13
7.	Voorbeeldformulieren registratie waarnemingen en metingen	16

1. Inleiding

Doel van dit veldprotocol

Dit veldprotocol beschrijft hoe waarnemingen tijdens en na weersextremen **gestructureerd, uniform en reproduceerbaar** kunnen worden verzameld in natuurgebieden. De focus ligt op de effecten op **water, bodem en vegetatie**, waarbij vegetatie fungeert als indicator voor (verandering in) biodiversiteit.

Het protocol beoogt:

- het voorkomen dat veldwaarnemingen beperkt blijven tot losse, anekdotische observaties;
- het systematisch vastleggen van lokale effecten van extreme droogte en natheid;
- het opbouwen van een consistente en vergelijkbare dataset voor analyse op locatie-, gebieds- en landschapsniveau;
- het ondersteunen van terreinbeheerders, beheerders en onderzoekers bij het duiden van schade, herstel en trends in biodiversiteit.

Toepassingsniveaus

Het protocol kent drie niveaus van complexiteit en benodigde tijd om specifieke waarnemingen te verzamelen. Hierdoor is het geschikt voor zowel medewerkers zonder specialistische training als voor ecologen die gedetailleerde gegevens verzamelen.

- **Niveau 1 – Basiswaarnemingen**
Eenvoudige, visuele observaties die weinig tijd en geen specialistische kennis vragen.
- **Niveau 2 – Eenvoudige metingen**
Laagdrempelige kwantitatieve metingen waarvoor beperkte training en materialen nodig zijn.
- **Niveau 3 – Uitgebreidere metingen**
Observaties en metingen die door ecologen of technische specialisten worden uitgevoerd, en die vaak meer tijd kosten.

Scope en afbakening

Binnen scope

Dit protocol is bedoeld voor toepassing in Nederlandse natuurgebieden, ongeacht landschapstype (zand, klei, veen, duinen, rivieren). De focus ligt op waarnemingen aan **plotselinge of tijdelijke extremen**, zoals:

- extreme droogte (kort, langdurig of meerjarig);
- extreme natte omstandigheden (inundatie, waterverzadiging, piekbuien);
- snelle afwisseling tussen droog en nat (indien relevant voor waarneming);
- directe en indirecte effecten op standplaatscondities en vegetatie.

Buiten scope

Het protocol richt zich **niet** op:

- structurele verdroging of vernattingstrajecten op lange termijn;
- beheer- of herstelmaatregelen (staan in het hoofdrapport);
- laboratoriumanalyses anders dan eenvoudige veldmethoden;
- uitgebreide ecologische interpretatie (staat in het hoofdrapport).

Wanneer toe te passen

Het veldprotocol is bruikbaar:

- **tijdens** een weersextreem (indien veilig uit te voeren; altijd een risico-inschatting maken);
- **direct na** een extreem voor het vastleggen van acute schade en zichtbare verschuivingen;
- **herhaald** in de weken tot maanden erna voor het volgen van herstel of verdere veranderingen;
- in het **daaropvolgende groeiseizoen** om effecten (of ontbreken daarvan) op langere termijn in beeld te brengen.

Wat levert het protocol op?

Toepassing van dit protocol resulteert in:

- **een** kwalitatieve én kwantitatieve indruk van de extremiteit en impact van het weersextreem;
- direct inzicht in afwijkingen in waterpeil, bodemprocescondities en vegetatiestress;
- reproduceerbare gegevens die gebruikt kunnen worden voor:
 - o monitoring op lange termijn;
 - o vergelijking van locaties of verschillende jaren;
 - o analyse van herstelvermogen;
 - o onderbouwing van beheerkeuzes.

2. Classificatie van het weersextreem op locatie

Het correct interpreteren van veldwaarnemingen begint met het vastleggen van hoe extreem de situatie op de locatie daadwerkelijk was. Dit gebeurt via een combinatie van **objectieve indexwaarden** en een **veldscore** gebaseerd op zichtbare effecten.

Meteorologische en hydrologische extremiteit (SPEI-3 en SGI-3)

De actuele mate van droogte of natheid kan worden opgezocht op:

www.droogteportaal.nl

Hier zijn voor verschillende locaties de volgende gegevens beschikbaar:

- **SPEI-3** – indicator voor meteorologische droogte of natheid (neerslagtekort of neerslagoverschot over 3 maanden).
- **SGI-3** – indicator voor grondwaterstanden (te laag, normaal, te hoog).

Werkwijze:

- Zoek meetpunt of dichtstbijzijnde locatie op in het droogteportaal.
- Noteer de **actuele classificatie én waarde** voor SPEI-3 en SGI-3.
- Voeg deze toe aan het veldformulier.

Deze indexen worden ook gebruikt in de bijbehorende literatuurstudie en sluiten aan bij de nationale droogte- en natheidsmonitoring.

Veldscore: intensiteit van het weersextreem (1–4)

Naast de landelijke indexwaarden wordt in het veld een **korte, uniforme score** toegekend die de waarneembare effecten samenvat.

Score	Omschrijving	Effecten	Indicatieve kenmerken
-4	Extreme droogte	Zeer grote effecten	Volledige droogval van waterlopen, massale sterfte, zware bodemveranderingen
-3	Sterke droogte	Grote effecten	Grote delen drooggevalen, veel stresssymptomen, begin sterfte dominante soorten
-2	Droogte	Duidelijke effecten	Sterke verwelking planten, beperkte sterfte, duidelijke droge bodemindicaties
-1	Matige droogte	Matige afwijkingen	Oppervlakkige scheuren, lichte verwelking planten
0	Normaal	Geen significante afwijkingen	Geen duidelijke natte of droge indicatoren
1	Matig nat	Matige afwijkingen	Kleine plasvorming, lichte verwelking door zuurstoftekort, oppervlakkig natte bodem
2	Nat	Duidelijke effecten	Inundatie tot ± 10 cm, sterke stresssymptomen, duidelijke natte bodemindicaties
3	Sterk nat	Grote effecten	>10 cm inundatie, begin sterfte dominante soorten, sterke stresssymptomen
4	Extreem nat	Zeer grote effecten	Langdurige inundatie, massale sterfte, sterke bodemveranderingen

Wat noteren op het veldformulier

Per meetlocatie worden minimaal vastgelegd:

- SPEI-3 (waarde + classificatie);
- SGI-3 (waarde + classificatie);
- veldscore (-1 tot 4);
- datum en locatie (GPS).

Deze combinatie maakt het mogelijk om lokale waarnemingen te koppelen aan landelijke droogte- en natheidsinformatie en voorkomt dat veldwaarnemingen losstaan van bredere hydrologische context. Als hulp zijn aan het eind van dit protocol voorbeeldformulieren opgenomen die aangevuld en gebruikt kunnen worden om informatie vast te leggen.

3. Algemene werkwijze en vastleggen van data

Dit onderdeel beschrijft hoe veldwaarnemingen tijdens en na een weersextreem op een uniforme, vergelijkbare en bruikbare manier worden verzameld. De richtlijnen zijn van toepassing op alle onderdelen van het protocol.

Vorbereiding van het veldbezoek

Verzamelen van basisinformatie

Voor vertrek worden de volgende elementen voorbereid:

- **Locaties** die bezocht worden (coördinaten of kaarten).
- Actuele **SPEI-3** (meteorologische droogte/natheid) en **SGI-3** (grondwaterafwijking) van het dichtstbijzijnde meetpunt via www.droogteportaal.nl.
- Relevante **historische veldgegevens** of eerdere metingen (waterstanden, vegetatieopnamen, bodemmetingen).

Benodigde materialen

Neem de basisset aan veldmaterialen mee die past bij het beoogde niveau (N1–N3), zoals:

- meetlint/duimstok;
- peilklokje;
- veldboekje of formulier;
- GPS of smartphone;
- Spuitfles, druppelpipet met (demi)water;
- RTK-GPS (voor XYZ-metingen);
- pH-strips en EGV-meter (indien niveau 2);
- thermometer (indien geen EGV-meter met temperatuuraanduiding, watermetingen, niveau 3);
- camera of smartphone.

Veldregistratie: essentiële basisinformatie

Tijdens ieder veldbezoek worden minimaal de volgende metadata vastgelegd:

- datum en tijd;
- locatie (RDNAP of WGS84);
- naam waarnemer(s);
- type weersextreem (droog / nat);
- veldscore intensiteit (1–4);
- korte situatiebeschrijving, zoals:
 - o toegankelijkheid van het terrein;
 - o eventuele verstoringen (beheer, recreatie);
 - o bijzonderheden die invloed hebben op waarneming of meting.

Documentatie in het veld

Foto's

Het vastleggen van beeldmateriaal is essentieel, omdat foto's cruciaal zijn voor herhaalbaarheid en vergelijking tussen momenten.

Minimaal vastleggen:

- Overzichtsfoto (oriëntatiepunt zichtbaar).
- Foto grens water met referentiepunt in beeld; bij gedeeltelijke droogval grens laatste plas, liefst met referentiepunt.
- Detailfoto vegetatie.
- Detailfoto bodem of water (slib, scheuren, droogval, inundatie).

Foto's worden altijd gekoppeld aan:

- datum;
- locatie;
- korte toelichting (bijv. *"oeverzone na 5 dagen inundatie"*).

Registratie volgens toepassingsniveau

Per meetpunt wordt aangegeven welk niveau is toegepast: 1 – basisobservaties, 2 – simpele metingen, 3 – uitgebreidere metingen. NB. De meeste metingen/ waarnemingen met betrekking tot de toestand van water en bodem (onderdeel 4 en 5) zijn specifiek geschikt voor droge OF natte weersextremen, vegetatiewaarnemingen leveren voor beide weersextremen relevante informatie op.

Opslag en datadeling

Na afloop van het veldbezoek worden alle gegevens centraal (en digitaal) opgeslagen. Minimaal worden bewaard:

- Ingevuld veldformulier (digitaal of scan).
- Foto's (met herleidbare bestandsnaam: *locatie_datum*).
- Meetwaarden in tabelvorm.

Aanbevolen frequentie van metingen

Het is wenselijk dat metingen en observaties meerdere keren worden uitgevoerd om zowel directe als indirecte effecten van het weersextreem zichtbaar te maken:

- **Tijdens het weersextreem**, maar alleen wanneer dit **veilig** is (voortdurend risico inschatten).
- **Binnen 2 weken na afloop**, afhankelijk van de snelheid waarmee condities normaliseren.
- **Na 4–8 weken**, voor een eerste beoordeling van herstel of voortgaande schade.
- **In het volgende groeiseizoen**, om te bepalen hoe sterk blijvende effecten doorwerken.

Eén bezoek levert al waardevolle informatie; aanvullende bezoeken vergroten het inzicht.

4. Water

Dit onderdeel beschrijft hoe tijdens en na een weersextreem veranderingen in het oppervlaktewater en grondwater worden vastgelegd.

Niveau 1 – Basisobservaties (visueel)

Bereik en diepte van inundatie

Doel

Vaststellen waar en hoe hoog het water boven maaiveld staat of heeft gestaan.

Werkwijze

- Indien water aanwezig is: schat of meet de grootste diepte (duimstok/peilstok/peilklokje).
- Meet afstand waterlijn tot vast referentiepunt (peilbuis, paaltje, boom; incl foto)
- Noteer maximale diepte (cm) en ruimtelijke verbreiding: *“alleen laagtes”, “oeverzone”, “gehele perceel”, enz.*
- Indien drooggevallen: registreer de locatie van aanspoelgordels, slibafzetting op planten of natte randen als indicatie van recent waterniveau.

Toelichting

De hoogte en verbreiding van inundatie bepalen in sterke mate de druk op vegetatie (verdrinking) en bodemprocessen (zuurstofloosheid).

Aanwezigheid of droogval van waterlopen en plassen

Doel

Documenteren hoe oppervlaktewater reageert op droogte of natte extremen.

Werkwijze

- Noteer: geheel drooggevallen, deels drooggevallen, of normaal water aanwezig.
- Noteer of stroming zichtbaar is (bij beken/slootjes).

Toelichting

Droogval of stilstand is een directe indicator van hydrologische stress voor waterplanten, fauna en oevervegetatie.

Niveau 2 – Eenvoudige metingen (laagdrempelig)

pH van oppervlaktewater (pH-strips)

Doel

Vaststellen of de zuurgraad afwijkt van wat lokaal normaal is.

Werkwijze

- Verzamel een watermonster uit goed gemengde zone van het waterlichaam, niet direct uit de oever (richtlijn >50cm uit de oever)
- Gebruik een geschikte pH strip (bijv. Merck) en volg de instructies op de verpakking
- Noteer pH-waarde + korte interpretatie (*lager, normaal, hoger dan gebruikelijk*).

Toelichting

Afwijkende pH-waarden kunnen wijzen op zuurstofloosheid, instroom van gebiedsvreemd water, verhoogde afbraakprocessen of verzuring bij droogte.

Elektrische geleidbaarheid (EC / EGV)

Doel

Kwantificeren van opgeloste stoffen in het water.

Werkwijze

- Verzamel een watermonster uit goed gemengde zone van het waterlichaam, niet direct uit de oever (richtlijn >50cm uit de oever)
- Meet EC met eenvoudige handmeter
- Noteer waarde ($\mu\text{S}/\text{cm}$).
- Bij ontbreken van meter: beschrijf troebelheid/slib als alternatieve indruk.

Toelichting

EC neemt vaak toe door verdamping in droge extremen of door nutriëntenrijk slib/oppervlaktewaterinflux tijdens natte extremen. Indien de EGV-meter ook temperatuur meet, waarde ook noteren.

Niveau 3 – Uitgebreidere hydrologische metingen

Grondwaterstand (meting stijghoogte in peilbuis)

Doel

Objectieve bepaling van verandering in grondwaterstand tijdens of na een weersextreem.

Werkwijze

- Lees een bestaande **ondiepe peilbuis** (freatisch (1^e) watervoerend pakket) uit. Indien er geen peilbuis in de nabije omgeving staat, kan er voor gekozen worden (tijdelijk) een peilbuis te plaatsen.
- Noteer: grondwaterstand (cm t.o.v. maaiveld), peilbuis ID, eventuele afwijking t.o.v. normale seizoenswaarden.

Toelichting

Grondwaterstand is een van de sterkste voorspellers van vegetatiestress en doorwerking van natte/droge extremen.

Waterpeil oppervlaktewater (kwantificering)

Doel

Nagaan hoe sterk waterstanden in sloten, plassen, vennen of beken afwijken van normaal.

Werkwijze

- Meet waterpeil met duimstok/meetlat t.o.v. welk? maaiveld.
 - o OF lees peilschaal af indien aanwezig.
 - o OF meet waterstand t.o.v. bovenkant peilbuis of paaltje
- Bij stuw: stroomt er water? Zo nee, hoever staat water bovenstrooms beneden stuw?
- Noteer afwijking t.o.v. referentie/gebruikelijk peil.

Toelichting

Verhoogde waterstanden vergroten kans op inundatie en zuurstofloosheid; zeer lage waterstanden versterken opwarming, droogval en daarmee zuurstofstress. Met een RTK-GPS kan snel nauwkeurig XYZ van veel punten gemeten worden, waardoor een ruimtelijk beeld van verbreiding (en diepte) van inundatie geschetst kan worden.

Zuurstofconcentratie in oppervlaktewater (indien meter beschikbaar)

Doel

Inschatten of zuurstofstress optreedt als gevolg van warm ondiep water of langdurige inundatie.

Werkwijze

- Meet DO (mg/L of % saturatie) met DO-meter (Mettler Toleda, Hanna)
- Noteer:
 - o <4 mg/L → risico op stress
 - o <2 mg/L → vrijwel zuurstofloos

Toelichting

Zeer laag zuurstofgehalte is een aanwijzing voor afbraakprocessen, stilstaand water of hoge temperatuur.

Watertemperatuur oppervlaktewater (alternatief wanneer geen DO-meter beschikbaar is)

Doel

Indirect bepalen van risico op zuurstofstress.

Werkwijze

- Meet temperatuur aan het oppervlak en 10 cm onder het oppervlak met digitale thermometer.
- Noteer opvallend hoge temperaturen.

Toelichting

Warm water houdt minder zuurstof vast; risico op stress is groot in ondiepe, stilstaande wateren tijdens droogte. Het is ook mogelijk om bodemtemperatuur te meten met dezelfde elektrode.

5. Bodem

Dit onderdeel beschrijft eenvoudige tot iets specialistischer veldhandelingen om de bodemrespons tijdens/na weersextremen vast te leggen. De geselecteerde indicatoren zijn praktisch uitvoerbaar, informatief en passen bij het onderscheid tussen droge en natte extremen.

Niveau 1 – Basisobservaties (visueel)

Verslemping / modderige bovenste zone

Doel

Zichtbaar maken of het bodemoppervlak door regen/natte perioden is dichtgeslagen, met verminderde infiltratie als gevolg.

Werkwijze

- Visuele check: glanzend, “gesmeerd” oppervlak, oppervlakkige plasvorming.
- Classificeer kort: *geen*, *licht* of *sterk*.

Toelichting

Verslemping verlengt natte condities en kan zuurstofgebrek in de wortelzone versterken.

Aanwezigheid van slib/sediment (visueel)

Doel

Signaleren of recent **slib** is afgezet (bijv. na overstroming of afstroming).

Werkwijze

- Let op een fris, fijn laagje op vegetatie/bodem; noteer *kleur* en *structuur* (fijn/korrelig).
- Beschrijf de **verbreiding**: *alleen laagtes*, *oeverzone*, *brede strook*, etc. Leg de grens vast met RTK-GPS, meting ten opzichte van een referentiepunt of foto

Toelichting

Slib kan nutriëntenrijk zijn en de vegetatiesamenstelling richting ruigte/woekeraars duwen.

Hydrofobie (waterafstotend oppervlak)

Doel

Detecteren van **waterafstotendheid** van de toplaag na (langdurige) droogte.

Werkwijze

- Druppeltest: laat enkele druppels water op kale bodem vallen.
- Beoordeel: *directe opname* (geen hydrofobie) vs. *afparelen/weglopen* (hydrofobie).
- Classificeer: *geen*, *licht*, *duidelijk*.

Toelichting

Hydrofobie bevordert oppervlakkige afstroming en kan droogtestress verlengen. En leidt tot inundatie lokale laagten

Niveau 2 – Eenvoudige metingen (laagdrempelig)

Vochtstatus wortelzone

Doel

Eenduidig vastleggen hoe nat/droog de wortelzone is.

Werkwijze

- Kwalitatieve “feel test” (graven/kneden) of eenvoudige vochtmeter.
- Classificeer: *nat – vochtig – matig droog – droog – zeer droog*.
- Noteer diepte waarop dit is beoordeeld (indicatief, bijv. 10–20 cm).

Toelichting

De vochtstatus is de directe schakel tussen weersextreem en plantbeschikbaarheid van water.

Slibdikte (cm) — indien aanwezig

Doel

Kwantificeren van **sedimentaanvoer**.

Werkwijze

- Meet op representatieve plek(ken) de dikte met duimstok/liniaal (mm–cm).
- Noteer tevens *textuur* (fijn/korrelig) en *kleur*.

Toelichting

Meer slib is een grotere kans op eutrofiëring, verstikking planten en veranderingen in vegetatiesamenstelling

Niveau 3 – Uitgebreidere bodemmetingen (zonder specialistische apparatuur)

Testgat: kleur/geur als proxy voor redoxcondities

Doel

Inschatten of (en hoe diep) de bodem **zuurstofarm of-loos** is geraakt.

Werkwijze

1. Graaf een ondiep gat ($\pm$ 20–30 cm) in een representatieve (natte/overgangs)zone.
2. Observeer kleur van het profiel:
 - o roestbruin → geoxideerd (zuurstofrijk),
 - o grijs/blauw → gereduceerd (zuurstofarm), (blauw is gereduceerd ijzer)
 - o zwart → sterk gereduceerd (*OF* veraard veen: check met geur! Zie onder)
3. Check geur: *rotte eieren* = H_2S (sulfide), indicatie van toxische reductieprocessen.

Toelichting

Langdurige natte condities verschuiven de redoxhuishouding; dit is cruciale context voor vegetatieschade en herstelvermogen.

Oxidatiefront

Doel

Eenvoudige indicatie van de diepte van de overgang geoxideerd $\leftrightarrow$ gereduceerd.

Werkwijze

1. Sla een stuk wapeningsijzer verticaal de bodem in; laat idealiter enkele dagen staan (of plaats zo snel mogelijk na het extreem).
2. Trek eruit en bepaal de overgangsdiepte waar roest (boven) overgaat in grijs/zwart (onder).
3. Noteer de diepte (cm) en geef een korte interpretatie (*ondiep* vs. *diep* oxidatiefront).

Toelichting

Een ondiep oxidatiefront wijst op aanhoudende verzadiging en kans op zuurstofgebrek in de wortelzone.

6. Vegetatie

Dit onderdeel beschrijft hoe tijdens en na weersextremen de toestand van de vegetatie wordt vastgelegd. Vegetatie is een belangrijke indicator voor effecten op biodiversiteit, omdat soorten en begroeiingsstructuren snel en zichtbaar reageren op hydrologische en bodemveranderingen.

De drie niveaus lopen op van eenvoudige visuele indrukken tot volledige vegetatieopnamen door een ecooloog.

Niveau 1 – Basisobservaties

Vitaliteit / stressbeeld

Doel

Een eerste indruk krijgen van hoe de vegetatie reageert op het weersextreem.

Werkwijze

Observeer per meetpunt of er sprake is van:

- Chlorose/vergeling,
- Verslechte/rottende bladeren
- Verwelking,
- Afgestorven delen, open of kale plekken” ingedroogde (witte) veenmoslagen, afgestorven heidestruikjes etc.
- Afgestorven of net weer uitlopende pollen (b.v. Pijpenstrootje) + hoogte t.o.v. maaiveld
- Noteer een korte kwalificatie: **goed – matig – slecht**, aangevuld met max. één regel toelichting (bijv. “sterke verwelking in hogere delen van het perceel”).
- Maak foto’s van de belangrijkste waarnemingen

Toelichting

Visuele stresssignalen zijn vaak het eerste teken van droogte-, zuurstof- of nutriëntenstress.

Ruimtelijke patronen en verschuivingen

Doel

Zichtbaar maken hoe vegetatie ruimtelijk verschuift door natte of droge condities.

Werkwijze

Noteer veranderingen zoals:

- Toename van ruigte of open plekken.
- Verschuiving van natte/droge zones.
- Terugtrekking van soorten uit overstroomde delen.
- Ontwikkeling van droge stresszones op hoger gelegen plekken.

- Kortgeleden drooggevallen laagten (nog geen planten plantengroei).

Toelichting

Weersextremen veroorzaken vaak duidelijke veranderingen in patronen op kleine schaal (bijv. oever → hogerop, nat → droger).

Niveau 2 – Doelsoorten, exoten & korte toestandbeschrijving

Doelsoorten

Doel

Vaststellen of voor het gebied kenmerkende of gewenste soorten aanwezig blijven of afnemen.

Werkwijze

- Controleer de aan-/afwezigheid van vooraf gedefinieerde doelsoorten. Gebruik van apps als Obsidentify kunnen helpen, maar zijn geen garantie op 100% correcte identificatie.
- Geef een eenvoudige indruk van de trend:
stabiel – afnemend – toenemend (op basis van zichtbare bedekking/aanwezigheid).

Toelichting

Doelsoorten zijn vaak gevoelig voor veranderingen in hydrologie of bodem; verschuivingen zijn waardevolle indicatoren.

Invasieve exoten en woekeraars

Doel

Vroegtijdig signaleren of verstoring door het weersextreem leidt tot kansen voor exoten of dominante woekeraars.

Werkwijze

- Noteer waargenomen exoten of woekeraars (bijv. Watercrassula, Grote waternavel, Waterlepeltje, Veldrus).
- Schat de omvang grofweg:
enkele pollen – kleine vlekken – grote vlekken – dominante strook.

Toelichting

Invasieven profiteren vaak snel van stress of open plekken, vooral na natte extremen of droogte gevolgd door regen.

Korte toestandbeschrijving van de vegetatie

Doel

Een compacte maar informatieve samenvatting geven van veranderingen in structuur en bedekking.

Werkwijze

Beschrijf in maximaal 2–3 regels:

- Grote veranderingen in bedekking (toename/afname).
- Ruigteontwikkeling of afname van kenmerkende soorten.

Toelichting

Deze beschrijving biedt context zonder dat een volledige opname nodig is.

Niveau 3 – Volledige vegetatieopnamen (expert)

Volledige vegetatieopname (Braun-Blanquet / intern protocol)

Doel

Gedetailleerde vastlegging van soortensamenstelling en bedekking voor kwaliteitsanalyse of monitoring door de tijd.

Werkwijze

- Voer een opname uit volgens een gestandaardiseerde methode (bijv. Braun-Blanquet, procentuele bedekking).
- Noteer: alle soorten, bedekkingen per soort, gebruikte methode etc.

Toelichting

Herhaling op dezelfde locatie maakt voor-na-analyse mogelijk en is essentieel voor het bepalen van structurele effecten van extremen, zie onderdeel 3 voor aanbevolen frequentie.

Zonering / gradiëntopnamen

Doel

Verspreiding en verschuiving van soorten langs een **nat–droog** of **hoog–laag** gradiënt inzichtelijk maken.

Werkwijze

- Zet meerdere kleine opnamepunten uit langs een korte gradiënt (bijv. oever → hogere delen).
- Noteer soorten en bedekking per deelplot.

Toelichting

Dit levert waardevolle informatie op over hoe vegetatiezones reageren op extreme droogte of inundatie.

7. Voorbeeldformulieren registratie waarnemingen en metingen

In onderdeel 2 en 3 wordt beschreven welke informatie altijd essentieel is voor het goed kunnen interpreteren van observaties aan water, bodem en vegetatie (onderdeel 4-6). Aangezien veel bedrijven, organisaties en individuen hun eigen systemen hebben om gegevens vast te leggen hebben we geen volledig directieve registratieformulieren opgesteld, wel een 'algemeen' formulier voor essentiële metadata en een formulier dat gebruikt kan worden voor waarnemingen wat betreft 'water' vast te leggen

Registratieformulier vastleggen effecten weersextremen 'algemeen'

ALGEMENE GEGEVENS	
Datum	
Tijd	
Naam waarnemer(s)	
Organisatie	
Locatie (GPS: RDNAP / WGS84)	
Gebiedsnaam / deelgebied	
WEERSEXTREEM	
Type	☐ droogte ☐ natte periode
Aanleiding veldbezoek	☐ tijdens extreem ☐ direct na extreem ☐ herstelmeting
Start – eind weersextreem	
INDEXWAARDEN (droogteportaal.nl)	
Index SPEI-3	Waarde: ____ Classificatie: ____ Gebruikt punt: _____
Index SGI-3	Waarde: ____ Classificatie: ____ Gebruikt punt: _____
LOKALE INTENSITEIT (veldscore)	
Intensiteitsscore (-1 – 4)	☐ -1 ☐ -2 ☐ -3 ☐ -4 ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4
Motivatie veldscore	
SITUATIE TER PLAATSE	
Toegankelijkheid	☐ goed ☐ matig ☐ slecht
Veiligheidsbeoordeling	☐ veilig ☐ risico's aanwezig (toelichten)
Weersomstandigheden veldbezoek	
Bijzonderheden / context	
FOTO'S	
Overzichtsfoto	☐ bijgevoegd
Detailfoto bodem/water	☐ bijgevoegd
Detailfoto vegetatie	☐ bijgevoegd
Extra foto's	☐ ja ☐ nee
OVERIGE OPMERKINGEN	
Ruimte voor toelichting:	

Registratieformulier vastleggen effecten weersextremen 'water'

ALGEMENE GEGEVENS	
Datum	
Tijd	
Naam waarnemer(s)	
Organisatie	
Locatie (GPS: RDNAP / WGS84)	
Gebiedsnaam / deelgebied	
WATER – Niveau 1 (basisobservaties)	
Inundatiediepte (cm)	
Ruimtelijke extent inundatie (alleen laagtes / oeverzone / hele vak)	
Droogval / stroming (volledig / gedeeltelijk / stroming aanwezig / stilstaand)	
WATER – Niveau 2 (eenvoudige metingen)	
pH (strip) – interpretatie (lager / normaal / hoger)	
EC / EGV ($\mu\text{S}/\text{cm}$), temperatuur – interpretatie (laag / normaal / hoog)	
WATER – Niveau 3 (uitgebreidere hydrologische metingen)	
Grondwaterstand (peilbuis) – cm t.o.v. maaiveld Peilbuis- ID	
Oppervlaktewaterpeil – peilschaal of gemeten peil (cm) Afwijking t.o.v. normaal	
Zuurstof (mg/L of % saturatie) – drempels: <4 mg/L stress; <2 mg/L zeer laag	☐ gemeten waarde:
Watertemperatuur ($^{\circ}\text{C}$) – indicatie zuurstofstress bij warm ondiep/stilstaand water	
OPMERKINGEN	
Vrije toelichting (max. 3 regels)	