

Advies over droogte-indicatoren voor grondwaterafhankelijke vegetaties en stilstaande wateren met belangrijke natuurwaarden

Adviesnummer:	<u>INBO.A.3630</u>
Auteur(s):	Jan Wouters, Luc Denys, Jeroen Vanden Borre
Contact:	Niko Boone (niko.boone@inbo.be)
Kenmerk aanvraag:	ANB 2017/27
Geadresseerden:	Agentschap voor Natuur- en Bos Afdeling AVES – Team Relatiebeheer - Expert Water T.a.v. Erwin De Meyer Lange Kievitstraat 111-113 bus 63 2018 Antwerpen erwin.demeyer@vlaanderen.be
Cc:	Agentschap voor Natuur- en Bos Joris Janssens (joris.janssens@vlaanderen.be)

Dr. Maurice Hoffmann
Administrateur-generaal wnd.

Aanleiding

Naar aanleiding van de droogte gedurende de lente en de zomer van 2017 is de Coördinatiecommissie Integraal Waterbeleid (CIW) aangesteld als 'droogtecoördinator'. De CIW stelt in functie daarvan een draaiboek op voor crisisbeheer bij droogte om het operatief handelen bij langdurige droogte/waterschaarste beter te kunnen coördineren. Er zullen ook Vlaamse en provinciale droogtecommissies opgericht worden die bij langdurige droogte/waterschaarste samenkomen om informatie uit te wisselen en maatregelen voor te bereiden.

Aan elke betrokken 'sector' (landbouw, drinkwatervoorziening, natuur ...) werd gevraagd een of meerdere droogte-indicatoren voor te stellen. Op basis van meetgegevens kan dan, bij het overschrijden van een bepaalde drempelwaarde, geconcludeerd worden dat er effecten van droogte kunnen optreden.

Vraag

1. Wat zijn mogelijke droogte-indicatoren voor grondwaterafhankelijke vegetaties en voor stilstaande wateren met belangrijke natuurwaarden?
2. Vanaf welke drempelwaarde of overschrijdingstermijn van die drempelwaarde is er wellicht geen, een matige negatieve of een zeer negatieve impact van de droogte op de vegetatie?
3. Hoe kunnen drempelwaarden die voor elk vegetatietype verschillend zijn, geaggregeerd en opgeschaald worden naar een drempelwaarde op een beleidsmatig relevant schaalniveau (SBZ, bekken, provincie ...)?

Toelichting

1 Inleiding en inhoud van dit advies

Alle planten (en dieren) hebben behoefte aan water en zijn op zich gevoelig voor verdroging. Natuurwaarden waarvoor de watervoorziening contact met het grondwater vereist, worden als *grondwaterafhankelijk* beschouwd. De oorsprong van dit grondwater, de plaats waar de neerslag infiltreert, kan variëren van lokaal (in de onmiddellijke omgeving van de ecotoop) tot regionaal (op grotere afstand, in de grootteorde van kilometers). Grondwaterafhankelijkheid betekent echter nog niet dat de beschikbaarheid van water altijd beïnvloedbaar is door wateronttrekking van buitenaf. Voorbeelden hiervan zijn vegetaties die voorkomen op stuwwatertafels, zoals eiken-haagbeukenbos, of - zeer uitgesproken - (echt) hoogveen¹. Voor natuurwaarden die geheel of gedeeltelijk door grondwater van externe oorsprong gevoed worden, is dit wel het geval. Deze worden hier als door *grondwater gevoed* aangeduid, ter onderscheid met de grotere groep van grondwaterafhankelijke natuurwaarden. Slechts op die plaatsen waar door grondwater gevoede natuurwaarden voorkomen met een oorsprong die het lokale overstijgt, maar die ook niet uitsluitend regionaal is, kunnen de gevolgen van uitzonderlijke droogte op korte termijn door brongerichte maatregelen (bv. beperking van het watergebruik) gemilderd worden.

Dit advies behandelt daarom geen aquatische natuurwaarden die (nagenoeg) geheel getijafhankelijk of louter aan stromend oppervlaktewater gebonden zijn. Aspecten zoals

¹ Het zijn natuurtypen waarbij het infiltratiegebied min of meer samenvalt met het gebied van voorkomen.

(over)stromingsregime komen evenmin aan bod. Hiervoor verwijzen we naar Buysse *et al.* (2017) en lopend INBO-onderzoek².

We maken geen onderscheid tussen verdrogningseffecten op natuurwaarden die het gevolg zijn van een neerslagtekort, van wateronttrekking of van drainage.

We focussen in de eerste plaats op ecotopen/natuurtypen die in het Vlaamse natuurbeleid een bijzondere bescherming genieten. Het betreft (semi-)terrestrische en aquatische natuur van natte en moerassige milieus, alsook van droogvallende en permanente wateren (tabel 1). Dit betekent niet dat de droogteproblematiek ook voor andere natuurwaarden waarvoor de grondwatervoeding een rol speelt, op eenzelfde wijze in beeld gebracht kan worden.

Tabel 1: Door grondwater gevoede natuurtypen waarop dit advies betrekking heeft.

Natura 2000 code	Hoofdtype	Subtype	Verkorte naam
1310_pol	eenjarige pioniervegetaties van slik- en zandgebieden met <i>Salicornia</i> spp. en andere zoutminnende soorten	binnendijks gelegen zeekraalvegetaties	binnendijkse zeekraalvegetatie
1330_bin	Atlantische schorren (<i>Glauco-Puccinellietalia maritimae</i>)	binnendijkse zilte vegetaties	zilte graslanden
1330_hpr	Atlantische schorren (<i>Glauco-Puccinellietalia maritimae</i>)	binnendijkse zilte vegetaties	zilte graslanden
2170	duinen met <i>Salix repens</i> ssp. <i>argentea</i> (<i>Salicion arenariae</i>)		kruiplwilgstruwelen
2190	vochtige duinvalleien	overige waterrijke duinbiotopen	vochtige duinvalleien
2190_a	vochtige duinvalleien partim aquatisch	habitatwaardige plassen in vochtige duinvalleien	duinplassen
2190_mp	vochtige duinvalleien	duinpannen met kalkminnende vegetaties	duinpannen (kalkrijk)
2190_overig	vochtige duinvalleien	overige waterrijke duinbiotopen	overige waterrijke duinbiotopen
3110	mineraalarme oligotrofe wateren van de Atlantische zandvlakten (<i>Littorelletalia uniflorae</i>)		zeer zwakgebufferde vennen
3130	oligotrofe tot mesotrofe stilstaande wateren met vegetatie behorend tot het <i>Littorelletalia uniflorae</i> en/of <i>Isoëto-Nanojuncetea</i>		zwakgebufferde vennen
3130_aom	oligotrofe tot mesotrofe stilstaande wateren met vegetatie behorend tot het <i>Littorelletalia uniflorae</i> en/of <i>Isoëto-Nanojuncetea</i>	oligotrofe tot mesotrofe vijvers en vennen met pioniersgemeenschappen op de kale oever of in de ondiepe oeverzone (<i>Littorelletea</i>)	oligotrofe tot mesotrofe vijvers en vennen
3130_na	oligotrofe tot mesotrofe stilstaande wateren met vegetatie behorend tot het <i>Littorelletalia uniflorae</i> en/of <i>Isoëto-Nanojuncetea</i>	oevers van tijdelijke of permanente plassen en/of poelen met eenjarige dwergbiezenvegetaties (<i>Isoëto-Nanojuncetea</i>)	dwergbiezenvegetaties
3140	kalkhoudende oligo-mesotrofe wateren met bentische <i>Chara</i> spp. vegetaties		kranswierwateren

² [https://pureportal.inbo.be/portal/nl/projects/onderzoek-naar-de-effecten-van-gewijzigde-overstromingsregimes-op-natura2000habitats-evinbo\(080a683e-4f07-4a37-beb9-c3f810891511\).html](https://pureportal.inbo.be/portal/nl/projects/onderzoek-naar-de-effecten-van-gewijzigde-overstromingsregimes-op-natura2000habitats-evinbo(080a683e-4f07-4a37-beb9-c3f810891511).html)

Natura 2000 code	Hoofdtype	Subtype	Verkorte naam
3150	van nature eutrofe meren met vegetatie van het type <i>Magnopotamion</i> of <i>Hydrocharition</i>		meren met krabbenscheer en fonteinkruiden
3160	dystrofe natuurlijke poelen en meren		zure vennen
4010	Noord-Atlantische vochtige heide met <i>Erica tetralix</i>		vochtige heide
6230_hmo	soortenrijke heischrale graslanden op arme bodems van berggebieden (en van submontane gebieden in het binnenland van Europa)	vochtige, heischrale graslanden	vochtige heischrale graslanden
6410	grasland met <i>Molinia</i> op kalkhoudende, venige, of lemige kleibodem (<i>Molinion caeruleae</i>)		blauwgraslanden
6410_mo	grasland met <i>Molinia</i> op kalkhoudende, venige, of lemige kleibodem (<i>Molinion caeruleae</i>)	blauwgrasland s.s.	blauwgrasland
6410_ve	grasland met <i>Molinia</i> op kalkhoudende, venige, of lemige kleibodem (<i>Molinion caeruleae</i>)	veldrusassociatie	veldrusgrasland
6430_hf	voedselrijke zoomvormende ruigten van het laagland en van de montane en alpiene zones	verbond van moerasspirea	moerasspirearuigte
6430_hw	voedselrijke zoomvormende ruigten van het laagland en van de montane en alpiene zones	verbond van harig wilgenroosje	ruigte en zoom met harig wilgenroosje
6430_mr	voedselrijke zoomvormende ruigten van het laagland en van de montane en alpiene zones	ruigere rietlanden in zwak brakke omstandigheden met echte heemst, moeraslathyrus en/of moerasmelkdistel	ruiger rietland
6510_hua	laaggelegen schraal hooiland (<i>Alopecurus pratensis</i> , <i>Sanguisorba officinalis</i>)	grote vossenstaartverbond	vossenstaartgrasland
6510_hus	laaggelegen schraal hooiland (<i>Alopecurus pratensis</i> , <i>Sanguisorba officinalis</i>)	glanshavergraslanden met grote pimpernel	pimpernelgrasland
7140	overgangs- en trilveen		overgangs- en trilveen
7140_base	overgangs- en trilveen	basenrijk trilveen met ronde zegge	basenrijk trilveen
7140_cl	overgangs- en trilveen	mineraalarm, circum-neutraal overgangsvveen	circum-neutraal overgangsvveen
7140_meso	overgangs- en trilveen	mineraalarm, circum-neutraal overgangsvveen	circum-neutraal overgangsvveen
7140_mrd	overgangs- en trilveen	moerasvaren- en/of (veen)mosrijke rietlanden op drijftillen	rietland op drijftillen
7140_oli	overgangs- en trilveen	oligotroof en zuur overgangsvveen	zuur overgangsvveen
7150	slenken in veengronden met vegetatie behorend tot het <i>Rhynchosporion</i>		pioniervegetaties met snavelbiezen

Natura 2000 code	Hoofdtype	Subtype	Verkorte naam
7210	kalkhoudende moerassen met <i>Cladium mariscus</i> en soorten van het <i>Caricion davallianae</i>		galigaanmoerassen
7220	kalktufbronnen met tufsteenformatie (<i>Cratoneurion</i>)		kalktufbronnen
7230	alkalisch laagveen		kalkmoerassen
91E0	bossen op alluviale grond met <i>Alnus glutinosa</i> en <i>Fraxinus excelsior</i> (<i>Alno-Padion</i> , <i>Alnion incanae</i> , <i>Salicion albae</i>)		vochtige alluviale bossen
91E0_vc	bossen op alluviale grond met <i>Alnus glutinosa</i> en <i>Fraxinus excelsior</i> (<i>Alno-Padion</i> , <i>Alnion incanae</i> , <i>Salicion albae</i>)	goudveil-essenbos	goudveil-essenbos
91E0_vn	bossen op alluviale grond met <i>Alnus glutinosa</i> en <i>Fraxinus excelsior</i> (<i>Alno-Padion</i> , <i>Alnion incanae</i> , <i>Salicion albae</i>)	ruigt-elzenbos	ruigt-elzenbos
91E0_vm	bossen op alluviale grond met <i>Alnus glutinosa</i> en <i>Fraxinus excelsior</i> (<i>Alno-Padion</i> , <i>Alnion incanae</i> , <i>Salicion albae</i>)	mesotroof broekbos op minder voedselrijke standplaatsen	mesotroof broekbos
91E0_vo	bossen op alluviale grond met <i>Alnus glutinosa</i> en <i>Fraxinus excelsior</i> (<i>Alno-Padion</i> , <i>Alnion incanae</i> , <i>Salicion albae</i>)	oligotroof broekbos, oligotroof broekbos, inclusief elzen-berkenbroekbos en berkenbroekbos	oligotroof broekbos
91E0_va	bossen op alluviale grond met <i>Alnus glutinosa</i> en <i>Fraxinus excelsior</i> (<i>Alno-Padion</i> , <i>Alnion incanae</i> , <i>Salicion albae</i>)	beekbegeleitend vogelkers-essenbos en essen-iepenbos	beekbegeleitend bos
91E0_sf	bossen op alluviale grond met <i>Alnus glutinosa</i> en <i>Fraxinus excelsior</i> (<i>Alno-Padion</i> , <i>Alnion incanae</i> , <i>Salicion albae</i>)	zachtouthoutoibos	wilgenvloedbos
rbbah	brak of zilt water		brak of zilt water
rbbhc	dotterbloemgrasland		dotterbloemgrasland
rbbhf	moerasspirearuigte met graslandkenmerken		moerasspirearuigte met graslandkenmerken
rbbmc	grote zeggenvegetatie		grote zeggenvegetatie
rbbmr	rietland en andere vegetaties van het rietverbond (indien niet vervat onder habitatype 6430)		rietland en andere <i>Phragmition</i> -vegetaties niet vervat in 6430
rbbms	kleine zeggenvegetaties niet vervat in overgangsveen (type 7140)		kleine zeggenvegetaties niet vervat in 7140
rbbsf	vochtig wilgenstruweel op voedselrijke bodem (indien niet vervat in habitatype 91E0)		vochtig wilgenstruweel op voedselrijke bodem niet vervat in 91E0
rbbsm	gagelstruweel (indien niet vervat in een habitatype)		gagelstruweel niet vervat in een habitatype
rbbso	vochtig wilgenstruweel op venige of zure grond		vochtig wilgenstruweel op venige of zure grond
rbbvos	soortenrijk grote vossenstaartgrasland		grote vossenstaartgrasland niet vervat in 6510
rbbzil	zilverschoongrasland zonder zilte elementen		zilverschoongrasland zonder zilte elementen

2 Keuze van droogte-indicatoren: principes

Rekening houdend met de beoogde 'early warning' functie moet de indicator voldoen aan volgende kenmerken:

- kwantitatief: de indicator moet de mogelijkheid bieden om een afwijking van gangbare omstandigheden vast te stellen en de waarden van de indicator moeten beoordeeld kunnen worden ten opzichte van een gekend of af te leiden basisniveau;
- gevoelig: de indicator moet in staat zijn een verandering in de potentiële schadefactor (watertekort) te signaleren die kleiner is dan deze waarbij reeds beduidende negatieve effecten optreden;
- snel: de reactie van de indicator op een potentieel negatieve ontwikkeling moet voldoende snel zijn opdat de mogelijke maatregelen nog een effectieve uitwerking kunnen hebben;
- zuiver: een betrouwbaar signaal vereist dat andere factoren dan droogte zo min mogelijk de veranderingen in de indicator (kunnen) beïnvloeden. De indicator moet dus relatief onafhankelijk zijn van veranderingen in andere factoren, zodat de indicatie eenduidig wijst op verdroging en niet interfereert met andere, daarmee niet samenhangende factoren.

Een 'gevoelige' indicator minimaliseert vals negatieve indicaties, een 'zuivere' indicator vals positieve indicaties.

Als aan deze vereisten voldaan is, zullen ook andere aspecten, zoals ruimtelijke representativiteit, mogelijkheid tot automatisatie, storings- en schadegevoeligheid, duurzame uitbating (inclusief kosteneffectiviteit) en eventuele meerwaarde voor andere monitoringinspanningen, aan bod komen bij het maken van een optimale keuze. Hierbij moet ook 'over sectoren heen' gedacht worden. Een zinvolle indicator vanuit landbouwoogpunt kan bijvoorbeeld ook nuttig zijn voor natuur en omgekeerd. Deze aspecten worden hier niet in detail uitgewerkt. Omdat indicatoren onderling verschillen in de mate waarin ze tegemoetkomen aan het geheel van vereisten, kan het nodig zijn meerdere indicatoren gelijktijdig in te zetten of hun aanwijzingen getrap (hiërarchisch, complementair) te benutten. Dit kan tot een hogere betrouwbaarheid leiden of een gradatie in ernst mogelijk maken.

Om de betrokken instanties toe te laten tijdig de nodige milderende maatregelen te nemen, moeten de indicatoren een snelle responstijd hebben (maximaal 1 à 2 weken). We gaan uit van een evaluatie na maximaal 1 maand. Daarom komen enkel **fysische** indicaties van droogte of droogtestress in aanmerking. Populatieveranderingen van biota, inclusief vegetatiewijzigingen, nemen immers langere tijd in beslag.

We onderscheiden twee categorieën van indicatoren. Indicatoren met een plaatselijk karakter vereisen dat lokale waarden beoordeeld worden ten opzichte van een voor die plaats gebruikelijke toestand. Deze waarden kunnen vervolgens veralgemeend worden naar een uitspraak op een hoger ruimtelijk niveau waarop de milderende maatregelen betrekking zullen hebben. Sommige indicatoren die een ruimtelijk geïntegreerd beeld opleveren, kunnen zonder meer toegepast worden op het beleidsrelevante schaalniveau. Voor andere is dit echter niet het geval. Beide categorieën vereisen een referentiebasis waaraan de ernst van een droogtefenomeen kan worden afgemeten. Dit impliceert kennis van de temporele variatie. Voor sommige indicatoren zijn hiervoor nu al voor bepaalde plaatsen voldoende data beschikbaar, maar dit kan niet veralgemeend worden. Dit bepaalt mee de mogelijkheden voor een snelle implementatie.

3 Effecten van droogte op natuurwaarden

De meeste planten en de vegetaties die ze vormen, zijn voor hun watervoorziening afhankelijk van de beschikbaarheid van water in de wortelzone of, bij aquatische natuurtypen, boven het bodemoppervlak. De waterbehoefte kan in de loop van de groei- en voortplantingscyclus variëren. Dit geldt ook voor de fauna die in dergelijke vegetaties leeft.

De waterbeschikbaarheid in het milieu is daarnaast ook bepalend voor de aard en intensiteit van (bio-)geochemische processen en stoffencycli die de geschiktheid van een ecotoop voor bepaalde organismen bepalen. Droogte kan dus ook een indirect effect hebben op de vegetatie.

De waterbehoefte van afzonderlijke soorten en levensgemeenschappen is onderling dermate verscheiden, wisselend en afhankelijk van plaatselijke omstandigheden, dat het niet mogelijk is om een algemeen geldend niveau te bepalen waarbij een watertekort een rechtstreeks nadelig gevolg zal hebben. Dit geldt eveneens voor indirecte effecten van verdroging.

Dit betekent dat enkel een pragmatische invulling aan de derde deelvraag kan worden gegeven. We gaan er daarbij van uit dat **elke toename** in frequentie en intensiteit van de stressfactor 'droogte' ten opzichte van de achtergrondvariatie potentieel negatieve gevolgen kan hebben en dat deze effecten zullen toenemen naarmate deze afwijking groter wordt. Het afleiden van abiotische bereiken voor afzonderlijke natuurtypen is onderdeel van lopend INBO-onderzoek³ en kan nog niet in dit advies worden geïntegreerd.

4 Droogte-indicatoren

Een watergebrek kan volgens het DPSIR-model⁴ op meerdere vlakken geduid worden. In dit advies behandelen we een drukindicator (P), het algemeen neerslagtekort, die in oorzakelijk verband staat met de aan- of afvoer van water en verschillende toestandsindicatoren (S) die de toestand van de watervoorraad in de omgeving van de vegetatie beschrijven. Een drukindicator kan algemeen toegepast worden op alle vegetaties of cultuurgewassen die voor deze druk gevoelig zijn. De evaluatie van een drukindicator die initieel voor bijvoorbeeld landbouw- of drinkwaterdoeleinden werd opgesteld, kan waarschijnlijk ook voor andere doeleinden (waaronder natuur) gebruikt worden. Dat geldt slechts in bepaalde mate voor toestandsindicatoren. Deze laatste laten wel beter toe om rekening te houden met de plaatselijke omstandigheden, omdat drukindicatoren op een grotere ruimtelijke schaal betrekking hebben.

De toestand van de watervoorraad kan o.a. beschreven worden door het niveau van het grond- of oppervlaktewater (respectievelijk grondwaterstand en oppervlaktewaterpeil), de wateroppervlakte en de evapotranspiratie (zie onder).

Deze variabelen vertonen doorheen het jaar een typisch seizoenaal patroon. Figuur 1 geeft een voorbeeld voor grondwaterstanden. Natuurlijke oorzaken voor de seizoenale fluctuaties van deze variabelen zijn de hogere verdamping bij hogere temperaturen (evaporatie) en het hogere waterverbruik door planten/vegetaties⁵ bij hun seizoensgebonden activiteit (transpiratie)⁶.

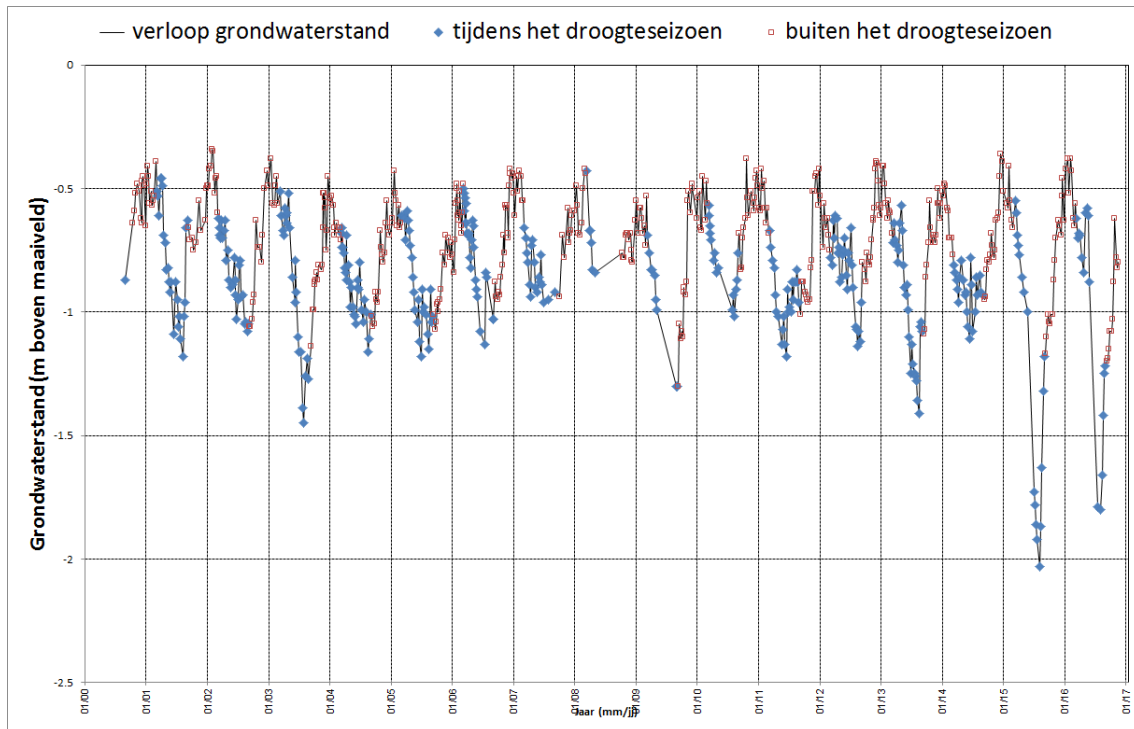
³ [https://pureportal.inbo.be/portal/nl/projects/habnorm--environmental-quality-standards-for-european-protected-habitat-types-and-habitats-of-species\(58ec6240-a517-4bfa-9ff2-0ac8f15640c1\).html](https://pureportal.inbo.be/portal/nl/projects/habnorm--environmental-quality-standards-for-european-protected-habitat-types-and-habitats-of-species(58ec6240-a517-4bfa-9ff2-0ac8f15640c1).html)

⁴ DPSIR staat voor Driver, Pressure, State, Impact en Responses. Dit analysemodel wordt gebruikt om indicatoren te kunnen interpreteren. Het laat toe de voornaamste onderlinge verbanden tussen de indicator en het gemeten effect te bepalen. De betekenis van de initialen DPSIR stemt overeen met vijf functies: D voor Driving forces (sturende krachten), P voor Pressure (druk op het milieu), S voor State (toestand van het milieu), I voor Impact (gevolgen), R voor Response (maatregelen).

⁵ Dit is vooral van toepassing op (semi-)terrestrische vegetaties, minder op vegetaties van stilstaande wateren.

⁶ De som van beide factoren = evapotranspiratie.

Wanneer de som van de hoeveelheid neerslag en de grondwateraanvoer kleiner is dan de som van evapotranspiratie en grondwaterafvoer, zal de toestandsvariabele dalen. Deze dalingen treden op de meeste plaatsen vooral op in de maanden april tot en met september. De periode 1 april - 1 oktober rekenen we in dit advies tot het (potentiële) **droogteseizoen**. Deze periode is het toepassingsvenster voor alle droogte-indicatoren die we in dit advies behandelen.



Figuur 1: Voorbeeld van een seizoenaal patroon in de grondwaterstanden bij een (semi-) terrestrische vegetatie in de periode 2000-2016 (bron Watina-databank).

4.1 Algemeen neerslagtekort

Het (algemeen) neerslagtekort is in Nederland een van de indicatoren om op landelijke schaal de mate van droogte te monitoren (de Vries *et al.*, 2015). Het is een rechtstreekse maat voor droogte en volgt uit het verschil tussen verdamping en neerslag. Het wordt verkregen door het verschil te berekenen (in millimeter) tussen de berekende potentiële evapotranspiratie (referentiegewasverdamping) en de hoeveelheid gevallen neerslag. Dit verschil wordt dagelijks gesommeerd tijdens het droogteseizoen. Een positief getal geeft een neerslagtekort aan, een negatief getal een neerslagoverschot (bron: <http://www.milieurapport.be/nl/feitencijfers/milieuthemas/waterkwantiteit/neerslag-verdamping-en-neerslagtekort/cumulatief-neerslagtekort/>).

Het gebruik van deze indicator heeft als voordeel dat er een duidelijk en rechtstreeks verband met de neerslag bestaat. Een nadeel is echter dat het een berekende waarde is die grotendeels gebaseerd is op de luchttemperatuur en de hoeveelheid zonnestraling. Het brengt geen lokale factoren in rekening zoals (verhoogde) wateronttrekking, het vegetatie- of bodemtype en de aan- en afvoer van grondwater. Het is dan ook belangrijk om in het waarschuwingssysteem ook ecologisch relevante variabelen op te nemen die op het terrein meetbaar zijn en waarvoor een referentietoestand bepaald kan worden, ten opzichte waarvan een afwijking toetsbaar is. Voor (semi-)terrestrische natuurtypen zijn 'lokaal watertekort', 'grondwaterstand' en 'droogtestress' de meest voor de hand liggende indicatoren. Voor stilstaande wateren zijn dat 'het einde van de hydroperiode', 'het waterpeil' en 'de wateroppervlakte'.

4.2 Droogte-indicatoren voor (semi-)terrestrische natuurwaarden

4.2.1 Lokaal watertekort

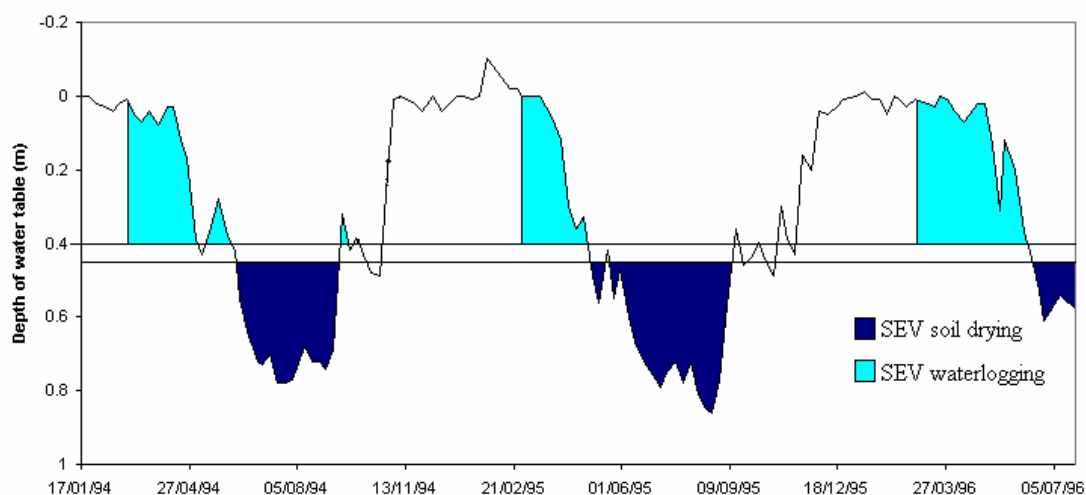
Een plant die voor zijn waterbehoefte (deels) aangewezen is op de watervoorraad in de bodem, moet energie gebruiken om dit water aan te spreken. Hoe moeilijker het water bereikbaar, hoe meer energie de plant moet gebruiken. Het kost een plant al extra inspanning vanaf het moment dat het vochtgehalte van de bodem onder de veldcapaciteit⁷ daalt (Henson *et al.*, 1989). Vanaf dat vochtgehalte (en lager) kan men spreken van een lokaal watertekort.

Voorals Brits onderzoek heeft aangetoond dat er een sterk verband bestaat tussen het voorkomen van vegetatietypen en een maat gebaseerd op dat watertekort, de Sum Exceedance Value of SEV (Silvertown *et al.*, 1999; Gowing *et al.*, 2002). De SEV is een methode die steunt op twee plaatsafhankelijke drempelwaarden. Een eerste drempelwaarde is het grondwaterpeil waarbij de wortelzone (0-10 cm) begint te verzadigen met water. De tweede drempelwaarde is het grondwaterpeil waarbij planten het oppervlakkig uitdrogen van de bodem beginnen te detecteren. De SEV-inundatie en de SEV-droogte geven aan in welke mate de drempels voor de waterverzadiging en het watertekort overschreden worden. Elke maat wordt berekend door het integreren van de graad van overschrijding gedurende een kalenderjaar. Dit wordt grafisch voorgesteld in figuur 2: de lichtblauwe en de donkerblauwe oppervlakte voor een kalenderjaar komen overeen met respectievelijk de SEV-inundatie en de SEV-droogte. Voor het berekenen van de overschrijding van de drempelwaarde voor waterverzadiging wordt enkel de periode maart-september in beschouwing genomen. In die periode zijn de planten actief en kunnen ze dus hinder ondervinden van de waterverzadiging (Gowing *et al.*, 2002). Ook voor de SEV-droogte stellen we voor om alleen dalingen onder de drempelwaarde tijdens het droogteseizoen in rekening te brengen.

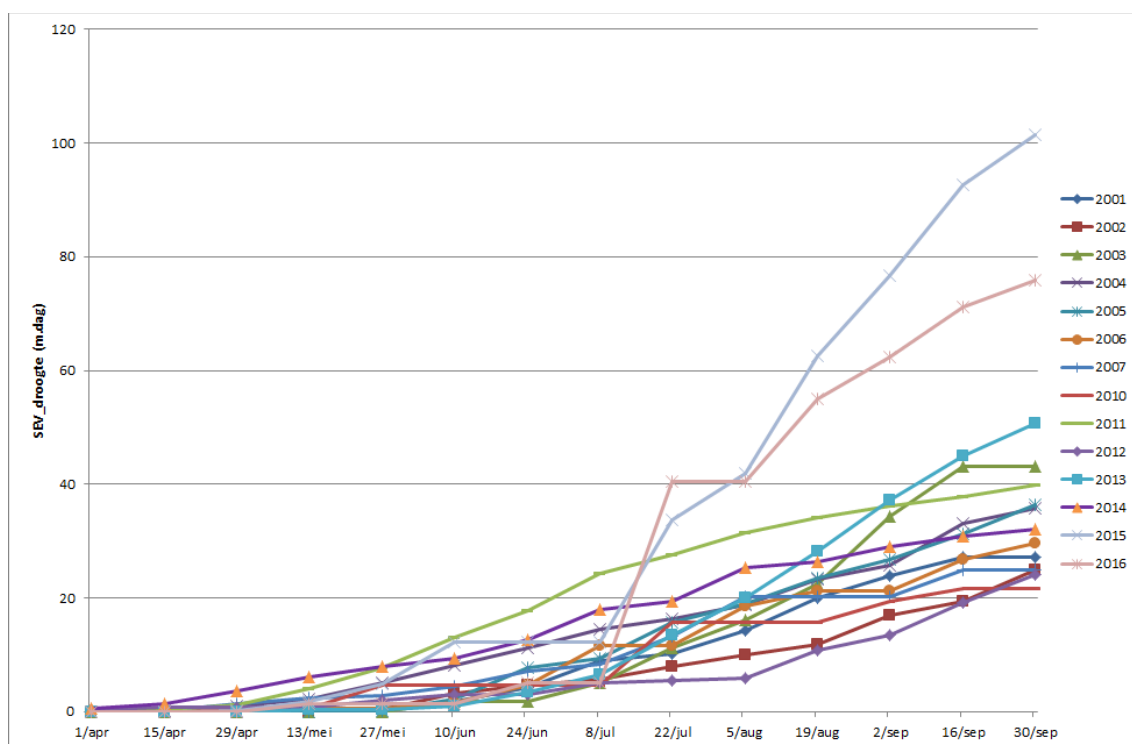
Dat de SEV een cumulatieve maat is, is een voordeel. Zo kan met alle drogere periodes gedurende het droogteseizoen rekening gehouden worden. Een nadeel is echter dat er momenteel, voor zover ons bekend, in Vlaanderen nog geen drempelwaarden (en SEV) werden bepaald.

In figuur 3 geven we aan de hand van de tijdreeks van figuur 1 een voorbeeld hoe de SEV-droogte zich gedurende een jaar opbouwt. De drempelwaarde voor een beginnende droogte is arbitrair gekozen (0,75 m beneden maaiveld).

⁷ Wordt een bodem volledig met water verzadigd, dan zal van zodra de watertoevoer stopt, water naar een dieper gelegen laag draineren. Na verloop van tijd (hooguit 1 tot 3 dagen) zal de waterhoeveelheid hierin stabiliseren. De veldcapaciteit is de maximale hoeveelheid water die een bodem tegen de zwaartekracht in nog kan vasthouden. De veldcapaciteit wordt in bodems in West- en Midden-Europa meestal tegen het eind van de winter (maart/april) bereikt (Kirkham, 2014).



Figuur 2: Grafische bepaling van de SEV op basis van een tijdreeks van drie jaar. De horizontale lijn op 0,4 m is de drempelwaarde van de grondwaterstand waarboven de bodem waterverzadigd wordt. De onderste lijn geeft de grondwaterstand aan waaronder de planten de oppervlakkige uitdroging van de bodem beginnen te detecteren. De SEV-droogte komt overeen met de donkerblauw gekleurde oppervlakte voor 1 jaar. (Gowing *et al.*, 2002)



Figuur 3: Evolutie van de SEV-droogte doorheen het droogteseizoen op basis van de tijdreeks van figuur 1 en met als drempelwaarde voor beginnende droogte -0,75 m (in dit voorbeeld arbitrair gekozen). 2013, 2015 en 2016 waren globaal droge jaren met een hoog jaartotaal (eind september) als resultaat. 2011 was bijvoorbeeld een jaar met een relatief droog voorjaar (mei-juni).

4.2.2 Grondwaterstand

Het grondwaterregime, dit is de grondwaterstand en de fluctuatie hiervan gedurende het jaar en tussen jaren, is een belangrijke sturende factor voor (semi-terrestrische) vegetaties (Tüxen, 1954; Niemann, 1963; Grootjans, 1985). Het voorkomen van een bepaald type grondwaterafhankelijke vegetatie staat in evenwicht met een bepaald grondwaterregime.

Bij een aanhoudende droogte slinkt de watervoorraad in de bodem, wat zich onder andere uit door een dalende grondwaterstand. Als de grondwaterstand een bepaald referentiepeil benadert of er onder daalt, kan gesproken worden van een acute droogte. Referentiepeilen zijn beter niet de absolute laagste standen, omdat deze slechts kortstondig worden bereikt. In plaats daarvan kunnen de laagste peilen die een bepaalde periode aanhouden, gebruikt worden. In dit advies hanteren we een tijdsinterval van twee weken.

De grondwaterstand geeft goed de lokale beschikbaarheid van water weer. Het lokale karakter is tezelfdertijd een nadeel: het is immers onzeker in welke mate de gevonden waarde(n) representatief zijn voor een groter gebied.

4.2.2.1 de gemiddelde laagste grondwaterstand als referentie

Met de gemiddelde laagste grondwaterstand bedoelen we het gemiddelde van de drie laagste grondwaterpeilen in een kalenderjaar (afkorting: Ig3). Over een langere periode varieert dit jaargemiddelde en uit deze reeks waarden kunnen we een gemiddelde, mediaan, minimum, maximum en percentielwaarden berekenen. Een of meer van deze waarden kunnen dan als referentiepeil gehanteerd worden.

De afwijking van een gemeten grondwaterstand t.o.v. een referentiepeil en de duur ervan kunnen door realtime metingen op geselecteerde plaatsen bepaald worden en als maat voor de ernst van het droogtefenomeen worden aangewend (zie 6).

Voor de tijdreeks van figuur 1 zijn de Ig3-waarden weergegeven in tabel 2.

Tabel 2: De gemiddelde laagste grondwaterstanden en 95% percentielwaarden van de duurlijnen van de tijdreeks van figuur 1, uitgedrukt in m boven maaiveld. Voor de jaren 2008 en 2009 zijn er onvoldoende data om waarden te kunnen berekenen.

Jaartal	Lg3	95% duurlijn
2001	-1,13	-1,11
2002	-1,06	-1,05
2003	-1,37	-1,39
2004	-1,11	-1,11
2005	-1,15	-1,15
2006	-1,08	-1,08
2007	-0,95	-0,96
2010	-0,98	-1,01
2011	-1,15	-1,13
2012	-1,09	-1,12
2013	-1,35	-1,36
2014	-1,08	-1,08
2015	-1,94	-1,98
2016	-1,75	-1,80
<i>Minimum</i>	-1,94	-1,98
<i>5-percentiel</i>	-1,82	-1,86
<i>10-percentiel</i>	-1,64	-1,68
<i>25-percentiel</i>	-1,30	-1,31
<i>Gemiddelde</i>	-1,23	-1,24
<i>Mediaan</i>	-1,12	-1,12
<i>Maximum</i>	-0,95	-0,96

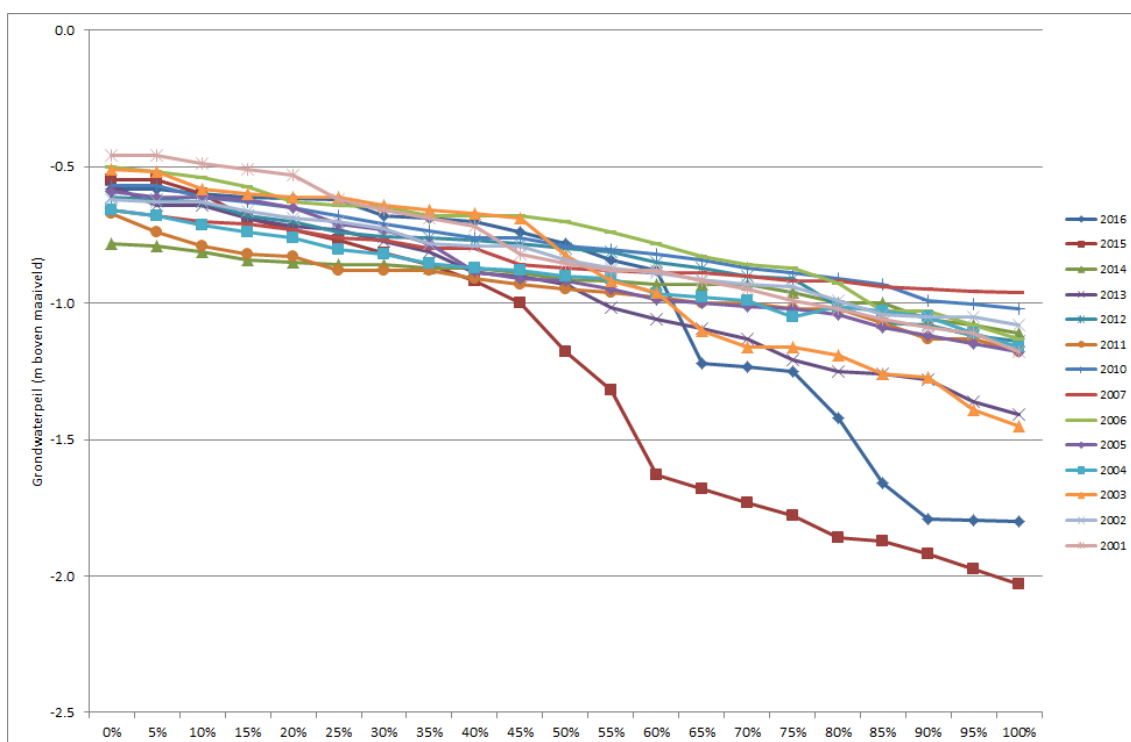
4.2.2.2 de percentielwaarde van de duurlijnbundel als referentie

Een grondwaterduurlijn, of kortweg duurlijn, geeft een cumulatieve frequentieverdeling van de grondwaterstanden op een bepaalde plaats. Voor elke grondwaterstand toont ze het aantal dagen per jaar dat deze stand in een bepaalde periode overschreden wordt. Het aantal dagen wordt uitgedrukt in procenten: 365 dagen is bijgevolg 100%.

Duurlijnen kunnen opgemaakt worden per jaar en hun variatie over meerdere jaren wordt in een duurlijnbundel samengevat (figuur 4). Als een tijdreeks over 5 jaar loopt, zal de duurlijnbundel bestaan uit 5 duurlijnen. Ook kan een samenvattende duurlijn worden berekend voor meerdere jaren samen. Bij een samenvattende duurlijn van 5 jaar komt 100% overeen met 1695 dagen (= 365 x 5). Beschikt men over een duurlijnbundel, dan kunnen voor een bepaalde percentielwaarde karakteristieke statistische schatters (gemiddelde, mediaan...) worden berekend (tabel 2).

De 95-percentielwaarde van een duurlijn⁸ is sterk vergelijkbaar met de Ig3-waarde⁹, maar heeft als voordeel dat ze wat minder gevoelig is voor extreme waarden. Het nadeel ervan is dat bij niet-continue metingen de berekening meestal een interpolatie vergt. Het gebruik van de samenvattende duurlijn is minder gewenst, omdat bij deze duurlijn het aandeel van uitzonderlijke jaren groter zal zijn. Door de hogere drempelwaarde zal de gevoeligheid van de indicator immers afnemen.

Als referentieniveaus om een uitzonderlijke en potentieel negatieve afwijking vast te stellen, kunnen dan bepaalde percentielwaarden uit deze reeks waarden gebruikt worden.



Figuur 4: Duurlijnbundel van de tijdreeks van figuur 1.

⁸ Een voorbeeld: zijn er van een kalenderjaar 20 peilmetingen dan is de 95-percentielwaarde de op één na laagste waarde.

⁹ Cfr. tabel 2: correlatiecoëfficiënt $r = 0,999$.

4.2.3 Droogtestress

Een beperkt watertekort in de weefsels van een plant veroorzaakt reeds fysiologische stress (zie ook 4.2.1). Deze stress is bij planten al in een vroeg stadium waarneembaar met behulp van remote sensing. Voornamelijk door de interesse vanuit de landbouwsector heeft dit geleid tot een veelheid aan indices voor droogtedetectie op basis van satellietbeelden. Voorbeelden hiervan zijn de Soil Water Index en de Vegetation Condition Index van de Copernicus Global Land Service (<http://land.copernicus.eu/global/themes/vegetation>). Ook het European Drought Observatory van het Joint Research Centre van de Europese Commissie onderhoudt een reeks droogte-indicatoren op basis van remote sensing, zoals de Soil Moisture Anomaly en de Anomaly of Vegetation Condition (<http://edo.jrc.ec.europa.eu/edov2/php/index.php?id=1010>). Een overzicht is te vinden in WMO & GWP (2016). Deze indices zijn niet zomaar inwisselbaar met indicatoren die rechtstreeks betrekking hebben op de grondwaterstand. 'Soil moisture' indices meten bijvoorbeeld slechts het vochtgehalte in de bovenste 5 à 7 cm van de bodem, terwijl de drempelwaarde voor SEV-droogte wellicht dieper zal liggen. De Soil Water Index is een integratie van de gemeten "soil moisture" (bovenste cm's) en de hoeveelheid neerslag in de afgelopen periode, waaruit de vochttoestand op verschillende diepteniveaus wordt gemodelleerd. Voor een goede lokale interpretatie hiervan moet wel de plaatselijke infiltratiesnelheid gekend zijn.

Indicatoren op basis van remote sensing hebben het voordeel dat ze vlakdekkende informatie aanleveren en daardoor makkelijker opschaalbaar zijn. De meeste van de huidige RS-indicatoren zijn evenwel bedoeld voor gebruik op mondiale, continentale of eventueel nationale schaal (pixelresolutie in de orde van 250 à 1000 m). De recente komst van vrij beschikbare satellietbeelden met hogere ruimtelijke resolutie van 10-60 m (Sentinel-2) opent de weg voor onderzoek naar droogtestress van natuurlijke vegetaties op lokaal niveau (bv. Dotzler *et al.*, 2015 (voor een loofbos nabij Kaiserslautern, Duitsland)).

4.3 Droogte-indicatoren voor stilstaande wateren

Oppervlaktewateren die niet, of slechts in zeer beperkte mate, gevoed worden door regionale aquifers met een geringe doorstromingsnelheid, zullen het snelst op droogtefenomenen reageren. Daarnaast zullen hun morfologie en de textuur en samenstelling van de (water)bodem een invloed hebben op zowel de fysische gevolgen van droogte als de kwantiteit van aanwezige natuurwaarden¹⁰. Hydrologisch meer geïsoleerde, ondiepe, schotelvormige plassen met een hangwatertafel of een klein inzigtgebied en met een waterdoorlatende bodem op een ± zandig substraat, zullen de grootste gevoeligheid voor droogte vertonen. Regionaal situeren dergelijke systemen zich vooral in de Kempen en in het kustduingebied.

4.3.1 Einde van de hydroperiode

In tijdelijk droogvallende oppervlaktewateren zal de periode van het jaar waarin water boven het bodemoppervlak aanwezig is, de hydroperiode, vroeger dan normaal eindigen als gevolg van droogte. De fasering en duur van de hydroperiode is belangrijk voor zowel (semi-) terrestrische (bv. 3130_na) als aquatische natuurtypen (bv. 3140) die in tijdelijke systemen tot ontwikkeling kunnen komen. Net als bij grondwaterpeilen is op geselecteerde locaties een (semi-)continue registratie mogelijk van het moment waarop alle water boven het bodemoppervlak verdwijnt. Dit kan al dan niet geautomatiseerd gebeuren. Het aandeel meetplaatsen waar op een bepaald tijdstip geen water meer te bespeuren valt, weerspiegelt de ontwikkeling van een droogte-interval; als alle meetplaatsen droog staan, is het uiteinde van de schaal bereikt. Bij de interpretatie doen zich echter een aantal complicaties voor.

¹⁰ Met kwantiteit bedoelen we de door natuurtypen ingenomen oppervlakte en de populatiegrootte van oppervlaktewaterafhankelijke organismen.

Vooreerst heeft de lokale autogene vegetatieontwikkeling, zowel via de evapotranspiratie in het water leverend gebied als door verhoging van het waterbodempoppervlak, een invloed op de meetvariabele. Verlanding leidt immers tot een verkorting en een vroeger einde van de hydroperiode. Bij reguliere omstandigheden zal de hydroperiode over de jaren heen dus enkel waar dit proces zeer traag verloopt, bijvoorbeeld door een zeer geringe beschikbaarheid van nutriënten of in situaties waar de natuurlijke successie door een zeer regelmatig beheer quasi tot stilstand wordt gebracht¹¹, op een relatief vast moment eindigen. Naast de accumulatie van organisch materiaal dat ter plaatse gevormd wordt, is ophoging van de waterbodem en verlanding uiteraard ook mogelijk door materiaal dat van elders met water en wind wordt aangevoerd. De permeabiliteit van de waterbodem kan echter ook afnemen als gevolg van textuurwijziging (aanvoer van fijn materiaal) of bodemverdichting doorheen de tijd, waardoor de hydroperiode veeleer langer zal aanhouden. Anderzijds zullen het verwijderen van sediment met een geringere doorlatendheid of uitdiepen eveneens een afwijking van het basisregime veroorzaken. De meetplaatsen en de 'referentiebasis' waaraan droogte wordt afgemeten (bv. het gemiddelde percentage meetplaatsen dat doorheen de jaren op een bepaald tijdstip nog waterhoudend is) zouden daarom regelmatig geëvalueerd moeten worden. Het netwerk van meetplaatsen moet ook groot genoeg zijn, met voldoende meetplaatsen die onderling genoeg verschillen in gebruikelijke hydroperiode, om doorheen het hele droogteseizoen een signaal te kunnen leveren.

Hoewel droogte snel en markant tot uiting komt in de hydroperiode van droogvallende wateren, is het evalueren van hun hydrologisch regime op individueel niveau dus sterk contextueel. Het is ook niet overal even opportuun, bijvoorbeeld in valleigebieden met enig overstromingsrisico, in stuifzandgebieden of bij vegetatiesuccessie. Bovendien is de informatie die verkregen wordt uit het tijdstip waarop een bepaald waterlichaam droog valt, gelijkaardig aan deze die op basis van grondwaterpeilen kan worden verkregen.

4.3.2 Waterpeil

Op vrij veel locaties in natuurgebieden laten peillatten toe om het waterpeil van oppervlaktewateren te registreren op semi-continue basis. Dit gebeurt al dan niet door officiële instanties en op regelmatige basis. Daarnaast behoren permanente meetstations tot de mogelijkheden. De frequentie van abnormaal lage peilen geeft een beeld van optredende droogte. De indicator weerspiegelt in de eerste plaats de hoogte van de waterkolom en is daarmee kwantitatief minder sterk gerelateerd aan negatieve gevolgen voor aquatische natuurwaarden en niet overal even gevoelig. In sommige gebieden kan het peilbeheer op bepaalde plaatsen anticiperen op een droogtefenomeen (bv. door het inlaten of stuwen van water). Bij ruimtelijke veralgemening kan de indicator de toestand van locaties waar dit niet gebeurt onjuist weergeven. Dit is aandachtspunt bij het meetnetontwerp.

4.3.3 Wateroppervlakte

De relatieve oppervlakte open water op een bepaald moment geeft een rechtstreekse maat van het droogte-effect op natuurwaarden, in zoverre het planten en dieren betreft die aan een permanente aanwezigheid van water gebonden zijn. Ze integreert het einde van de hydroperiode voor tijdelijk droogvallende ecotopen met de daling van het waterpeil in permanente wateren. Het met een voldoende frequentie opmeten van het wateroppervlak op een aantal vaste, geselecteerde plaatsen is evenwel omslachtig. Mogelijk bieden satellietbeelden in de toekomst mogelijkheden voor een meer vlakdekkende benadering, een snelle dataverwerking en een eenvoudigere integratie over een groter, vooraf afgebakend gebied. Hierdoor stelt mogelijke vertekening door lokale evoluties, zoals beschreven in 5.1, veel minder problemen.

¹¹ In vele permanente hypertrofe plassen is nog nauwelijks sprake van enige verlanding (wel van sedimentatie), maar in tijdelijke wateren zal een slechte milieukwaliteit veeleer de accumulatie van plantenresten versnellen.

Op dit moment levert de Copernicus Global Land Service reeds een Water Bodies product, met een spatiale resolutie van 300 m en een frequentie van 10 dagen (zie <http://land.copernicus.eu/global/products/wb>). Dit product is gebaseerd op PROBA-V beelden (Bertels *et al.*, 2016), maar zou in de toekomst ook op Sentinel-2 beelden (resolutie 10 à 20 m) toegepast kunnen worden. Mogelijk storende factoren zijn de aanwezigheid van (dichte) oeverbegroeiing en weersomstandigheden die de nauwkeurigheid en/of beschikbaarheid van satellietbeelden kunnen beperken. Dit zou verholpen kunnen worden door het betrekken van radarbeelden (Sentinel-1; Tian *et al.*, 2017) en eventueel LiDARdata¹² (Irwin *et al.*, 2017).

5 Beoordeling van droogte-impact door indicatoren

Om de hierboven beschreven indicatoren te kunnen aftoetsen zijn referentiewaarden of drempelwaarden nodig.

Een waterafhankelijke levensgemeenschap kan slechts duurzaam op een bepaalde plaats voorkomen binnen een bepaald regime van de hierboven beschreven variabelen. Hoewel er bijvoorbeeld voor de gemiddelde laagste grondwaterstanden specifieke bereiken per (semi-)terrestrisch vegetatietype kunnen worden gegeven¹³, is het niet zinvol om hiervan een of meer drempelwaarden voor droogte af te leiden en deze generiek voor elke plaats te laten gelden. De variatie, biotisch en abiotisch, binnen een vegetatietype is hiervoor te groot (zie ook 3).

We stellen daarom voor de impact op twee niveaus te beoordelen.

Eerst is er een lokale toetsing: elk punt (voor niet-vlakdekkende indicatoren) en elke vlek of groep van vlekken (voor vlakdekkende indicatoren) wordt getoetst aan een lokale referentie of een plaatsafhankelijke drempelwaarde. Men kan voor het uitdrukken ervan kiezen tussen absolute of relatieve termen¹⁴. Het resultaat van deze toetsing is per indicator een aantal punten of vlekken die aan een bepaalde categorie (bv. code groen, geel, oranje of rood) zijn toegewezen. Men kan dan kiezen om per meetpunt of vlek de verschillende indicatoren te aggregeren. We stellen voor om ze niet lokaal te aggregeren, om op hoger niveau een overzicht te behouden op de toestand van elke indicator.

Vervolgens worden deze lokale beoordelingen opgeschaald naar een beleidsrelevant gebiedsniveau. Deze aggregatie resulteert in een aantal overschrijdingen, al dan niet per indicator. Eventueel is nog een procedure nodig om de verschillende indicatoren te aggregeren. Of een kalibratie nodig is om een gelijkaardige beoordeling tussen de gebieden mogelijk te maken, vergt bijkomend onderzoek (zie verder).

5.1 Plaatsafhankelijke drempelwaarden

Een logische voorwaarde om een drempel voor een locatie te kunnen bepalen, is de beschikbaarheid van een voldoende lange tijdreeks. Voor grondwaterstanden bijvoorbeeld bedraagt een tijdreeks minimaal zeven jaar. Om de lengte van een tijdreeks te bepalen, moet de variatie in de tijd geanalyseerd worden, waarvoor dus ook de nodige data voorhanden moeten zijn. Naarmate de droogte-indicator langer in gebruik is, neemt het

¹² LiDARdata: LiDAR is een technologie die de afstand tot een object of oppervlak bepaalt door middel van laserpulsen. De techniek is vergelijkbaar met radar, dat echter radiogolven gebruikt in plaats van licht. De afstand tot het object of oppervlak wordt bepaald door de tijd te meten die verstrijkt tussen het uitzenden van een puls en het opvangen van een reflectie van die puls (bron: <https://oceanservice.noaa.gov/facts/lidar.html>).

¹³ Zie bijvoorbeeld de tabellen voor vegetatietypen die gebruikt worden voor het Niche-model (Callebaut *et al.*, 2007) of het gunstig abiotisch bereik (Wouters *et al.*, 2015).

¹⁴ in absolute termen = een waarde uitgedrukt in de meeteenheid, in relatieve termen = een verhouding t.o.v. een bepaalde waarde, dimensieloos

aantal data toe en kunnen de plaatsafhankelijke drempelwaarden met een grotere precisie bepaald worden.

5.1.1 (Semi-)terrestrische natuurtypen

Voor het algemeen neerslagtekort kan een beoordelingskader analoog met dat van het lokaal watertekort worden opgesteld. Zodoende worden hier enkel schema's van mogelijke drempelwaarden besproken voor de twee overige droogte-indicatoren: het lokaal watertekort en het grondwaterpeil.

5.1.1.1 Lokaal watertekort

Tabel 3 geeft mogelijke drempelwaarden weer voor de droogte-indicator 'lokaal watertekort'.

Voor het beoordelen van een lokaal watertekort onderscheiden we twee vormen van de SEV-droogte: een relatief dagbereik en een absoluut jaarbereik. Met het relatief bereik worden de waarden van de SEV-droogte tot op een bepaalde dag bedoeld. Met het jaarbereik worden de jaartotalen, de waarden van de SEV-droogte op het einde van het droogteseizoen bedoeld.

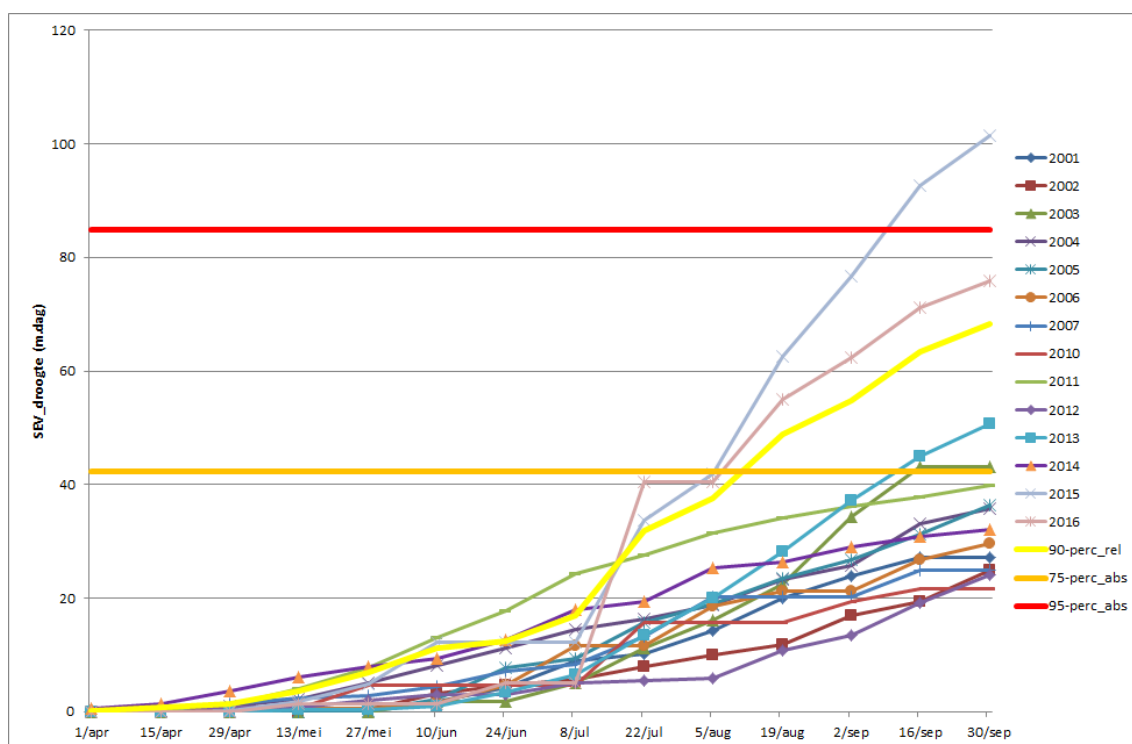
Het relatief bereik kan gebruikt worden voor het waarschuwen voor mogelijke droogte. Het kan bijvoorbeeld detecteren dat het jaartotaal reeds in juni al bijna is bereikt. Het absoluut jaarbereik leent zich dan weer beter om aan te geven wanneer de droogte een impact kan hebben op de voorkomende levensgemeenschap.

Op basis van een combinatie van beide uitdrukkingsvormen kan een beoordelingskader met vier verschillende alarmniveaus worden opgesteld (tabel 3).

Tabel 3: Mogelijke drempelwaarden voor de indicator 'lokaal watertekort'.

Status	Beschrijving	indicator 'lokaal watertekort'
Groen	Normaal	SEV-droogte gedurende de voorbije 2 weken of langer lager dan het 90-percentiel van het relatief bereik én gedurende de voorbije week of langer lager dan het 75-percentiel van het jaarbereik
Geel	Waak: Droog	SEV-droogte gedurende de voorbije 2 weken of langer hoger dan het 90-percentiel van het relatief bereik én gedurende de voorbije week of langer lager dan het 75-percentiel van het jaarbereik
Oranje	Alarm: Erg droog	SEV-droogte gedurende de voorbije week of langer tussen het 75-percentiel en 95-percentiel van het jaarbereik
Rood	Crisis: Extreem droog	SEV-droogte gedurende de voorbije week of langer hoger dan het 95-percentiel van het jaarbereik

In Figuur 4 illustreren we de toepassing van de drempelwaarden voor het lokaal watertekort aan de hand van de tijdreeks van figuur 1.



Figuur 4: Toepassing van de drempelwaarden voor de droogte-indicator lokaal watertekort op een tijdreeks (cf. figuur 1). 90-perc_rel: 90-percentielwaarde van het relatief bereik, 75-perc_abs: 75-percentielwaarde van het jaarbereik, 95-perc_abs: 95-percentielwaarde van het jaarbereik.

Bij toepassing van het beoordelingskader op dit voorbeeld blijkt dat in de lentes van 2011 en 2014 waakzaamheid was geboden en dat in de zomers van 2003, 2013, 2015 en 2016 de oranje alarmfase en in 2015 de rode alarmfase van kracht zou zijn geweest. Het valt op dat er zelfs tijdens de zeer droge zomer van 2003 pas zeer laattijdig (september) een minimale overschrijding van de 75-percentieldrempel zou hebben plaatsgevonden, dit in tegenstelling met het resultaat voor de indicator 'gemiddelde laagste grondwaterstand' (zie 5.1.1.2). De oorzaak hiervan was dat 2003 tot half juli een relatief nat jaar was.

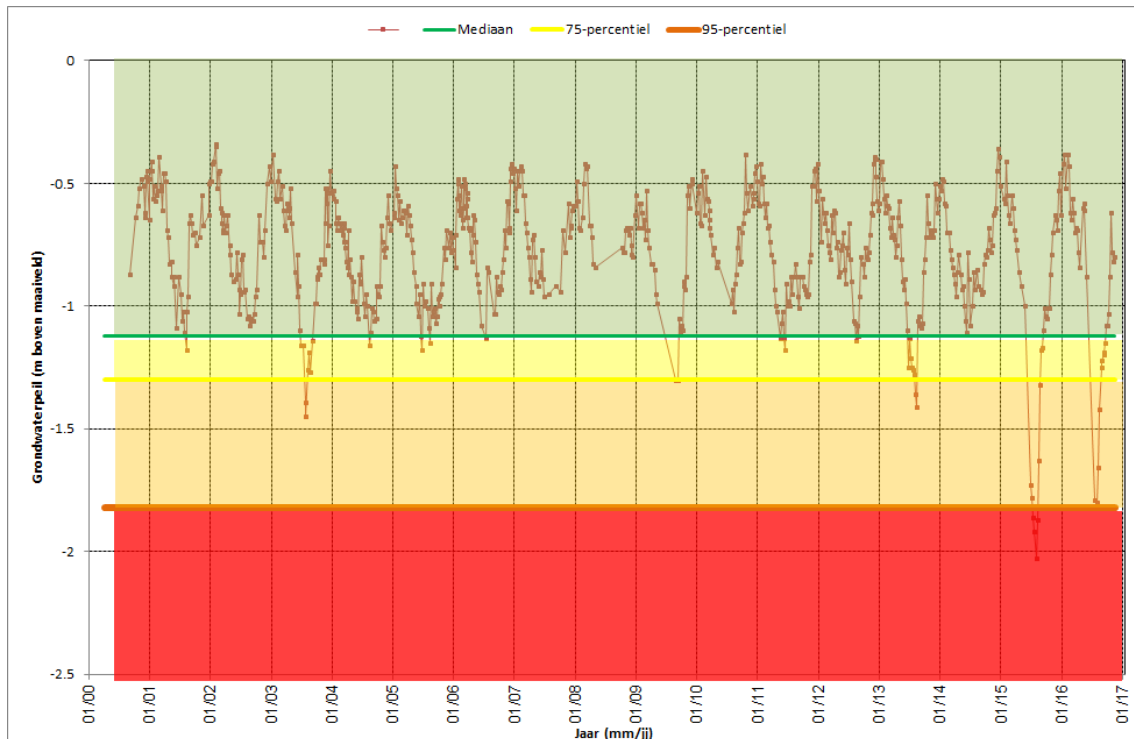
5.1.1.2 Grondwaterstand

Tabel 4 geeft mogelijke drempelwaarden weer voor de grondwaterstand.

Tabel 4: Mogelijke drempelwaarden voor de droogte-indicator 'grondwaterstand'.

Status	Beschrijving	Droogte-indicator 'grondwaterstand'
Groen	Normaal	grondwaterpeil gedurende de voorbije week of langer hoger dan de mediaan van de lg3
Geel	Waak: Droog	grondwaterpeil gedurende de voorbije week of langer tussen de mediaan en de 75-percentielwaarde van de lg3
Oranje	Alarm: Erg droog	grondwaterpeil gedurende de voorbije week of langer tussen de 75-percentielwaarde en de 95-percentielwaarde van de lg3
Rood	Crisis: Extreem droog	grondwaterpeil gedurende de voorbije week of langer onder de 95-percentielwaarde van de lg3

Figuur 5 illustreert de toepassing van de drempelwaarden voor de gemiddeld laagste grondwaterstand.



Figuur 5: Toepassing van de drempelwaarden voor de gemiddelde laagste grondwaterstand op een tijdreeks (cf. figuur 1).

In dit voorbeeld stemt de minimale tijdsduur zoals vermeld in tabel 3 overeen met twee opeenvolgende metingen. Over een periode van 15 jaar zou code geel van toepassing zijn geweest in 2003 en mogelijk in 2009, 2013, 2015 en 2016. Uitgezonderd 2015 komt dit goed overeen met de meest recente droge jaren volgens het KMI (<https://www.meteo.be/meteo/view/nl/69130-Archief.html?view=31333600>). Code oranje was van kracht in 2003, 2013, 2015 en 2016, en code rood in 2015. Hoewel de overlap met de vorige indicator duidelijk is, wijkt het resultaat toch af voor 2003, 2011 en 2014. Op basis van dit voorbeeld kan men besluiten dat de indicator 'grondwaterstand' beter perioden van intense droogte detecteert, terwijl de indicator 'lokaal watertekort' dat beter doet voor aanhoudende droogtes.

5.1.1.3 Droogtestress

In principe is het mogelijk een beoordelingsschema voor de indicator 'droogtestress' op te stellen analoog met het schema voor de indicator 'lokaal watertekort'. Hoewel sinds kort satellietbeelden met voldoende hoge frequentie en resolutie beschikbaar zijn, vergt het nog verder onderzoek hoe van deze informatiebronnen een snel berekenbare indicator kan afgeleid worden.

5.1.2 Stilstaande wateren

In bepaalde gevallen, bijvoorbeeld dystrofe wateren in heidegebieden of (natuur)gebieden met een hoge densiteit aan kleine, ondiepe wateren die belangrijk zijn voor populaties van kwetsbare soorten, kan het monitoren van de hydroperiode ecologisch waardevolle informatie geven voor het lokale beheer. De mogelijkheden voor een bredere opvolging op het terrein lijken eerder beperkt en gevolgtrekkingen vereisen voldoende inzicht. Op grotere schaal lijkt het moeilijker om hiermee om te gaan.

Een systeem voor het opvolgen van het waterpeil van geselecteerde permanente wateren kan wellicht vlugger geïmplementeerd worden en de beoordeling van lokale waarnemingen kan analoog zijn met dit van grondwaterstanden voor (semi-)terrestrische natuurtypen. Tabel 5 geeft een voorbeeld van mogelijke drempelwaarden voor de indicator 'waterpeil' in stilstaande wateren.

Tabel 5: Mogelijke drempelwaarden voor waterpeilmetingen in stilstaande wateren.

Status	Beschrijving	Droogte-indicator waterpeil
Groen	Normaal	waterpeil gedurende de voorbije week of langer hoger dan de mediaan
Geel	Waak: Droog	waterpeil gedurende de voorbije week of langer tussen de mediaan en de 75-percentielwaarde
Oranje	Alarm: Erg droog	waterpeil gedurende de voorbije week of langer tussen de 75-percentielwaarde en de 95-percentielwaarde
Rood	Crisis: Extreem droog	waterpeil gedurende de voorbije week of langer onder de 95-percentielwaarde

Zoals in 5.3 aangehaald, biedt het gebruik van satellietbeelden interessante mogelijkheden waarop men wellicht reeds op relatief korte termijn beroep zal kunnen doen. Een belangrijk voordeel daarbij is dat een referentiewaarde op elk gewenst ruimtelijk schaalniveau kan worden afgeleid.

5.2 Ruimtelijke opschaling van de plaatsafhankelijke drempelwaarden

De hierboven voorgestelde schema's laten een ruimtelijke opschaling van de lokale drempelwaarden naar een beleidsrelevant schaalniveau toe. In Nederland werkt men met een meertrappige beleidsmatige opschaling (de Vries *et al.*, 2015). De uitwerking hiervan valt buiten de vraagstelling van dit advies. We bespreken hier slechts een theoretisch voorbeeld voor een niet omschreven beleidsrelevant gebied. Dat kan bijvoorbeeld een SBZ-regio, een provincie, een bekken of het Vlaams Gewest zijn.

Voor indicatoren die uit remote sensing worden afgeleid, is opschaling tot elk gewenst schaalniveau mogelijk.

Verspreid over het gebied waarover men een uitspraak wenst, worden een zeker aantal meetpunten voor monitoring geselecteerd volgens een nader op te stellen, weloverwogen ontwerp. Men mag aannemen dat niet alle meetpunten op eenzelfde manier reageren op droogte. Dat heeft onder andere te maken met verschillende afstanden en bijgevolg stromingstijden tussen de plaats van infiltratie en de plaats waar dat water in de wortelzone komt, verschillen in doorlatendheid van de bodem en de relatieve bijdrage van grondwater in de waterbalans. We veronderstellen eerder dat het patroon gelijkaardig zal zijn, maar dat tussen de meetpunten onderling een faseverschil kan optreden. Er zijn logischerwijze verschillende rekenwijzen mogelijk om op basis van deze punten tot een beoordeling te komen. Een goede timing is hierbij belangrijk. Enerzijds moet er voldoende zekerheid ingebouwd worden dat de situatie algemeen geldend is, anderzijds moet er ook rekening

gehouden worden met een zekere inertie: zelfs wanneer het watergebruik vermindert, zal het nog enige tijd duren vooraleer de effecten ervan waarneembaar zijn.

Het opstellen van een schema is dus in zekere zin maatwerk. Afhankelijk van de geselecteerde meetpunten moet eerst nagegaan worden wat de terugkeerperiodes zijn. Er is dus een zekere kalibratie nodig. De eigenlijke drempelwaarden kunnen wel door analyse van historische tijdreeksen ondersteund worden, maar blijven uiteindelijk beleidskeuzen.

Hieronder geven we een voorbeeld van een mogelijk schema. De cijfers hierin zijn louter illustratief.

De globale code geel zou kunnen gelden wanneer, bijvoorbeeld, een derde van de meetpunten voor een of meer droogte-indicatoren lokaal de code geel of hoger hebben. Wanneer dit gedurende een onafgebroken periode van bijvoorbeeld één week zou aanhouden, zouden ook effectief de bijhorende maatregelen kunnen genomen worden.

De globale code oranje zou dan kunnen gelden wanneer een kwart van de meetpunten voor een of meer droogte-indicatoren lokaal de code oranje of rood heeft verkregen. Ook hier zouden na een onafgebroken periode van bijvoorbeeld één week, de bijbehorende maatregelen kunnen getroffen worden.

Redelijkerwijze zou de overgang van de globale code geel naar oranje reeds moeten gelden als bij een kleinere fractie meetplaatsen lokaal de code oranje of rood geldt, omdat de kans reëel is dat op een aantal plaatsen in het doelgebied de waterbesparende maatregelen toch niet zullen kunnen vermijden dat aanhoudende droogte negatieve gevolgen zal hebben.

De globale code rood zou vervolgens kunnen gelden wanneer een vijfde van de meetpunten voor een of meer droogte-indicatoren lokaal de code rood heeft. Ook hier zouden na een onafgebroken periode van bijvoorbeeld één week, de bijbehorende strengere maatregelen kunnen getroffen worden.

6 Selectie van meetpunten

Om een representatief beeld te krijgen van droogte in natuurgebieden worden de meetpunten bij voorkeur ruimtelijk gespreid en geplaatst in de door grondwater gevoede natuurtypen vermeld in tabel 1. Eventueel kunnen ook meetpunten in een lokaal infiltratiegebied voorzien worden. Hier geldt de regel dat hoe kleiner het infiltratiegebied is, hoe meer het meetpunt duidend is voor de natuurtypen die door het infiltratiegebied gevoed worden. Indien gewenst kunnen ook bijkomende natuurwaarden worden opgenomen. Het ontwerp van het eigenlijke meetnet vergt specifiek onderzoek. Voor de meetpunten in (semi-)terrestrische vegetaties en de permanente wateren geldt als selectievoorwaarde ook dat er een kwalitatief goede tijdreeks van grond- of oppervlaktewaterpeilen bekend moet zijn.

In het kader van het Meetnet Natuurlijk Milieu wordt een grondwatermeetnet opgezet dat onder meer beoogt trends op Vlaamse schaal met voldoende nauwkeurigheid te detecteren. De focus ligt hier echter op trends op middellange en lange termijn, wat geen antwoord biedt op de hier gestelde vragen. Het is te onderzoeken in welke mate een koppeling tussen beide meetnetten voorzien kan worden.

Conclusie

1. Wat zijn mogelijke droogte-indicatoren voor grondwaterafhankelijke vegetaties en voor stilstaande wateren met belangrijke natuurwaarden?

Een goede droogte-indicator moet voldoen aan de basiscriteria 'kwantitatief', 'gevoelig', 'snel' en 'zuiver'. Het is een vereiste dat de data na maximaal 1 à 2 weken beschikbaar zijn. Daarom komen enkel fysische indicatoren in aanmerking.

We stellen voor verschillende indicatoren te combineren, omdat ze elk (slechts) een facet van de mogelijke impact van droogte belichten.

Het algemeen neerslagtekort is een nuttige drukindicator (P), omdat het een belangrijke drijvende kracht achter het ontstaan van droogte beschrijft. Voor (semi-)terrestrische natuurtypen zijn het lokaal watertekort en droogtestress (alleen of in combinatie met elkaar) bruikbare toestandsindicatoren (S). Het zijn goed bruikbare indicatoren om perioden van aanhoudende droogte te detecteren. Met het grondwaterpeil (S) kunnen acute (lokale) droogtepieken sneller waargenomen worden.

Wat stilstaande wateren betreft zullen de hydrologisch meer geïsoleerde, ondiepe, schotelvormige plassen met een hangwatertafel of een klein inzigtgebied en met een waterdoorlatende bodem op een ± zandig substraat, de grootste gevoeligheid voor droogte vertonen. Voor stilstaande wateren komen twee complementaire lokale toestandsindicatoren in aanmerking: het einde van de hydroperiode en het waterpeil. Deze twee kunnen mogelijk aangevuld worden met een derde, vlakdekkende toestandsindicator, namelijk de oppervlakte open water, maar hiervoor is verder onderzoek nodig.

2. Vanaf welke drempelwaarde of overschrijdingstermijn van die drempelwaarde is er wellicht geen, een matige negatieve of een zeer negatieve impact van de droogte op de vegetatie?

Op deze vraag kan geen algemeen antwoord gegeven worden gezien de grote verscheidenheid in de respons van natuurtypen op droogtefenomenen. In de plaats hiervan is het zinvol om met plaats specifieke drempelwaarden te werken. Hoewel de waarden in absolute termen van plaats tot plaats kunnen verschillen, blijft het mogelijk de verschillende meetlocaties op een gelijkaardige wijze te beoordelen. Tabellen 3 en 4 geven mogelijke beoordelingsschema's met drempelwaarden voor de droogte-indicatoren 'lokaal watertekort' en 'grondwaterstand' van (semi-)terrestrische natuurtypen, tabel 5 doet dit voor de droogte-indicator 'waterpeil' van stilstaande wateren.

3. Hoe kunnen drempelwaarden die voor elk vegetatietype verschillend zijn, geaggregeerd en opgeschaald worden naar een drempelwaarde op een beleidsmatig relevant schaalniveau (SBZ, bekken, provincie ...)?

De voorgestelde schema's laten een ruimtelijke opschaling van de lokale drempelwaarden naar een, in dit advies niet nader omschreven, beleidsrelevant schaalniveau toe. Niet alle meetpunten zullen in eenzelfde tijdspanne reageren op een wijziging van een indicator. Voor een juiste beoordeling van de droogte zullen de drempelwaarden pas instelbaar zijn na de selectie van de meetpunten. Er komt dus in zekere mate maatwerk aan te pas.

Referenties

- Bertels L., Smets B., Wolfs D. (2016). Dynamic water surface detection algorithm applied on PROBA-V multispectral data. *Remote Sensing* 8: 1010. doi:10.3390/rs8121010
- Buysse D., Van Wichelen J., Baeyens R., Coeck J. (2017). Ecologisch afwegingskader voor beoordeling laagwaterproblematiek in periodes van langdurige droogte. Brussel: Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek, 35 p.
- Callebaut J., De Bie E., Huybrechts W., De Becker P. (2007). NICHE-Vlaanderen. Brussel: Instituut voor Natuur- en B. INBO.R.2007.3 / SVW: Projectnr. 1-7, 252 p.
- de Vries H., Kort B., Teunis B. (2015). Landelijk draaiboek waterverdeling en droogte: Watermanagementcentrum Nederland (WMCN) - Landelijke Coördinatiecommissie Waterverdeling (WMCN-LCW), 54 p.
- Dotzler S., Hill J., Buddenbaum H., Stoffels J. (2015). The potential of EnMAP and Sentinel-2 data for detecting drought stress phenomena in deciduous forest communities. *Remote Sensing* 7: 14227-14258.
- Gowing D.J.G., Lawson C.S., Youngs E.G., Barber K.R., Rodwell J.S., Prosser M.V., Wallace H.L., Mountford J.O., Spoor G. (2002). The water regime requirements and the response to hydrological change of grassland plant communities. Final report for DEFRA commissioned project BD1310. Silsoe, Bedford: Cranfield University, 98 p.
- Grootjans A.P. (1985). Changes of groundwater regime in wet meadows. Groningen: University Groningen, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, 146 p.
- Henson I.E., Jensen C.R., Turner N.C. (1989). Leaf gas exchange and water relations of lupins and wheat. I. Shoot responses to soil water deficits. *Functional Plant Biology* 16: 401-413.
- Irwin K., Beaulne D., Braun A., Fotopoulos G. (2017). Fusion of SAR, optical imagery and airborne LiDAR for surface water detection. *Remote Sensing* 9: 890.
- Kirkham M.B. (2014). Field capacity, wilting point, available water, and the nonlimiting water range. *Principles of soil and plant water relations*. Boston: Academic Press, p. 153-170.
- Niemann E. (1963). Beziehungen zwischen Vegetation und Grundwasser. Ein Beitrag zur Präzisierung des ökologischen Zeigerwertes von Pflanzen und Pflanzengesellschaften. *Archiv für Naturschutz und Landschaftsforschung* 3: 3-37.
- Silvertown J., Dodd M.E., Gowing D.J.G., Mountford J.O. (1999). Hydrologically defined niches reveal a basis for species richness in plant communities. *Nature* 400(6739): 61-63.
- Tian H., Li W., Wu M., Huang N., Li G., Li X., Niu Z. (2017). Dynamic monitoring of the largest freshwater lake in China using a new water index derived from high spatiotemporal resolution Sentinel-1A data. *Remote Sensing* 9: 521.
- Tüxen R. (1954). Pflanzengesellschaften und Grundwasser-ganglinien. *Arbeiten aus der Zentralstelle für Vegetationskartierung. Angewandte Pflanzensoziologie* 8: 64-98.
- World Meteorological Organization (WMO) & Global Water Partnership (GWP) (2016). Handbook of Drought Indicators and Indices (M. Svoboda & B.A. Fuchs). Integrated Drought Management Programme (IDMP), Integrated Drought Management Tools and Guidelines Series 2. Geneva. Online at: http://www.droughtmanagement.info/literature/GWP_Handbook_of_Drought_Indicators_and_Indices_2016.pdf
- Wouters J., Raman M., Hens M., Van Calster H. (2015). Bepaling van het gunstig abiotisch bereik voor (semi)-terrestrische habitattypen op basis van standplaatsonderzoek. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek. Brussel: Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek. INBO.R.2014.2942552, 118 p.