



Verdrogingsinformatie voor de Nederlandse natuur

Een vergelijking tussen de actuele en gewenste grondwatersituatie

S.P.J. van Delft, T. Hoogland, W.M.L. Meijninger en G.J. Roerink

Verdrogingsinformatie voor de Nederlandse natuur

Een vergelijking tussen de actuele en gewenste grondwatersituatie

S.P.J. van Delft, T. Hoogland, W.M.L. Meijninger en G.J. Roerink

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Environmental Research (Alterra) in opdracht van en gefinancierd door het ministerie van Economische Zaken, in het kader van het Beleidsondersteunend onderzoeksthema BO-thema 'Biodiversiteit terrestrisch', project BO-11-019.01-014 en WOT 'Balans van de Leefomgeving', project WOT-04-010-034.33.

Wageningen Environmental Research
Wageningen, februari 2017


Rapport 2792
ISSN 1566-7197

Van Delft, S.P.J., T. Hoogland, W.M.L. Meijninger en G.J. Roerink, 2017. *Verdrogingsinformatie voor de Nederlandse natuur; Een vergelijking tussen de actuele en gewenste grondwatersituatie*. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 2792. 86 blz.; 41 fig.; 23 tab.; 35 ref.

Voor de evaluatie van het Natuurpact en voor het volgen van de voortgang van de verdrogingsbestrijding is er behoefte aan een uniform landelijk overzicht van de mate van verdroging in natuurgebieden en veranderingen die daarin zijn opgetreden. Provincies en het Rijk zijn daarbij verantwoordelijk voor monitoring. De laatste kaart die door Rijk en provincies is opgesteld, komt uit 2004. Op basis van nieuwe gegevens uit peilbuizen en vegetatieopnamen zijn door middel van ruimtelijke interpolatie met hulpvariabelen landelijke kaarten voor de Nederlandse natuur gemaakt die de actuele verdrogingstoestand in beeld brengen. Voor het bepalen van de verdroging op basis van peilbuis- en peilschaalgegevens is de Gemiddelde Voorjaars Grondwaterstand (GVG) vergeleken met randvoorwaarden voor natuur uit het model Waterlood. Om tot een inschatting van de verdroging te komen op basis van vegetatieopnamen is een nieuwe, uniforme, landelijke methode ontwikkeld om een 'verdrogingsindex' af te leiden. Het bleek namelijk niet goed mogelijk een GVG-waarde rechtstreeks af te leiden uit de vegetatieopnamen. De verdrogingsindex is bepaald voor GVG, GLG (Gemiddeld Laagste Grondwaterstand), Droogtestress en Zuurgraad. Om tot één landelijke kaart voor de actuele verdrogingssituatie te komen, is een gecombineerde kaart gemaakt, waarbij de uit peilbuizen voorspelde GVG gebruikt is als hulpinformatie bij de ruimtelijke interpolatie van de verdrogingsindex. Omdat de hoeveelheid beschikbare informatie uit vegetatieopnamen en gemeten grondwaterstanden beperkt is, varieert de nauwkeurigheid waarmee de verdroging bepaald kan worden van gebied tot gebied. Reviewers geven aan landelijke patronen in de kaart te herkennen, maar dat op fijnere schaal – zoals specifieke gebieden – resultaten soms onzeker zijn. De verandering van de grondwatersituatie is beoordeeld door een vergelijking van de huidige situatie met die van 2004. Zowel voor peilbuizen als voor vegetatieopnamen blijken de veranderingen sinds 2004 klein te zijn ten opzichte van de mate van nauwkeurigheid van de waarnemingen zelf. Om effecten van (natuur)beleid wel zichtbaar te krijgen, zijn meer waarnemingen en metingen nodig. Aanvullend is, mede daarom, in enkele proefgebieden de bruikbaarheid van satellietdata voor het in kaart brengen van verdroging verkend. Het blijkt niet goed mogelijk om de verandering in de grondwatersituatie na maatregelen te herkennen. Wel kunnen vegetatiepatronen gekarteerd worden, zij het op een lager detailniveau dan in veldkarteringen mogelijk is. Kartering met satellietdata kan behulpzaam zijn bij ruimtelijke interpolaties en in de voorbereiding van veldkarteringen. Maar vervolgonderzoek blijft nodig om de staat van verdroging en de invloed van beleid te monitoren en evalueren.

Trefwoorden: Grondwater, Verdroging, Natuurpact, Monitoring, Remote sensing

Dit rapport is gratis te downloaden van <http://dx.doi.org/10.18174/409366> of op www.wur.nl/environmental-research (ga naar 'Wageningen Environmental Research' in de grijze balk onderaan). Wageningen Environmental Research verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

 2017 Wageningen Environmental Research (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Wageningen Research), Postbus 47, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 07 00, E info.alterra@wur.nl, www.wur.nl/environmental-research. Wageningen Environmental Research is onderdeel van Wageningen University & Research.

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

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

Wageningen Environmental Research Rapport 2792 | ISSN 1566-7197

Foto omslag: Raai D DRD1-04.jpg

Inhoud

	Woord vooraf	5
	Samenvatting	7
1	Inleiding	11
	1.1 Doelstelling en Achtergrond	11
	1.1.1 Huidig beleid	12
	1.2 Leeswijzer	13
2	Afbakening en werkwijze	14
	2.1 Het gebied waarvoor gerapporteerd wordt, vaststellen	14
	2.2 Doelen vaststellen	14
	2.3 Gegevensbronnen over abiotische condities vergelijken met doelen	16
3	Verdroging afgeleid uit grondwaterstanden in peilbuizen	18
	3.1 Beschikbaarheid en selectie van grondwaterstanden in peilbuizen	18
	3.2 Gebiedsdekkende interpolatie, gebruikmakend van hulpinformatie	20
4	Verdroging afgeleid uit vegetatieopnamen	25
	4.1 Werkwijze	26
	4.2 Bepaling verdrogingsindex op basis van vegetatieopnamen Landelijke Vegetatie Databank	32
	4.3 Gebiedsdekkende interpolatie van de Verdrogingsindex	35
5	Verdrogingskaart afgeleid uit vegetatieopnamen én peilbuizen	38
	5.1 Combineren van informatie over de verdrogingssituatie afgeleid uit peilbuizen en vegetatieopnamen	38
	5.2 Reacties op de kaarten door Provincies en de klankbordgroep	39
6	Veranderingen in grondwatersituatie sinds 2004	43
	6.1 Veranderingen afgeleid uit peilbuizen	43
	6.2 Veranderingen afgeleid uit vegetatieopnamen	44
	6.2.1 Veranderingen in deelpopulaties	46
7	Mogelijkheden remote sensing voor vegetatiemonitoring	49
	7.1 Introductie	49
	7.2 Satellietdata	49
	7.2.1 Nationaal Satelliet Dataportaal	49
	7.2.2 Sentinel & Landsat	50
	7.2.3 Groenmonitor.nl	50
	7.2.4 NDVI	51
	7.3 Detectie van verdroging/vernatting in natuurgebieden	52
	7.4 Vegetatiekartering	64

8	Conclusies en Aanbevelingen	69
8.1	Randvoorwaarden doeltypen	69
8.2	Peilbuisinformatie	70
8.3	Vegetatieopnamen	70
8.4	Combinatie peilbuisinformatie en vegetatieopnamen	71
8.5	Gebruik satellietgegevens	72
8.6	Monitoring	73
8.7	Draagvlak	73
	Literatuur	75
Bijlage 1	De vergelijkbaarheid van de grondwatersituatie afgeleid uit vegetatieopnamen en metingen van grondwaterstanden	77
Bijlage 2	Analyse grondwaterstandreeksen Drenthe	81
Bijlage 3	Lagen aan-/uitzetten in pdf-kaarten	84

Bij dit rapport horende kaarten in pdf-format

NB Een aantal van deze kaarten bevat informatie in meerdere lagen. In Bijlage 3 is uitgelegd hoe deze 'aan' of 'uit' gezet kunnen worden.

- kaart 1 Inschatting GVG op basis van peilbuisgegevens. 
- kaart 2 Gewenste GVG op basis van het huidige habitatype en beheertype. 
- kaart 3 Inschatting te diepe GVG op basis van peilbuisgegevens t.o.v. de huidige habitatypen en beheertypen. 
- kaart 4 Inschatting verdrogingsindex voor GVG op basis van vegetatieopnamen t.o.v. de huidige habitatypen en beheertypen. 
- kaart 5 Inschatting verdrogingsindex voor GLG op basis van vegetatieopnamen t.o.v. de huidige habitatypen en beheertypen. 
- kaart 6 Inschatting verdrogingsindex voor Droogtestress op basis van vegetatieopnamen t.o.v. de huidige habitatypen en beheertypen. 
- kaart 7 Inschatting verzuringsindex voor Zuurgraad op basis van vegetatieopnamen t.o.v. het huidige habitatype en beheertype. 
- kaart 8 Inschatting verdrogingsindex voor GVG met peilbuisgegevens als hulpinformatie t.o.v. het huidige habitatype en beheertype. 
- kaart 9 Inschatting verdrogingsindex voor GVG op basis van vegetatieopnamen t.o.v. de beoogde beheertypen. 
- kaart 10 Inschatting verdrogingsindex voor GLG op basis van vegetatieopnamen t.o.v. de beoogde beheertypen. 
- kaart 11 Inschatting verdrogingsindex voor Droogtestress op basis van vegetatieopnamen t.o.v. de beoogde beheertypen. 
- kaart 12 Inschatting verzuringsindex voor Zuurgraad op basis van vegetatieopnamen t.o.v. de beoogde beheertypen. 

Woord vooraf

In dit rapport vindt u de verslaglegging van onderzoek dat is uitgevoerd in 2015 en 2016 in het kader van Beleidsondersteunend Onderzoek (BO) en Wettelijke Onderzoekstaken (WOT). In 2015 betrof dit het BO-project 'NNN-informatievoorziening verdroging' en in 2016 de projecten 'Natuurpact verdroging in beeld via satellietgegevens' (BO) en 'Informatie verdroging natuur' (WOT). De informatievoorziening heeft betrekking op de verdrogingstoestand van het Natuurnetwerk Nederland. Daarmee waren deze projecten onderdeel van de projecten die kennis aanleverden aan het overkoepelende project Evaluatie Natuurpact van het PBL.

Het onderzoek is uitgevoerd door de auteurs van dit rapport. Daarnaast heeft Martin Knotters in 2015 bij Wageningen Environmental Research (WEnR, Alterra) ook een bijdrage geleverd bij de analyse van grondwaterstandwaarnemingen. De projectleiding was in handen van Mirjam Hack-ten Broeke (tevens WEnR).

Voor deze drie sterk aan elkaar verbonden projecten is een klankbordgroep in het leven geroepen met de volgende samenstelling:

Dirk-Jan van der Hoek	PBL, voorzitter
Hendrien Bredenoord	PBL, plaatsvervangend voorzitter
Mirjam Hack-ten Broeke	Wageningen Environmental Research, secretaris)
Annemieke Bijlmer	provincie Zuid-Holland
Cees van Bladeren	Unie van Waterschappen
Flip Witte	KWR Watercycle Research Institute
Jan Holtland	Staatsbosbeheer
Louis van Vliet	ministerie EZ
Marcelle Lock	BIJ12
Marieke van Gerven	Staatsbosbeheer
Nicko Straathof	Natuurmonumenten
Remco van Ek	Witteveen en Bos, voorheen Deltares
Sido Mylius	PBL

Agendaleden:

Keimpe Wieringa	PBL
Diederik van der Molen	ministerie I&M

De tussenresultaten zijn in december 2015 gepresenteerd in het PCO van BIJ12 en door PBL is in het kader van de evaluatie van het Natuurpact een consultatieronde uitgevoerd waarbij reacties van de provincies op de tussenresultaten zijn verzameld. Voor zover deze reacties te vertalen waren naar de landelijke aanpak zijn deze opgenomen in de definitieve resultaten.

Samenvatting

Provincies en Rijk hebben in het Natuurpact ambities geformuleerd voor het verbeteren van de biodiversiteit. De huidige staat van de Nederlandse natuur voldoet niet aan de landelijke VHR-doelen. Dit komt doordat de fysieke condities voor veel soorten onvoldoende zijn. Versnippering van leefgebieden, een tekort aan geschikt leefgebied en verdroging en vermessing van leefgebieden zijn oorzaken die hieraan ten grondslag liggen. Voor de analyses ten behoeve van de Evaluatie Natuurpact is verdere kennis over de verdrogingstoestand van de Nederlandse natuur nodig. Ook de voortgang van verdrogingsbestrijding dient te worden gevolgd. Zodoende is er behoefte aan een landelijk overzicht van de mate van verdroging in natuurgebieden en veranderingen die daarin zijn opgetreden. Ook is het wenselijk om hier inzicht in te krijgen met een uniforme, reproduceerbare, landelijke methode. De laatste landelijke kaart dateert uit 2004.

Dit rapport beschrijft een studie die is uitgevoerd om de actuele verdrogingssituatie in kaart te brengen en een werkwijze te ontwikkelen om ook in de toekomst op een objectieve, reproduceerbare en gedragen wijze de verdrogingssituatie in kaart te brengen.

Daarnaast is onderzocht of het mogelijk is om remotesensinggegevens te gebruiken om de verdroging in beeld te brengen.

1. Actuele verdrogingssituatie

Definitie verdroging

De definitie van verdroging volgens de vierde Nota Waterhuishouding (Braat et al., 1998) luidt: 'Een gebied wordt als verdroogd aangemerkt als aan dat gebied een natuurfunctie is toegekend en de grondwaterstand in het gebied onvoldoende hoog is dan wel de kwel onvoldoende sterk om bescherming van de karakteristieke grondwaterafhankelijke ecologische waarden, waarop 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.'

Gebiedsafbakening

Het gebied waarvoor de huidige verdrogingssituatie is gerapporteerd bestaat uit het terrestrische deel van het door de provincies aan PBL geleverde Natuurnetwerk Nederland (NNN) en de Natura 2000-gebieden, zonder de agrarische natuur daarbinnen. Dit houdt in dat er over de natuurgebieden die hierbuiten vallen, ook als er door de provincies natuurbeheersplannen voor zijn gemaakt, niet wordt gerapporteerd. Verder is de studie beperkt tot terrestrische natuur en moeras- en oevervegetaties. De aquatische natuur valt buiten het doelgebied, evenals in de IPO verdrogingskaart van 2004 het geval was. Deze afbakening van het gebied duiden we verder aan als het doelgebied.

Natuurdoelen in termen van doeltypen

Informatie over de gewenste abiotische condities in natuurgebieden wordt gekoppeld aan de beheertypen in het doelgebied (peildatum voor de meeste provincies is rond 1 januari 2015, Hoek et al., 2017) en habitattypen in Natura 2000-gebieden zoals die eind 2014 door het parlement zijn vastgesteld. Sommige beheertypen zijn te weinig specifiek gedefinieerd om abiotische condities aan te koppelen. Om deze typen voldoende specifiek te maken voor de koppeling met abiotische condities is een ruimtelijke verfijning van enkele typen gemaakt, dit noemen we neerschaling. In dit project wordt gebruikgemaakt van de neergeschaalde beheertypenkaarten (Pouwels et al., in prep). De beheer- en habitattypen samen worden verder aangeduid als doeltypen.

Twee gegevensbronnen

Voor de beoordeling van de verdrogingssituatie zijn twee soorten gegevens gebruikt, namelijk uit grondwatermeetnetten en uit vegetatieopnamen. Combinatie van beide bronnen zou een verdichting

van het meetnet kunnen opleveren. Voor het beoordelen van de abiotische randvoorwaarden hebben wij gebruikgemaakt van de doelrealisatiefuncties zoals deze zijn vastgelegd in Waterlood (Runhaar & Hennekens, 2014).

Grondwaterstandsmetingen met peilbuizen en peilschalen

Op basis van metingen in peilbuizen is op de locaties van die buizen een uitspraak mogelijk over het grondwaterstandsverloop. Van alle beschikbare peilbuizen in natuurgebieden waren er 2825 met voldoende gegevens om de GHG (Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand), GVG (Gemiddelde Voorjaarsgrondwaterstand) en GLG (Gemiddeld Laagste Grondwaterstand) uit te rekenen. Naast deze peilbuizen zijn ook oppervlaktewaterstandsmetingen met peilschalen in beheer bij de natuurorganisaties gebruikt, omdat in moerasgebieden de grondwaterstanden sterk gecorreleerd zijn aan het oppervlaktewaterpeil. Van in totaal 520 peilschalen kon de gemiddelde seizoensfluctuatie berekend worden. In het veenweidegebied, in moeras-, riet- of hoogveengebieden kunnen oppervlaktewaterstanden een goede benadering leveren van de grondwaterdiepte net naast het oppervlaktewater. Hiervoor zijn nog eens 279 peilschalen gebruikt naast de peilbuizen om de grondwaterstandfluctuatie in kaart te brengen.

Gebiedsdekkende interpolatie Gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand en verdroging

Om ook uitspraken te kunnen doen over locaties waar geen peilbuizen of peilschalen staan is een gebiedsdekkende interpolatie met hulpinformatie uitgevoerd. Deze hulpinformatie betrof landgebruik (LGN7), bodem- en grondwatertrappenkaarten, maaiveldshoogte (AHN) en slotdichtheid. De verklaarde variantie tussen de GVG en de voorspelling op basis van hulpinformatie bedraagt 0.86. De inschatting van de GVG is weergegeven op kaart 1. Vervolgens is deze informatie vergeleken met het gewenste GVG-traject voor de neergeschaalde beheertypen en habitattypen (kaart 2) en dit levert de kans op een te diepe GVG (=verdroging) op zoals weergegeven op kaart 3.

Vegetatieopnamen en de verdrogingsindex

Er zijn verschillende methoden om de GVG te berekenen uit vegetatieopnamen. Een vergelijking van deze methoden (Bijlage 1) wijst uit dat de methoden allemaal verschillend zijn maar tegelijkertijd niet duidelijk is welke methode het beste te vergelijken is met de GVG uit peilbuizen. Een betrouwbare schatting van de GVG uit vegetatieopnamen is dus niet mogelijk. Dat betekent dat we deze gegevens niet kunnen gebruiken om de data uit peilbuizen rechtstreeks aan te vullen.

Om toch de vegetatieopnamen te kunnen gebruiken hebben we een uniforme methode ontwikkeld om de abiotische randvoorwaarden die horen bij de vegetatieopnamen te vergelijken met de abiotische randvoorwaarden van de doeltypen. In totaal hebben we daarvoor 25091 vegetatieopnamen kunnen gebruiken. De vergelijking levert een verdrogingsindex op en deze hebben we op een vergelijkbare manier als de GVG-kaart gebiedsdekkend geïnterpoleerd met hulpinformatie. Dit is weergegeven op kaart 4. Naast GVG kunnen we voor de vegetatieopnamen ook de vergelijking maken met abiotische randvoorwaarden voor GLG, droogtestress en zuurgraad. Dit levert kaarten 5, 6 en 7 op.

Bruikbaarheid (combinatie) kaart(en)

Om tot één landelijke verdrogingskaart te komen is er een combinatiekaart gemaakt van de verdrogingsinformatie van kaart 3 en kaart 4 en dit is opgenomen in kaart 8. De beide soorten kaarten vertonen merendeels vergelijkbare patronen, maar de kaart op basis van de peilbuizen geeft vaker een drogere grondwatersituatie dan is af te leiden uit de vegetatieopnamen. Het te droge areaal is volgens de peilbuizen met 482 km² groter dan de 129 km² afgeleid uit vegetatieopnamen, maar de vergelijkbaarheid van de beide grootheden is beperkt.

Voor de beide kaarten geldt dat de kaart het betrouwbaarst is nabij opname locaties, dus de kaart afgeleid uit vegetatieopnamen is het betrouwbaarst vlakbij vegetatieopnamen. De kaart afgeleid uit peilbuizen of peilschalen is het betrouwbaarst dichtbij deze locaties. In moerassen, rietlanden en hoogveengebieden zijn over het algemeen weinig peilbuizen of peilschalen beschikbaar terwijl in deze gebieden juist vaker vegetatieopnamen zijn verricht. Voor dit soort gebieden kan voor een indicatie over de grondwatersituatie dus beter naar de kaart afgeleid uit vegetatieopnamen worden gekeken. Een voorbeeld hiervan is het gebied van de Wieden en Weerribben, waar nauwelijks peilbuizen of peilschalen staan maar wel vegetatieopnamen gemaakt zijn. In sommige natuurterreinen in Drenthe

en Noord-Brabant liggen juist veel peilbuizen waardoor daar de kaart afgeleid uit peilbuizen en peilschalen waarschijnlijk het betrouwbaarst is.

Vergelijking combinatiekaart 2015 met de kaart situatie in 2004

Tenslotte is een vergelijking gemaakt tussen de situatie nu en de situatie ten tijde van de laatste keer dat er een landelijke kaart over verdroging van natuur is gemaakt, namelijk in 2004. De conclusie is dat zowel op basis van peilbuizen als op basis van vegetatieopnamen moet worden vastgesteld dat de veranderingen klein zijn en de verschillen in de veranderingen tussen de waarnemingslocaties groot is. Voor de peilbuisgegevens geldt dat er te weinig gegevens zijn om van structurele significante veranderingen te kunnen spreken. Kremers & Van Geer (1998; 2000) vinden voor de periode hiervoor een vergelijkbaar resultaat met veel variatie en geen duidelijke structurele verandering. Op basis van een veel grotere hoeveelheid vegetatieopnamen is de conclusie ook dat er geen significante veranderingen zijn opgetreden sinds 2004.

2. Remote sensing

Satellietdata

De bruikbaarheid van satellietdata voor het herkennen van veranderingen in de grondwatersituatie is onderzocht door in twee proefgebieden de Normalised Difference Vegetation Index (NDVI) te vergelijken over meerdere jaren waarin anti-verdrogingsmaatregelen genomen zijn. Met deze index wordt een ratio tussen de reflecties van het rode en het NIR licht vergeleken wat als maat kan dienen voor de hoeveelheid biomassa. Als verondersteld wordt dat deze hoeveelheid samenhangt met de vochttoestand van de bodem zou dat een maat kunnen opleveren voor de verdrogingstoestand. Dat blijkt echter niet goed aantoonbaar. Waargenomen veranderingen in NDVI hangen eerder samen met de maatregelen zelf dan met het beoogde effect.

In tweede instantie is onderzocht of satellietdata gebruikt kunnen worden om vegetatiepatronen te karteren. Omdat de plantengemeenschappen indicatief kunnen zijn voor de grondwatersituatie kan de verbreiding ervan een beeld geven van de mate van verdroging of vernatting. Hiervoor is in twee proefgebieden waar een recente vegetatiekartering beschikbaar was geprobeerd de gekarteerde typen te herkennen op basis van gecombineerde satellietinfo en hoogtegegevens van de begroeiing. Dit blijkt goed mogelijk te zijn op het niveau van vegetatiestructuur en begroeiingstype zoals, open water, zand, heide, natuurlijk grasland, naald- en loofbos, hoogveen en vergraste heide. De mate van detaillering op het niveau van (plantensociologisch bepaalde) plantengemeenschappen, zoals in veldkarteringen, kan niet bereikt worden. Wel kan de methode gebruikt worden om patronen in niet gekarteerde gebieden in beeld te brengen of om, als voorbereiding op karteringen, de hoofdlijnen te verkennen.

3. Conclusies

- Er is een nieuw landelijk overzicht beschikbaar over verdroging en er zijn verschillende mogelijkheden aangedragen om de informatie uit peilbuizen en vegetatieopnamen te interpreteren. Op basis hiervan zijn landelijke kaarten opgeleverd die een beeld geven van de huidige toestand van de verdroging in natuur;
- Naast de huidige situatie is een vergelijking gemaakt met de situatie in 2004 om veranderingen en trends te kunnen bepalen;
- Satellietdata zijn niet goed bruikbaar om verandering in de grondwatersituatie direct in beeld te brengen, maar kunnen wel goed bruikbaar zijn om de verbreiding van vegetatietypen in kaart te brengen, zij het minder gedetailleerd dan gebruikelijk is in veldkarteringen;
- Door uit te gaan van landelijk beschikbare gegevens en hulpinformatie is een uniforme werkwijze gebruikt waardoor de resultaten beter vergelijkbaar zijn tussen provincies. Dit in tegenstelling tot de werkwijze in 2004 waarbij per provincie een verschillende benadering is gekozen.

4. Aanbevelingen

Omdat in veel gebieden (te) weinig peilbuizen of peilschalen staan is de kans op een te diepe grondwaterstand voor het beoogde doeltypen moeilijk te beoordelen. Om die reden zouden in deze gebieden meer peilbuizen geplaatst moeten worden. Voor het monitoren van de grondwatersituatie is de continuïteit van het huidige peilbuizen netwerk een probleem. Aanbevolen wordt om het huidige

netwerk van peilbuizen te verdichten in de gebieden waar nu geen ondiepe peilbuizen aanwezig zijn en het bestaande meetnet te continueren zodat het structurele monitoring van de grondwaterstand over decennia beter mogelijk is.

De kwaliteit van de berekeningen per peilbuis kan verbeterd worden door een toets op onvolkomenheden in de meetreeks door ingrepen in de waterhuishouding, her- of verplaatsen van de buis en het voorkomen van uitbijters in de meetreeks. Een test voor de provincie Drenthe leverde een afkeuringspercentage van 40% op.

De ruimtelijke voorspelling van de GVG kan worden verbeterd als rekening gehouden kan worden met schijngrondwaterspiegels als gevolg van storende lagen in de bodem. Op landelijke schaal is deze informatie niet altijd in voldoende mate beschikbaar.

Door meer vegetatieopnamen te maken, met name in gebieden waar nu weinig opnamen liggen, kan de betrouwbaarheid van de ruimtelijke voorspelling van de verdrogingsindex verbeterd worden. Daarbij verdient het aanbeveling om de opnamen te koppelen aan peilbuizen en opnamen te herhalen op dezelfde locaties om veranderingen beter in beeld te kunnen brengen.

De verdrogingsindex is speciaal voor dit onderzoek ontwikkeld en is buiten dit rapport nog niet gepubliceerd. Deze methode biedt wel de mogelijkheid een directe vergelijking te maken tussen de indicatiewaarden van de vegetatie en de randvoorwaarden van het doeltype, zonder de (onzekere) tussenstap van het voorspellen van de GVG (of andere randvoorwaarde) uit de vegetatie. Aanbevolen wordt hierover met partijen in overleg te gaan en de methode verder te onderbouwen/uit te werken om als verdrogingsmaat te kunnen gebruiken.

De toepassing van satellietdata bij vegetatiekarteringen lijkt perspectief te hebben, hoewel er ook (nog) beperkingen zijn aan de mate van detail die bereikt kan worden. De methoden kunnen wellicht verbeterd worden door een vergelijking te maken met vegetatieopnamen in niet gekarteerde gebieden (validatie) of de beslisregels te kalibreren op puntwaarnemingen (vegetatieopnamen) in het wel gekarteerde gebied.

1 Inleiding

1.1 Doelstelling en Achtergrond

Aanleiding ex-ante evaluatie Natuurpact

Het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) rapporteert periodiek de voortgang en effecten van het milieu en natuurbeleid in de Balans van de Leefomgeving en kijkt vooruit in de Natuurverkenningen. Eind 2013 sloten staatsecretaris Dijksma van EZ en de twaalf provincies een akkoord over de ambities en financiering van het Nederlandse natuurbeleid tot 2027, het zogenoemde Natuurpact. Hierin is afgesproken dat het PBL eens in de drie jaar het gevoerde beleid evalueert. De eerste (ex-ante) evaluatie is begin 2017 verschenen (PBL en WUR, 2017).

In het akkoord onderschrijven Rijk en provincies de prioriteit voor de internationale doelen voor de biodiversiteit. Tot de belangrijkste internationale verplichtingen behoren de Europese Vogel- en Habitatrichtlijn (VHR). De VHR verplichten de Lidstaten onder meer tot het instellen van het Natura 2000-netwerk van beschermde gebieden. De Habitatrichtlijn verplicht tot maatregelen om de verslechtering van de beschermde natuur in deze gebieden te stoppen en heeft tot doel het in een gunstige staat van instandhouding brengen en houden van de soorten en habitattypen die Europees worden beschermd. De voornaamste knelpunten bij het behoud en herstel van de biodiversiteit in Nederland zijn versnippering, verdroging, vermesting en een tekort aan geschikt leefgebied.

In de ex-ante evaluatie van het Natuurpact (2017) staat het evalueren van de verwachte bijdrage van de belangrijkste provinciale beleidsstrategieën aan het halen van de Europese biodiversiteitsverplichtingen centraal. Het gaat onder andere om de vraag welke (potentiële) bijdrage de provinciale beleidsstrategieën aan de VHR-doelen leveren. Deze mogelijke bijdrage is modelmatig bepaald met de Metanatuurplanner (zie Hoek et al. 2017.). Vochttoestand is (in dit model) een belangrijke bepalende factor in de geschiktheid van het leefgebied voor planten- en diersoorten. Een landelijk beeld van de vochttoestand van natuurgebieden is essentieel voor de ex-ante evaluatie van het natuurpact.

Probleemstelling en onderzoeksvraag

Voor de evaluatie van het anti-verdrogingsbeleid is behoefte aan een landelijk overzicht van de mate van verdroging in natuurgebieden en veranderingen die daarin zijn opgetreden. Tot nu toe was er geen eenduidige landelijke methode beschikbaar om hier inzicht in te krijgen.

Opdracht van EZ

Voor de analyses ten behoeve van de Evaluatie Natuurpact is kennis over de verdrogingstoestand van de Nederlandse natuur nodig en ook de voortgang van verdrogingsbestrijding dient te worden gevolgd. Wageningen Environmental Research (Alterra) heeft daarvoor in opdracht van EZ (met PBL als gedelegeerd opdrachtgever) een studie uitgevoerd om de actuele verdrogingssituatie in kaart te brengen en een werkwijze te ontwikkelen om ook in de toekomst op een objectieve, reproduceerbare en gedragen wijze de verdrogingssituatie in kaart te brengen. Doelstelling voor de korte termijn was voor terrestrische natuur op basis van bestaande gegevensbronnen op een uniforme, objectieve en reproduceerbare wijze aan te geven hoe het met de verdrogingssituatie gesteld is. Doelstelling voor de langere termijn is een werkwijze te ontwikkelen waarmee deze rapportage in de toekomst kan worden voortgezet en verbeterd door aanvullende gegevens en wellicht nieuwe (meet)technieken te gebruiken.

Daarnaast is onderzocht of het mogelijk is om remotesensinggegevens te gebruiken om de verbreiding van vegetatietypen in beeld te brengen. Dat kan behulpzaam zijn bij de ruimtelijke interpolatie van de voor vegetatieopnamen bepaalde mate van verdroging.

Gehanteerde definitie verdroging

De definitie van verdroging volgens de vierde Nota Waterhuishouding (Braat et al. 1998) luidt: 'Een gebied wordt als verdroogd aangemerkt als aan dat gebied een natuurfunctie is toegekend en de grondwaterstand in het gebied onvoldoende hoog is dan wel de kwel onvoldoende sterk om bescherming van de karakteristieke grondwaterafhankelijke ecologische waarden, waarop 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.' In deze studie richten we ons op de condities gerelateerd aan de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand (GVG), de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG), droogtestress en de zuurgraad (pH). Ruimtelijke informatie omtrent kwel, overstromingsfrequentie en voedselrijkdom zijn voor verschillende typen natuur ook relevant, maar voor de korte termijn is hierover onvoldoende informatie beschikbaar of is de interpretatie voor meerdere uitleg vatbaar. Het doel voor de korte termijn is overeenstemming te bereiken en te komen tot een gedragen werkwijze om landsdekkend op een objectieve en uniforme wijze verdroging in kaart te brengen en de te gebruiken gegevens en instrumenten hierbij.

1.1.1 Huidig beleid

Afspraken monitoring

In de bestuursovereenkomsten Investeringsbudget Landelijk Gebied (ILG) zijn door het Rijk en de provincies wat betreft natuurkwaliteit afspraken gemaakt over een gezamenlijke monitoringsaanpak. In het natuurpact is deze afspraak bevestigd en is tevens aangegeven dat PBL het beleid zal evalueren op basis van de monitoringgegevens van Rijk en provincies. Deze partijen hebben daartoe inmiddels samen met beheerders een handleiding ontwikkeld voor het monitoren van natuurkwaliteit op het niveau van beheertypen in specifieke gebieden: de Werkwijze Monitoring en Beoordeling Natuurnetwerk en Natura 2000/PAS. Natuurkwaliteit wordt binnen de werkwijze beoordeeld op basis van scores voor aanwezige soorten flora en fauna, structuurelementen, ruimtelijke condities en standplaatsfactoren, zoals de zuurgraad of vochttoestand. Voor de standplaatsfactoren zijn nog geen protocollen gemaakt, maar wel zijn de mogelijke meetmethoden beschreven. De gegevens over vochttoestand zullen voorlopig nog niet beschikbaar zijn.

Met het project 'Verdrogingsinformatie voor de Nederlandse natuur' hopen we gezamenlijk stappen te zetten in de ontwikkeling van een landelijke systematiek voor het bepalen van de vochttoestand.

Natuurkwaliteit NNN vastgelegd in provinciale beheertypekaarten en ambitiekaarten

Provincies verlenen subsidie voor ontwikkeling en beheer van het Natuurnetwerk Nederland (NNN): het Subsiestelsel Natuur en Landschap (SNL). Het SNL is bedoeld voor het behoud en de verbetering van de natuur- en landschapskwaliteit in Nederland. Niet alle terreinen van het Natuurnetwerk Nederland vallen onder de SNL, zoals terreinen van overheden en nutsbedrijven en sommige particulieren. Het centrale instrument voor de gebiedsgerichte beleidssturing is het provinciale natuurbeheerplan, waarin de provincie beheertypen aan gebieden toekent en soms ook de ambities bepaalt. Binnen het SNL wordt subsidie verleend aan beheerders voor het beheer van hun natuurterreinen. De basis onder deze kwaliteitsbeoordeling zijn de beheertypen van de Index Natuur en Landschap. Deze beheertypen vormen ook in dit project de sleutel waarmee de gewenste abiotische condities worden vastgesteld. De natuurkwaliteit wordt vooral bepaald op het niveau van beheertypen in specifieke gebieden (Werkwijze Monitoring en Beoordeling Natuurnetwerk en Natura 2000/PAS, 2014). Voor SNL-gebieden zijn er afspraken met terreinbeheerders om periodiek te rapporteren over de kwaliteit van ecosystemen, de daarbij behorende planten- en diersoorten, vegetaties en de stuurbare condities (standplaatscondities of abiotische omstandigheden).

Natuurkwaliteit Natura 2000-gebieden in beheerplannen met habitattypen

Voor Natura 2000-gebieden liggen er verplichtingen om tot een beheerplan te komen waarin habitattypen, vegetatieopnamen en standplaatscondities worden aangegeven. De aanwijzingsbesluiten en voortgang en status van beheerplannen verschillen per gebied (zie <http://www.natura2000.nl/pages/kaartpagina.aspx>). Voor de Rijks-PAS-gebieden zijn gebiedsanalyses openbaar beschikbaar (zie <http://pas.natura2000.nl/items/openbaarmaking-pas-gebiedsanalyses->

rijksgebieden.aspx); deze leveren informatie over de habitattypen en soms ook over de grondwatersituatie in het gebied of knelpunten daarin.

In beeld brengen vochttoestand natuur tot nu toe

Het recentste landelijke overzicht over verdroging van natuurgebieden komt uit 2004, afkomstig van IPO/RIZA. Een groot aantal provincies brengt op provinciaal niveau verdroging in beeld en is bezig met verdrogingsbestrijding op gebiedsniveau. Deze gebieden zijn door de provincies zelf als verdroogd aangemerkt of zijn overgenomen uit de landelijke overzichten van TOP-gebieden¹ voor verdroging. Voor deze gebieden wordt veelal een landschapsecologische systeemanalyse uitgevoerd waarin de aard, oorzaken en mogelijke bestrijding van verdroging in onderlinge samenhang worden geanalyseerd. Monitoring van verdroging vindt momenteel niet op uniforme wijze en niet structureel, landsdekkend plaats. In sommige natuurterreinen worden intensief grondwaterstanden gemeten en in andere niet of nauwelijks. Voor sommige terreinen zijn vegetatieopnamen of -karteringen verricht en in andere (nog) niet. Slechts een aantal indicatoren en soortgroepen is relevant voor rapportage van de verdrogingssituatie. Daarbij gaat het om standplaatsfactoren met betrekking tot grondwaterstand en -kwaliteit en vegetatietypen die afhankelijk zijn van grondwaterstand en -kwaliteit.

1.2 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt eerst de afbakening van het te onderzoeken gebied besproken en wordt de werkwijze toegelicht die gevolgd is. De verdroging voor zover deze kan worden afgeleid uit grondwatermeetreeksen in peilbuizen is beschreven in hoofdstuk 3. Vervolgens is in hoofdstuk 4 een werkwijze beschreven om de mate van verdroging af te leiden uit vegetatieopnamen, waarbij de indicatiewaarde van de vegetatie wordt vergeleken met de randvoorwaarden voor het doeltyp op de locatie van de vegetatieopname. De puntinformatie ten aanzien van verdroging is in hoofdstuk 5 vertaald naar gebiedsdekkende kaarten. In hoofdstuk 6 is nagegaan in hoeverre uit de beschikbare informatie uit peilbuizen en vegetatieopnamen een verandering van de mate van verdroging afgeleid kon worden voor twee perioden van ca. 10 jaar. Aanvullend aan het onderzoek naar de mate van verdroging op basis van peilbuizen en vegetatieopnamen wordt in hoofdstuk 7 een werkwijze beschreven om remotesensinggegevens in te zetten om patronen van de vegetatie in kaart te brengen die mogelijk verband houden met verdroging. Het rapport besluit in hoofdstuk 8 met een aantal conclusies en aanbevelingen.

¹ Door taskforce verdroging opgestelde lijst van prioritaire verdroogde gebieden.

2 Afbakening en werkwijze

De werkwijze om tot kaarten met verdrogingsinformatie te komen, delen we op in drie stappen.

1. Allereerst wordt een keuze gemaakt voor het gebied waarvoor we de verdrogingssituatie willen vaststellen en rapporteren, dit noemen we het doelgebied.
2. In de tweede stap stellen we de doelen in termen van abiotische condities relevant voor verdroging vast. Dit doen we door abiotische condities te koppelen aan door het Rijk en provincies geleverde kaarten met habitat- en beheertypen (doeltypen).
3. In de derde stap worden grondwaterstandmetingen en vegetatieopnamen gebruikt als meetinstrument voor de abiotische condities relevant voor verdroging. Deze 'metingen' van abiotische condities worden geconfronteerd met doelen voor diezelfde condities zoals die in stap 2 zijn vastgesteld.

Deze stappen worden in § 2.1 t/m 2.3 uitgewerkt.

2.1 Het gebied waarvoor gerapporteerd wordt, vaststellen

Het natuurbeleid op rijksniveau is in belangrijke mate gericht op de Natura 2000-gebieden waarover aan de EU wordt gerapporteerd en op de voormalige EHS, die tegenwoordig als het Natuurnetwerk Nederland (NNN) wordt aangeduid. Het NNN bevat deels ook agrarische natuur, zoals weidevogelgebieden. Het gebied waarvoor we in dit project de huidige verdrogingssituatie rapporteren, bestaat uit het natuurdeel van NNN en de Natura 2000-gebieden, dus zonder de agrarische natuur daarbinnen. Dit houdt in dat er over de natuurgebieden die hierbuiten vallen, ook als er door de Provincie natuurbeheersplannen voor zijn gemaakt, niet wordt gerapporteerd. De kleinere natuurelementen, zoals houtwallen en bosjes tussen agrarisch gebieden, liggen vaak ook buiten het gebied waarover we zullen rapporteren. Verder beperken we ons tot terrestrische natuur en moeras- en oevervegetaties. De aquatische natuur valt buiten het doelgebied, evenals in de IPO-verdrogingskaart van 2004 het geval was.

Langs de grote rivieren en langs de kust komen terreinen voor waar oppervlaktewaterdynamiek (rivierdynamiek of getijde-invloed) dominant is over de grondwaterdynamiek. Deze vormen een overgang tussen terrestrische en aquatische systemen waarbij op de hogere delen grondwaterdynamiek weliswaar een rol speelt, maar dit niet goed te scheiden is van de oppervlaktewaterdynamiek. Daarom zijn deze buitendijkse gebieden buiten de analyse gelaten. Selectie van de buitendijkse gebieden heeft plaatsgevonden op basis van de Landschappelijke Bodemkaart Nederland (Maas et al., *in prep*).

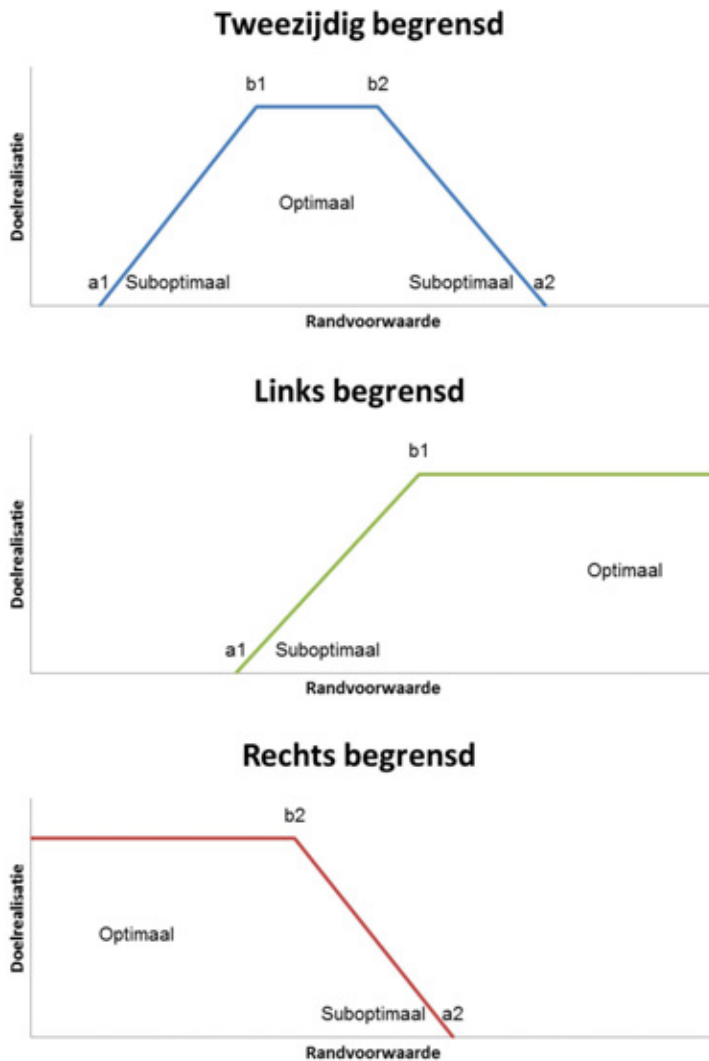
2.2 Doelen vaststellen

Informatie over de gewenste abiotische condities in natuurgebieden wordt gekoppeld aan de beheertypen in het natuurnetwerk en habitattypen in Natura 2000-gebieden zoals die eind 2014 door het parlement zijn vastgesteld. Via <http://www.portaalnatuurenlanschap.nl> zijn per provincie gegevens over beheertypen beschikbaar.

Sommige beheertypen zijn te weinig specifiek gedefinieerd om abiotische condities aan te koppelen. Om deze typen voldoende specifiek te maken voor de koppeling van abiotische condities is een ruimtelijke verfijning van enkele typen gemaakt, dit noemen we neerschaling. Deze neerschaling heeft voor de huidige beheertypen plaatsgevonden in een ander WOT-project. Voor dit onderzoek gaat het om de grootschalige beheertypen N05.01 'Moeras' en N08.02 'Open duin'. In dit project wordt, voor het definiëren van de gewenste abiotische condities, gebruikgemaakt van deze kaarten met neergeschaalde beheertypen.

Op de beheertypenkaart staat de actuele natuursituatie voor het (agrarisch) natuurbeheer waar subsidie voor aan te vragen is via het SNL (bron: <http://www.portaalnatuurenlandschap.nl>). Daarnaast is ook de Landelijke beheergebied Ambitiekaart geëvalueerd. Op de ambitiekaart staat de ambitie van de provincies voor de natuur. In dit rapport duiden wij de beheertypen volgens de ambitiekaart aan als 'ambietypen'.

Voor de Natura 2000-gebieden is gebruikgemaakt van het recentste GIS-bestand met habitattypen zoals dat door het ministerie van EZ geleverd is (Kartering september 2015). Indien habitattypen beschikbaar zijn, zijn deze gebruikt; voor het vaststellen van de doelen in de overige gebieden wordt gebruikgemaakt van de beheertypen of ambitietypen. In dit rapport gebruiken wij daarvoor de term 'doeltypen', wat niet verward mag worden met 'natuurdoeltypen', maar een samenvoeging is van de habitattypen en beheertypen/ambietypen.



Figuur 1 Doelrealisatiefuncties zoals gebruikt bij de bepaling van de doelrealisatie voor de terrestrische natuur in Waterlood. *a1* en *a2* zijn buitengrenzen waaronder resp. waarboven het type niet kan voorkomen; *b1* en *b2* zijn knikpunten waarboven resp. waaronder type optimaal voorkomt. 'Optimaal' is het optimumbereik en wordt bij tweezijdig begrensde functies gebruikt om in combinatie met de *a1* en *a2* de functie te definiëren; 'Suboptimaal' vertegenwoordigt het bereik waarbinnen een type nog wel voor kan komen, maar de abiotische condities minder gunstig zijn (bron: Runhaar & Hennekens, 2014).

Voor het beoordelen van de abiotische randvoorwaarden hebben wij gebruikgemaakt van de doelrealisatiefuncties zoals deze zijn vastgelegd in Waternood (Runhaar & Hennekens, 2014). In Figuur 1 wordt het principe uitgelegd. Naast tweezijdig begrensde typen met een optimaal bereik tussen de grenzen b_1 en b_2 en een suboptimaal bereik tussen a_1 en b_1 links en b_2 en a_2 rechts, worden ook 'rechtsbegrensde' en 'linksbegrensde' typen onderscheiden. Een voorbeeld van een rechtsbegrensd habitatype is H2190A – Vochtige duinvalleien (open water), waarbij de optimale GLG 5 cm boven maaiveld ligt en een suboptimale GLG tot 80 cm voor kan komen, maar aan de (natte) linkerkant is de functie niet begrensd. Het omgekeerde geldt voor droge heiden (H4030) waarbij de GVG optimaal dieper is dan 70 cm en suboptimaal tussen 50 en 70 cm $-mv^2$. Deze functie is dan links begrensd en het habitatype is daarmee niet gevoelig voor verdroging.

Voor deze rapportage over de verdrogingssituatie zijn binnen het onderzoeksgebied vooral natuurgebieden met grondwaterafhankelijke habitat- of beheertypen/ambitietypen relevant, maar omdat als gevolg van verdrogingsbestrijding ook vernatting kan optreden in gebieden met grondwateronafhankelijke doeltypen zijn deze ook in de analyse meegenomen. Voor de beheertypen waarvoor verdroging (of vernatting) een beperking kan vormen, worden de randvoorwaarden afgeleid met het bestaande Waternood-instrumentarium. Met behulp van de abiotische randvoorwaarden horend bij beheertypen of habitatypen kan de bandbreedte van optimale en toereikende (suboptimale) abiotische condities worden vastgesteld, waaronder de condities voor GVG, GLG, droogtestress en zuurgraad. Alle abiotische condities uit het Waternood-instrumentarium zullen worden gedefinieerd om later op geselecteerde condities te kunnen beoordelen of ze toereikend zijn. De eenheden binnen de neergeschaalde beheertypen omvatten deels bestaande beheertypen, maar er zijn ook nieuwe typen onderscheiden. Voor deze typen is aangegeven welke plantengemeenschappen daarbij horen, om daar met de randvoorwaarden uit Waternood voor die gemeenschappen de randvoorwaarden voor de beheertypen te bepalen, analoog aan de wijze waarop dat in Waternood gedaan wordt.

2.3 Gegevensbronnen over abiotische condities vergelijken met doelen

Een deel van de informatie die voor SNL en de Habitat Richtlijn in natuurgebieden van het Natuurnetwerk Nederland (NNN) en Natura 2000-gebieden door provincies en terreinbeheerders wordt verzameld, kan ook worden benut voor het vaststellen van de Verdrogingsstatus en mogelijk ook de verdrogingstrends. Daarvoor kunnen ten minste twee soorten gegevens worden gebruikt:

1. uit grondwatermeetnetten
2. uit vegetatieopnamen

Combinatie van beide bronnen zou een verdichting van het meetnet kunnen opleveren.

Ad 1 Grondwatermeetnetten

Voor de ondersteuning van antiverdrogingsbeleid zijn in acht provincies meetnetten met peilbuizen ingericht, waarbij de meetlocaties gericht zijn geselecteerd op basis van ecohydrologische systeemanalyses. De dichtheden van de meetnetten variëren tussen de provincies (één meetlocatie per 18 tot 174,5 hectare). De provincie Utrecht volgt een statistisch gefundeerde opzet, waarbij uitsluitend van gegevens van bestaande peilbuizen gebruik wordt gemaakt, aangevuld met een kanssteekproef van waarnemingen in boorgaten (één boorgat per 1,4 ha). In de provincies Noord- en Zuid-Holland zijn meetnetten in ontwikkeling (Knotters en Hoogland, 2015). Informatie over grondwaterstanden en -kwaliteit worden centraal opgeslagen in DINO en bevatten het grootste deel van de provinciale meetnetten en de meetnetten van Staatsbosbeheer, Natuurmonumenten en de provinciale landschappen. Waterschappen en Provincies beschikken soms over (tijdelijke) meetnetten die niet in DINO zijn opgenomen. Nadeel is dat in sommige terreinen weinig grondwatergegevens beschikbaar zijn en dat veel natuurgebieden helemaal geen grondwatermeetnet hebben. Daarnaast is de locatiekeuze van de diverse meetnetten zeer verschillend en worden er nauwelijks waterkwaliteitsmetingen gedaan.

² Grondwaterstanden worden aangegeven met de diepte onder het maaiveld (..cm $-mv$.)

Ad 2 Vegetatieopnamen

Met vegetatiegegevens die centraal zijn opgeslagen in de Landelijke Vegetatie Databank (in beheer bij Wageningen Environmental Research) en mogelijk ook nog bij terreinbeheerders beschikbaar zijn, kan via responsecurves een schatting van de abiotische condities ten tijde van de waarneming worden gemaakt. Deze abiotische condities, of standplaatsfactoren, omvatten wat betreft het thema verdroging de volgende factoren³: GVG, GLG, droogtestress, zuurgraad en voedselrijkdom. De laatste voor zover gerelateerd aan de vochttoestand, bijvoorbeeld door oxidatie van veen. Omdat voedselrijkdom slechts gedeeltelijk uit hydrologische condities verklaard kan worden, is deze factor niet opgenomen in de analyses. Dat geldt ook voor zuurgraad, maar daar is, in elk geval voor kalkloze afzettingen, de relatie met hydrologie duidelijker. Nadeel van deze indirecte methode voor het vaststellen van verdroging is dat de vegetatie altijd tijd nodig heeft om zich aan abiotische condities aan te passen en daardoor na-ijlt, maar ook dat andere factoren, zoals de verspreidingsnelheid van soorten en andere typen milieudruk, de soortensamenstelling beïnvloeden. Voordeel van deze aanpak is dat vegetatieopnamen of vegetatiekarteringen voor diverse regelingen verzameld dienen te worden en daardoor ruim voorhanden zijn, waardoor het meetnet aanzienlijk verdicht kan worden en ook in de toekomst verder verdicht wordt. Het feit dat vegetatie na-ijlt, kan juist ook als een relatief voordeel gezien worden, omdat de indicatiewaarde ervan dan minder gevoelig is voor toevallige weersomstandigheden.

Combinatie peilbuizen en vegetatieopnamen

Deze studie gaat uit van het gebruik van verschillende meetinstrumenten om de verdrogings situatie in beeld te brengen: 1) grondwaterstandmetingen in peilbuizen en 2) een indicatie van de grondwatersituatie uit vegetatieopnamen. Voordeel van deze gecombineerde aanpak is dat vegetatieopnamen ruimer voorhanden zijn, waardoor het meetnet ten opzichte van het peilbuizenennetwerk aanzienlijk verdicht kan worden en ook in de toekomst verder verdicht wordt. Om de vegetatieopnamen te vertalen naar grondwaterstanden, is een aantal methoden ontwikkeld. Om de bruikbaarheid van deze methoden te beoordelen en een keuze te maken voor de geschiktste methode, is een vergelijking gemaakt van de voorspelling van de GVG met de verschillende methoden (zie Bijlage 1). Uit deze vergelijking blijkt dat de grootte van GVG's uit de kaart, afgeleid van grondwaterstanden, systematisch dieper (droger) is dan die op basis van vegetatieopnamen volgens alle methoden. De vergelijkbaarheid tussen GVG's uit vegetatieopnamen en afgeleid uit grondwaterstanden is, zoals uit de paarsgewijze correlaties blijkt, gering. Daarom is ervan afgezien om beide GVG-schattingen in een gecombineerde aanpak samen te nemen. De vegetatieopnamen lijken immers systematisch natter en omdat een objectieve vergelijking met peilbuizen de mogelijkheid van een correctie hiervoor beperken, kunnen geen gelijksoortige GVG-schattingen worden gecombineerd. Met behulp van deze twee gegevensbronnen is daarom voor elke gegevensbron apart een indicatie van de verdroging gemaakt in kaartvorm (hoofdstuk 3 – peilbuizen en 4 – vegetatieopnamen). Voor de interpretatie van de vegetatieopnamen is een alternatieve methode ontwikkeld op basis van de randvoorwaarden voor de plantengemeenschappen die door de vegetatieopnamen worden beschreven. In hoofdstuk 5 is wel een kaart uitgewerkt waarbij de indicatiewaarde op basis van de vegetatieopnamen ruimtelijk is geïnterpoleerd met informatie uit peilbuizen als hulpinformatie.

Naast het in kaart brengen van de mate van verdroging in landelijke kaarten hebben wij ook onderzocht of er op basis van de beschikbare grondwaterstandmeetreeksen en vegetatieopnamen een trend is waar te nemen. Hiervoor zijn gegevens van twee perioden vergeleken: 1994–2004 en 2005–2015 (zie hoofdstuk 6).

³ GVG: Gemiddelde Voorjaarsgrondwaterstand in cm –mv., berekend uit een langjarig gemiddelde van de grondwaterstand rond 1 april (begin groeiseizoen); GLG: Gemiddeld Laagste Grondwaterstand in cm –mv., berekend uit een langjarig gemiddelde van de drie laagste grondwaterstanden per jaar en een meetreeks van twee metingen per maand. *Droogtestress*: het aantal dagen dat een kritieke vochtspanning (-12.000 cm) in de wortelzone wordt onderschreden. Dit hangt af van de GLG en de bodemfysische eigenschappen van de bodem in de standplaats; *Zuurgraad*: De zuurgraad van de bovengrond, waarin de planten wortelen, wordt mede bepaald door de hydrologische positie (infiltratie of kwel), maar ook door bodemkenmerken als kalkgehalte of basenverzadiging; *Voedselrijkdom*: De hoeveelheid plantenvoedingsstoffen (nutriënten) die beschikbaar zijn voor de vegetatie. Dit wordt in belangrijke mate bepaald door de organische stofkringloop, waarbij kwaliteit van organische stof, samenstelling en activiteit van het bodemleven bepalend zijn voor het vrijkomen van nutriënten. Daarbij speelt hydrologie ook een rol via beschikbaarheid van vocht en zuurstof en de zuurgraad, maar ook andere factoren als mineralogische rijkdom van de bodem, atmosferische depositie en (vroegere) bemesting zijn van invloed. Voor meer informatie: Van der Sluijs 1990, Ten Cate et al. 1995, Jansen & Runhaar 2001, Van Delft et al. 2006, Runhaar & Hennekens 2014.

3 Verdroging afgeleid uit grondwaterstanden in peilbuizen

3.1 Beschikbaarheid en selectie van grondwaterstanden in peilbuizen

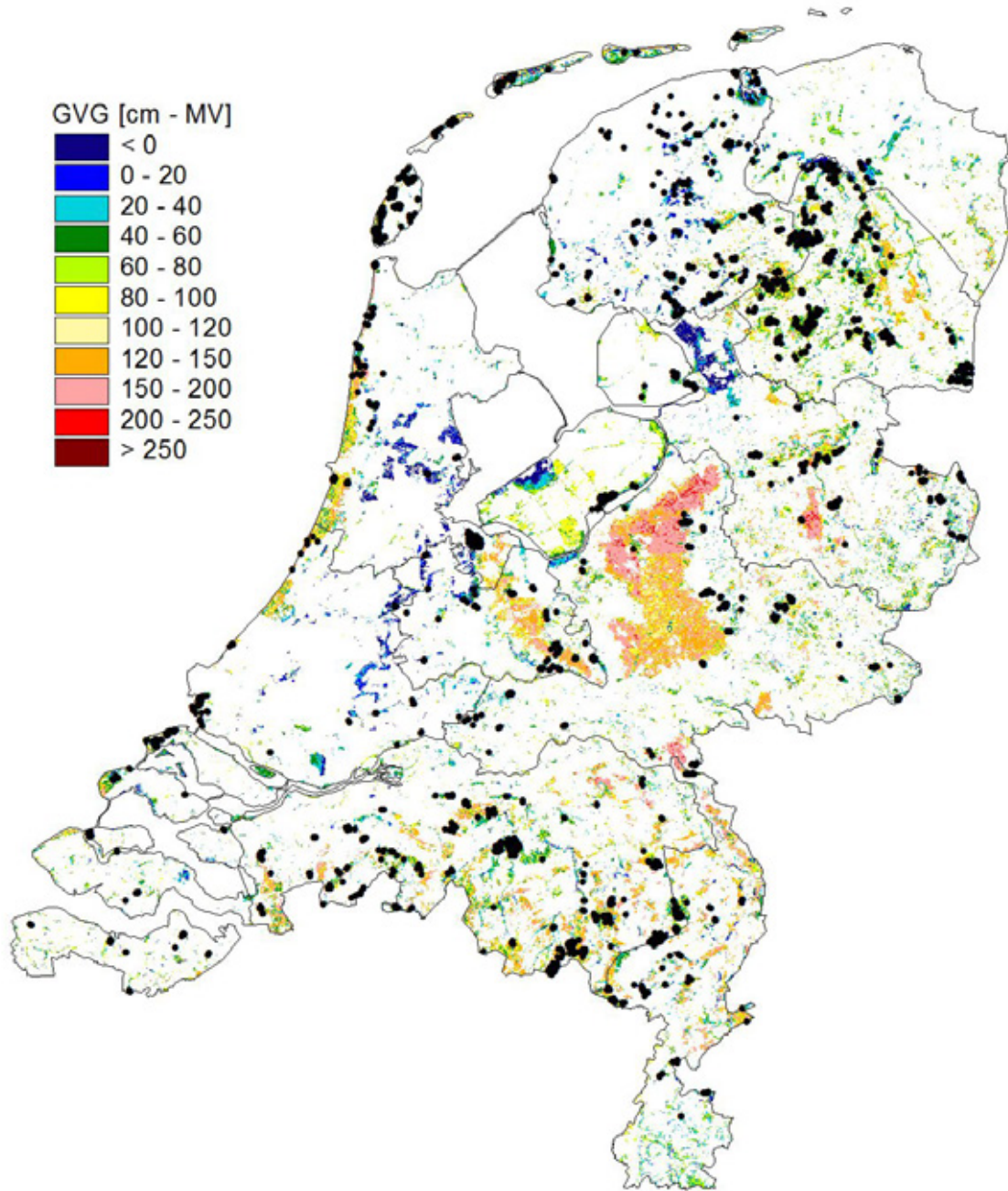
De DINO database van TNO is gebruikt voor de selectie en het opvragen van grondwaterstanden en peilbuisgegevens. Omdat deze studie zich richt op natuurgebieden, is een selectie gemaakt van DINO-peilbuizen in beheer bij natuurorganisaties, provinciale landschappen, defensie en de peilbuizen gelegen in de Noord- en Zuid-Hollandse duinen. Om de grondwaterstand te bepalen, zijn peilbuizen met een totale buislengte van minder dan 5 m geselecteerd. Bij diepere filters wordt mogelijk de stijghoogte gemeten in plaats van de freatische grondwaterstand. Daarbinnen zijn alleen die buizen gebruikt waar een grondwaterstand is gemeten tussen de 8^e en 20^e dag van de maanden september en maart in de periode 2004–2013, zodat een minimale meetfrequentie van twee keer per maand verwacht mag worden. Het jaar 2013 is gekozen, omdat dit de recentste periode is waarvoor aangenomen wordt dat de meetreeksen van SBB-buizen in DINO zijn verwerkt. Het jaar 2004 is gekozen om voldoende recente en daarmee representatieve gegevens te gebruiken. In totaal resulteert deze selectie in 3313 peilbuizen. Soms staan peilbuizen direct naast elkaar, maar met hun filters op een verschillende diepte, dan is alleen de peilbuis met het ondiepste filter gebruikt.

Daarnaast zijn de provinciale verdrogingsmeetnetten van de provincies gebruikt, m.u.v. de provincies Friesland, Noord- en Zuid-Holland, omdat die geen peilbuizen hebben doorgegeven. In totaal gaat het om 1072 peilbuizen of peilschalen die in de provinciale meetnetten zijn opgenomen waarvan een deel geen DINO-code heeft en daarom niet beschikbaar zijn. Deels liggen de filters van deze peilbuizen dieper dan 5 m en zijn ze daarom buiten de selectie voor deze studie gehouden. Deels overlappen deze peilbuizen de eerdere selectie die is gemaakt en tezamen omvatten de beide selecties 3755 unieke peilbuizen waarvoor de benodigde gegevens compleet zijn en aan de bovengenoemde criteria voldoen.

Daarvan hebben 2825 peilbuizen een meetreeks over drie of meer hydrologische jaren met ten minste 18 metingen per hydrologisch jaar en dus kan hiervoor de GHG, GVG en GLG (GXG) berekend worden. Steeds meer buizen worden met automatische drukopnemers gemeten waarbij een dagelijkse of nog hogere meetfrequentie wordt gehanteerd. De berekeningswijze voor GXG gaat uit van een meetfrequentie van tweemaal per maand (Van der Sluijs, 1990). Voor een onderling vergelijkbare GXG-berekening is de meetfrequentie van deze hoogfrequente meetreeksen teruggebracht naar twee metingen per maand, rond de 14^e en 28^e van iedere maand. Voor een nauwkeuriger GXG-berekening die minder afhankelijk is van droge of natte jaren is een langere meetreeks nodig (Bartholomeus et al. 2008). Natte of vochtige situaties die gereguleerd worden door oppervlakkige ontwatering en peilbeheer zijn meestal minder afhankelijk van drogere of nattere jaren. Meetreeksen over ten minste 8 hydrologische jaren met ten minste 18 metingen per jaar zijn beschikbaar in 1162 filters.

Naast deze peilbuizen zijn ook oppervlaktewaterstandmetingen met peilschalen in beheer bij de natuurorganisaties gebruikt, omdat in moerasgebieden de grondwaterstanden sterk gecorreleerd zijn aan het oppervlaktewaterpeil en in deze gebieden relatief weinig peilbuizen staan. In totaal zijn voor 761 peilschalen gemeten (grond)waterstanden opgevraagd; daarvan bleken 520 peilschalen een meetreeks te omvatten waarmee over een periode van 3 jaar of langer de gemiddelde seizoensfluctuatie berekend kon worden. De seizoensfluctuatie van het oppervlaktewater laat zich niet in alle gebieden vergelijken met de grondwatersituatie. In het veenweidegebied, in moeras-, riet- of hoogveengebieden kunnen oppervlaktewaterstanden een goede benadering leveren van de grondwaterdiepte net naast het oppervlaktewater. Met behulp van de veenweidegebieden uit de

bodemkaart en de moeras-, riet- of hoogveengebieden uit LGN7⁴ zijn peilschalen geselecteerd waarvoor verondersteld wordt dat het grondwaterpeil gelijk is aan het oppervlaktewaterpeil; dat zijn in totaal 279 peilschalen. Deze peilschalen zijn naast de eerder genoemde peilbuizen ook gebruikt om de grondwaterstandfluctuatie in kaart te brengen.



Figuur 2 Locaties van geselecteerde peilbuizen en verwachting van GVG binnen het doelgebied.

De meetreeksen in deze peilbuizen en peilschalen zijn direct uit DINO gebruikt voor de berekening van GXG (GHG, GVG en GLG) zonder dat een controle heeft plaatsgevonden op uitbijters, op effecten van herplaatsing van een buis of andere ingrepen aan de meetopstelling of op een geleidelijke verandering van grondwaterstanden. Een verandering van de grondwaterstand duidt weliswaar niet op

⁴ Het LGN (Landelijk Grondgebruiksbestand Nederland) geeft voor Nederland landsdekkende informatie over landgebruik in een rasterbestand van 25 bij 25 m. In 2014 is versie 7 verschenen (Hazeu, 2014). LGN7 is gebaseerd op een combinatie van bestanden (Top10NL, BBG2008/BG2003, BRP2012, BKN2012 en LGN6) en visuele interpretatie van luchtfoto's en satellietbeelden.

onvolkomenheden in de meetreeks, maar verhindert wel de schatting van de GVG over meerdere jaren zonder verandering. De controle op deze criteria voor alle peilbuizen in Drenthe levert een afkeuringspercentage van 40. Deze controle op individuele peilbuizen is noodzakelijk als de effecten van hydrologische veranderingen of -ingrepen ter plaatse van de peilbuis vastgesteld dienen te worden (zie Bijlage 2). Als deze controle achterwege blijft, wordt een intermediair grondwaterniveau geschat over een periode voor en na een ingreep en is het niet goed mogelijk het effect van de ingreep vast te stellen.

Of bij een buis sprake is van stagnatie in het bodemprofiel als gevolg van slecht doorlatende lagen is niet gecontroleerd. Voor controle op stagnatie waardoor mogelijk schijngrondwaterspiegels optreden, dient een bodemkundige profielbeschrijving bij de betreffende buis gemaakt te worden. Omdat de buizen niet in het veld zijn beoordeeld en geen profielbeschrijving is gemaakt, kan een controle op schijngrondwaterspiegels niet worden gemaakt. Op kaart 1 is op basis van de bodemkaart aangeduid waar stagnatie en schijngrondwaterspiegels verwacht kunnen worden.

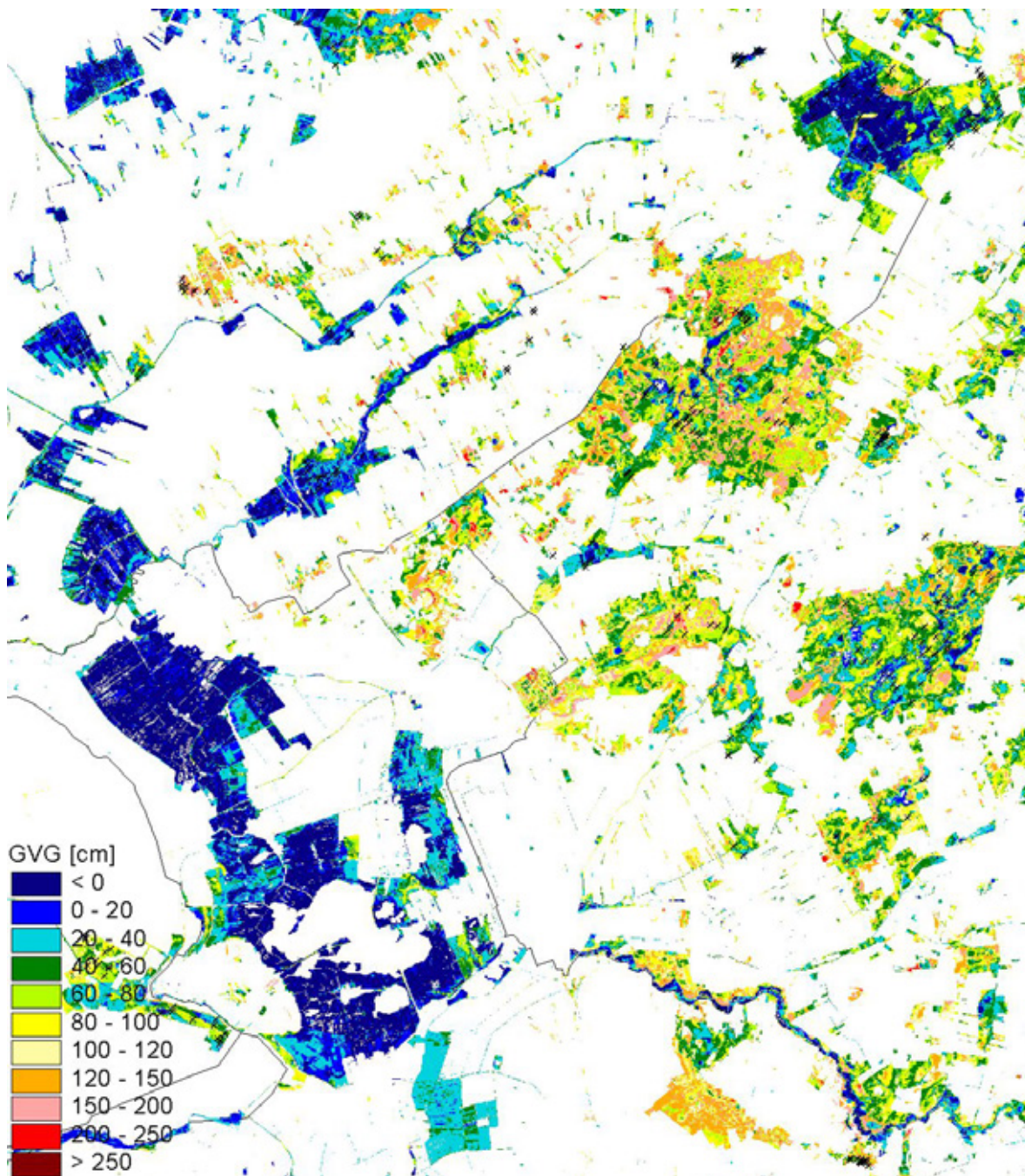
3.2 Gebiedsdekkende interpolatie, gebruikmakend van hulpinformatie

Om ook uitspraken te kunnen doen over locaties waar geen peilbuizen of peilschalen staan, is een gebiedsdekkende interpolatie met hulpinformatie uitgevoerd. Als op een locatie peilbuizen met verschillende filterdieptes staan, wordt voor de berekening van de GXG alleen het ondiepste filter gebruikt, omdat dit de beste indicatie van vochtcondities voor de vegetatie levert. Op basis van de berekende GVG's in de 2450 ondiepste filters en peilschalen zoeken we een relatie waarmee deze GVG op meetlocaties verklaard kan worden uit gebiedsdekkende ruimtelijke hulpinformatie met een resolutie van 25x25 m. Deze gebiedsdekkende hulpinformatie kan worden afgeleid met het AHN, LGN7, de PAWN schematisatie, de kaart met doeltypen (zie § 2.2), de topografische kaart of informatie afgeleid uit de bodem- en Gt-kaart. Voor sommige moerasgebieden, uiterwaarden, oevers en rietlanden is geen informatie uit een van deze kaarten beschikbaar. Hierdoor is er op basis van deze hulpinformatie voor die specifieke gebieden ook geen verwachte GVG te berekenen.

Voor het maken van een ruimtelijke voorspellingen van de verwachte GVG worden naast kwantitatieve variabelen ook kwalitatieve predictoren (LGN7, GT-klasse en PAWN-eenheid) gebruikt en wordt Bootstrapaggregatie (of 'bagging'), dat het principe van 'ensemble learning' volgt, toegepast. In plaats van een enkel model wordt een groot aantal modellen simultaan ingezet voor het verkrijgen van predicties. Breiman (2001), gebruikt hiervoor zogenaamde classification and regression trees (CART).

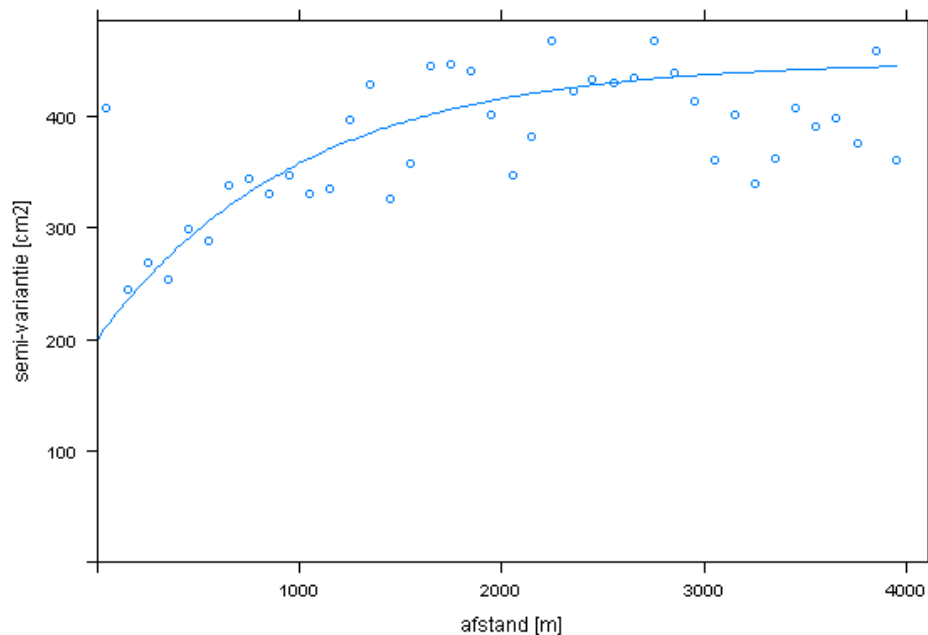
Een CART-model is een beslisboom die op basis van een stelsel beslisregels voorspellingen kan doen. CART's zijn transparante modellen die niet-lineaire structuren in de data kunnen beschrijven. Bij bagging wordt niet één, maar een heel ensemble van CART-modellen ingezet. Bagging levert over het algemeen goede voorspellingen, is relatief robuust voor extreme waarden, ruis, en over-parametrisatie en de berekeningen zijn bovendien eenvoudig te paralleliseren (Breiman, 2001; Breiman, 2002).

De relatie tussen gemeten GVG en bronnen van hulpinformatie is met behulp van de R-package 'RandomForest' afgeleid met behulp van regressie- en beslisbomen aangeduid als random forest (Breiman, 2001).



Figuur 3 Uitsnede van de verwachte GVG-kaart op basis van peilbuizen en ligging van geselecteerde peilbuizen en peilschalen.

De hulpinformatie die gezamenlijk de best verklarende relatie oplevert met de GVG in peilbuizen bestaat uit het natuurlijke landgebruik, volgens Lgn7 gegeneraliseerd in zeven categorieën, 21 bodemfysische PAWN-eenheden, twaalf eenheden uit de grondwatertrappenkaart 1: 50.000, de absolute maaiveldhoogte uit het AHN, de relatieve maaiveldhoogte in de centrale cel t.o.v. de omgeving binnen een straal van 500 m en de dichtheid aan sloten binnen een straal van 200 m. De patronen die in de GVG-kaart (zie Figuur 2) zichtbaar zijn, hangen daardoor samen met het landgebruik, de Gt-klasse, de dichtheid aan sloten en de maaiveldhoogte. Ook op plekken verder verwijderd van waarnemingen is een voorspelling mogelijk op basis van correlaties met deze ruimtelijke hulpinformatie. De verklaarde variantie tussen de GVG en de voorspelling met het CART-model op basis van hulpinformatie bedraagt 0,86. De verschillen tussen de gemeten situatie en de voorspelde situatie uitgedrukt als het gemiddelde gekwadrateerd verschil bedraagt ruim 474 cm², wat overeenkomt met een RMSE van 21,8 cm. Voor heel Nederland is dit uitgevoerd (zie kaart 2), maar vanwege de schaal is ter illustratie een uitsnede in het grensgebied van de Provincies Friesland, Drenthe en Overijssel gemaakt die beter leesbaar is (Figuur 3).



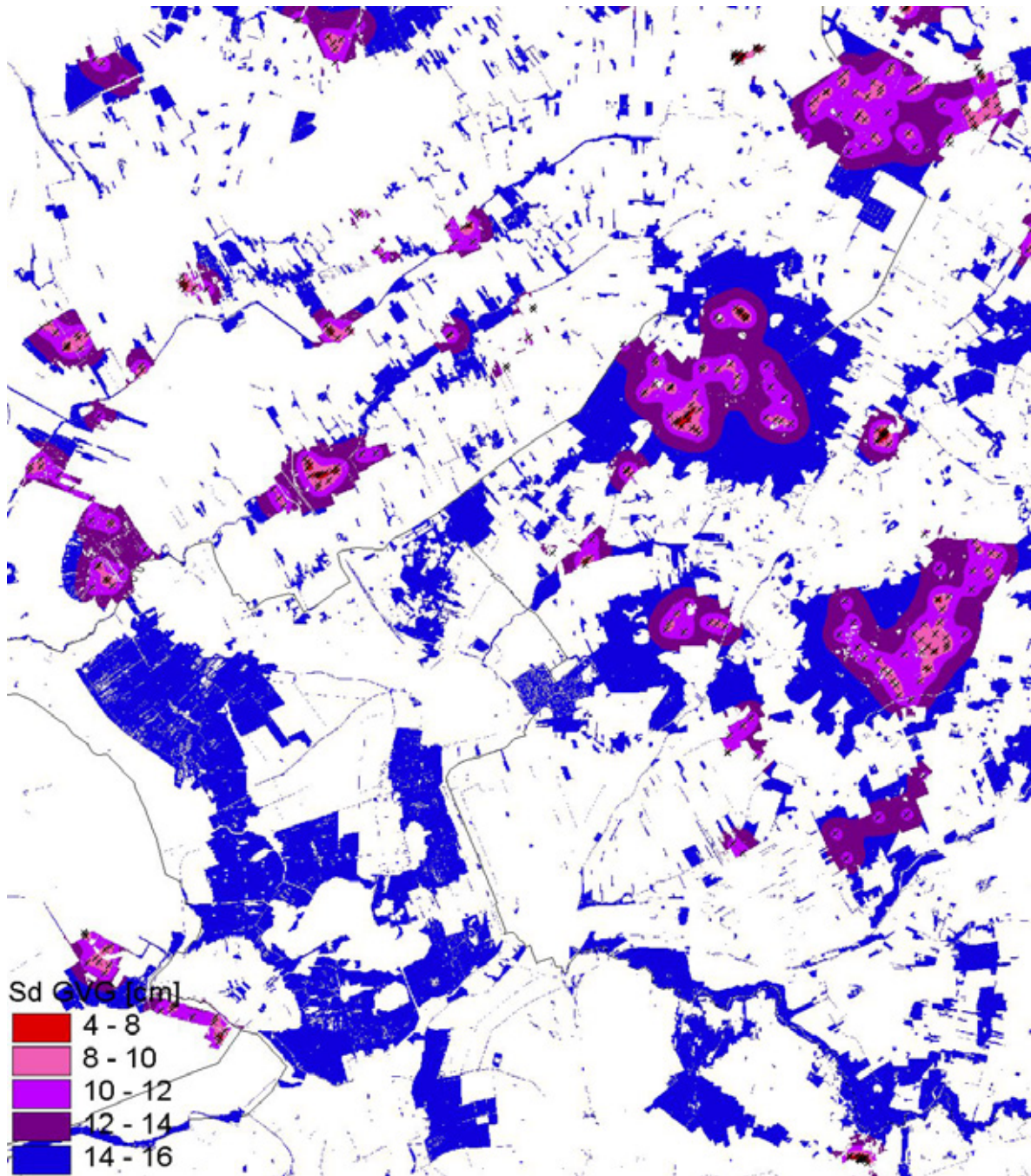
Figuur 4 Semivariogram gebruikt bij simple block-kriging interpolatie van GVG.

De voorspelling bestaat uit de voorspelling met het CART-model; daarnaast wordt bij de interpolatie rekening gehouden met de ruimtelijke autocorrelatie van de residuen – de afwijking tussen waarneming en CART-voorspelling – op peilbuislocaties. Met behulp van Universal block kriging (Goovaerts, 1997) worden deze residuen t.o.v. het CART-model geïnterpoleerd tot voorspellingen van de gemiddelde GVG binnen 25x25m-cellen. De nauwkeurigheid van het CART-model en de interpolatie samen is uitgedrukt in een RMSE van 20,2 cm, blijkend uit leave-one-out cross-validatie (Goovaerts, 1997). De onzekerheid van de GVG-kaart op basis van de peilbuizen en -schalen over de gemiddelde GVG binnen 25x25m-cellen bedraagt gemiddeld 15,1 cm. Voorspellingen voor cellen meer dan 3 km van een peilbuis hebben een grotere standaarddeviatie van de voorspelfout, tot 15,9 cm. Vlakbij een peilbuis is de standaarddeviatie van de voorspelfout duidelijk geringer, tot 4,0 cm. De grotere RMSE t.o.v. de voorspelfout is het gevolg van voorspellingen van gemiddelde waarden binnen 25x25m-cellen terwijl de RMSE gebaseerd is op verschillen op de waarnemingslocaties zelf. De verwachte onzekerheid van de voorspellingen wordt bepaald door het semivariogram waarmee de onzekerheid afhankelijk van de afstand tot een peilbuis of peilschaal wordt weergegeven (zie Figuur 4). De betrouwbaarheid van de verwachte GVG in natuurterreinen is dus het grootst als er veel peilbuizen zijn en het best zo dicht mogelijk bij een peilbuis. In gebieden waarvoor niet alle hulpinformatie beschikbaar is, zoals bebouwing, landbouwgebied, uiterwaarden en water, kan geen verwachte GVG worden berekend.

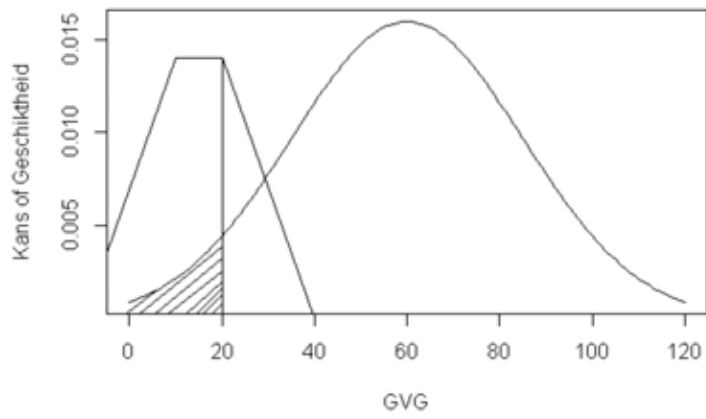
Voor grotere ruimtelijke eenheden, zoals een aaneengesloten habitat- of beheertype, mag een grotere voorspelnauwkeurigheid verwacht worden. Het gewenste traject van de optimale en suboptimale GVG is met Waterlood afgeleid voor habitat- en beheertypen (zie § 2.2). Als deze geschiktheid wordt afgezet tegen de verwachte GVG en de onzekerheid daarover, kan met een kans worden aangeduid of dit een te droge situatie betreft. Schematisch is de verwachte GVG en onzekerheid aangegeven met een normale kansverdeling en de geschiktheid met een trapezium (zie Figuur 6). Als we deze kansen in klassen indelen en op kaart zetten, kan worden aangeduid hoe groot de kans is op een geschikte GVG (gearceerd in Figuur 6) en een te droge GVG. De kans op een te diepe GVG is het oppervlak onder de kansverdeling rechts van de optimale geschiktheid. Door op deze wijze de kans op een diepe GVG aan te duiden, wordt rekening gehouden met onzekerheid van de verwachte GVG. Daarvoor dient een keuze gemaakt te worden of de kans t.o.v. de diepste optimale GVG (20 cm) of juist de diepste, net toereikende, GVG (40 cm) in Figuur 6 wordt berekend. De optimale GVG zou geïnterpreteerd kunnen worden als de voorjaarsgrondwaterstand waarbij een plantengemeenschap zich optimaal kan ontwikkelen, terwijl de minimale GVG de uiterste grens aangeeft tot waar ontwikkeling van de

plantengemeenschap mogelijk is. Deze kans wordt zowel beïnvloed door het optimale en suboptimale GVG-traject als door de onzekerheid over de verwachte GVG. Bij grotere onzekerheid over de verwachte GVG wordt de kans op een GVG dieper dan gewenst kleiner, omdat de breedte van de kansverdeling en daarmee de overlap met het doelbereik groter is.

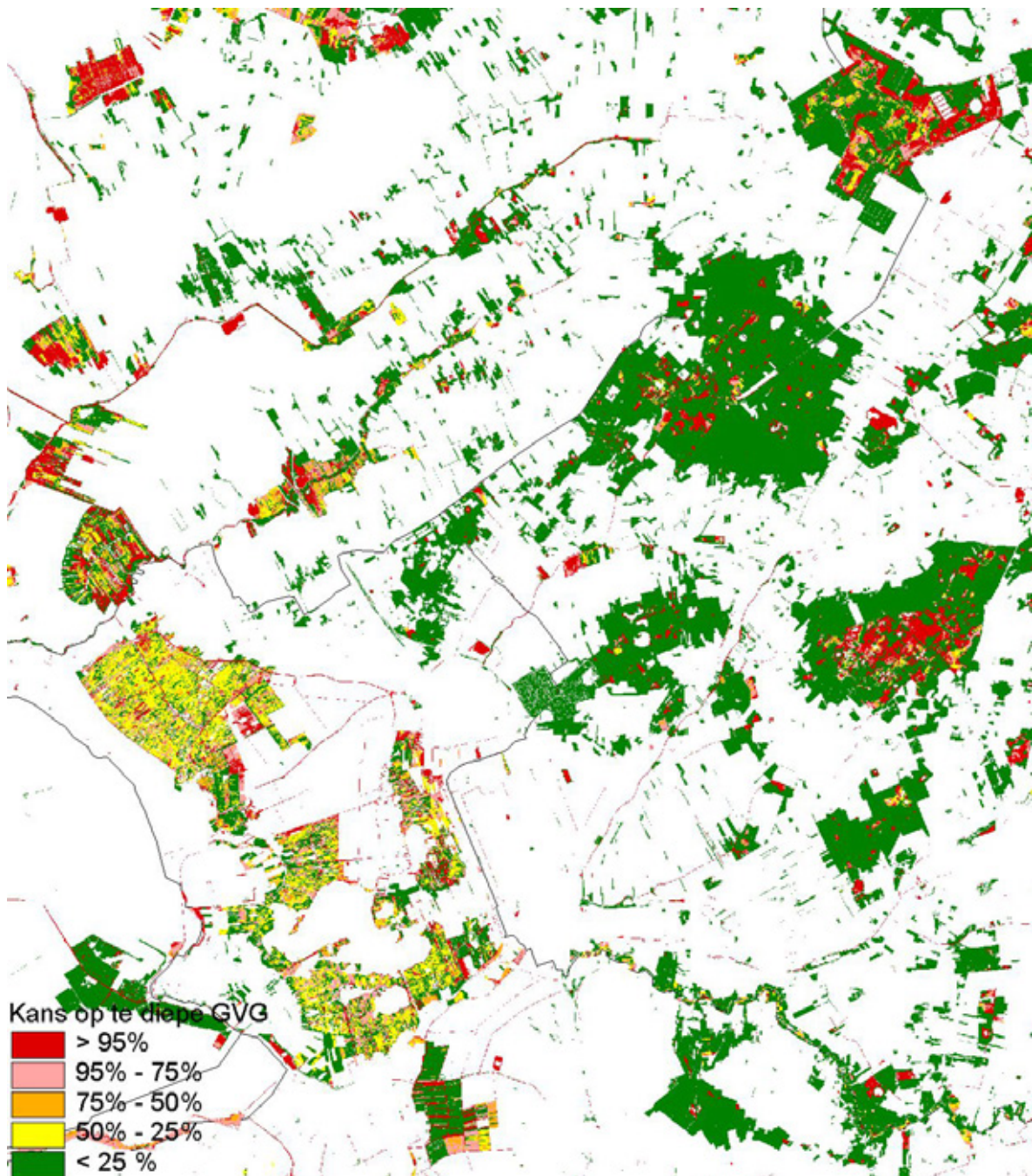
De kans op een te diepe GVG is weergegeven in kaart 3 en Figuur 7.



Figuur 5 De onzekerheid van de verwachte GVG uitgedrukt als de standaarddeviatie van de voorspelfout in cm en ligging van geselecteerde peilbuizen en peilschalen.



Figuur 6 Geschiktheidsbereik van een doelttype en de kansverdeling van de verwachte GVG's waarin de kans op het optimale GVG-bereik is gearceerd.



Figuur 7 De kans dat de verwachte GVG dieper is dan de minimaal vereiste optimale GVG.

4 Verdroging afgeleid uit vegetatieopnamen

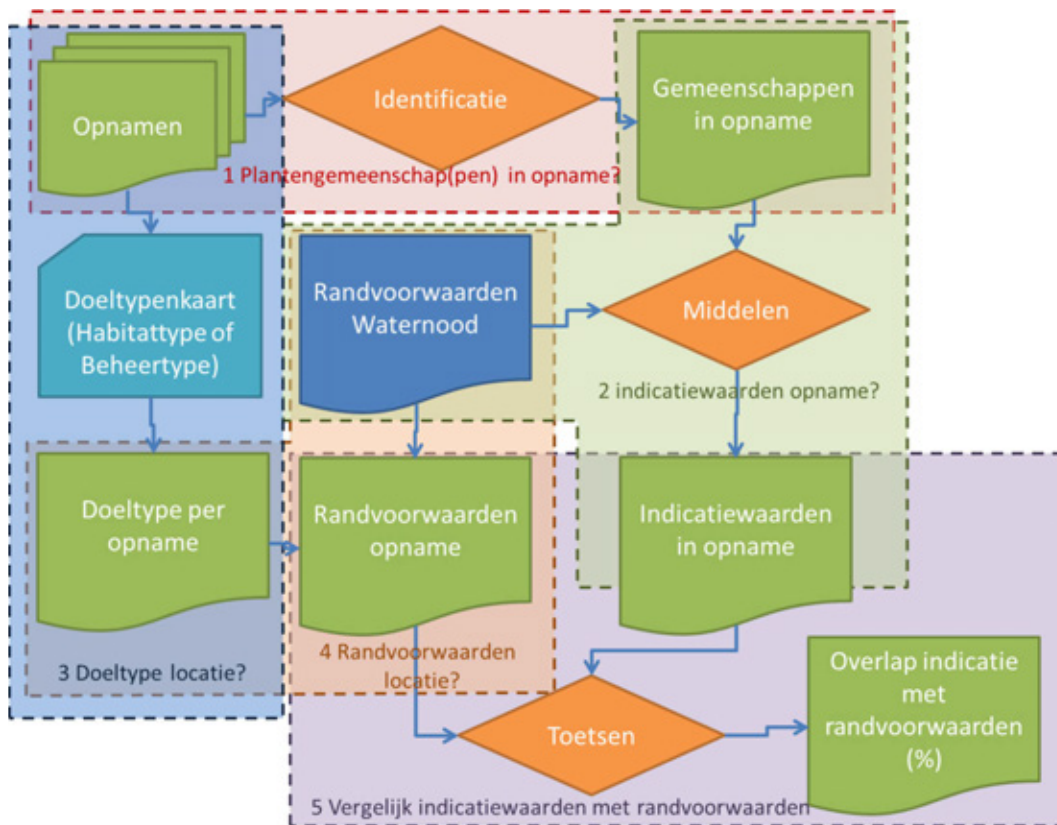
Voor de peilbuizen zijn in hoofdstuk 3 grondwaterkarakteristieken (GXG) van de meetreeksen vergeleken met randvoorwaarden in Waternood. Voor de vegetatieopnamen is een vergelijkbare toetsing uitgevoerd om voor meer locaties een uitspraak te kunnen doen over de mate van verdroging. In Waternood zijn deze randvoorwaarden op het niveau van plantengemeenschappen vastgesteld door het vergelijken van dezelfde grondwaterkarakteristieken in peilbuizen binnen vegetaties die voldoen aan de definitie van die plantengemeenschap (Runhaar & Hennekens, 2014). Voor gemeenschappen waarin voldoende peilbuiswaarnemingen beschikbaar zijn, zijn de karakteristieken in Waternood afgeleid uit duurlijnbundels. In een aantal gevallen is dit aangevuld met expertkennis. Dat betekent dat de grondwaterkarakteristieken in peilbuizen goed te vergelijken zijn met de randvoorwaarden (zie hoofdstuk 3).

Omdat een voorspelling van GVG-waarden uit de vegetatieopnamen niet goed mogelijk blijkt te zijn (zie Bijlage 1), is een meer directe methode gebruikt om de vegetatieopnamen te beoordelen. Daarbij zijn de abiotische randvoorwaarden die horen bij de plantengemeenschappen waartoe een opname gerekend kan worden, vergeleken met de randvoorwaarden van het doeltype (Habitatype of Beheertype/Ambitietype) op de locatie van de opname. Dit zijn niet de indicatiewaarden (Ellenberg of anderszins) van de voorkomende soorten, maar een bereik van de randvoorwaarden voor de opname. Door deze te vergelijken met de abiotische randvoorwaarden van het doeltype, worden zo veel mogelijk vergelijkbare parameters vergeleken, onafhankelijk van verschillende grootheden en definities. Hiervoor is de mate van overlap van deze 'indicatiewaarden' met de randvoorwaarden van het doeltype beoordeeld.

Door te kijken in hoeverre de randvoorwaarden die horen bij de vegetatietypen waartoe een vegetatieopname behoort ('indicatiewaarden') voldoen aan de randvoorwaarden van het doeltype, kan inzicht worden gekregen in de mate van verdroging of vernatting. Dit is een andere benadering dan via de voorspelling van een GXG uit indicatiewaarden van de plantensoorten, zoals in de vegetatiemodellen gebeurt.

Voor de vegetatieopnamen hebben we de relaties voor GVG, GLG, Droogtestress en pH onderzocht. Voor GLG en droogtestress moet het effect van de bodem beschouwd worden. De rol van GLG en droogtestress verschilt tussen plantengemeenschappen en droogtestress is afhankelijk van een combinatie van GLG en bodemtype, waardoor deze variabelen interactie vertonen. Daarom geeft Waternood geen randvoorwaarde voor droogtestress bij gemeenschappen waar ook al een randvoorwaarde voor GLG is opgegeven en vice versa. Dat maakt dat in een deel van de doeltypen alleen GLG als randvoorwaarde gegeven is en in een ander deel alleen droogtestress. Een uitzondering geldt voor gemeenschappen waarbij minimumeisen worden gesteld aan de GLG (de standplaats moet in de zomer droogvallen) in combinatie met maximumeisen aan droogtestress (deze mag niet te groot zijn) (Runhaar & Hennekens, 2014). In deze gevallen worden dus wel randvoorwaarden voor beide aangegeven.

4.1 Werkwijze

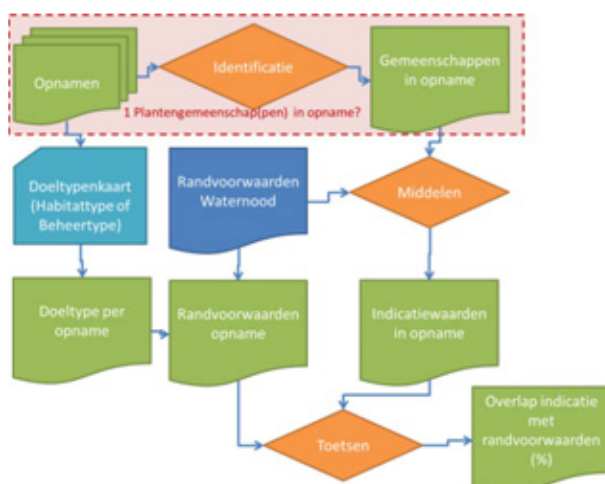


Figuur 8 Schematische weergave van de werkwijze om per vegetatieopname de mate van verdroging af te leiden. (NB Voor de duidelijkheid zijn in de onderstaande tekst delen uit deze figuur geplaatst, zonder figuurnummer.)

De werkwijze is in Figuur 8 schematisch weergegeven. Hieronder worden de stappen toegelicht.

1. Met welke plantengemeenschappen vertoont de opname overeenkomsten?
2. Wat betekent dit voor de indicatiewaarden van de opname?
3. Welk doeltype is vastgesteld voor de locatie van de opname?
4. Wat zijn de randvoorwaarden voor dat type?
5. In hoeverre komen de indicatiewaarden van de opname overeen met de randvoorwaarden voor het doeltype?

Ad 1) Met welke plantengemeenschappen vertoont de opname overeenkomsten?



De gehanteerde werkwijze gaat ervan uit dat de soortensamenstelling van een opname (soorten en relatieve bedekking) aansluit bij een of meer plantengemeenschappen zoals beschreven in *De Vegetatie van Nederland* (Schaminée et al. 1995-1999). Een vegetatieopname komt niet altijd 100 procent overeen met de typische soortensamenstelling van één enkele plantengemeenschap. Voor opnamen die gemaakt zijn om een gemeenschap te karakteriseren is dat wel te verwachten, maar opnamen die bijvoorbeeld voor monitoringsdoeleinden gemaakt zijn, zullen ook vaak overgangen (in ruimte of tijd) tussen gemeenschappen of romp- of derivaatgemeenschappen beschrijven. In Turboveg bestaat de mogelijkheid de verwantschap te berekenen met meerdere gemeenschappen (Hennekens & Schaminée, 2001). Dit levert een of meer best gelijkende vegetatietypen, met enkele statistische maten voor de verwantschap per gemeenschap. Hiermee kan een selectie gemaakt worden van de gemeenschappen die overeenkomsten vertonen met de opname. Met behulp van deze uitvoer kan voor individuele opnamen via een aantal beslisregels een keuze gemaakt worden voor de identificatie van een gemeenschap met de grootste overeenkomst. Voor deze beslisregels verwijzen wij naar de handleiding van Turboveg. Vanwege het grote aantal opnamen dat geautomatiseerd beoordeeld moet worden, is ervoor gekozen om op basis van een enkele index (Incompleteness) een of meer gemeenschappen te selecteren die voldoende overeenkomst vertonen met de opname. Dit heeft ook tot gevolg dat wanneer er overeenkomsten zijn met meerdere gemeenschappen, dit ook leidt tot ruimer begrensde indicatiewaarden, horend bij een vegetatie in een overgangssituatie (zie Figuur 9).

Eerst is in Turboveg een selectie gemaakt van voldoende recente vegetatieopnamen binnen de begrenzing van NNN. Als voldoende recent kiezen we >2004 (maximaal 10 jaar oud, vergelijkbaar met dataset peilbuizen). Dit is de dataset 'Opnamen' in Figuur 8.

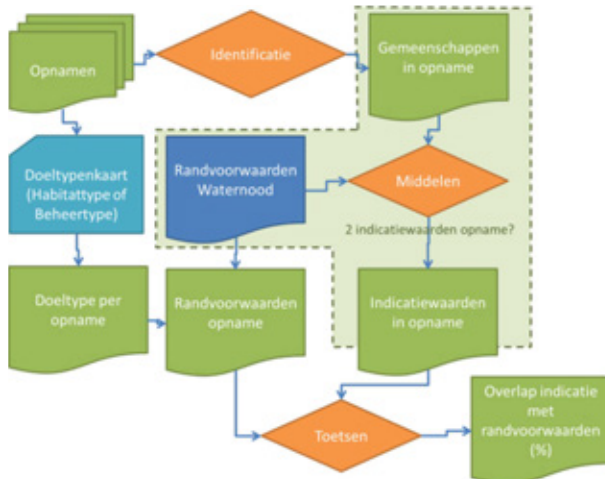
Tabel 1 Voorbeeld van uitvoer van *Associa* voor een willekeurige vegetatieopname waarbij vijf gemeenschappen zijn opgenomen in volgorde van oplopende index (Combined index) met genormaliseerde waarden voor $-2\ln(\text{likelihood})$ (norm.lh), Incompleteness (Inc) en Weirdness (Weird). Voor uitleg wordt verwezen naar de helpfile van Turboveg.

Code	Gemeenschap	Combined index	norm.lh	Inc.	Weird
20AA01B	Ass. van Struikhei en Stekelbrem; typische subass.	11.3	0.0	0.1	0.0
20AA01D	Ass. van Struikhei en Stekelbrem; subass. met Tandjesgras	11.8	-0.2	0.3	-0.5
11RG02	Rompgemeenschap van Pijpestrootje	13.5	0.4	0.0	0.5
20AA01A	Ass. van Struikhei en Stekelbrem; subass. met korstmossen	13.9	0.3	0.6	0.2
11AA02C	Ass. van Gewone dophei; typische subass.	13.9	0.3	0.2	0.3

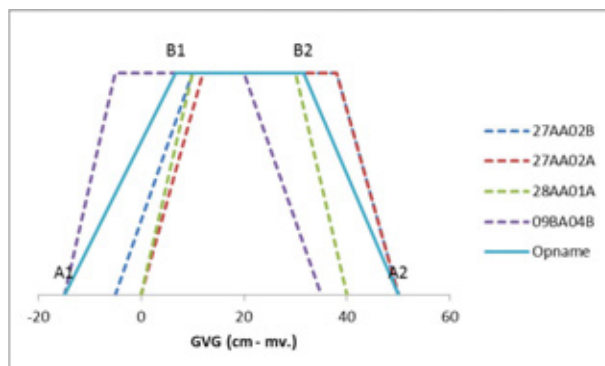
Met de module 'Identification with Associa' wordt de verwantschap met plantengemeenschappen berekend en wordt een aantal statistische kengetallen gegeven om die verwantschap te kwantificeren ('Identificatie' in Figuur 8). Een voorbeeld is opgenomen in Tabel 1. Hiermee worden de plantengemeenschappen geselecteerd die het best passen ('Gemeenschappen in opname'). De procedure die hiervoor wordt voorgesteld in de helpfile van Turboveg gaat uit van de beoordeling van meerdere kengetallen in samenhang om zo tot een eenduidige identificatie bij een enkele gemeenschap te komen. Daarbij hoort ook een aantal keuzes die door de onderzoeker gemaakt moeten worden en die niet goed te automatiseren zijn. Ook ontbreken duidelijke criteria voor een deel van de kengetallen. In de uitvoer van het programma is een aantal (standaard 5) plantengemeenschappen geselecteerd waarop de opname het sterkst lijkt. Hiervoor wordt een 'gecombineerde index' als eerste criterium gebruikt (hoe lager hoe beter), waarbij vervolgens op basis van 'Incompleteness' (Inc = afwezigheid van karakteristieke soorten) en 'Weirdness' (het voorkomen van soorten die niet in de gemeenschap thuishoren) bepaald kan worden welke keuze het waarschijnlijkst is. Voor het voorbeeld in Tabel 1 geldt dat 20AA01B de waarschijnlijkste kandidaat is wanneer één gemeenschap gekozen moet worden: De 'Combined index' is het laagst, 'Incompleteness' is weinig hoger dan 0 en 'Weirdness' is gelijk aan 0. Maar kennelijk komen er ook elementen van 11RG02 in voor. Voor die tweede gemeenschap is de 'Combined index' weinig hoger en 'Incompleteness' is 0, maar er komen wel afwijkende soorten in voor ('Weirdness' = 0,5). Voor het bereik van de indicatiewaarden willen we dan uitgaan van de combinatie van 20AA01B en 11RG20. 20AA01D heeft weliswaar een lagere index, maar 'Incompleteness' is aan de

hoge kant. Omdat wij ervan uitgaan dat, althans een deel van, de opnamen niet altijd eenduidig tot één gemeenschap te rekenen is, kiezen wij ervoor het kengetal 'Incompleteness' te hanteren voor de selectie. Deze maat geeft een waarde voor de soorten die wel tot de plantengemeenschap gerekend worden en niet voorkomen in de opname. Een negatieve waarde betekent dat een opname beter lijkt op de gemeenschap dan de gemiddelde opname daarvan, een positieve waarde dat een opname slechter lijkt op de gemeenschap dan de gemiddelde opname. Wij hanteren hierbij als criterium $Inc \leq 0,1$. Voor gemeenschappen die daaraan voldoen, geldt dat de 'Combined index' niet veel hoger zal zijn dan het minimum.

Ad 2) Wat betekent dit voor de indicatiewaarden van de opname?



Als bekend is welke plantengemeenschappen passen bij de opname kunnen we uit de dataset van Waterlood het bereik voor de randvoorwaarden voor deze gemeenschappen halen en gemiddelden bepalen voor deze gemeenschappen. Hiervoor gebruiken we dezelfde beslisregels als voor de geaggregeerde randvoorwaarden per doeltype in Waterlood (zie handleiding Waterlood, Hennekens & Runhaar, 2014). Omdat de kengetallen uit Associa geen duidelijke basis bieden om gewichten toe te kennen voor verschillende gemeenschappen, gaan we uit van een gelijk gewicht, dus een niet gewogen gemiddelde. Dit levert een bereik op voor de indicatiewaarden in de opname dat op dezelfde manier is gedefinieerd als randvoorwaarden in Waterlood (A1, B1, B2, B2, zie ook § 2.2). Een voorbeeld wordt gegeven in Figuur 9. Voor het optimale bereik van de opname (B1 tot B2) zijn de gemiddelde waarden genomen van B1 en B2 in de vier gemeenschappen waarmee de opname verwantschap vertoont; voor de buitengrenzen van de suboptimale bereiken links (nat) en rechts (droog) zijn respectievelijk de minimale en maximale waarden van de gemeenschappen genomen.

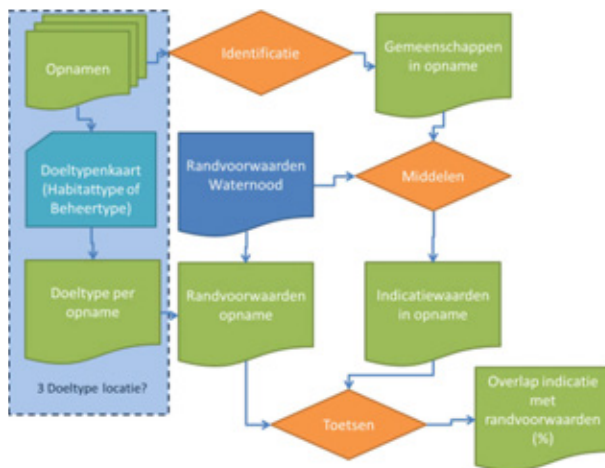


Figuur 9 Middeling van de abiotische randvoorwaarden voor GVG in een opname die verwantschap vertoont met 4 verschillende plantengemeenschappen.

De term 'randvoorwaarden' voor een actuele vegetatieopname is in dit verband niet juist. Wat we vergelijken, zijn de randvoorwaarden van de plantengemeenschappen waartoe een opname gerekend kan worden. Omdat we deze waarden gebruiken om een inschatting te maken van het bereik waarbinnen de werkelijke GVG op de opnamelocatie zich bevindt, hanteren wij de term 'indicatiewaarden'.

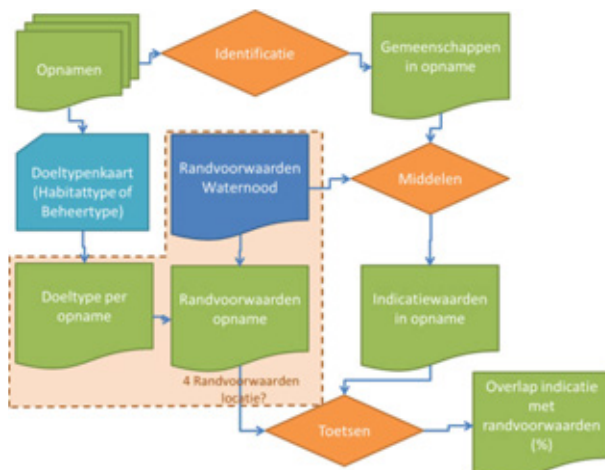
Soms worden bij de identificatie subassociaties geselecteerd die een natter of droger deel binnen een associatie vertegenwoordigen. In Waterlood zijn niet altijd randvoorwaarden geformuleerd op subassociatieniveau. In deze analyse gebruiken we dan de randvoorwaarden op associatieniveau. We registreren wel om welke subassociaties het gaat. Behalve voor subassociaties ontbreekt ook bij een aantal romp- en derivaatgemeenschappen en aquatische gemeenschappen de randvoorwaarden, omdat Waterlood bedoeld is voor terrestrische systemen. Voor de langere termijn wordt aanbevolen dit voor de (semi)terrestrische gemeenschappen waar mogelijk aan te vullen. Voorgesteld wordt om binnen SynBioSys de relatieve positie van de subassociatie binnen de associatie op te zoeken aan de hand van de vochtindicatie en op basis daarvan de grenzen voor de randvoorwaarden nader te definiëren. Als de subassociatie niet differentieert voor vocht worden de grenzen van de associatie gehanteerd.

Ad 3) Welk doeltype is vastgesteld voor de locatie van de opname?



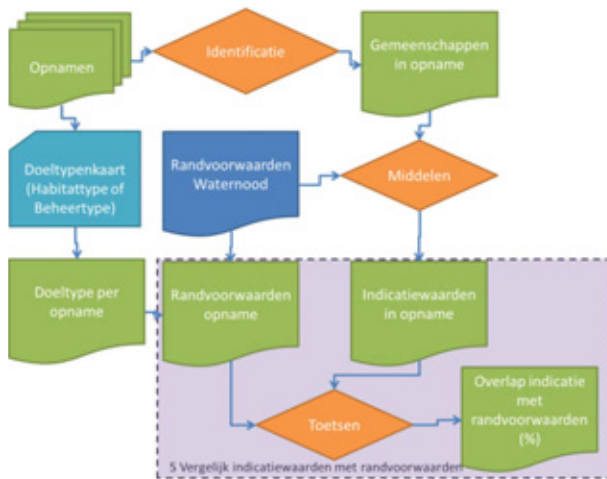
Met een overlay in ArcGIS zijn voor de locaties van de vegetatieopnamen de habitattypen of beheertypen/ambitietypen (= doeltypen) afgeleid van de basiskaart (combinatie habitattypenkaart en neergeschaalde beheertypenkaart, zie § 2.2).

Ad 4) Wat zijn de randvoorwaarden voor dat type?



De randvoorwaarden voor de doeltypen zijn vastgesteld in Waterlood en kunnen voor de habitattypen geëxporteerd worden. Waterlood biedt geen exportfunctie voor de beheertypen, omdat deze in een aantal gevallen te breed begrensd zijn. Om toch een uitspraak te kunnen doen, hebben wij deze alsnog berekend volgens de procedure zoals deze in de handleiding van Waterlood is beschreven voor het aggregeren van plantengemeenschappen. Voor de in het WOT-project neergeschaalde beheertypen zijn de samenstellende plantengemeenschappen aangegeven en zijn op dezelfde manier de randvoorwaarden berekend.

Ad 5) In hoeverre komen de indicatiewaarden van de opname overeen met de randvoorwaarden voor het doeltype?



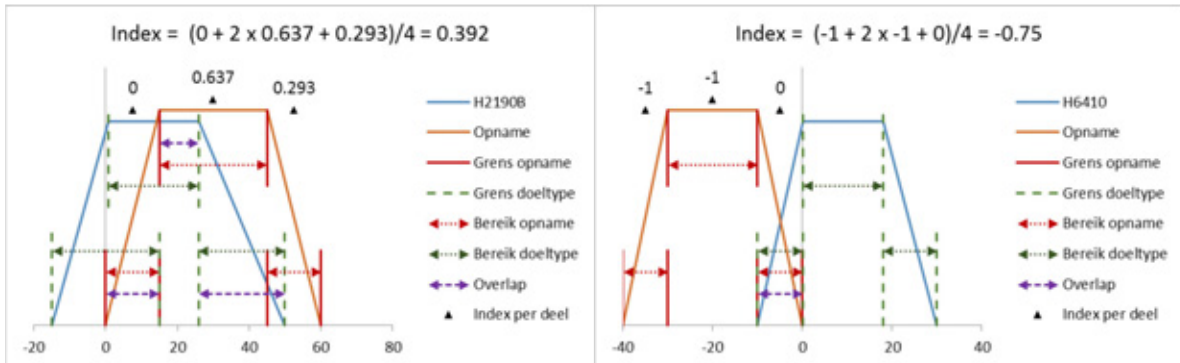
Door de mate van overlap te bepalen van de indicatiewaarden passend bij de opname met de randvoorwaarden van het doeltype, is een index bepaald voor de mate van verdroging op basis van de vegetatieopname. Deze noemen wij de 'Verdrogingsindex'. Omdat sommige beheertypen breed begrensd zijn, is het goed ook te kijken naar het deel van het bereik waarbinnen de overlap plaatsvindt. Daarvoor is zowel voor het optimaal bereik als voor het suboptimaal bereik voor de indicatiewaarden van de opname bepaald welk deel overlapt met het bereik van de plantengemeenschap. Per deelbereik (optimaal, suboptimaal links en idem rechts) van de opname is de overlap bepaald als fractie (0-1) van dit deelbereik dat samenvalt met de randvoorwaarden van het doeltype. De verdrogingsindex voor dat deel van het bereik is dan $1 - \text{die fractie}$. De procedure wordt uitgelegd aan de hand van twee voorbeelden in Figuur 10: links een matig verdroogde situatie en rechts een situatie waarbij de opname een veel nattere situatie indiceert dan de randvoorwaarden voor het doeltype aangeven. Wat met de termen 'verdroogd' of 'vernat' uitgedrukt wordt, is dat de actuele vegetatie een drogere of nattere situatie indiceert dan volgens de randvoorwaarden van het doeltype gewenst zou zijn. Dit hoeft dus niet per se te duiden op een proces als gevolg van ontwatering of vernatting als gevolg van een herstelmaatregel. Het kan ook zijn dat het gekozen doeltype niet past bij de actuele GVG (die door de actuele vegetatie geïndiceerd wordt).

Voorbeeld links:

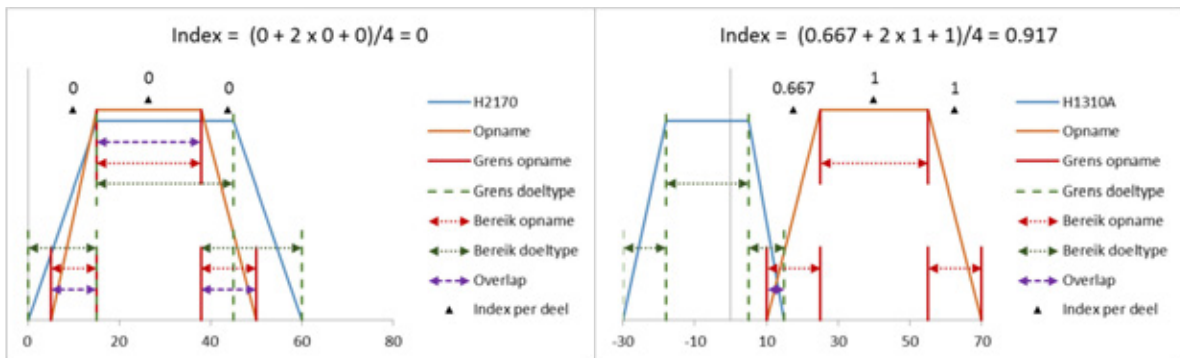
- Het suboptimale bereik van de opname aan de natte kant (links) valt geheel binnen de randvoorwaarden. De overlap is 1 en de verdrogingsindex $1 - 1 = 0$.
- Het optimale bereik van de opname valt voor een klein deel (0,363) samen met het optimaal bereik van de randvoorwaarden. De verdrogingsindex voor dit deel is $1 - 0,363 = 0,637$
- Aan de droge kant wordt de overlap bepaald voor het suboptimale bereik van de opname (B2 - A2) plus het deel van het optimale bereik van de opname dat niet samenvalt met het optimale bereik van het doeltype (B2_doeltype - B2_opname). Hiermee is de overlap vrij groot (0.707) en de verdrogingsindex $1 - 0,707 = 0,293$.
- Om de verdrogingsindex van de opname te bepalen, wordt het gewogen gemiddelde bepaald van de drie deelbereiken, waarbij het optimale bereik een gewicht 2 krijgt en de suboptimale bereiken gewicht 1: $\text{Verdrogingsindex} = (0 + 2 \times 0,637 + 0,293)/4 = 0,392$.

Voorbeeld rechts:

- De bepaling per deelbereik gaat hetzelfde als in de verdroogde situatie, maar per deelbereik wordt het zwaartepunt voor de opname vergeleken met het overeenkomstige zwaartepunt voor het doeltype. Als dat voor de opname ondieper is dan voor het doeltype, is sprake van een nattere indicatie dan de randvoorwaarde en spreken we van een vernatte situatie. De berekende index wordt dan vermenigvuldigd met -1.
- Zowel het suboptimale bereik links als het optimale bereik van de opname overlapt niet met de randvoorwaarden (fractie = 0). De verdrogingsindex is dan $(1 - 0) \times -1 = -1$.
- Aan de droge kant van opname valt het suboptimale bereik rechts volledig binnen het bereik van het doeltype (overlap 1). De verdrogingsindex is dan $(1 - 1) \times -1 = 0$.
- Bij gewogen middeling van de bereiken is de verdrogingsindex voor de opname: $\text{Verdrogingsindex} = (-1 + 2 \times -1 + 0)/4 = -0,75$.



Figuur 10 Voorbeeld van de vergelijking van de indicatiewaarden voor twee opnamen met de randvoorwaarden voor een doeltype (H6410), links voor een matig verdroogde situatie en rechts voor een vrij sterk vernatte situatie.

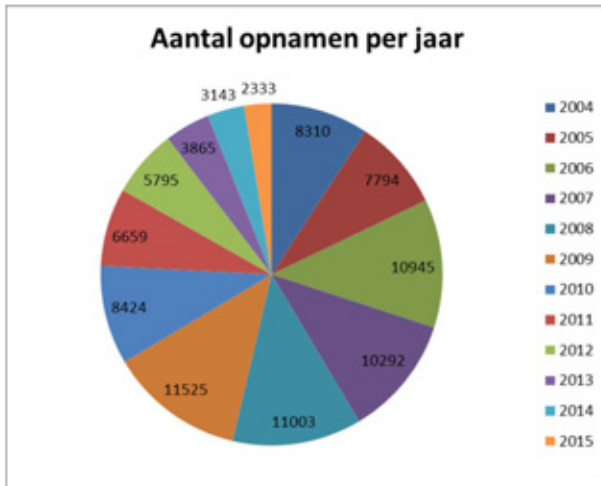


Figuur 11 Voorbeeld van een niet verdroogde of vernatte situatie links en een sterk verdroogde situatie rechts. De blauwe grafiek is de doelrealisatiefunctie van het doeltype; de oranje grafiek geeft de doelrealisatiefunctie weer van het vegetatietype waartoe de vegetatieopname is geclassificeerd. De verdrogingsindex is de fractie waarmee de laatste functie overlapt met de eerste; negatieve waarden duiden op een te droge situatie van de opname, positieve op een te natte.

Analoog aan de voorbeelden is Figuur 10 is in Figuur 11 links een situatie weergegeven waarbij alle deelbereiken van de opname binnen het bereik van het doeltype vallen. Rechts is een zeer sterk verdroogde situatie aangegeven, waarbij alleen een klein deel van het droge bereik (suboptimaal links) van de opname overlapt met de randvoorwaarden van het doeltype. Op deze manier is voor alle opnamen getracht een verdrogingsindex te berekenen. In de volgende paragrafen worden de resultaten hiervan besproken.

4.2 Bepaling verdrogingsindex op basis van vegetatieopnamen Landelijke Vegetatie Databank

In de Landelijke Vegetatie Databank (in beheer bij Alterra) is een selectie gemaakt van alle vegetatieopnamen vanaf 2004 (N = 90.087). Dit betreft alle opnamen in die periode, ook buiten het studiegebied, en opnamen die niet aan een of meer plantengemeenschappen gekoppeld kunnen worden of om andere redenen niet gebruikt kunnen worden voor de analyse. De meeste opnamen komen uit de periode 2004-2010 (gemiddeld 9.756 per jaar, zie Figuur 12). In de jaren daarna neemt dit aantal af van 6.659 in 2011 tot 2.333 in 2015. Voor al deze opnamen is met de module 'Identification with Associa' de verwantschap met maximaal 5 plantengemeenschappen bepaald en de 'Incompleteness' berekend.



Figuur 12 Verdeling van het aantal opnamen per jaar in de selectie opnamen vanaf 2004 uit de Landelijke Vegetatie Databank (in beheer bij Wageningen Environmental Research).

Selectie bruikbare opnamen binnen het studiegebied

Binnen de beschikbare set vegetatieopnamen is eerst beoordeeld welke opnamen aan een of meer plantengemeenschappen gekoppeld kunnen worden, wat nodig is voor de verdere verwerking. Hiervoor is aangehouden dat minimaal één verwante plantengemeenschap een index ≤ 0.1 heeft. Dat geldt voor 64.703 opnamen. De geselecteerde opnamen zijn geïmporteerd in ArcGIS waar een overlay gemaakt is met de begrenzing van het studiegebied, de doeltypenkaart en een kaart van de oppervlaktewaterdynamiek. De tabel is verder bewerkt in Excel om te toetsen welke opnamen voor beoordeling in aanmerking komen en om de verdrogingsindex te kunnen bepalen. Hiervoor is met VBA (Visual Basic for Applications) een aantal macro's geschreven. In Tabel 2 wordt een overzicht gegeven van het aantal beschikbare opnamen en de selectie voor de uiteindelijke beoordeling. De locatie van de geselecteerde vegetatieopnamen is weergegeven in kaart 13.

Tabel 2 *Overzicht van de beschikbare vegetatieopnamen in de Landelijke Vegetatie Databank waarbij de opname tot een plantengemeenschap herleid kon worden en de bruikbaarheid voor de analyse. Met een oranje achtergrond zijn de aantallen opnamen weergegeven die buiten de analyse gelaten zijn, met een groene achtergrond de overgebleven aantallen. Voor een opname kunnen meerdere redenen gelden waarom deze buiten de analyse gelaten is en voor de overgebleven opnamen konden niet alle indicatiewaarden bepaald worden. De aantallen overlappen daarom.*

Omschrijving	Aantal opnamen
Totaal	64704
Buiten NNN	20894
Oppervlaktewater dynamiek	11475
Oudere opname in PQ	16312
Geen indicatie GVG	8183
Beoordeelde opnamen GVG	23775
Geen indicatie GLG	23493
Beoordeelde opnamen GLG	7554
Geen indicatie Droogtestress	11946
Beoordeelde opnamen Droogtestress	19098
Geen indicatie PH	8863
Beoordeelde opnamen PH	22181
Totaal beoordeeld	25091

Er zijn uiteenlopende redenen waarom opnamen niet geschikt zijn voor het bepalen van een verdrogingsindex.

Buiten NNN

Opnamen die buiten het Natuur Netwerk Nederland (NNN) gemaakt zijn (N= 20.894) hebben wij niet beoordeeld, omdat deze studie gericht is op verdroging binnen NNN.

Oppervlaktewaterdynamiek

In buitendijkse gebieden langs grote de rivieren en aan de kust speelt oppervlaktewaterdynamiek een dominante rol boven grondwaterstanden. Om die reden wordt in deze gebieden vaak ook geen grondwaterdynamiek gekarteerd. Daarom zijn de opnamen in deze gebieden niet beoordeeld. Om deze selectie uit te kunnen voeren, is gebruikgemaakt van de Landschappelijke Bodemkaart Nederland (Maas et al. in voorbereiding; Kemmers et al. 2011; Van Delft et al. 2015) waarbij door combinatie van geomorfologische kaart, bodemkaart en de fysiotopenkaart van de grote rivieren is bepaald waar oppervlaktewaterdynamiek dominant zal zijn. Hierdoor zijn 11.475 opnamen afgevalen, vooral in kwelders.

Oudere opname in PQ

In de database zitten veel opnamen die behoren bij een permanent kwadraat (PQ) waar gedurende een aantal jaren vegetatieopnamen herhaald worden om veranderingen als gevolg van beheer en milieu-invloeden (bijvoorbeeld verdroging) te monitoren. Op de schaal van het terrein waarin zo'n PQ ligt, kan zo'n reeks mooi inzicht geven in veranderingen. Dergelijke reeksen hebben we herkend aan het feit dat de coördinaten (vrijwel) gelijk zijn. Voor de landelijke kaart die in dit project gemaakt wordt, is ervoor gekozen om in een dergelijke situatie steeds alleen de jongste opname te beoordelen. 16.312 opnamen zijn als oudere opname in een PQ geïdentificeerd en buiten deze analyse gelaten. In § 6.2 zijn deze opnamen gebruikt om na te gaan of de indicatiewaarden veranderd zijn in de tijd.

Geen indicatie

Bij een aantal kon geen indicatie voor een of meer van de randvoorwaarden afgeleid worden. Meestal omdat er geen overeenkomst met minstens één plantengemeenschap gevonden werd of omdat voor de gevonden gemeenschap geen randvoorwaarden beschikbaar waren.

Verdrogingsindex vegetatieopnamen

Voor de overgebleven vegetatieopnamen zijn de indicatiewaarden beoordeeld en vergeleken met de randvoorwaarden voor de doeltypen. Hieruit is de verdrogingsindex bepaald voor GVG, GLG,

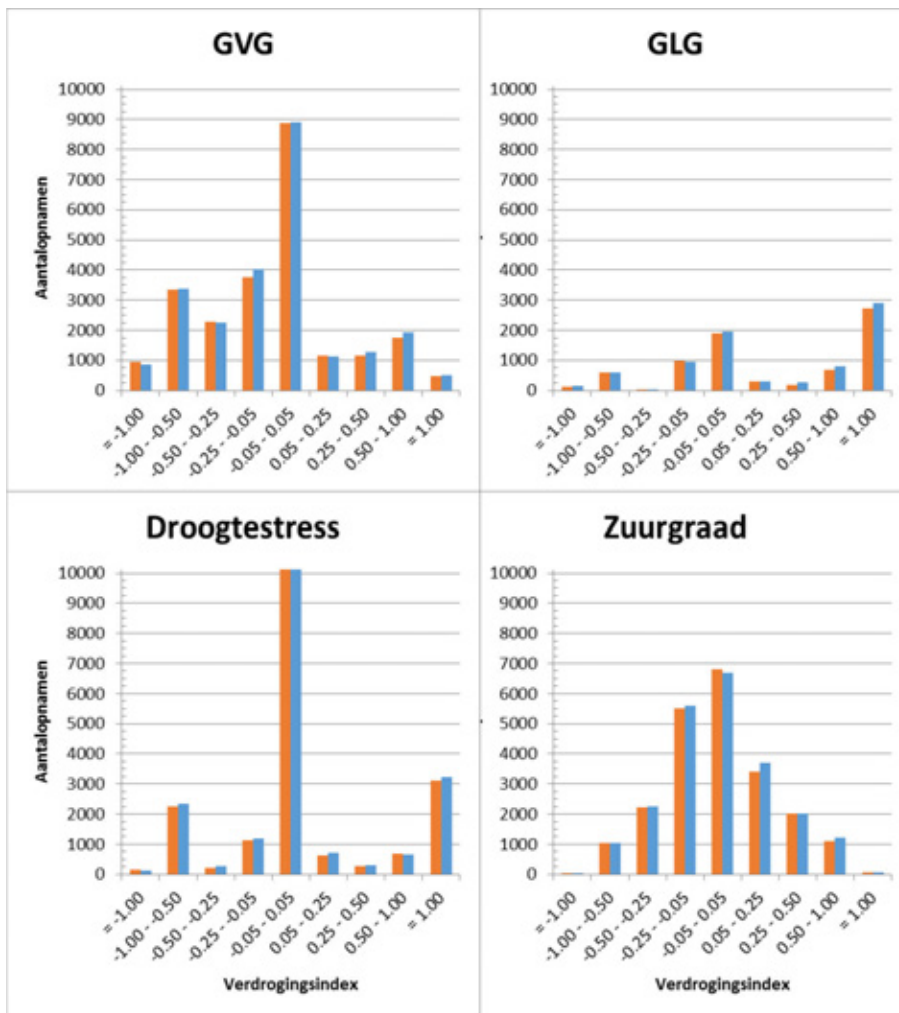
Droogtestress en Zuurgraad. Steeds is de index bepaald door vergelijking van de indicatiewaarde van de opname met de randvoorwaarde voor het doeltype. Voor het doeltype zijn twee kaarten gebruikt, één op basis van een combinatie van Habitatype en Beheertype en één op basis van de combinatie van Habitatype Ambitietype. In Tabel 3 en Figuur 13 is het aantal opnamen per klasse van de verdrogingsindex samengevat bij vergelijking met de randvoorwaarden op basis van habitatypen en beheertypen, in Tabel 4 op basis van habitatypen en ambitietypen.

Tabel 3 Verdeling van het aantal opnamen over klassen van de verdrogingsindexen, bij vergelijking met de randvoorwaarden op basis van habitatypen en beheertypen.

Verdrogingsklasse	GVG	GLG	Droogtestress	Zuurgraad
= -1.00	947	130	163	16
-1.00 - -0.50	3358	602	2247	1038
-0.50 - -0.25	2274	36	227	2226
-0.25 - -0.05	3759	982	1122	5507
-0.05 - 0.05	8879	1907	10628	6802
0.05 - 0.25	1158	305	632	3409
0.25 - 0.50	1169	197	277	2012
0.50 - 1.00	1754	680	681	1104
= 1.00	477	2715	3121	67
Totaal	23775	7554	19098	22181

Tabel 4 Verdeling van het aantal opnamen over klassen van de verdrogingsindexen, bij vergelijking met de randvoorwaarden op basis van habitatypen en ambitietypen.

Verdrogingsklasse	GVG	GLG	Droogtestress	Zuurgraad
= -1.00	877	150	136	21
-1.00 - -0.50	3389	595	2329	1028
-0.50 - -0.25	2243	41	265	2244
-0.25 - -0.05	4024	951	1191	5593
-0.05 - 0.05	8904	1950	10791	6694
0.05 - 0.25	1131	288	701	3702
0.25 - 0.50	1289	269	292	2010
0.50 - 1.00	1916	793	656	1214
= 1.00	500	2905	3231	63
Totaal	24273	7942	19592	22569



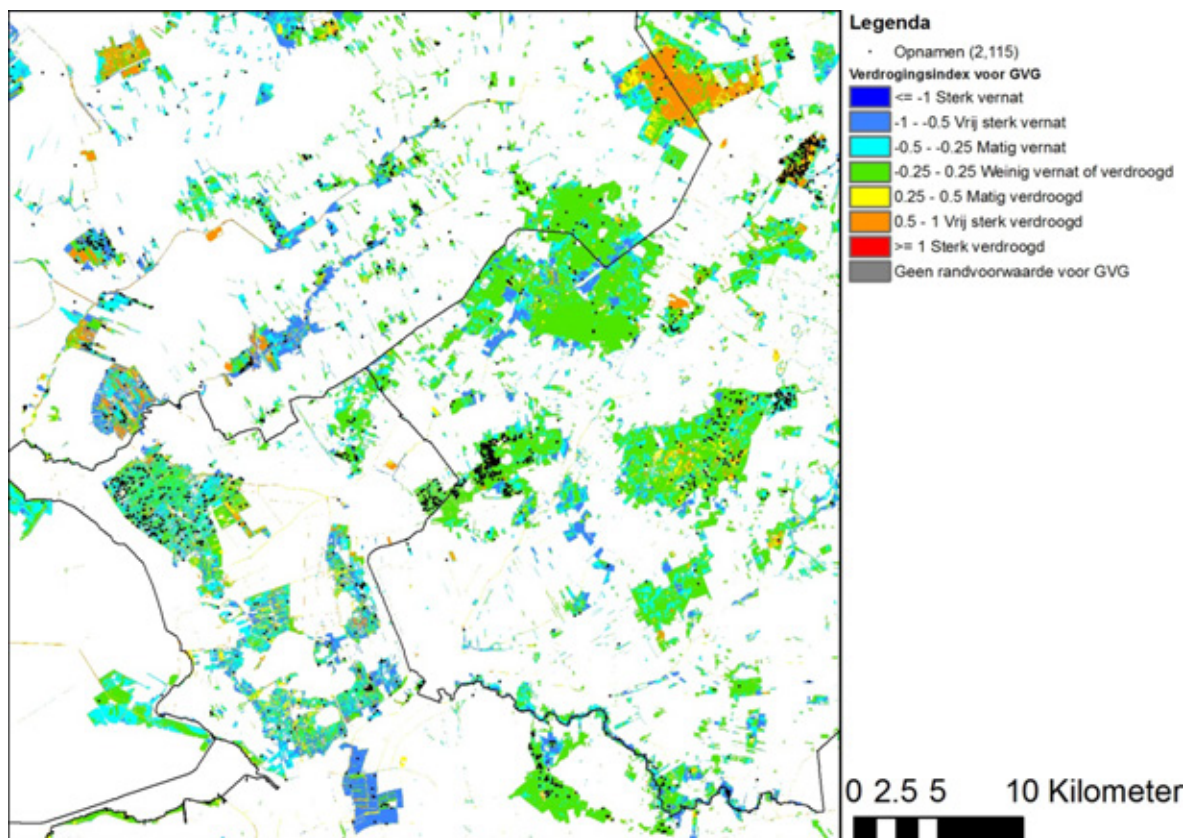
Figuur 13 Frequentieverdeling van het aantal opnamen per verdrogingsklasse voor GVG, GLG, droogtestress en zuurgraad. De oranje balken zijn gebaseerd op vergelijking met habitatypen en beheertypen, de blauwe balken op vergelijking met habitatypen en ambitietypen.

4.3 Gebiedsdekkende interpolatie van de Verdrogingsindex

Voor de vegetatieopnamen die aan de eerdergenoemde criteria voldoen, is de verdrogingsindex bepaald voor GVG, GLG, Drogtestress en zuurgraad. Met behulp van hulpvariabelen is hier een gebiedsdekkende interpolatie voor uitgevoerd. De methode is vergelijkbaar met die voor de interpolatie van peilbuisgegevens (§ 3.2) en wordt hier besproken voor GVG, maar is vergelijkbaar voor de andere variabelen.

Voor de vegetatieopnamen die aan de eerder genoemde criteria voldoen, is de verdrogingsindex bepaald. Op de locaties van vegetatieopnamen geeft de verdrogingsindex aan in hoeverre het door de vegetatie geïndiceerde grondwaterniveau (GVG) overeenkomt met het gewenste grondwaterniveau voor het gekozen doeltypet ter plaatse. Om tot een gebiedsdekkende kaart van de verdrogingsindex te komen, wordt geanalyseerd in hoeverre de ruimtelijke patronen in de verdrogingsindex op de opnamelocaties overeenkomen met verschillende gebiedsdekkende kaarten voor hulpinformatie. Voor het maken van een ruimtelijke voorspellingen van de verwachte VerdrogingsIndex (VI) voor GVG worden naast kwantitatieve variabelen ook kwalitatieve predictoren (LGN7, GT-klasse en Pawneenheid) gebruikt. Voor het maken van ruimtelijke voorspellingen van de VerdrogingsIndex (VI) worden naast kwantitatieve variabelen ook kwalitatieve predictoren (LGN7, Gt-klasse en PAWN-eenheid) gebruikt en wordt Bootstrapaggregatie (of 'bagging'), dat het principe van 'ensemble

learning' volgt, toegepast. In plaats van een enkel model wordt een groot aantal modellen simultaan ingezet voor het verkrijgen van predicties. Breiman (2001) gebruikt hiervoor 'classification en regression trees' (CART). Een CART-model is een beslisboom die op basis van een stelsel beslisregels voorspellingen kan doen. CART's zijn modellen die niet-lineaire structuren in de data kunnen beschrijven. Bij bagging wordt niet één, maar een heel ensemble (groep) van CART-modellen ingezet. Bagging levert over het algemeen goede voorspellingen, is relatief robuust voor extreme waarden, ruis en over-parametrisatie (Breiman, 2001). De relatie tussen gemeten GVG en bronnen van hulpinformatie is met behulp van de R-package 'RandomForest' afgeleid met behulp van regressie- en beslisbomen. De relatie tussen gemeten GVG en bronnen van hulpinformatie is met behulp van de R-package 'randomForest' afgeleid met behulp van regressie- en beslisbomen, aangeduid als random forest (Breiman, 2001).



Figuur 14 Uitsnede van kaart 4 met de geïnterpoleerde verdrogingsindex voor GVG.

Deze gebiedsdekkende hulpinformatie kan worden afgeleid met het AHN, LGN7 (Hazeu et al. 2014), de bodemfysische PAWN schematisatie (Wösten et al. 1988), de kaart met doeltypen, de topografische kaart of informatie afgeleid uit de bodem- en Gt-kaart. Voor sommige moerasgebieden, uiterwaarden, oevers en rietlanden is geen informatie uit een van deze kaarten beschikbaar. Hierdoor is er op basis van deze hulpinformatie voor die specifieke gebieden ook geen verwachte GVG te berekenen.

De hulpinformatie die gezamenlijk de best verklarende relatie oplevert met de VerdrogingsIndex (VI) bestaat uit het natuurlijke landgebruik, volgens LGN7 gegeneraliseerd in zeven categorieën, 21 bodemfysische PAWN-eenheden, 12 eenheden uit de grondwatertrappenkaart 1: 50.000, de absolute maaiveldhoogte uit het AHN, de relatieve maaiveldhoogte in de centrale cel t.o.v. de omgeving binnen een straal van 500 m, de dichtheid aan sloten binnen een straal van 200 m en het optimale GVG-bereik voor de doeltypen. De patronen die in de kaart van VerdrogingsIndex (VI) (zie Figuur 2) zichtbaar zijn, hangen daardoor samen met het landgebruik, de Gt-klasse, de dichtheid aan sloten, de maaiveldhoogte en het optimale GVG-bereik voor de doeltypen. Voor sommige moerasgebieden, uiterwaarden, oevers en rietlanden is geen informatie uit de bodemkaart beschikbaar. Hierdoor is er op basis van deze hulpinformatie voor die specifieke gebieden ook geen

verwachte verdrogingsindex te berekenen. De gemiddelde gekwadrateerde fout in de verdrogingsindex ten opzichte van het trendmodel bedraagt 0,191. De VerdrogingsIndex is speciaal voor deze studie ontwikkeld en in deze studie voor het eerst toegepast; de correcte interpretatie en de praktische waarde van de kaarten die hiermee zijn gemaakt, zijn daardoor lastig te beoordelen.

De geïnterpoleerde verdrogingsindex voor GVG is opgenomen in kaart 4. Een uitsnede van deze kaart staat in Figuur 14. Voor GLG, Droogtestress en Zuurgraad zijn de betreffende kaarten opgenomen in kaart 5, 6 en 7. De vergelijkbare kaarten op basis van een vergelijking met habitattypen en ambitietypen zijn opgenomen in kaart 9, 10, 11 en 12.

5 Verdrogingskaart afgeleid uit vegetatieopnamen én peilbuizen

5.1 Combineren van informatie over de verdrogingssituatie afgeleid uit peilbuizen en vegetatieopnamen

Zowel voor peilbuizen (§ 3.2) als voor vegetatieopnamen (§ 4.3) zijn gebiedsdekkende kaarten gemaakt van het verschil tussen de actuele grondwatersituatie en de voor natuur gewenste grondwatersituatie. Met behulp van vegetatieopnamen gaat het om de bepaling van de verdrogingsindex, die aangeeft hoeveel overlap er bestaat tussen de gewenste en actuele GVG-curves bepaald met het Waternood-instrumentarium (zie Hoofdstuk 4). Voor de peilbuizen gaat het om de kans dat de verwachte GVG dieper is dan de gewenste optimale GVG voor natuur (zie Hoofdstuk 3). Deze beide manieren om het verschil tussen de actuele en gewenste grondwaterdiepte aan te duiden, zijn niet direct vergelijkbaar (zie Bijlage 1) waardoor geen verschilkaart kan worden gemaakt. In een poging om de beide bronnen van informatie toch in één kaart te integreren, is nogmaals de verdrogingsindex voor GVG geïnterpoleerd waarbij in de interpolatieprocedure ook gebruik is gemaakt van de GVG-kaart afgeleid uit peilbuizen. De gehanteerde interpolatieprocedure is identiek aan die voor de verdrogingsindex, alleen is als extra bron van hulpinformatie de kaart met de kans op een te diepe GVG afgeleid uit peilbuizen gebruikt. De arealen waar de verdrogingsindex afgeleid uit vegetatieopnamen is geïnterpoleerd, gebruikmakend van de kans op een te droge GVG als bron van hulpinformatie, staan in Tabel 6. In kaart 8 is deze informatie is gecombineerd.

Tabel 5 Kansen op een te diepe GVG in absolute en relatieve arealen doelgebied.

Kans op te diepe GVG	Areaal [Km ²]	Areaal [%]
> 90%	482	8
75% - 90%	152	3
50% - 75%	124	2
25% - 50%	139	2
< 25%	4862	84
Totaal	5758	100

Tabel 6 Klassen voor de verdrogingsindex in absolute en relatieve arealen doelgebied.

VerdrogingsIndex	Areaal [Km ²]	Areaal [%]
0.5 - 1	129	2
0.25 - 0.5	228	4
-0.25 - 0.25	3764	65
-0.5 - -0.25	1014	18
-1 - -0.5	624	11
Totaal	5758	100

Beide soorten kaarten vertonen merendeels vergelijkbare patronen, waarbij de peilbuizen over het geheel een drogere grondwatersituatie beschrijven. Het areaal waar de grondwaterstand volgens peilbuizen te diep ligt vergeleken met de optimale GVG, is weergegeven in Tabel 5. De arealen waar de verdrogingsindex afgeleid uit vegetatieopnamen is geïnterpoleerd, gebruikmakend van de verwachting op een te droge GVG als bron van hulpinformatie, staan in Tabel 6. Te droge situaties zonder overlap tussen de gewenste GVG en de GVG afgeleid uit vegetatieopnamen hebben een

verdrogingsindex van 1, te natte situaties een van -1. Situaties met een gedeeltelijke overlap aan de te droge of juist te natte kant hebben een verdrogingsindex tussen 1 en -1 (zie § 4.2).

Het te droge areaal is volgens de peilbuizen met 482 km² duidelijk groter dan de 129 km² afgeleid uit vegetatieopnamen, maar de vergelijkbaarheid van de beide grootheden is beperkt. Bedenk bovendien dat de geanalyseerde opnamen deels zijn gebruikt om gebieden vegetatiekundig te karakteriseren, wat weer kan hebben meegespeeld bij de toekenning van doeltypen en dat vegetatiekundigen vaak de neiging hebben vooral opnamen te maken in plantengemeenschappen met een hoge botanische waarde. Wellicht is een vergelijking tussen een kans > 90% en een verdrogingsindex tussen 0,25 en 1 realistischer, dan bedragen de arealen respectievelijk 482 en 357 km². Voor natte situaties kan geen vergelijking worden gemaakt, omdat voor de peilbuizen alleen de kans op een te droge situatie is gekwantificeerd. Een gebiedsdekkende vergelijking in heel Nederland is alleen mogelijk door kaart 3 en 4 visueel te vergelijken; door verschillende grootheden kan geen verschilkaart gemaakt worden. De VerdrogingsIndex is speciaal voor deze studie ontwikkeld en in deze studie voor het eerst toegepast, waardoor de correcte interpretatie en praktische waarde van de kaarten die hiermee zijn gemaakt lastig te beoordelen zijn. Grotere aaneengesloten gebieden met een te droog areaal volgens peilbuizen zijn te vinden rondom Lauwersmeer, het Drentse deel van het Fochteloërveen, het centrale deel van het Dwingelderveld, in het Bargerveen, de Engbertsdijkvenen, de oevers van de Oostvaardersplassen, op Tiengemetten en in de Peel. Deze gebieden worden in de kaart van de VerdrogingsIndex ook als enigszins verdroogd weergegeven. Alleen het Fochteloërveen wordt met de VerdrogingsIndex als duidelijk verdroogd weergegeven.

Waar het beeld tussen beide kaarten verschilt, is op grond van de opnamelocaties en het type opname – aan peilbuizen of vegetatie – een indruk te krijgen welke kaart als het betrouwbaarst beschouwd kan worden. Voor beide kaarten geldt dat de kaart het betrouwbaarst is nabij opnamelocaties, dus de kaart afgeleid uit vegetatieopnamen is het betrouwbaarst vlak bij vegetatieopnamen. De kaart afgeleid uit peilbuizen is het betrouwbaarst dicht bij de peilbuizen. In moerassen, rietlanden en hoogveengebieden zijn over het algemeen weinig peilbuizen beschikbaar, terwijl in deze gebieden juist vaker vegetatieopnamen zijn verricht. Voor dit soort gebieden kan voor een indicatie over de grondwatersituatie dus beter naar de kaart afgeleid uit vegetatieopnamen worden gekeken. Een voorbeeld hiervan is het gebied van de Wieden en Weerribben, waar nauwelijks peilbuizen staan, maar wel vegetatieopnamen gemaakt zijn. In sommige natuurterreinen in Drenthe en Noord-Brabant liggen juist veel peilbuizen waardoor daar de kaart afgeleid uit peilbuizen waarschijnlijk het betrouwbaarst is.

5.2 Reacties op de kaarten door Provincies en de klankbordgroep

De kaarten bij dit rapport zijn tot stand gekomen in interactie met de klankbordgroep en de provincies. Eerdere versies van de kaarten zijn door PBL met de afzonderlijke provincies in het kader van de ex-ante-evaluatie Natuurpact besproken en daarbij is de provincies om een reactie op deze kaarten gevraagd. Alle provincies (behalve Zuid-Holland en Utrecht) hebben na dit gesprek via e-mail gereageerd, vaak met bijgevoegde informatie over het provinciaal verdrogingsbeleid en het daarvoor gebruikte kaartmateriaal. De reacties hadden, zoals door PBL gevraagd, vooral betrekking op de kaarten zelf en veel minder op het proces, de uitgangspunten of de werkwijze. De aard en mate van detail van de reacties zijn daardoor zeer verschillend en laten zich nauwelijks in algemene uitspraken over de gebruikswaarde van de kaarten voor de provincies vertalen. Uit de diversiteit van reacties wordt niet duidelijk of de provincies de belangrijkste doelstelling van dit project – objectieve uniforme landsdekkende informatie over de mate van verdroging te genereren – ondersteunen.

Een aantal vragen en opmerkingen dat bij meerdere provincies naar voren kwam, is indien mogelijk bij het maken van deze nieuwe set van kaarten meegenomen. Uitgangspunt daarbij was dat de gehanteerde uniformiteit en reproduceerbaarheid van de gekozen landelijke aanpak, gebruikmakend van landsdekkend beschikbare bestanden, gehandhaafd bleef. Dat betekent voor sommige gebieden dat specifieke informatie of kennis uit andere studies niet gebruikt wordt, omdat ze niet landsdekkend beschikbaar is; een voorbeeld hiervan zijn de beschikbare landschapsecologische systeemanalyses per

natuurgebied. Voor veel provincies bleken juist deze landschapsecologische systeemanalyses het aangrijpingspunt voor de keuze van herstelmaatregelen en daarvoor zijn ze bij uitstek geschikt. Maar door het ontbreken van een landelijke dekking en uniformiteit van deze analyses zijn ze niet benut voor een uniform landelijk overzicht zoals dat in deze studie is gemaakt. Deze studie heeft als voornaamste doel een uniform landsdekkend overzicht te presenteren en niet om het ecohydrologisch systeem te beschrijven, hoewel juist dat voor de keuze van gebiedsspecifieke maatregelen vaak het geschiktst is.

Veel vragen en opmerkingen van de provincies hadden betrekking op de actualiteit en realiteitswaarde van de gedefinieerde beheer- of habitattypen en de doelen die daaraan gekoppeld zijn. Deze zijn echter afgeleid uit landelijk beschikbare databestanden die door Rijk en provincies zijn geaccordeerd. Om volgens de gekozen uniforme systematiek tot betere kaarten te komen, dienen deze gedefinieerde doelen waar nodig bijgesteld te worden, maar dat is niet binnen deze studie gebeurd, omdat dit beleidsmatige keuzes betreft die door Rijk en provincies genomen moeten worden. Ook zijn een aantal doelen gedefinieerd die niet specifiek aan verdroging kunnen worden gekoppeld, maar wel sterke afhankelijkheid vertonen, zoals doelen gericht op de vogelpopulaties in moeras gebieden of op weidevogels.

Een aantal provincies richt zich op verdroging binnen de topgebieden of specifiek door de provincies geselecteerde gebieden waar maatregelen zijn of worden genomen. Deze studie beoogt juist een overzicht voor alle terrestrische natuur te bieden, breder dan alleen deze gebieden die van oudsher in het verdrogingsbeleid werden benoemd en op basis van uniforme informatie die landsdekkend beschikbaar is. Voor het in beeld brengen van de verdrogings situatie wordt daardoor vaak gebruikgemaakt van vegetatieopnamen en peilbuizen buiten de top-gebieden, terwijl juist informatie over genomen maatregelen of uitgevoerde ecohydrologische systeemanalyses door het ontbreken van uniformiteit niet voor de kaarten is gebruikt. Juist in deze gebieden kan het zijn dat de gemaakte kaarten op deels verouderde informatie zijn gebaseerd, zoals vegetatieopnamen uit een periode voordat maatregelen zijn genomen.

Een aantal opmerkingen van de provincies Flevoland en Zeeland had betrekking op de detaillering van de kaarten rond waterpartijen, moerassen en oevers, waarbij het detailniveau van de beheer- en habitattypen niet aansluit op landgebruik uit LGN7. In de nieuwste versie van de kaarten hebben we de (semi-)aquatische doeltypen – voor zover ze ook volgens LGN7 tot water behoren – buiten de analyses gehouden. Helaas is het niet mogelijk gebleken om hiermee alle slootpatronen uit de kaartbeelden te verwijderen, omdat het soms om doelen in moerasgebieden of oeverzones gaat direct tegen waterlopen aan.

Diverse provincies, waaronder Groningen, Noord-Brabant en Limburg, hebben informatie en kaartmateriaal meegestuurd over de verdrogings situatie of verdrogingsgevoeligheid in gebieden waar recentelijk maatregelen zijn genomen of binnenkort genomen worden en over gebieden waarin de mate van hydrologisch herstel wordt weergegeven. Het is echter bijzonder lastig om deze informatie aan de landelijke overzichtskaarten over de verdrogings situatie te toetsen, omdat onduidelijk is welke doelen door de provincies gehanteerd zijn, welke abiotische condities daarbij horen en wat er wordt verstaan onder een percentage tussen 0 en 100% hydrologisch herstel en hoe zich dat verhoudt met de kans op een te diepe GVG of de VerdrogingsIndex.

De provincie Zeeland constateert in de vorige serie kaarten een aantal fouten voor buitendijkse gebieden, deels bestaand uit slikken en open water waar de geschiktheid voor terrestrische doeltypen vergeleken wordt met oppervlaktewaterpeilen. Deze gebieden zijn voor zover mogelijk uit de nieuwe serie kaarten verwijderd door de (semi-)aquatische doeltypen – voor zover ze ook volgens LGN7 tot water behoren – buiten de analyses gehouden. Helaas is het hier ook niet mogelijk gebleken om hiermee alle waterpartijen uit de kaartbeelden te verwijderen, omdat het soms om slikken of oeverzones gaat direct tegen water aan. Voor een goed overzicht van de verdrogings situatie in de provincie Zeeland werd de vorige serie kaarten niet geschikt geacht, de combinatiekaart voor de verdrogingsindex gaf voor heel Zeeland een overschatting van het areaal dat verdroogd zou zijn. Wij hopen en verwachten dat met deze nieuwe serie kaarten de genoemde problemen grotendeels zijn verholpen.

De Provincie Drenthe denkt dat de gekozen aanpak niet tot bruikbare kaarten leidt die de mate van verdroging correct weergeven. Een goede benadering, aldus de provincie Drenthe, zou een beoordeling per eenheid zijn, waarbij aangegeven wordt de mate van verdroging, afhankelijk van doelen en beschikbare grondwater. Maar dat het op dit moment niet uitvoerbaar is om tot een dergelijke kaart te komen.

De provincie Overijssel uit haar bedenkingen bij de detaillering van het ruimtelijk beeld van GVG en vermoed dat ruim beschikbare vegetatieopnamen niet gebruikt zijn terwijl strategisch geplaatste peilbuizen ten onrechte juist wel gebruikt zijn voor het in kaart brengen van de GVG. Zowel voor de peilbuizen als voor de vegetatieopnamen geldt dat waarnemingen vaak worden uitgevoerd in specifieke situaties en dat een simpele karakterisering op basis van alleen deze waarnemingen inderdaad niet geschikt is voor het maken van een ruimtelijk beeld. Juist daarom is gebruikgemaakt van ruimtelijke interpolatietechnieken, waarbij de selectief geplaatste waarnemingen worden gekoppeld aan gecorreleerde hulpinformatie, die de ruimtelijke patronen kan verklaren en extrapoleren naar de overige gebieden. De peilbuizen zijn op deze manier gebruikt voor gebiedsdekkende interpolatie van de GVG en blijken meer dan 80% van de variatie in de waargenomen GVG te kunnen verklaren. De vegetatieopnamen zijn alleen gebruikt voor interpolatie van de verdrogingsindex, omdat hieruit niet direct een GVG kon worden afgeleid. De ruimtelijke patronen in de verdrogingsindex afgeleid uit de vegetatieopnamen zijn daarom inderdaad niet verwerkt in de GVG-kaart, maar zijn alleen in de kaarten van de verdrogingsindex terug te vinden.

De provincie Friesland vermoedt in een aantal gebieden een te positief beeld en in een aantal andere juist een te negatief beeld van de verdrogingssituatie en vraagt zich af of de waarnemingen in peilbuizen en vegetatieopnamen wel op de juiste locaties zijn verricht. Zoals al eerder aangegeven, is het inderdaad de vraag of er altijd voldoende waarnemingen op de juiste locaties beschikbaar zijn, maar wordt door interpolatie toch de verdrogingssituatie op plaatsen zonder waarnemingen voorspeld op basis van nabij gelegen waarnemingen en sterk gecorreleerde ruimtelijke informatie uit andere bestanden. Uitspraken over gebieden met veel waarnemingen in de directe nabijheid zullen een grotere betrouwbaarheid hebben en dat wordt in kaarten van de betrouwbaarheid tot uitdrukking gebracht.

De provincie Gelderland kan zich, met uitzondering van een beperkt aantal gebieden, vinden in de gekarteerde GVG en verdrogingsindex, maar vindt de mate van detaillering 'in postzegeltjes' minder goed bruikbaar voor verdroging, dat meer op gebiedsniveau plaatsvindt. In een aantal gebieden zijn maatregelen getroffen die niet of nauwelijks in de vorige kaarten zijn terug te vinden; wellicht is dit het gevolg van de actualiteit van de waarnemingen die gebruikt zijn. In een aantal gebieden rondom rivieren of gebieden op de Veluwe met schijnspiegels is het de vraag of de GVG gemeten in peilbuizen wel een goede indicator is voor de verdrogingssituatie; wij onderschrijven dit. Rond de grote rivieren zou zeker niet alleen naar de GVG gekeken moeten worden en zijn oppervlaktewaterdynamiek en overstromingsfrequentie waarschijnlijk relevanter. Schijnspiegels zorgen voor een afwijkend beeld tussen het grondwaterniveau in peilbuizen en de vochtbeschikbaarheid voor vegetatie afgeleid uit vegetatieopnamen en kunnen daardoor tegenstrijdige informatie opleveren over de mate van verdroging. Schijnspiegels kunnen alleen correct worden gemeten als peilbuizen zeer ondiep zijn geplaatst en daarom is in deze gebieden betrouwbaarder informatie uit vegetatieopnamen af te leiden.

Verskillende versies van de kaarten van de verwachte GVG afgeleid uit peilbuisgegevens zijn in de klankbordgroep besproken en als plausibel beoordeeld. De klankbordgroep beoordeelt de GVG-kaarten voor natuurterreinen beter dan landsdekkende GVG-kaarten die eerder beschikbaar waren. Vooral de grotere ruimtelijke differentiatie en het nattere beeld ten opzichte van eerdere kaarten werden als een verbetering gezien, hoewel er ook kritische vragen over de betrouwbaarheid in specifieke gebieden gesteld zijn. De betrouwbaarheid voor gebieden met schijngrondwaterspiegels op bijvoorbeeld de Veluwe en in Drenthe en die in moeras- en hoogveengebieden, werd in twijfel getrokken. Op de flanken van stuwwallen kunnen kleischotten tot sprongen in de grondwaterstand leiden die met de huidige interpolatiemethode niet goed zullen worden meegenomen. Voor schijngrondwaterspiegels en hoogveengebieden is de grondwaterstand bijzonder lastig te meten, omdat vaak onduidelijk is of het om (tijdelijke) stagnatie van wegzakkend water gaat of om een stabiele grondwaterstand. In hoogveengebieden kan het veen een hoge verticale hydraulische weerstand hebben, waardoor de

freatische stand erg veel afwijkt van de stijghoogte in het onderliggende watervoerende pakket. Wat er in een grondwaterstandbuis die in dit pakket staat wordt gemeten, is daardoor weinigzeggend voor de vegetatie, zeker omdat het niet mogelijk was de bodemopbouw in de buizen te beoordelen. Voor de vegetatie is ook stagnatie van wegzakkend (regen)water, of door het veenpakket vastgehouden regenwater van belang voor de vochtvoorziening, en met peilbuizen wordt dit niet altijd gemeten. In moerasgebieden zijn vaak weinig peilbuizen beschikbaar, waardoor de betrouwbaarheid van de GVG-kaart in dit soort gebieden minder groot is. In gebieden die soms tijdelijk onder water staan, zoals moerassen, slikken en schorren, staan peilbuizen niet altijd goed gepositioneerd om de grondwaterstand te meten en kan daarom ook de daaruit afgeleide GVG-kaart minder betrouwbaar zijn.

Verskillende versies van de kaarten van de VerdrogingsIndex voor de GVG zijn in de klankborggroep en met de provincies besproken en werden over het algemeen als te rooskleurig beoordeeld. Het areaal waar vegetatie verdroging indiceert, is kleiner dan verwacht, terwijl het areaal waar een te natte situatie wordt aangegeven juist groter is dan verwacht. De ruimtelijke patronen van de index worden als plausibel beoordeeld en stemmen meestal overeen met de GVG-kaart, hoewel er minder ruimtelijke differentiatie zichtbaar is. In moeras- en (hoog)veengebieden levert de kaart van de verdrogingsindex door relatief veel vegetatieopnamen, ten opzichte van een gering aantal minder betrouwbare GVG-schattingen in peilbuizen, waarschijnlijk een betrouwbaarder beeld van de verdrogings situatie dan op basis van de GVG-kaart.

6 Veranderingen in grondwatersituatie sinds 2004

Vanaf de jaren negentig is in verschillende gebieden ingezet op verdrogingsbestrijding. De eerste doelstelling was het totaal areaal verdroogd gebied terug te brengen. Later is landelijk beleid geformuleerd voor het terugdringen van verdroging in een beperkt aantal gebieden, de zogenoemde TOP-gebieden. Rolf (1989) heeft voor het eerst gekeken naar de structurele veranderingen in de grondwaterstand en gezocht naar verklaringen daarvoor, grondwaterstandveranderingen in de daaropvolgende periode zijn door Kremers & Van Geer (2000) geanalyseerd. In deze studie wordt de actuele grondwatersituatie ruimtelijk in kaart gebracht; daarnaast wordt met behulp van langlopende meetreeksen van grondwaterstanden of van herhaalde vegetatieopnamen op één locatie geanalyseerd of er sprake is van veranderingen in de grondwaterstand of de mate van verdroging. Om te zien of de verdrogingsbestrijding tot veranderingen in de grondwatersituatie heeft geleid, is op meetlocaties geanalyseerd of er sprake is van veranderingen sinds 2004. De analyse van eventuele veranderingen is separaat uitgevoerd voor peilbuizen en voor vegetatieopnamen. Deze resultaten zijn al eerder gepubliceerd in de *Balans voor de Leefomgeving 2016*.

6.1 Veranderingen afgeleid uit peilbuizen

Slechts een beperkt deel van de peilbuizen is geschikt voor het afleiden van veranderingen tussen de periode vóór 2004 en ná 2004 vanwege de gewenste lengte van de meetperiode. De beide perioden die in deze analyse van veranderingen gebruikt zijn, lopen van 1996 tot en met 2004 en van 2005 tot en met 2014. De uitspraken over veranderingen laten zich vanwege het beperkte aantal meetlocaties niet tot een gebiedsdekkend kaartbeeld verwerken, maar alleen tot uitspraken over gemiddelde veranderingen voor de (selectie van) meetlocaties. Afhankelijk van de lengte van meetreeksen en meetfrequentie in peilbuizen is een beperkt aantal peilbuizen beschikbaar voor de analyses van verschillen. Als gevolg van variatie in weersomstandigheden dient een GVG geschat te worden voor een periode van ten minste 8 jaar met een tweewekelijkse meetfrequentie en ten minste 18 metingen per jaar om vast te kunnen stellen of sprake is van een structurele verandering. Als dit criterium wordt gehanteerd, resteren 103 peilbuizen met een meetreeks van voldoende lengte en de juiste meetfrequentie in de beide meetperioden voor en na 2004.

Als voor het inschatten van veranderingen in de grondwaterstand ook meetreeksen korter dan 8 jaar worden beschouwd in 432 peilbuizen die ten minste 3 jaar zijn gemeten, blijkt het verschil in de GVG voor de periode tot en met 2004 en na 2004 niet significant. De lengte van de meetperiode voldoet ook niet aan de eis van ten minste 8 jaar. De situatie lijkt sinds 2004 wel natter geworden, maar door de grote verscheidenheid kan geen significante verandering worden aangetoond. Een belangrijke reden voor deze variatie is dat zowel droge als natte meetperioden van 3 jaar onderling met elkaar zijn vergeleken waardoor verschillen sterk beïnvloed worden door de weersgesteldheid binnen de verschillende meetperioden van 3 jaar.

Het verschil in de GVG vóór en na 2004 is ook bepaald in 103 peilbuizen die in beide perioden ten minste 8 jaar zijn gemeten. Dit verschil is significant en toont een 2,6 cm drogere situatie in de periode tot 2004 dan in de periode vanaf 2004. Doordat weersinvloeden over langere meetperioden, van ten minste 8 jaar voor minder variatie zorgen, werd ondanks minder peilbuizen toch een kleine maar significante verandering aangetoond. Binnen deze 103 peilbuizen werd een grote variatie in verandering van de GVG sinds 2004 gevonden: sommige locaties werden flink droger, terwijl andere flink natter werden, maar een ruimtelijk patroon hierin viel niet te ontdekken.

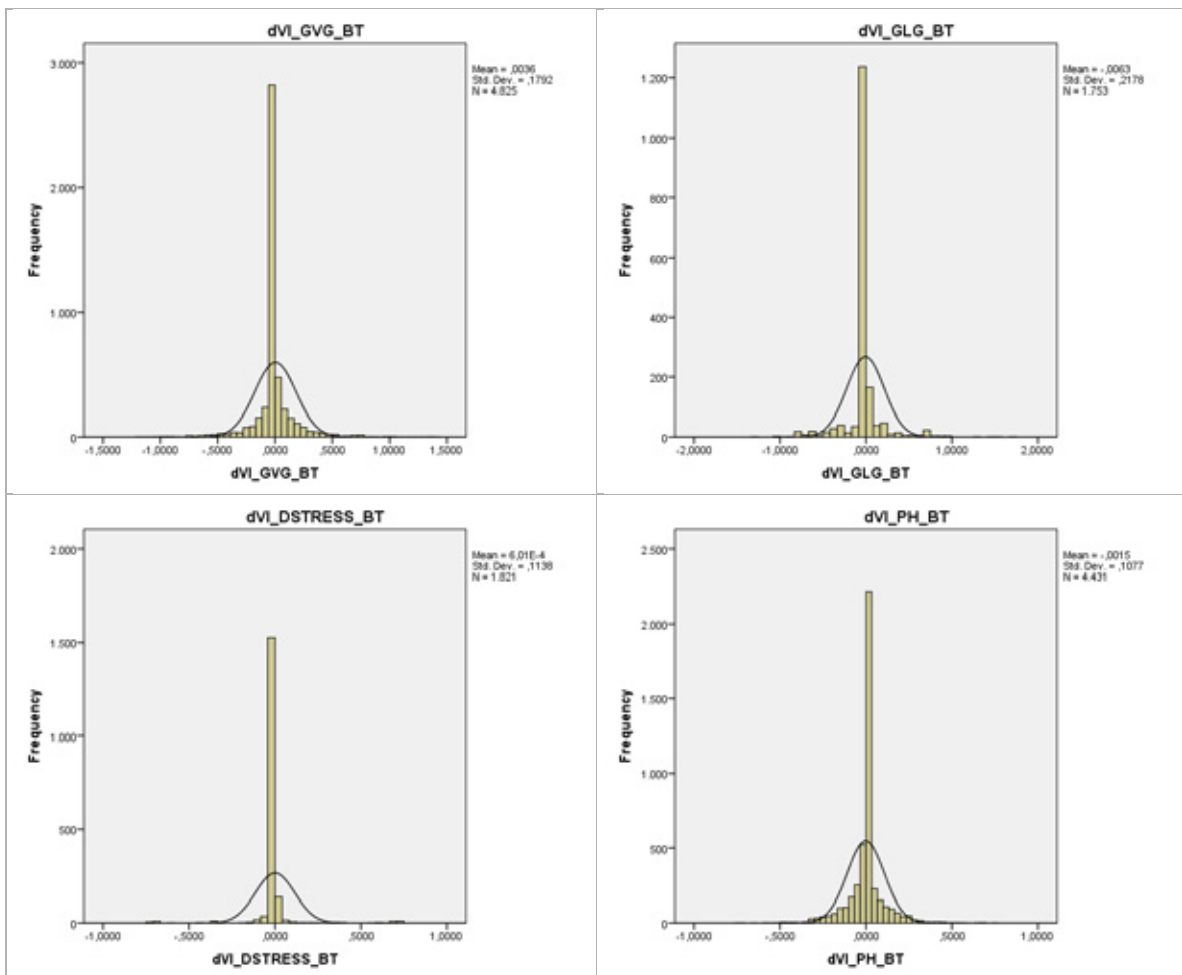
Het verschil in de GVG vóór en na 2004 is ook bepaald in 56 peilbuizen in verdrogingsgevoelige natuur die ten minste 8 jaar zijn gemeten. De GVG voor 2004 binnen de verdrogingsgevoelige natuur verschilt niet significant van de GVG na 2004. Er wordt wel een iets groter verschil gevonden dan in de eerdere 103 buizen, maar door het geringe aantal buizen is dit verschil niet significant.

Concluderend: gemiddelde veranderingen zijn klein, de variatie aan veranderingen is groot en gebaseerd op te weinig peilbuizen om van structurele significante veranderingen te kunnen spreken. Kremers & Van Geer (1998; 2000) vinden voor de periode hiervoor een vergelijkbaar resultaat met veel variatie en geen duidelijke structurele verandering. Door de grote variatie is het niet mogelijk om op basis van de beschikbare peilbuizen de voortgang van verdrogingsbestrijding in heel Nederland te volgen, maar als een peilbuis aanwezig is, is op gebiedsniveau de voortgang waarschijnlijk wel vast te stellen. Met meer peilbuizen zou mogelijk een nattere situatie na 2004 in verdrogingsgevoelige natuur kunnen worden aangetoond. Om structureel de effecten van verdrogingsbestrijding op de ondiepe grondwaterstand in heel Nederland te kunnen volgen, is een verdichting van het meetnet en een goede screening op meetfouten of aanpassingen van de bestaande peilbuizen noodzakelijk. Voor het monitoren van de grondwatersituatie verdient de continuïteit van het huidige peilbuizen netwerk de aandacht. Aanbevolen wordt om het huidige netwerk van peilbuizen te verdichten in de gebieden waar nu geen ondiepe peilbuizen aanwezig zijn en het bestaande meetnet te continueren, zodat structurele monitoring van de grondwaterstand beter mogelijk is.

6.2 Veranderingen afgeleid uit vegetatieopnamen

Om uit vegetatieopnamen een verandering in de mate van verdroging of vernatting vast te kunnen stellen, zijn per PQ de berekende verdrogingsindexen (VI) vergeleken voor twee perioden (1994-2004 en 2005-2015). Als het verschil van de verdrogingsindex normaal verdeeld is, kan met een gepaarde t-toets nagegaan worden of een verschil significant is. Hierbij wordt het gemiddelde verschil tussen de perioden vergeleken met de standaardfout van dat gemiddelde. In Figuur 15 zijn histogrammen uitgezet voor dit verschil bij GVG, GLG, Droogtestress en Zuurgraad. De frequentieverdelingen lijken min of meer symmetrisch, maar omdat er steeds een grote piek voorkomt bij 0 (geen verandering), kan de verdeling niet als normaal beschouwd worden en kan de T-toets niet gebruikt worden. Een aantal verkennende statistische kengetallen wordt gegeven in Tabel 7.

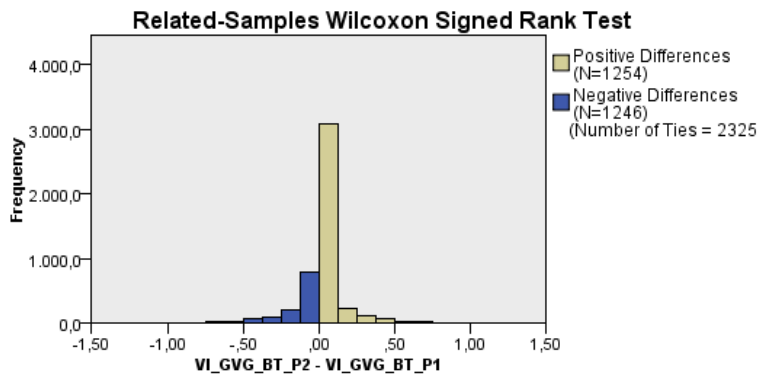
Voor dit type verdelingen kan de significantie van een eventueel verschil getoetst worden met een 'Wilcoxon Matched-Pair Signed-Rank test'. Dit is een 'Non-parametrische test voor gerelateerde samples', de twee perioden worden steeds vergeleken voor dezelfde locaties (PQ's). De nulhypothese is dat $dVI = 0$, waarbij $dVI = VI_2 - VI_1$, ofwel het verschil (dVI) tussen de verdrogingsindex in periode 2 (VI_2) en in periode 1 (VI_1). Met de toets wordt de kans bepaald dat $dVI = 0$ is. Dit wordt uitgedrukt in de toetsingsgrootte 'W' ('Asymptotic Sig. (2 sided test)' in de uitvoer van SPSS). Als deze kleiner is dan 0.05 is er een significant verschil en wordt de nulhypothese verworpen. Een voorbeeld voor de GVG is opgenomen in Figuur 16. Het aantal positieve verschillen ($N=1.254$) is iets groter dan de negatieve verschillen ($N=1.246$), in 2.325 PQ's is er geen verschil (Number of Ties). Dit zou kunnen duiden op een iets hogere verdrogingsindex in periode 2 (het is droger geworden), maar het verschil is niet significant ($W = 0.373 \gg 0.05$).



Figuur 15 Histogrammen voor het verschil in verdrogingsindex (dVI) voor GVG, GLG, Droogtestress en Zuurgraad, bij vergelijking van de indicatiewaarde van vegetatieopnamen met de randvoorwaarden voor Habitattypen en Beheertypen. De doorgetrokken lijn stelt een normale verdeling voor, hoewel de verdeling boven en onder 0 min of meer deze lijn volgt, duidt de grote piek bij 0 (geen verandering) op een niet-normale verdeling.

Tabel 7 Statistische kengetallen voor de verandering van de verdrogingsindexen (dVI) voor GVG, GLG, Droogtestress (DSTRESS) en Zuurgraad (PH), bij vergelijking van de indicatiewaarden van de opnamen met de randvoorwaarden voor Habitattypen en Beheertypen (HB) en Habitattypen en Ambiotypen (HA).

	N		Statistics				
	Valid	Missing	Mean	Std. Error of Mean	Median	Skewness	Std. Error of Skewness
dVI_GVG_HB	4825	97	0.0036	0.0026	0.0000	0.481	0.035
dVI_GLG_HB	1753	3169	-0.0063	0.0052	0.0000	0.553	0.058
dVI_DSTRESS_HB	1821	3101	0.0006	0.0027	0.0000	0.820	0.057
dVI_PH_HB	4431	491	-0.0015	0.0016	0.0000	0.064	0.037
dVI_GVG_HA	4846	76	0.0040	0.0026	0.0000	0.495	0.035
dVI_GLG_HA	1769	3153	-0.0092	0.0052	0.0000	0.471	0.058
dVI_DSTRESS_HA	1820	3102	0.0006	0.0026	0.0000	0.952	0.057
dVI_PH_HA	4449	473	-0.0015	0.0016	0.0000	0.118	0.037



Total N	4.825
Test Statistic	1.595.275,000
Standard Error	36.095,174
Standardized Test Statistic	,891
Asymptotic Sig. (2-sided test)	,373

Figuur 16 Voorbeeld van de 'Wilcoxon Matched-Pair Signed-Rank test' voor GVG bij vergelijking van habitattypen en Beheertypen.

6.2.1 Veranderingen in deelpopulaties

Bij de vergelijking voor de gehele set PQ's werd een significant verschil gevonden voor droogtestress, zowel bij vergelijking met beheertypen als bij de ambitietypen, waarbij voor de tweede periode een wat drogere indicatie gevonden wordt dan voor de eerste periode (Tabel 8). Dat lijkt op het eerste gezicht tegenstrijdig, maar omdat voor een deel van de doeltypen GLG is beoordeeld en voor een andere deel droogtestress, kan dit betrekking hebben op groepen doeltypen die natter dan wel droger geworden zijn. Voor GLG is er bij vergelijking met de ambitietypen een significant verschil gevonden dat duidt op enige vernatting. In deze set (N = 4.825) zitten PQ's uit het hele land van sterk uiteenlopende standplaatsen met verschillende doeltypen (Habitattypen, beheertypen en ambitietypen). De kans bestaat dat binnen deelpopulaties andere veranderingen gevonden kunnen worden. Daarom hebben wij ook een aantal deelpopulaties beschouwd van opnamen die vallen binnen:

- Provincies;
- Fysisch Geografische Regio's;
- Doeltypen;
 - Habitattypen;
 - Beheertypen;
 - Ambitietypen.

Tabel 8 Resultaten van de 'Wilcoxon Matched-Pair Signed-Rank test' voor de verandering van de verdrogingsindex (dVI) voor vier variabelen bij vergelijking van de indicatiewaarden in de opnamen met de randvoorwaarden bij Habitattypen en Beheertypen (HB) en bij habitattypen en Ambitietypen (HA). Als de toetsingsgrootte W kleiner is dan 0.05 is de verandering significant. Voor significante veranderingen is ook de richting van de verandering aangegeven.

	W	Richting
dVI_GVG_HB	0.373	
dVI_GLG_HB	0.101	
dVI_DSTRESS_HB	0.035	Droger
dVI_PH_HB	0.216	
dVI_GVG_HA	0.377	
dVI_GLG_HA	0.024	Natter
dVI_DSTRESS_HA	0.025	Droger
dVI_PH_HA	0.194	

Het aantal veranderingen binnen de deelpopulaties is beperkt, maar in een aantal gevallen worden wel significante veranderingen gevonden. In Friesland en Groningen laat zowel GLG als droogtestress een natter beeld zien voor periode 2 in vergelijking met periode 1 (Tabel 9). In Overijssel geeft de indicatie voor zuurgraad een zuurder beeld. Binnen de Fysisch Geografische Regio's geeft de GVG in de Hogere zandgronden een droger beeld en de droogtestress in het Duin- en kustzandgebied een natter beeld (Tabel 10). Voor de doeltypen is het beeld wisselend. Sommige zijn natter geworden, andere droger (Tabel 11). Hetzelfde geldt voor de zuurgraad die zowel veranderingen naar de zure kant als naar de basische kant laat zien. In alle gevallen moet bedacht worden dat het merendeel van de PQ's geen verandering laat zien en dat de gevonden veranderingen beperkt zijn (zie Figuur 15). Daarmee is het belang van de individuele verschillen die wel gevonden worden, beperkt.

Tabel 9 Resultaten van de 'Wilcoxon Matched-Pair Signed-Rank test' per provincie. Alleen significante veranderingen zijn aangegeven. N = het aantal PQ's binnen de deelpopulatie (zie Tabel 8 voor toelichting op de uitvoer).

Variabele	Provincie	N	W	Richting
dVI_GLG_HB	Friesland	212	0.047	Natter
dVI_GLG_HA	Friesland	214	0.013	Natter
dVI_DSTRESS_HB	Groningen	26	0.033	Natter
dVI_DSTRESS_HA	Groningen	26	0.033	Natter
dVI_PH_HB	Overijssel	345	0.035	Zuurder
dVI_PH_HA	Overijssel	347	0.038	Zuurder

Tabel 10 Resultaten van de 'Wilcoxon Matched-Pair Signed-Rank test' per Fysisch Geografische Regio (HZ = Hogere zandgronden, DU = Duin- en kustzandgebied). Alleen significante veranderingen zijn aangegeven. N = het aantal PQ's binnen de deelpopulatie (zie Tabel 2 voor toelichting op de uitvoer).

Variabele	FG Regio	N	W	Richting
dVI_GVG_HB	HZ	2105	0.045	Droger
dVI_GVG_HA	HZ	2104	0.045	Droger
dVI_DSTRESS_HB	DU	1075	0.006	Natter
dVI_DSTRESS_HA	DU	645	0.009	Natter

Tabel 11 Resultaten van de 'Wilcoxon Matched-Pair Signed-Rank test' per Doeltype. Alleen significante veranderingen zijn aangegeven. N = het aantal PQ's binnen de deelpopulatie (zie Tabel 11 voor toelichting op de uitvoer). HT = Habitatype, BT = Beheertype, AT = Ambitietype.

Variabele	Doeltype	N	W	Richting
<i>Habitatype</i>				
dVI_GVG_HT	H3130	24	0.036	Droger
dVI_GVG_HT	H6430A	9	0.046	Natter
dVI_GLG_HT	H2180A	27	0.040	Natter
dVI_GLG_HT	H91E0C	23	0.005	Natter
dVI_DSTRESS_HT	H2130B	149	0.010	Natter
dVI_DSTRESS_HT	H2180C	21	0.036	Natter
dVI_DSTRESS_HT	H2330	11	0.046	Natter
dVI_PH_HT	H2160	121	0.001	Zuurder
dVI_PH_HT	H3130	24	0.027	Zuurder
<i>Beheertype</i>				
dVI_GVG_BT	N12.05.00	11	0.041	Droger
dVI_GVG_BT	N12.06.00	28	0.046	Droger
dVI_GLG_BT	N10.01.00	126	0.029	Natter
dVI_GLG_BT	N12.04.00	12	0.042	Droger
dVI_DSTRESS_BT	N15.02.00	21	0.013	Droger
dVI_PH_BT	N06.01.00	28	0.011	Zuurder
dVI_PH_BT	N08.02.09	13	0.012	Basischer
dVI_PH_BT	N08.02.15	6	0.046	Basischer
dVI_PH_BT	N16.02.00	99	0.025	Basischer
<i>Ambitietype</i>				
dVI_GVG_AT	N06.04	142	0.042	Droger
dVI_GVG_AT	N12.05.00	11	0.042	Natter
dVI_GVG_AT	N13.02	13	0.050	Droger
dVI_GLG_AT	N10.01.00	159	0.023	Natter
dVI_GLG_AT	N10.02.00	191	0.033	Natter
dVI_PH_AT	N02.01	7	0.028	Zuurder
dVI_PH_AT	N06.01	30	0.016	Zuurder
dVI_PH_AT	N08.02.15	7	0.046	Basischer

7 Mogelijkheden remote sensing voor vegetatiemonitoring

7.1 Introductie

Met de komst van het Nationaal Satelliet Dataportaal en de nieuwe Sentinel-satellieten is de beschikbaarheid van satellietbeelden toegenomen. Zowel de temporele resolutie (meerdere beelden per week) als de ruimtelijke resolutie (tot wel 5x5 m) is dusdanig toegenomen dat near-realtime operationele toepassingen inmiddels tot de mogelijkheden behoren. De afgelopen jaren heeft WER bijvoorbeeld satellietbeelden ingezet voor het karteren en kwantificeren van muizen- en ganzenschade, het monitoren van zandlichamen in open water en het monitoren van de gewasgroei en -opbrengsten.

In 2015 en 2016 is binnen het verdrogingsproject onderzoek gedaan naar de mogelijkheden van remote sensing (RS) voor vegetatiemonitoring van natuurgebieden. En is gekeken of RS-data een bijdrage kunnen leveren aan het karteren en kwantificeren van de verdroging dan wel vernatting van de Nederlandse natuur.

Meer specifiek gaat het om de volgende onderzoeksvragen:

- In hoeverre is het mogelijk om langjarige verdroging/vernatting van natuurgebieden te detecteren met de NDVI vegetatie-index die bij WENR beschikbaar is?
 - Tot welk detail zijn veldinventarisaties ook met deze hoge-resolutiesatellietbeelden te karteren?
- De eerste onderzoeksvraag (studie 2015) wordt behandeld in § 7.3. Op basis van de bevindingen van deze studie is in 2016 een vervolgstudie gedaan, waarin de aanpak is gewijzigd en gericht is op het karteren van vegetatie m.b.v. RS-satellietbeelden. De resultaten van deze studie zijn te vinden in § 7.4. In § 7.2 wordt een overzicht gegeven van de satellietbeelden en bronnen die zijn gebruikt in deze studies.

7.2 Satellietdata

7.2.1 Nationaal Satelliet Dataportaal

In maart 2012 is het Nationaal Satelliet Dataportaal (NSD, <http://www.spaceoffice.nl/nl/Satellietdataportaal/>) geopend ter voorbereiding op de komst van de vrij toegankelijke Europese Sentinel satellietbeelden in 2015. Dit is een initiatief van het Netherlands Space Office (NSO) in samenwerking met het ministerie van Economische Zaken (EZ). Het portaal verzorgt de (gratis) toegang tot ruwe satellietdata van Nederland. Hierdoor worden zowel het bedrijfsleven en instituten (ontwikkeling van applicaties) als de eindgebruiker (betere en goedkopere informatie) geholpen. Nederland kan door deze centrale inkoop van data op een efficiënte wijze aan de benodigde informatie komen (beleid), maar ook het bedrijfsleven en onderzoeksinstituten een voorsprong geven op het buitenland.

De ruwe satellietdata zijn afkomstig van drie satellieten:

- SPOT-satellietbeelden hebben als voordeel een hoge ruimtelijke resolutie (1,5 of 6 m). Nederland wordt maandelijks eenmalig opgenomen waarbij gebruik wordt gemaakt van de weersvoorspelling om zo veel mogelijk onbewolkte beelden te verkrijgen. Deze beelden zijn te bekijken op www.satellietbeeld.nl waar ze ook te downloaden zijn.
- DMC-satellietbeelden worden 2x keer per week van geheel Nederland gemaakt met een resolutie van 22 m en worden met name gebruikt om gewasgroei op perceelniveau te volgen.
- En Radarsat zal radarbeelden van 25 m resolutie leveren, die nooit last hebben van bewolking.

Tabel 12 Satellietbeelden in het Nationaal Satelliet Dataportaal.

Satelliet	Data type	Spectrale banden / polarisatie	Ruimtelijke Resolutie	Temporele Resolutie
Spot	Panchromatisch	Zwart/wit	1,5 meter	Maandelijks (gerichte opname o.b.v. weersvoorspelling)
	Multispectraal	Blauw, Groen, Rood, NIR	6 meter	
DMC	Multispectraal	Groen, Rood, NIR	22 meter	2x per week
Radarsat	Radar	HH+HV polarisatie VV+VH polarisatie	25 meter	Elke 24 dagen

7.2.2 Sentinel & Landsat

Sinds eind 2015 zijn er ook optische hoge-resolutiebeelden beschikbaar van de Sentinel-2A satelliet. Met name de optische beelden met 10 m-resolutie zijn zeer gedetailleerd en daardoor zeer geschikt voor de relatief kleine natuurbranden in Nederland.

Voor de volledigheid wordt hier ook nog even de Landsat-8-satelliet genoemd van de NASA, die open beschikbaar is, evenals de Sentinel-beelden. De Landsat-satellieten geven al meer dan 30 jaar een consistente tijdreeks aan satellietbeelden op veldniveau (30 m-resolutie).

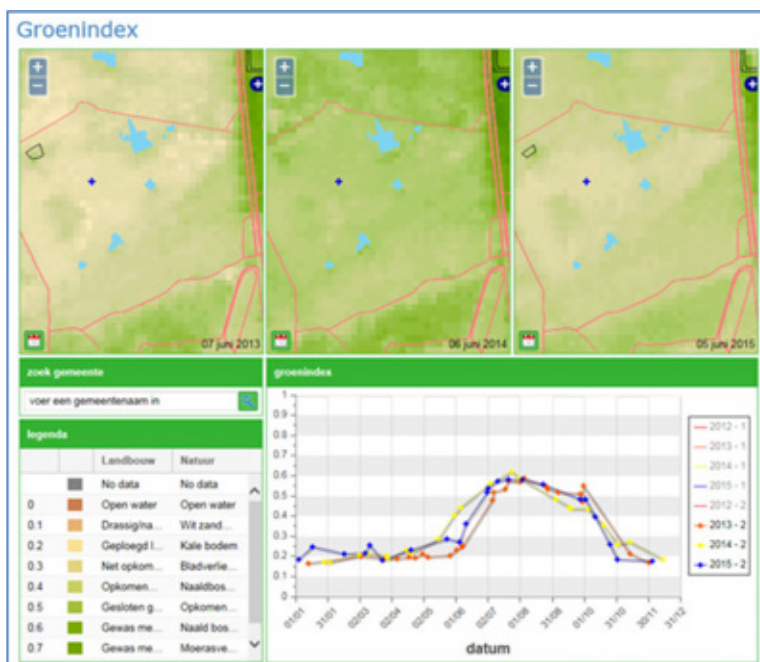
Tabel 13 Open beschikbare satellietbeelden.

Satelliet	Data type	Spectrale banden / polarisatie	Ruimtelijke Resolutie	Temporele Resolutie
Sentinel-2A	Multispectraal	Blauw, Groen, Rood, NIR	10 meter	Elke 10 dagen
		Red Edge, NIR, SWIR, MIR	20 meter	
		Deep blue, Water vapour, Cirrus	60 meter	
Landsat-8	Panchromatisch	Zwart/wit	15 meter	Elke 16 dagen
	Multispectraal	Deep blue, Blauw, Groen, Rood, NIR, SWIR, MIR, Cirrus	30 meter	
	Thermisch	TIR	100 meter	

7.2.3 Groenmonitor.nl

De DMC-beelden uit NSD, aangevuld met de Sentinel- en Landsat-beelden, worden door Alterra voorbewerkt en omgevormd tot biomassakaarten (NDVI, zie § 7.2.4) en worden beschikbaar gesteld middels de Groenmonitor (Roerink & Mucher, 2013). De groenmonitor (www.groenmonitor.nl) is een webapplicatie die via webmapping services (WMS) groenindexbeelden laat zien voor heel Nederland. Figuur 17 toont de 3 aparte viewers waarmee beelden van 3 verschillende dagen kunnen worden getoond en vergeleken. Voor het gebruikersgemak kunnen er topografische lagen overheen geprojecteerd worden (stedelijk gebied, wegen, water, percelen met gewasnaam).

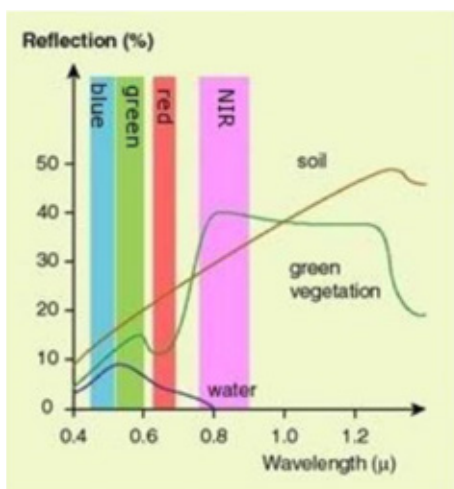
Daarnaast kan door de tijd heen worden gekeken middels de temporele grafiek. De verschillende jaren kunnen aan- en uitgezet worden door erop te klikken. Zo kan bijvoorbeeld de bladontplooiing van loofbos worden gevolgd over meerdere jaren. Of het verdorren van de heide bij droogte kan worden gedetecteerd.



Figuur 17 Screenshot van de Groenmonitor.nl met daarin het NDVI groenindex verloop van heide op de Veluwe. Duidelijk te zien is dat de heide in 2014 veel sneller groen werd dan in 2013; 2015 zit daar tussenin. Ook zijn er duidelijk verschillen bij de herfstverkleuring.

7.2.4 NDVI

Planten, of beter gezegd groene biomassa, absorberen grotendeels het rode zonlicht middels fotosynthese en reflecteren het merendeel van het Nabij-Infrarode (NIR) licht. Bij kale bodems (rotsen, zand, geploegd land) is dit verschil veel kleiner (Figuur 18).



Figuur 18 Reflectie-eigenschappen van kale bodem, vegetatie en water.

Dit principe wordt gebruikt om vegetatie-indicatoren te berekenen. De bekendste is de Normalised Difference Vegetation Index (NDVI). De NDVI is een ratio tussen de reflecties van het rode en het NIR licht:

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{red}}{\rho_{NIR} + \rho_{red}}$$

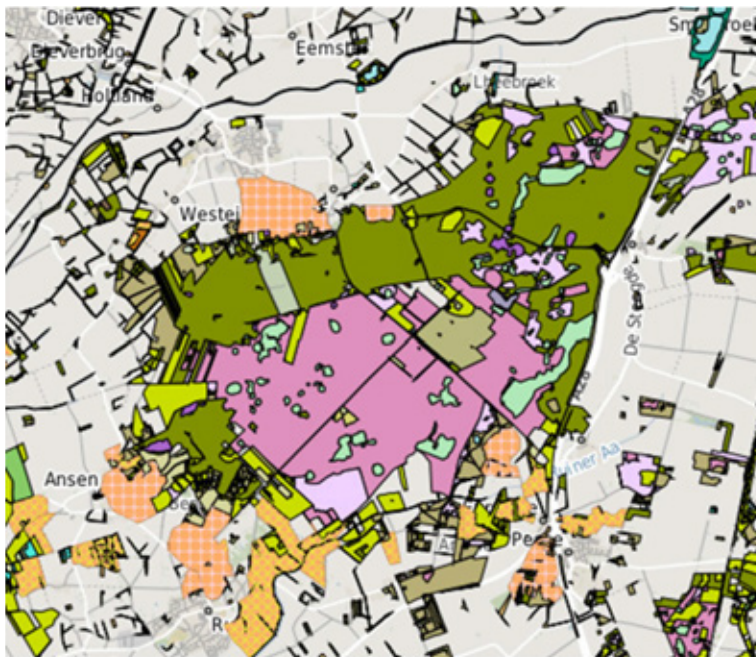
Waarbij pNIR en pred de reflecties van de zonnestraling in het NIR (DMC band 1) en het rood (DMC band 2) zijn. De index loopt van 0 tot bijna 1. NDVI-waarden en hun betekenis in termen van plantengroei zijn te zien in Tabel 14.

Tabel 14 *Typische NDVI-waarden en hun betekenis in termen van plantengroei.*

NDVI	Landbouw	Natuur
0	Open water	Open water
0.1	Drassig/nat geploegd land	Wit zand of rotsachtige bodems (tevens stedelijk gebied en wegen)
0.2	Geploegd land	Kale bodem
0.3	Net opkomend gewas Net geoogst gewas	Bladverliezende vegetatie in de winter, zoals loofbos, struweel, heide, riet
0.4	Opkomend gewas Gemaaid gras	Naaldbos in de winter
0.5	Gesloten gewas	Opkomende (lente) of afstervende (herfst) bladverliezende vegetatie
0.6	Gewas met ±2 bladlagen Afgerijpte mais	Naaldbos in de zomer Heide in volle bloei
0.7	Gewas met ±3 bladlagen	Moerasvegetatie in de zomer
> 0.8	Groene volgroeide mais Groene volgroeide granen Lang gras Andere groene gewassen met veel bladlagen	Groen loofbos

7.3 Detectie van verdroging/vernatting in natuurgebieden

In deze deelstudie is gekeken naar twee natuurgebieden (natte heide gebieden) die onderhevig zijn aan verdroging en waar recent antiverdrogingsmaatregelen hebben plaatsgevonden: natuurgebied de Stabrechtse heide en Nationaal Park Dwingelderveld (beide door het Rijk aangewezen als Natura 2000-gebied).



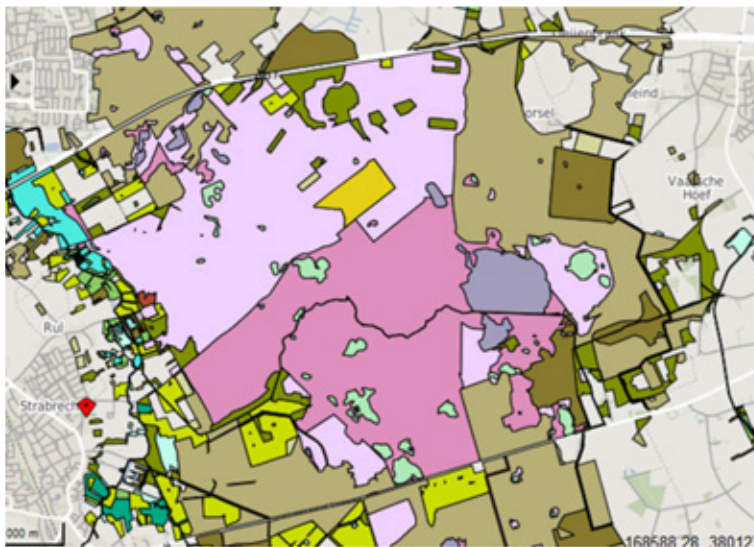
Figuur 19 *Nationaal park Dwingelderveld.*

Dwingelderveld

Het Dwingelderveld is een groot (~4000 ha), nat heidegebied in het zuidwesten van Drenthe, gelegen tussen Smalbroek, Ansen, Westeinde en Pesse (zie Figuur 19). In januari 2011 is men begonnen met afgravingen en in de zomer van 2013 werd de laatste diepe sloot gedempt, zodat pas echt gestart kon worden met de vernatting van het Dwingelderveld. De focus lag daarbij met name op het Noordenveld, een landbouwgebied van 200 ha en het uitgebreide slotenstelsel. De antiverdrogingsmaatregelen in Dwingelderveld: in het Dwingelderveld wordt de drainerende waterloop vanuit Spier richting de Beilerstroom/Dwingerstroom gedempt. Hiermee wordt de verdroging van 350 ha in het noordoostelijke deel van het Dwingelderveld tegengegaan en neemt tevens de belasting van het natuurgebied met voedselrijk water af. Het waterpeil in het Dwingelderveld kan vervolgens worden verhoogd naar het gewenste peil.

Strabrechtse heide

De Strabrechtse heide (voornamelijk natte heide en vennen) is een natuurgebied van ~1500 ha in de gemeenten Heeze-Leende, Someren en Geldrop-Mierlo, grotendeels in beheer bij Staatsbosbeheer (Figuur 20).



Figuur 20 Natuurgebied de Strabrechtse heide (boven: beheertype kaart; onder: toponiemen en begrenzingen van gemeenten, waterschappen, Natura 2000 en natte natuurparels).

De maatregelen op de Strabrechtse heide zijn volgens Waterschap de Dommel (<http://www.dommel.nl/algemeen/actueel/werk-in-uitvoering/gerealiseerde-projecten/natte-natuurparel-strabrechtse-heide/natte-natuurparel-strabrechtse-heide.html>) gerealiseerd in 2013.

De volgende maatregelen zijn genomen: om de verdroging tegen te gaan en de (grond)waterstand te verbeteren, is in 2013 een aantal maatregelen genomen. Zo is ongeveer 54 ha bos omgevormd naar heide en is er een stuk open bos gecreëerd (minder bomen dragen bij aan minder verdamping en dit leidt tot een hogere grondwaterstand). Daarnaast is er een aantal afwateringssloten en greppels gedempt en andere minder diep gemaakt, zodat regenwater langer de tijd krijgt in de grond te worden opgenomen. Hiermee stijgt de grondwaterstand en wordt de natuur minder droog. Dat zorgt voor een gevarieerder en aantrekkelijker natuurgebied.

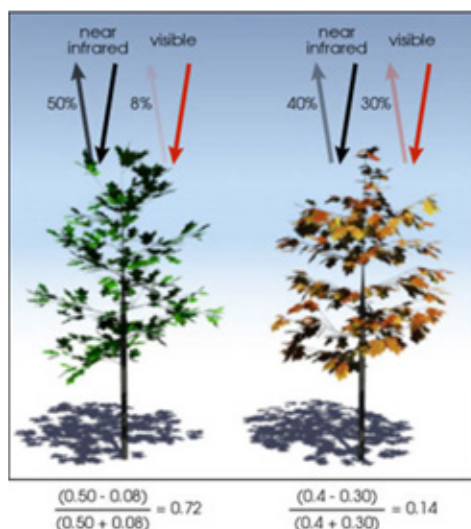
- Hogere grondwaterstand: Minder bomen betekent minder verdamping en een hogere grondwaterstand. Daarom is een flink aantal bomen weggehaald. En is er als overgang tussen bos en heide een stuk open bos aangelegd. Hiermee creëren we een hogere grondwaterstand en dus minder droge natuur.
- Vennen: Het water van Beuven-Noord wordt vastgehouden en niet meer afgevoerd via de Witte Loop. Het grondwaterpeil stijgt hierdoor waardoor het Marijkeven natter wordt. De noordelijke oever van Beuven-Noord is op enkele plekken helemaal kaal gemaakt, zodat waterlobelia's en andere bijzondere oeverplanten alle ruimte krijgen.
- Witte Loop: De Witte Loop is op verschillende plekken minder diep gemaakt. De kade tussen Beuven-Noord en Beuven-Zuid is versterkt en plaatselijk verhoogd. De slootjes in de Strabrechtse Heide en de Herbertusbossen zijn ondieper of dicht gemaakt. De stuw aan de Bussersdijk is geautomatiseerd en het peil iets verhoogd.

Toegepast methodiek - hypothese

Door de beschikbaarheid van de grote verzameling van DMC-beelden uit het Groenmonitor is het mogelijk om op basis van het NDVI-archief veranderingen in de tijd te monitoren (in dit geval over een periode van ~3 jaar). Zo is het mogelijk om te kijken naar de verandering van een specifieke pixel (25m x 25 m) of een specifiek gebied (bv. van een bepaalde beheertype). Daarbij is gebruikgemaakt van het nationaal natuurbeheerplan bestaande uit een beheertypenkaart met de actuele natuursituatie voor het (agrarisch) natuurbeheer.

Veranderingen in de NDVI kunnen het gevolg zijn van allerlei factoren. Zo verandert de NDVI van natuurlijke vegetatie van seizoen tot seizoen, afhankelijk van de activiteit van de vegetatie (zgn. jaarlijkse cyclus: hoge NDVI in de zomer (hoge biomassa/activiteit) en lage NDVI in de winter (weinig biomassa/lage activiteit)). Daarnaast kan de NDVI plotseling veranderen als gevolg van menselijke (bv. het kappen van bomen of verwijderen van vegetatie) of niet-menselijke activiteiten (bv. natuurbranden).

De NDVI kan ook geleidelijk veranderen (soms over een periode van één seizoen of juist over meerdere jaren) als gevolg van veranderingen in de waterhuishouding (nutriënten balans, zuurgraad, etc.). Zo laten NDVI waarnemingen van landbouw gewassen een duidelijk verschil zien tussen twee dezelfde gewassen, waarbij het eerste gewas goed voorzien is van water en het tweede gewas lijdt aan droogtestress. Het gewas dat stress ondervindt, heeft een duidelijk lagere NDVI (biomassa) dan het gezonde gewas.



Figuur 21 De NDVI van gezonde vegetatie (links, NDVI = 0.72) heeft een hogere NDVI dan vegetatie die lijdt aan (droogte)stress (rechts, NDVI = 0.14).

Onze hypothese is dat dit fenomeen zich ook voordoet bij natuurlijke vegetatie, waarbij we in dit geval vnl. naar heidevegetatie kijken:

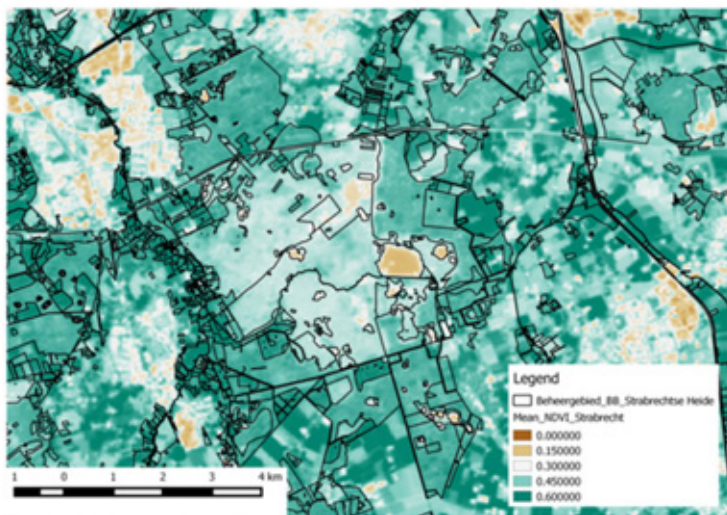
- Droge (heide)vegetatie heeft een lagere NDVI (biomassa) dan natte (heide)vegetatie.
- Positieve en negatieve trends in de NDVI van natuurlijke (heide)vegetatie in het Dwingelderveld en de Strabrechtse heide zijn het gevolg zijn van veranderingen in de waterhuishouding.

Om veranderingen in de NDVI te kunnen waarnemen, zal gekeken worden naar:

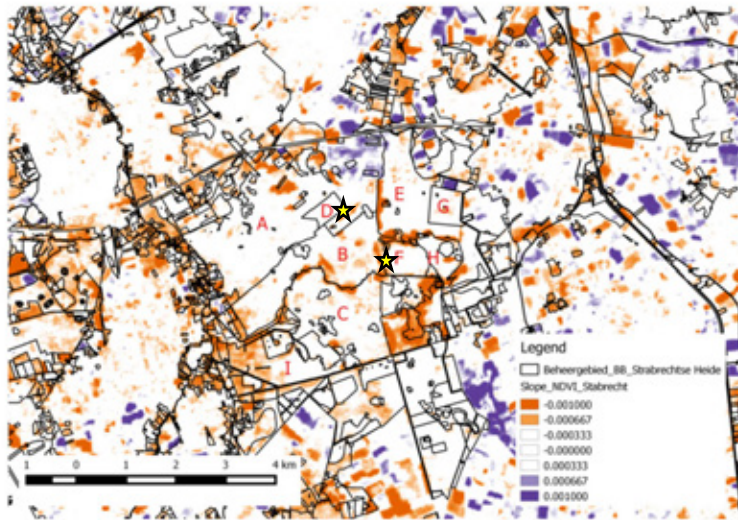
1. Veranderingen op pixelniveau (NDVI - 25m DMC-beelden) voor het gehele gebied, zodat de locatie van eventuele veranderingen (positieve en negatieve trend in NDVI) kunnen worden waargenomen. Daarbij zal gebruik worden gemaakt van:
 - a. Eenvoudige trendanalyse van de NDVI-tijdserie op pixelniveau. Alhoewel deze techniek erg eenvoudig is, kunnen significante veranderingen wel worden waargenomen en gelokaliseerd.
 - i. Hot-spot detectie op basis van de DMC-beelden voor verschillende seizoenen (voorjaar/zomer/najaar) in een *false-color*beeld. In dit geval wordt niet gekeken naar de gehele tijdserie, maar naar momentopnamen (bv. een lenteopname) van verschillende jaren (bv. 2012, 2013 en 2014).
2. Ontwikkelcurves van NDVI per beheertype (op basis van de beheertypenkaart), waardoor de eventuele verschillen tussen de beheertypes kan worden bekeken.
3. Tot slot zal met behulp van hoge-resolutiebeelden gecontroleerd worden (5m SPOT en m.b.v. ~2m Google Earth) of de beperkte resolutie van DMC (slechts 25 m) voldoende is om veranderingen te kunnen waarnemen.

Resultaten – Strabrechtse heide

Figuur 22 toont de gemiddelde NDVI (gebaseerd op alle NDVI-beelden over de periode maart 2012–april 2015) voor de Strabrechtse heide en de omliggende agrarische velden en dorpen. Kale grond (zoals steden en zand verstuivingen) en open water (en vennen) hebben een lage NDVI/biomassa (oranje). Agrarische gebieden en bossen laten daarentegen een veel hogere NDVI zien (donkergroen). De heidegebieden zitten daar tussen in (lichtgroen). De zwarte polygoon zijn de beheergebieden volgens de beheertypenkaart.



Figuur 22 Gemiddelde NDVI Strabrechtse heide (periode maart 2012–april 2015) met beheergebied polygoon (zwart).



Figuur 23 Trend NDVI Strabrechtse heide (periode maart 2012–april 2015) met beheergebied polygonen (zwart). Oranje gebieden: negatieve trend; Blauwe gebieden: positieve trend; Licht oranje-wit-licht blauw: geen verandering.

In Figuur 23 is de 'trend' in de NDVI te zien voor de Strabrechtse heide (over de periode maart 2012–april 2015). In dit geval is gebruikgemaakt van een eenvoudige trend (regressie)analyse op basis van de gehele NDVI-tijdserie, waardoor alleen iets gezegd kan worden over de gemiddelde trend (af/toename NDVI). Er kan geen uitspraak worden gedaan over hoe snel de eventuele verandering plaatsvindt. De lichtoranje, witte en lichtblauwe gebieden vertonen geen tot weinig verandering. Echter de donkeroranje (negatieve trend: afname NDVI/biomassa) en donkerblauwe gebieden (positieve trend: toename NDVI/biomassa) laten duidelijk een verandering zien.

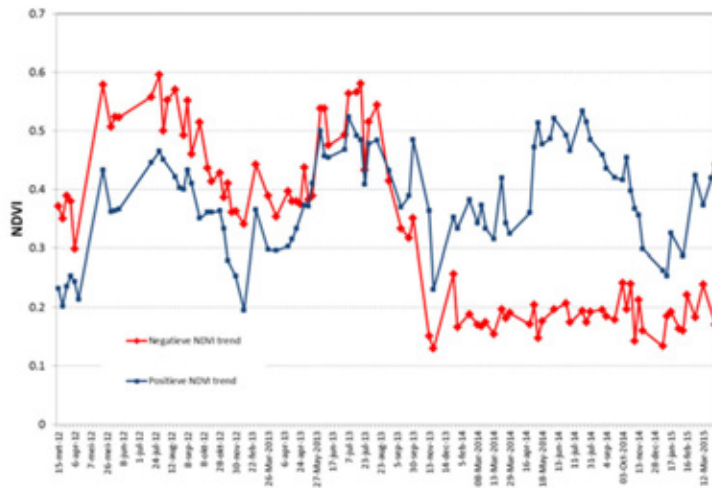
Voor een donkeroranje pixel in het westelijk deel van polygoon E en een donkerblauwe pixel in noordoostelijke deel van polygoon A (Figuur 23, zie gele sterren) zijn de tijdseries te zien in Figuur 24. In dit geval is te zien dat de afname in de NDVI het gevolg is van een 'abrupte' verandering begin 2014 (bosomvorming van bos naar heide). Dit geldt voor veel van de feloranje gebieden in het gebied (zoals rondom Beuven (polygoon F), langs de Witteloop op de grens van B en C)). De geselecteerde blauwe pixel laat juist een langzame toename zien van de NDVI. Hier is een toename van biomassa de reden voor een positieve trend in de NDVI. Dit gebied is het enige gebied dat een duidelijke toename laat zien.

Voor de meest oranje gebieden blijkt dat de waargenomen veranderingen het gevolg zijn van voornamelijk bosomvorming-activiteiten, of wel veranderingen in het land. Dit geldt niet voor het donker-lichtoranje gebied in het zuidoosten, zoals in polygoon I (de Herbertusbossen). Hier lijkt de NDVI in met name 2015 wat aan de lage kant in vergelijking tot de voorgaande jaren. Echter omdat het aantal beelden voor 2015 te beperkt is, kan hier nog geen uitspraak over worden gedaan.

In Figuur 23 is duidelijk is te zien dat met name veel agrarische velden een duidelijke trend laten zien. Dat heeft te maken met de jaarlijkse variatie in gewassoort en de variatie in de start en eind van het groeiseizoen.

Het 'springerige' gedrag in de NDVI in zowel Figuur 24 als Figuur 26 is voornamelijk het gevolg van veranderingen in de atmosfeer (en deels satelliet sensor). Op dit moment wordt een eenvoudige methode gebruikt om de NDVI af te leiden uit de ruwe satellietdata waarbij geen atmosfercorrecties worden toegepast. Met name 2012 (periode mei-juni-juli) bevat veel slechte opnamen⁵, waardoor eigenlijk alleen het tweede halfjaar bruikbaar is. Voor de volledigheid wordt wel het volledige jaar getoond.

⁵ Deel van het archief dient nog opgeschoond te worden (met name schaduw van wolken).

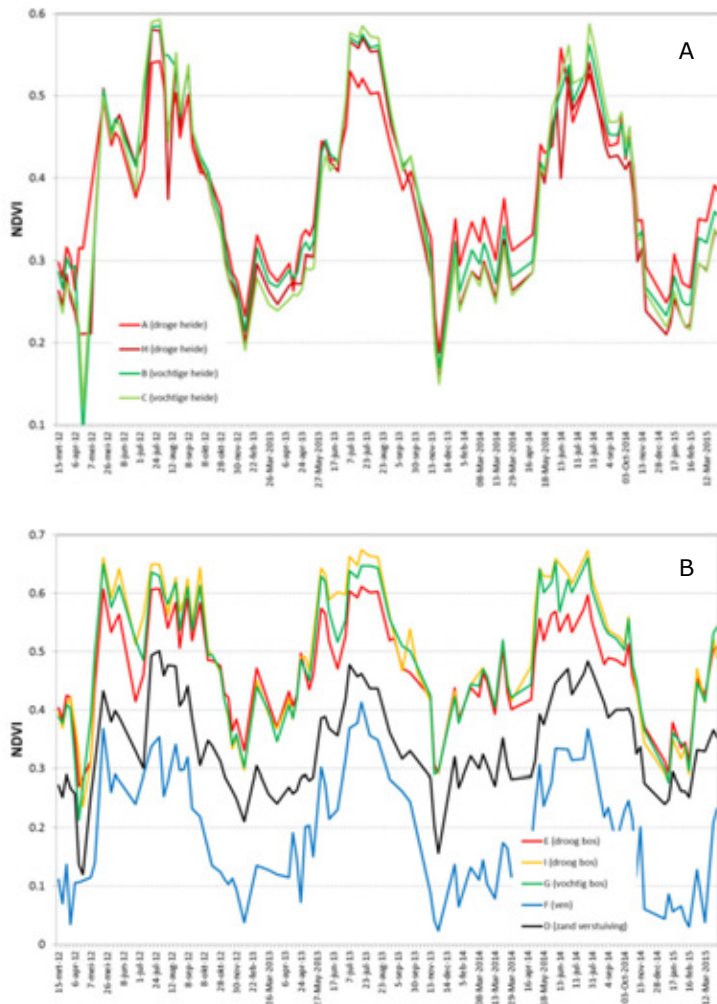


Figuur 24 Voorbeeld NDVI tijd serie voor pixels met een positieve en negatieve NDVI-trend.

Voor een aantal geselecteerde beheertypen (polygoon A t/m I in Figuur 23) is de polygoon gemiddelde (aantal 25mx25m pixels per polygoon te zien in Tabel 15) NDVI-tijdserie te zien in Figuur 25 (A en B). Omdat deze tijdseries een gemiddelde zijn van relatief grote gebieden (in verhouding tot de pixel grootte) zijn de kleine gebiedjes met veranderingen zoals in Figuur 24 niet meer zichtbaar. Ten eerste is te zien dat het jaarlijkse patroon over het algemeen redelijk stabiel is. Echter een aantal van deze tijdseries vertoont wel een aantal interessante zaken. Zo lijkt er een klein verschil te zijn in de NDVI tussen droge (A, H) en vochtige heide (B, C) (Figuur 25A). Dit geldt met name voor de zomer van 2013 en deels 2012. In 2014 is het verschil veel minder duidelijk. Polygoon H, gelegen tussen Beuven en Starven, is geclassificeerd als droge heide, echter de nabijheid van de vennen suggereert dat de omstandigheden natter zijn en dat zou ook de reden kunnen zijn waarom de NDVI-tijdserie meer overeenkomt met vochtige heide (polygoon B en C). De NDVI-tijdseries tussen droog en vochtig bos zijn minder eenduidig (Figuur 25B). Polygoon I (droog bos) laat elk jaar de hoogste NDVI zien en is zelfs groener dan vochtig bos (G). Polygoon E (droog bos) is systematisch altijd de laagste.

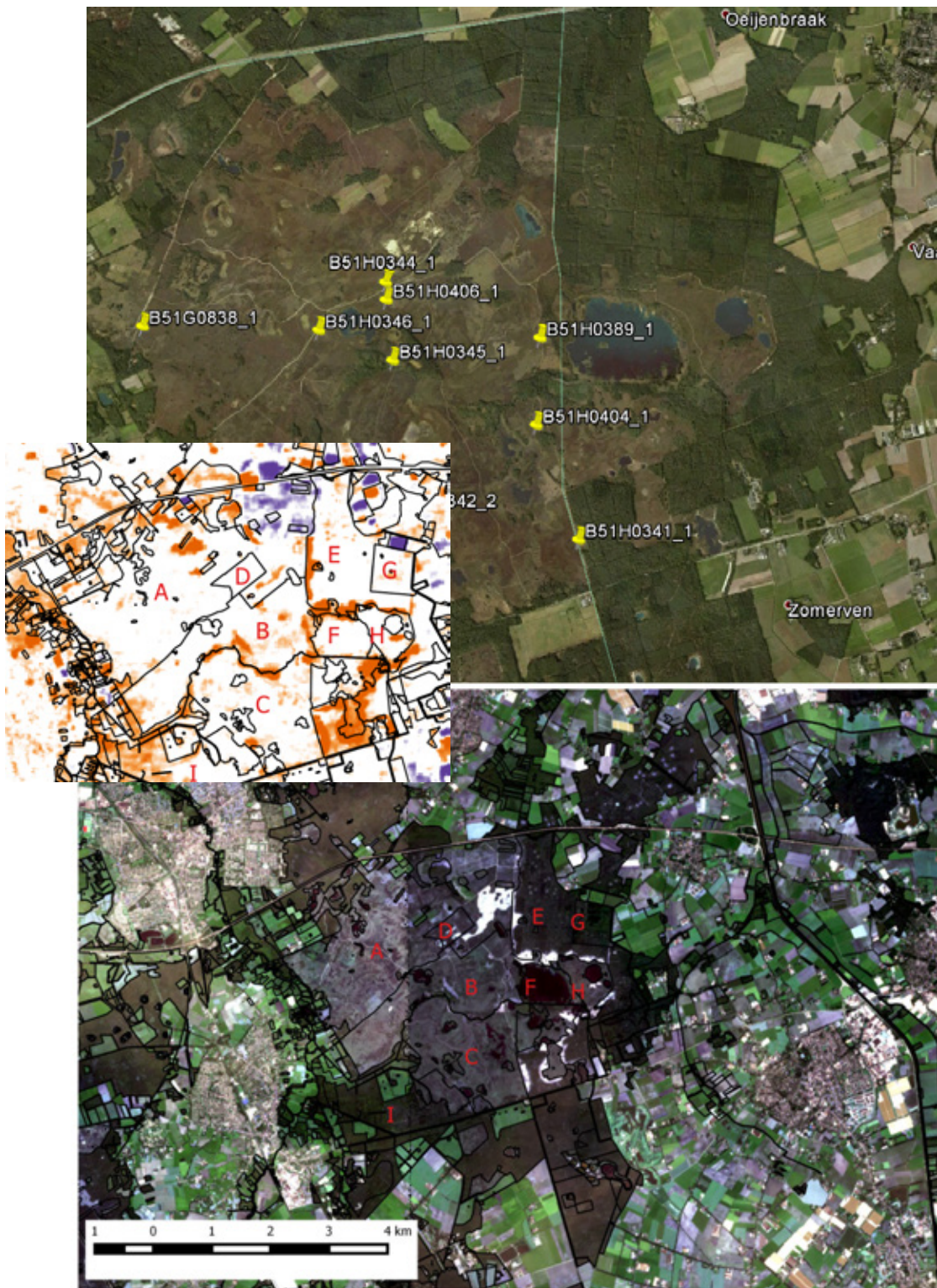
Tabel 15 Gemiddeld aantal pixels per beheertype in de Strabrechtse heide.

	Beheertype		Aantal 25mx25m pixels	
A	N07.01	Droge heide	4823	
B	N06.04	Vochtige heide	3142	
C	N06.04	Vochtige heide	2906	
D	N07.02	Zand verstuiving	369	
E	N16.01	Droog bos	Blauwe Kei	3757
F	N06.05	Ven	Beuven	789
G	N16.02	Vochtig bos	Blauwe Kei	543
H	N07.01	Droge heide		581
I	N16.01	Droog bos	Herbertusbossen	1625



Figuur 25 Gemiddelde NDVI tijdseries voor een aantal beheertypen in de Strabrechtse heide. A (boven): Droge en vochtige heide (polygoon: A, B, C en H). B (onder): Droog en vochtig bos, zand verstuivingen en ven (polygoon D, E, F, G en I).

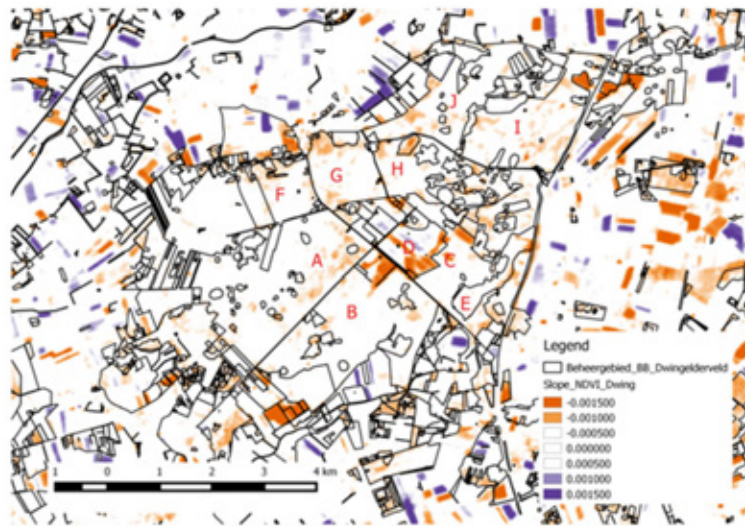
In Figuur 26 zijn hoge-resolutieopnamen van de Strabrechtse heide te zien. Een oude opname van Google Earth van 2009 en een recent SPOT-beeld (5m-resolutie) van april 2014. De witte gebieden in het SPOT-beeld (bv. ten noorden van Beuven en in het westen van polygoon E) laten duidelijk zien waar ingrepen hebben plaatsgevonden, zoals bosvorming-activiteiten. Deze ingrepen zijn ook duidelijk te zien in de 'grove' resolutie (25m) DMC-beelden, wat aantoont dat ruimtelijke resolutie van DMC voldoende is om veranderingen op deze schaal te monitoren.



Figuur 26 Boven: Google Earth beeld (2009); Onder: SPOT beeld van 20 april 2014; Midden: Subset van Figuur 23 (DMC).

Resultaten – Dwingelderveld

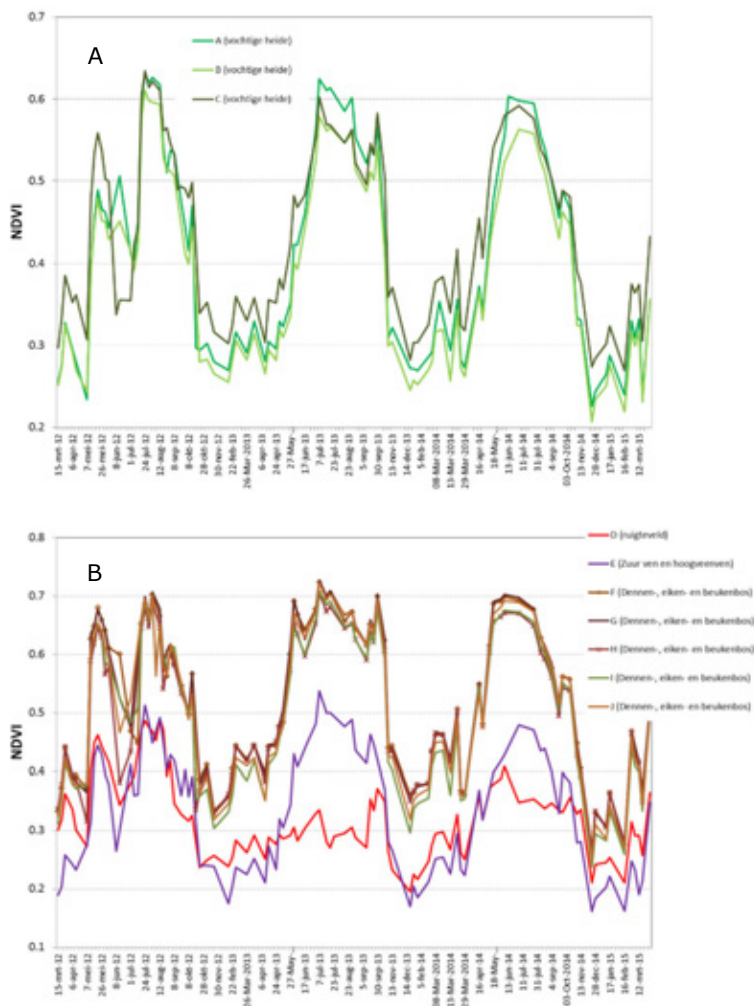
Figuur 27 laat de trend in de NDVI zien voor Dwingelderveld over de periode maart 2012–april 2015. Over het algemeen zijn er geen duidelijke veranderingen (witte gebieden) te zien, behalve voor een paar kleine gebiedjes in polygoon A (beheertype-vochtige heide, licht oranje), waar de NDVI iets lijkt af te nemen. In de polygonen B (vochtige heide) en D (ruigteveld) in en rondom Noordenveld en in het zuidwesten Kloosterveld II zijn zeer duidelijke veranderingen te zien. Deze zijn het directe gevolg van de herinrichtingswerkzaamheden. In het natuurgebied zijn geen duidelijke gebieden aan te wijzen waar een duidelijke toename van de NDVI is te zien.



Figuur 27 Trend NDVI Dwingelderveld (periode maart 2012–april 2015) met beheergebied polygonen (zwart). Oranje gebieden: negatieve trend; Blauwe gebieden: positieve trend; Licht oranje-wit-licht blauw: geen verandering.

Tabel 16 Gemiddeld aantal pixels per beheertype in het Dwingelderveld.

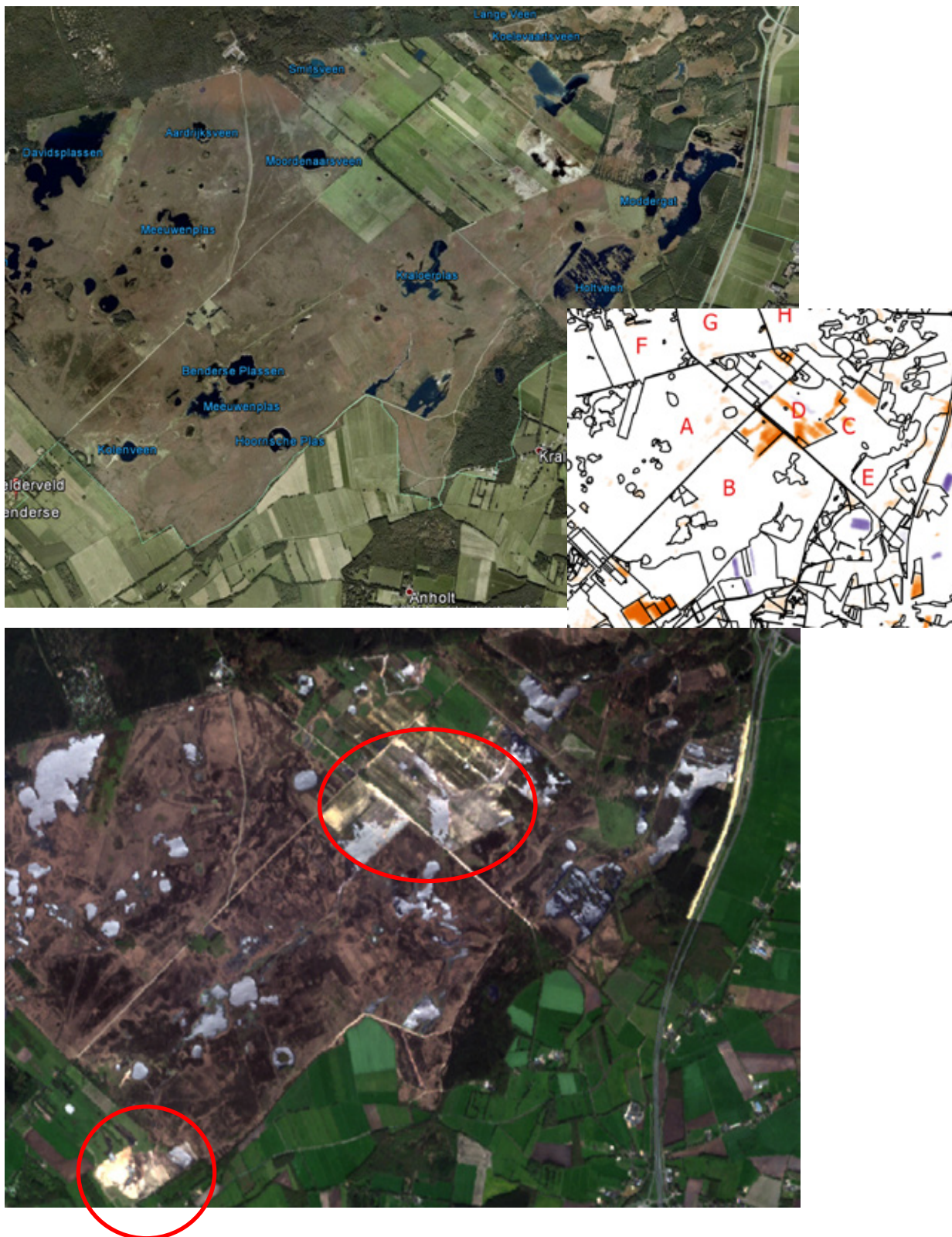
Beheertype			Aantal 25 x 25m pixels
A	N06.04	Vochtige heide	5669
B	N06.04	Vochtige heide	4042
C	N06.04	Vochtige heide	2255
D	N12.06	Ruigteveld	912
E	N06.06	Zuur en vennengebied	892
F	N15.02	Dennen-, eiken- en beukenbos	1007
G	N15.02	Dennen-, eiken- en beukenbos	2315
H	N15.02	Dennen-, eiken- en beukenbos	1695
I	N15.02	Dennen-, eiken- en beukenbos	3581
J	N15.02	Dennen-, eiken- en beukenbos	2177



Figuur 28 Gemiddelde NDVI-tijdseries voor een aantal beheertypen in Dwingelderveld, namelijk heide beheertypen (A) en bos, ven en ruigteveld beheertypen (B).

Voor een aantal geselecteerde beheertypen (polygoon A t/m J in Figuur 27) is de polygoon gemiddelde NDVI-tijdserie te zien in Figuur 28. Omdat deze tijdseries gemiddelden zijn van relatief grote gebieden (in verhouding tot de pixelgrootte), zijn lokale veranderingen (in Figuur 27) niet meer zichtbaar. Alle polygoon, inclusief in het noordoosten (I en J), vertonen geen duidelijke veranderingen in de NDVI over de jaren (ondanks het feit dat 2012 maar deels bruikbaar is). Ook is te zien dat polygoon met dezelfde beheertypen een overeenkomstige NDVI-tijdserie laten zien (zoals vochtige heide en dennen-, eiken- en beukenbos). In het geval van heide zijn er iets meer verschillen te zien dan bij bos, maar te weinig om harde uitspraken te doen. In dit geval kan geen onderscheid worden gemaakt tussen droge en natte beheertypen zoals bij de Strabrechtse heide.

In Figuur 29 zijn hoge resolutieopnamen van Dwingelderveld te zien: een oude opname van Google Earth (~2005) en een recent SPOT-beeld (5m-resolutie, april 2014). De lichtgrijze-zilverkleurige gebieden in het SPOT-beeld zijn open water. De rood omcirkelde gebieden zijn duidelijke ingrepen die hebben plaatsgevonden en ook duidelijk zichtbaar zijn in de NDVI-trendanalyse (oranje/blauwe gebieden). Dit zijn de herinrichtingsgebieden Noordenveld en Kloosterveld II.



Figuur 29 Boven: Google Earth beeld (2005); Onder: SPOT beeld van 20 april 2014; Midden: Subset van Figuur 28 (DMC).

Conclusies:

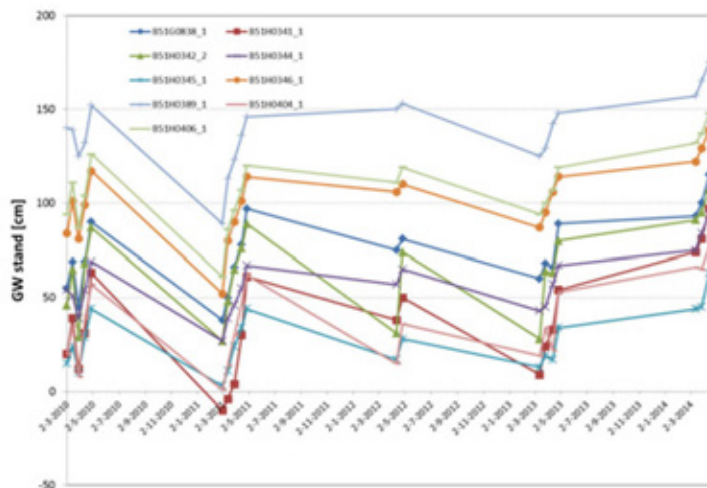
De NDVI-trendanalyse in de Strabrechtse heide en Dwingelderveld laat geen duidelijke veranderingen zien in de NDVI/biomassa over de tijd die het gevolg zijn van de verdroging en de antiverdrogingsmaatregelen. De meeste waargenomen veranderingen zijn de werkzaamheden zelf. Redenen waarom verdroging/vernattig niet duidelijk zichtbaar zijn:

1. De afronding van de antiverdrogingswerkzaamheden hebben te recent plaatsgevonden:

In het geval van Dwingelderveld hebben de antiverdrogingsmaatregelen pas zeer recent plaatsgevonden (medio 2015) en is dus de hydrologische situatie pas recent veranderd. Uit de grondwaterstandbuizen is nog geen duidelijke verhoging af te leiden van het grondwater (niet getoond hier).

In de Strabrechtse heide zijn de antiverdrogingsmaatregelen in 2013 uitgevoerd (exacte datum onbekend). Figuur 30 laat de grondwaterstand zien van een aantal peilbuizen in de Strabrechtse heide. Deze peilbuizen tonen pas in 2014 een hogere grondwaterstand. De vraag rijst nu hoe snel de vegetatie reageert op een hogere grondwaterstand. Al in 2014 of wellicht pas in 2015, 2016 of later, zodat opgemerkt kan worden met RS-data?

In de Strabrechtse heide is een klein gebiedje te zien waar de NDVI duidelijk lijkt toe te nemen (in noordoostelijke deel van polygoon A, zie Figuur 23). Het is echter niet duidelijk of dit het resultaat is van de antiverdrogingsmaatregelen.



Figuur 30 Grondwaterstanden peilbuizen Strabrechtse heide (voorjaar 2010–2014).

2. De hypothese dat verdroging/vernattig leidt tot een lagere/hogere NDVI (biomassa) gaat niet helemaal op voor natuurlijke heidevegetatie

Dit kan deels worden onderbouwd door de NDVI-tijdseries voor de beheertypen in Strabrechtse heide waar we beschikken over NDVI-tijdseries van droge en vochtige beheertypen. In het geval van heide is een verschil te zien in 2013, maar niet in 2014. Bij bos is helemaal geen duidelijk verschil te zien. Een van de verklaringen waarom er een verschil is te zien tussen droge en vochtige heide in 2013, is het neerslagtekort in 2013. De neerslagmetingen van de andere jaren (2012 en 2014) laten in de zomer een veel lager neerslagtekort zien. Dat zou betekenen dat de droge heidegebieden in 2013 last hebben van een vochttekort (lagere NDVI/biomassa). Aangezien bos veel dieper wortelt dan heide, kan het water uit diepere lagen onttrekken en is er dus geen verschil te zien in de NDVI.

De hypothese dat een vernattig van de omstandigheden leidt tot meer biomassa (NDVI) kan niet worden bewezen. Een verklaring zou kunnen zijn dat een vernattig van de situatie alleen maar effect heeft op de biodiversiteit en niet op de biomassa (NDVI).

7.4 Vegetatiekartering

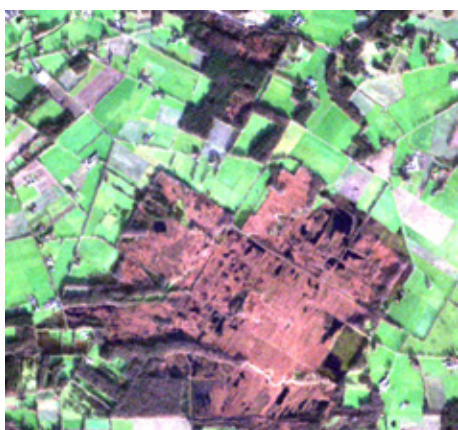
De studie van 2015 heeft laten zien dat op basis van NDVI-tijdseries (veranderingen in de NDVI) het niet mogelijk is om vernatting/verdroging van natuurgebieden te monitoren. Daarom is besloten om in de vervolgstudie (studie 2016) een andere strategie te volgen.

In plaats van de focus te leggen op vernatting/verdroging is nu gekeken naar de mogelijkheden van vegetatiekartering m.b.v. satellietdata. Mocht dit namelijk succesvol zijn, dan is het wellicht mogelijk om op basis van vegetatiekartering (en de veranderingen daarin), uitspraken te doen over vernatting dan wel verdroging van natuurgebieden. De beschikbaarheid van hoge-resolutiesatellietdata voor meerdere jaren binnen het NSD en de open-data van Sentinel-2 is het wellicht technisch mogelijk om met grotere regelmaat (< 12 jaar) een vegetatiekaart te produceren, waardoor natuurgebieden intensiever gemonitord kunnen worden.

Studiegebieden – Haaksbergerveen en Beekvliet

Voor een tweetal pilot gebieden is een vegetatiekartering uitgevoerd met satellietbeelden, namelijk het Haaksbergerveen in Twente en Beekvliet in het noorden van de Achterhoek. Het Haaksbergerveen is een typisch hoogveengebied en Beekvliet een voorbeeld van een gebied met natuurgraslanden, poelen en vennen. Deze gebieden zijn ook in detail in beeld gebracht middels veldinventarisaties in 2013 (Inberg en Loermans, 2014 en Inberg et al. 2014). De classificatie is erop gericht om deze veldinventarisaties zo dicht mogelijk te naderen, oftewel de veldinventarisaties zijn de referentiedataset voor de satellietclassificaties.

De vegetatieclassificatie is gebaseerd op (i) maandelijkse Spot en Sentinel-2 beelden, (ii) afgeleide NDVI vegetatie-indexkaarten van deze Spot en Sentinel-2 beelden en (iii) de objecthoogte (OHN) kaart van Nederland welke afkomstig is uit de LIDAR-puntmetingen uit het AHN-2 bestand. Alle input rasterbestanden zijn zodanig bewerkt dat de resolutie altijd 5x5 m per pixel is.



4 Januari 2015



1 April 2016



12 Juni 2015



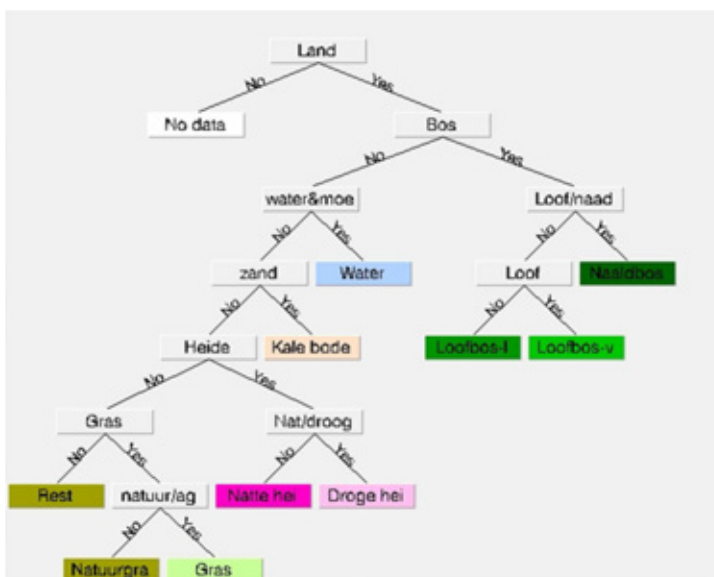
11 September 2015

Figuur 31 Vier SPOT satellietbeelden van de verschillende seizoenen van het Haaksbergerveen.

De maandelijkse beelden voor de classificatie kunnen uit meerdere jaren komen. Hierbij wordt aangenomen dat de vegetatie min of meer hetzelfde blijft over deze jaren. Het huidige SPOT en Sentinel-2 archief van Nederland bestaat uit beelden uit de periode april-2014 tot heden. Alle (gedeeltelijk) onbewolkte beelden uit die periode zijn gebruikt voor het opzetten van het referentiejaar. De reflectiewaarden en de NDVI waarden zijn afgeleid uit de beelden.

Er is besloten om geen *unsupervised*-classificatie uit te voeren, omdat je dan niet precies weet wat je doet en de reproduceerbaarheid niet groot is, maar te werken met beslisbomen. Omdat het Haaksbergerveen en Beekvliet verschillende natuurdoeltypes bevatten, is voor beide gebieden een aparte beslisboom opgezet.

Een voorbeeld van zo'n beslisboom is hieronder te zien (Figuur 32). Het voert te ver om in dit rapport alle stappen uit te leggen, maar om een voorbeeld te noemen: een pixel is bos als de vegetatiehoogte (OHN) > 1 m en de NDVI in de zomer > 0,5. Loofbos is dan te karteren als bos dat in de winter een NDVI < 0,4 heeft en een verschil tussen boomsoorten met vroege versus late bladontplooiing is te maken op basis van de reflectiewaarden van een Spot-beeld begin Mei 2015. Dit laat ook zien dat het cruciaal is dat je minimaal 1x per maand een onbewolkte satellietopname tot je beschikking hebt.

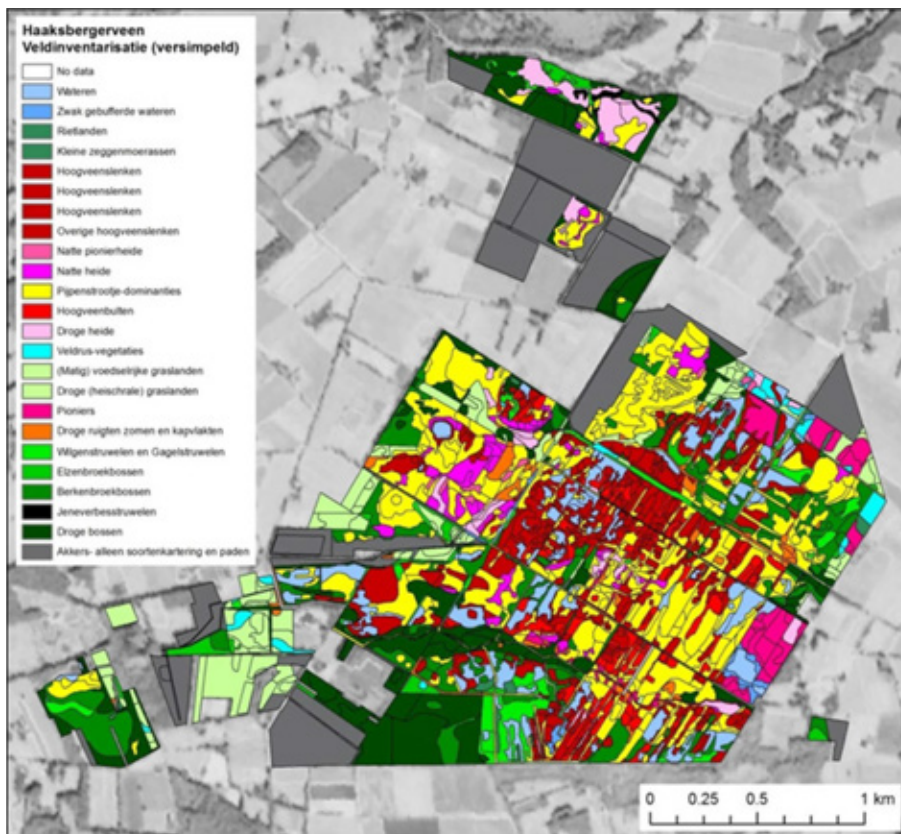


Figuur 32 Beslisboom voor de vegetatie classificatie van Beekvliet.

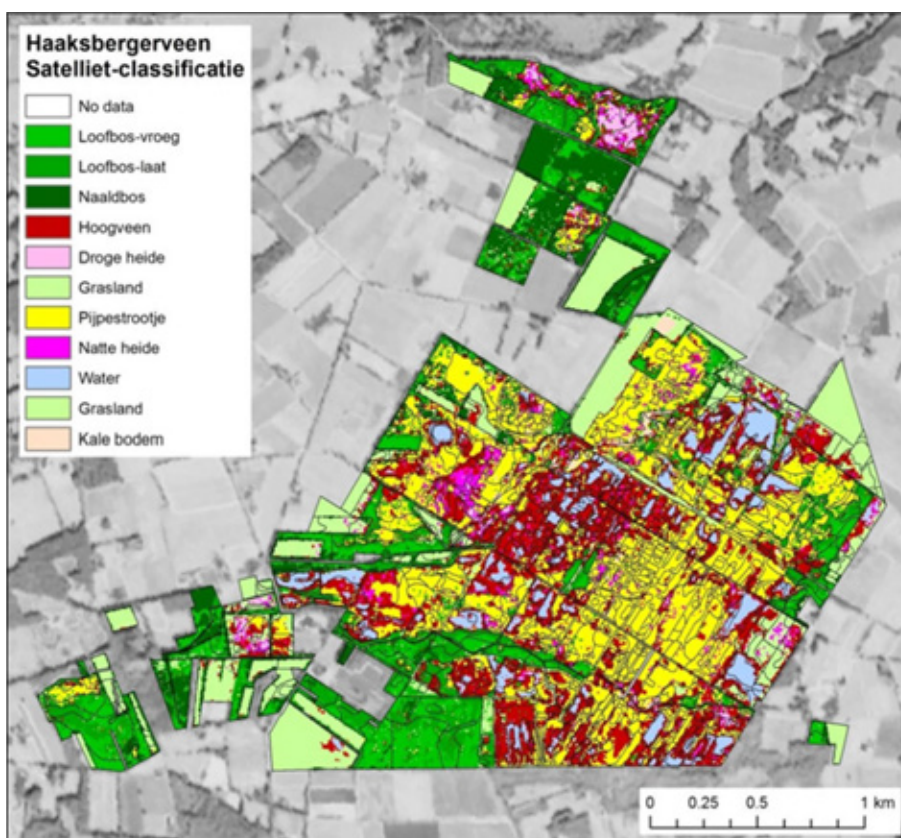
Het resultaat van de vegetatieclassificatie voor het Haaksbergerveen is te zien in Figuur 34, samen met de veldinventarisatiekaart (Figuur 33), en is zodanig vereenvoudigd qua kleur en klustering van vegetatietypes dat beide vegetatiekaarten goed te vergelijken zijn. In grote lijnen geven beide kaarten dezelfde vegetatiepatronen weer: de verschillende soorten hoogveen uit de veldinventarisaties komen op dezelfde plekken terug in de satellietclassificatie, evenals de andere vegetatieklassen. Wat opvalt, is dat pioniersvegetatie in de veldinventarisatie grotendeels wegvalt in de satellietclassificatie. Deze pioniersvegetatie is echter te divers om eenduidig te classificeren, zodat het soms als water wordt gekarteerd en soms als gras of heide.

Een sterk punt van de satellietclassificatie is dat ook de grijze – niet geïnventariseerde – gebieden in de gebiedsinventarisatie wel worden geclassificeerd in de satellietclassificatie. De patronen lijken ook zeer realistisch. Deze beslisboom voor hoogveen classificatie kan dus ook worden toegepast op andere hoogveengebieden zonder grote aanpassingen of verdere veldgegevens.

Een zwak punt is echter wel dat de mate van detail van de veldinventarisaties niet wordt gehaald. Hoogveen kan wel worden gekarteerd, maar het verschil tussen de verschillende hoogveenslenken kan niet worden vastgesteld. Dit dient te geschieden op individueel plantniveau dat niet kan worden herkend met 5m-resolutie.



Figuur 33 Veldinventarisatie met vereenvoudigde legenda van het Haaksbergerveen.



Figuur 34 Satellietbeeldclassificatie van het Haaksbergerveen.

Figuur 35 toont de satellietclassificatie van het Beekvlietgebied van natuurgraslanden samen met de vereenvoudigde veldinventarisatie. Ook hier zien we dat de grote patronen van water, bos, heide en gras grotendeels overeenkomen. Het verschil tussen de verschillende natuurgraslanden, zoals is aangegeven in de veldinventarisaties, is echter niet herkenbaar meer met 5m-resolutiebeelden. Aangezien de grote patronen wel goed karteerbaar zijn, is een dergelijke satellietkartering mogelijk ook erg waardevol als inputbestand voor het opzetten van een veldinventarisatie. Als de grote patronen vooraf bekend zijn, kan er veel gericht het veld in worden gegaan.



Figuur 35 Veldinventarisatie met vereenvoudigde legenda (links- en rechtsboven) en de satellietbeeldclassificatie (links- en rechtsonder) van Beekvliet.

Conclusies – studie 2016

Satellietbeelden hebben een duidelijk toegevoegde waarde op veldinventarisaties van natuurgebieden. Mits er voldoende satellietbeelden beschikbaar zijn met voldoende temporele en ruimtelijke resolutie, is het mogelijk om natuurgebieden relatief snel en eenvoudig te classificeren in grotere vegetatieklassen, zoals open water, zand, heide, natuurlijk grasland, naald- en loofbos, hoogveen en vergraste heide (pijpenstrootje dominantie). Een verdere detaillering is lastig, omdat de veldinventarisatie dan geschiedt op individueel plantniveau en satellietbeelden (met een resolutie van 5 m) deze nog individueel kunnen detecteren.

De satellietclassificaties van het Haaksbergerveen en het Beekvliet-gebied komen in grote lijnen overeen met de veldinventarisaties. Ook enkele niet geïnventariseerde gebieden zijn geclassificeerd met

satellietbeelden en geven dezelfde realistische patronen weer als de rest van de satellietclassificaties. De gebruikte classificatiemethode (beslisbomen) kan dus ook worden toegepast op andere, niet geïnterpreteerde gebieden met dezelfde natuurtypen (hoogveen en natuurgraslanden).

Aangezien de grote patronen wel goed karteerbaar zijn, is een dergelijke satellietkartering mogelijk ook erg waardevol als inputbestand voor het opzetten van een veldinventarisatie. Als de grote patronen vooraf bekend zijn, kan er veel gericht het veld in worden gegaan.

8 Conclusies en Aanbevelingen

De doelstelling van het project was om te komen tot:

- Een uniform en reproduceerbaar landsdekkend en – voor zover mogelijk – breed gedragen nieuw overzicht over verdroging van natuurgebieden en met name van het Natuurnetwerk Nederland in de vorm van een kaart voor heel Nederland;
- Tevens was het de bedoeling om een methode te ontwikkelen voor de toekomst, gebaseerd op een raamwerk waarin bij voorkeur zowel grondwaterstandinformatie als informatie uit vegetatieopnamen in onderlinge samenhang bijdragen aan de beoordeling van de verdrogings situatie van natuur. De intentie is om de informatie te gebruiken bij de toetsing van de verdrogingsbestrijding die wordt uitgevoerd onder regie van de provincies;
- Deze methode moet het bovendien mogelijk maken om de stand van zaken in beeld te brengen en de trend(s) weer te geven;
- Aanvullend was de doelstelling om na te gaan wat de mogelijkheden zijn om met satellietgegevens ruimtelijke patronen in vegetatie en de mate van verdroging vast te stellen.

Aan deze **doelstellingen** is voldaan in die zin dat:

- Er een nieuw uniform, landsdekkend overzicht is gemaakt van de landelijk beschikbare informatie over verdroging en er verschillende mogelijkheden zijn aangedragen om deze te interpreteren. Op basis hiervan zijn kaarten opgeleverd die een beeld geven van de huidige toestand van de verdroging in natuur;
- Hierbij zijn meetreeksen uit peilbuizen gebruikt, vegetatieopnamen geïnterpreteerd en is onderzocht in hoeverre deze gecombineerd kunnen worden;
- Naast de huidige situatie is een vergelijking gemaakt met de situatie in 2004 om veranderingen en trends te kunnen bepalen;
- De verkenning met satellietdata laat zien wat er kan voor het in beeld brengen van patrooninformatie (vegetatie) en dat dit mogelijkheden biedt om trends te gaan bepalen;
- Door uit te gaan van landelijk beschikbare gegevens is een uniforme en reproduceerbare werkwijze ontwikkeld en toegepast, waardoor de resultaten tussen provincies vergelijkbaar zijn. Dit in tegenstelling tot de werkwijze in 2004 waarbij per provincie een verschillende benadering is gekozen;
- De klankbordgroep was unaniem positief over het resultaat.

Het oorspronkelijke werkplan om op een uniforme en reproduceerbare wijze de verdrogings situatie in beeld te brengen, ging uit van het gebruik van verschillende meetinstrumenten:

1) Grondwaterstandmetingen in peilbuizen en 2) De grondwatersituatie afgeleid uit vegetatieopnamen. Voordeel van deze gecombineerde aanpak is dat vegetatieopnamen voor diverse regelingen verzameld dienen te worden en daardoor ruim voorhanden zijn, waardoor het meetnet ten opzichte van het peilbuizen netwerk aanzienlijk verdicht kan worden en ook in de toekomst verder verdicht wordt. Voor het in kaart brengen van de GVG ten behoeve van verdroging was afgesproken om zowel GVG's in peilbuizen als uit vegetatieopnamen te combineren om zodoende het meetnet van waarnemingen te verdichten. Samenvoegen van GVG uit beide bronnen vereist echter dat beide schattingen nauwkeurige en vergelijkbare resultaten opleveren en dat bleek niet het geval (zie Bijlage 1). Met behulp van deze twee gegevensbronnen is daarom voor elke gegevensbron apart een indicatie van de mate van verdroging gemaakt in kaartvorm. De vervaardigde serie kaarten over de verdrogings situatie is daarom afgeleid uit gemeten standen in peilbuizen enerzijds en de hiervoor ontwikkelde 'VerdrogingsIndex' afgeleid uit vegetatieopnamen anderzijds.

8.1 Randvoorwaarden doeltypen

Om te bepalen in hoeverre de vochttoestand op de locatie van een peilbuis of een vegetatieopname toereikend is, is getoetst op basis van de abiotische randvoorwaarden voor de doeltypen (habitattype,

beheertype of ambitietype) op die locatie. Deze randvoorwaarden (GVG, GLG, Droogtestress of Zuurgraad) zijn vastgelegd in Waterlood. Sommige doeltypen zijn vrij breed gedefinieerd, waardoor het bereik voor de randvoorwaarden relatief groot is en minder onderscheidend. Om die reden is een aantal grootschalige beheertypen nader onderverdeeld en gekoppeld aan plantengemeenschappen waardoor het bereik minder breed is en beter vastgesteld kan worden of aan de randvoorwaarden wordt voldaan.

8.2 Peilbuisinformatie

Er waren voor dit onderzoek 2825 peilbuizen beschikbaar met een meetreeks over 3 of meer meteorologische jaren en met minstens 18 metingen per jaar. De ruimtelijke spreiding van deze buizen is echter erg heterogeen met clusters van meerdere buizen op korte afstand en grote gebieden zonder buizen.

In het veenweidegebied, in moeras-, riet- of hoogveengebieden zijn peilgegevens van 279 peilschalen gebruikt, omdat in die gebieden weinig peilbuizen staan en het grondwaterstandverloop in deze gebieden samenhangt met het oppervlaktewaterpeil.

Vanwege het grote aantal peilbuizen was individuele beoordeling van de kwaliteit van de meetreeksen niet mogelijk en ontbrak informatie over de profielopbouw (bijvoorbeeld over storende lagen waarop stagnatie kan optreden).

Door de ongelijkmatige ruimtelijke spreiding van waarnemingen in peilbuizen en -schalen zijn de kaarten vervaardigd op basis van deze informatie niet overal even nauwkeurig. In veen- en moerasgebieden zijn vaak weinig peilbuizen beschikbaar, waardoor de betrouwbaarheid van de kaart in dit soort gebieden minder groot is. In gebieden met schijngrondwaterspiegels op bijvoorbeeld de Veluwe en in Drenthe en in moeras- en hoogveengebieden kan het zijn dat de freatische stand afwijkt van de stijghoogte in het onderliggende watervoerende pakket. Voor de vegetatie is ook stagnatie van wegzakkend (regen)water of door het veenpakket vastgehouden regenwater van belang voor de vochtvoorziening en met peilbuizen wordt dit niet altijd gemeten.

Aanbevelingen

Aanbevolen wordt om het huidige netwerk van peilbuizen te verdichten in de gebieden waar nu geen ondiepe peilbuizen aanwezig zijn en het bestaande meetnet te continueren, zodat structurele monitoring van de grondwaterstand beter mogelijk is. Door een verdichting van het meetnet zouden op basis van peilbuizen ook betere kaarten van de verdrogingssituatie kunnen worden vervaardigd.

De kwaliteit van de berekeningen per peilbuis kan verbeterd worden door een toets op onvolkomenheden in de meetreeks door ingrepen in de waterhuishouding, her- of verplaatsen van de buis en het voorkomen van uitbijters in de meetreeks. Een test voor de provincie Drenthe leverde een afkeuringspercentage van 40% op.

De ruimtelijke voorspelling van de GVG kan worden verbeterd als rekening gehouden kan worden met schijngrondwaterspiegels als gevolg van storende lagen in de bodem. Op landelijke schaal is deze informatie niet altijd in voldoende mate beschikbaar.

8.3 Vegetatieopnamen

Het bleek niet goed mogelijk om GVG-waarden af te leiden uit vegetatieopnamen en deze te koppelen aan de grondwaterstanden in peilbuizen (zie Bijlage 1). Om die reden hebben wij een meer directe manier gezocht om de indicatiewaarden van vegetatieopnamen te vergelijken met de randvoorwaarden voor het doeltypen. Door de mate van overlap te bepalen van de indicatiewaarden passend bij de vegetatieopname met de randvoorwaarden van het doeltypen, is een index bepaald voor de mate van verdroging op basis van de vegetatieopname. Deze noemen wij de 'Verdrogingsindex' en

geeft aan in hoeverre het (sub)optimale bereik van de randvoorwaarden passend bij een vegetatieopname overlapt met bereik van diezelfde randvoorwaarde horend bij het doeltype, afgeleid het habitat- of beheertype. De waarde van de verdrogingsindex varieert tussen 1 en -1, waarbij 1 een sterk verdroogde situatie betreft, zonder overlap tussen het bereik van de indicatiewaarde in de opname en het bereik van de randvoorwaarde voor het doeltype. Bij -1 is er ook geen overlap, maar indiceert de vegetatie juist een veel nattere situatie dan het doeltype vereist. Als de waarde van de index = 0, dan is de overlap volledig en voldoet de vochttoestand kennelijk goed voor het doeltype. Tussenvallende waarden vertegenwoordigen een meer of minder verdroogde (positieve waarden) of vernatte (negatieve waarden) situatie. Deze index is bepaald voor GVG, GLG, droogtestress en pH, voor zover zowel voor het doeltype als de plantengemeenschappen die de opname vertegenwoordigt deze randvoorwaarden bepaald zijn. Omdat de zuurgraad slechts ten dele bepaald wordt door de mate van verdroging, spreken we daarbij van de verzuringsindex.

In een selectie uit de Landelijke Vegetatie Databank bleken 25.091 opnamen geschikt om een verdrogingsindex te bepalen voor een of meer van de hiervoor genoemde randvoorwaarden. De spreiding van deze opnamen over het land is tamelijk heterogeen, met concentraties van opnamen in een aantal natuurterreinen, maar ook gebieden met weinig opnamen.

De VerdrogingsIndex is speciaal voor deze studie ontwikkeld en hier voor het eerst toegepast, de correcte interpretatie en praktische waarde van de kaarten die hiermee zijn gemaakt, is daardoor lastig te beoordelen.

Aanbevelingen

Door meer vegetatieopnamen te maken, met name in gebieden waar nu weinig opnamen liggen, kan de betrouwbaarheid van de ruimtelijke voorspelling van de verdrogingsindex verbeterd worden. Daarbij verdient het aanbeveling om:

- Opnamen te koppelen aan peilbuizen (zie volgende paragraaf);
- Opnamen te herhalen in PQ's om veranderingen beter in beeld te kunnen brengen.

Hoe gaan we nu verder met de verdrogingsindex? De werkwijze op landelijk niveau en binnen de provincies kan beter op elkaar afgestemd worden. Deze bevindingen zouden moeten worden meegenomen bij de discussie die nu wordt gevoerd over te hanteren indicatoren op provinciaal niveau. Het is voor ons onduidelijk hoe provincies hiermee verder willen. Zij baseren zich bij de aanpak van verdroging in een gebied op meer detailinformatie en dat levert natuurlijk deels andere informatie op.

In dit onderzoek is uitgegaan van vegetatieopnamen waarvoor een verdrogingsindex is bepaald die vervolgens ruimtelijk is geïnterpoleerd. Bij vegetatiekarteringen is de verbreiding van vegetatietypen in kaart gebracht. Op gebiedsniveau kan dat een ingang zijn om gebiedsdekkende informatie te krijgen over de mate van verdroging, maar dat hangt sterk af van de gebruikte legenda en in hoeverre deze is te vertalen naar verdrogingsinformatie. Bovendien zijn niet overal vegetatiekarteringen beschikbaar waardoor landsdekkende (binnen NNN) interpolatie niet mogelijk is. Wellicht kan gebruik van satellietdata daarbij behulpzaam zijn (zie 8.5).

8.4 Combinatie peilbuisinformatie en vegetatieopnamen

Deze studie richt zich op het objectief en op uniforme wijze in beeld brengen van de verdroging van natuur waarvoor twee gegevensbronnen worden gebruikt: grondwaterstanden gemeten in peilbuizen en vegetatieopnamen van grondwaterafhankelijke vegetaties. Voor het uitvoeren en monitoren van maatregelen om verdroging tegen te gaan zijn vooral waarnemingen van grondwaterstanden relevant, omdat die direct inzicht verschaffen in het functioneren van het hydrologisch systeem. Grondwaterstandmetingen sluiten ook beter aan op de in- en uitvoer van hydrologische modellen waarmee effecten van maatregelen kunnen worden doorgerekend. Als indicator van de verdrogingsituatie zijn vegetatieopnamen zeer geschikt, omdat die naast grondwaterstand ook andere invloeden op vochtcondities in de wortelzone indiceren, zoals toestroom van (regen)water naar laaggelegen terreindelen en het langzaam wegzakken van dit water in een slecht doorlatend

bodemprofiel. Deze vochtcondities kunnen wel door vegetatie geïndiceerd worden, maar vaak niet met gemeten grondwaterstanden. Daarnaast is het met vegetatieopnamen mogelijk ook andere standplaatscondities die relevant zijn voor grondwaterafhankelijke natuur, zoals de zuurgraad en droogtestress, te beoordelen. Hierdoor bieden vegetatieopnamen voor het indiceren van verschillende oorzaken van verdroging meer mogelijkheden dan peilbuizen waar alleen grondwaterstanden worden gemeten en is ook de waarnemingsdichtheid van vegetatieopnamen aanzienlijk groter. Nadeel van de vegetatie als indicator van de grondwatersituatie is dat een oorzakelijk verband lastiger is vast te stellen en dat door het effect van na-ijling minder direct de effecten van maatregelen of veranderingen zichtbaar zijn. Dat is dus ook een voordeel: we willen structurele veranderingen detecteren.

Aanbevelingen

Om zowel gebruik te kunnen maken van peilbuizen en vegetatieopnamen voor het karakteriseren van de grondwatersituatie dienen de vergelijkbaarheid en nauwkeurigheid van deze beide meetmethoden gekwantificeerd te worden. Uit een verkennende studie in drie proefgebieden lijken vegetatieopnamen een systematisch minder diepe (nattere) GVG te indiceren dan op basis van gemeten grondwaterstanden. Aanbevolen wordt om daarvoor een objectieve en onafhankelijke validatiestudie uit te voeren door vegetatieopnamen te verrichten op (aselect) geselecteerde peilbuislocaties in grondwaterafhankelijke natuur. Door Staatsbosbeheer en de provincie Overijssel is al voor een aantal peilbuislocaties een gecombineerde vegetatiekundige en bodemkundige beschrijving gemaakt waarmee deze relaties onderzocht kunnen worden (Beets et al. 2000 t/m 2005; De Waal & Hommel 2013). Door deze datasets uit te breiden, kan het verband tussen vegetatie en grondwaterdynamiek beter onderbouwd worden. Als daarmee een vergelijkbare grootte voor de grondwaterstandsdiepte in peilbuizen en vegetatieopnamen kan worden afgeleid, kunnen deze beide meetmethoden gecombineerd worden tot een gezamenlijk meetnet. Uit een eerste verkenning (Bijlage 1) blijkt echter dat een GVG-schatting volgens beide methoden aanzienlijk kan verschillen en dat rechtstreeks combineren van beide meetgegevens daarom op dit moment af te raden is.

8.5 Gebruik satellietgegevens

In 2015 is onderzocht of satellietdata gebruikt kunnen worden om veranderingen in de grondwatersituatie in beeld te brengen. Dat bleek niet goed mogelijk te zijn, omdat:

- De maatregelen in de proefgebieden te recent genomen waren waardoor waargenomen veranderingen vooral toe te schrijven zijn aan de maatregelen zelf (bijvoorbeeld boskap) en niet aan de daarmee beoogde verandering in grondwatersituatie.
- De hypothese dat verdroging/vernatting leidt tot een lagere/hogere NDVI (biomassa) niet helemaal opgaat voor natuurlijke heidevegetatie.

Vervolgens is in 2016 onderzocht of de satellietdata gebruikt kunnen worden om de verbreiding van vegetatietypen in kaart te brengen. Omdat vegetatietypen indicatief kunnen zijn voor de grondwatersituatie, zou dat een indirecte manier kunnen zijn om eventuele veranderingen in beeld te brengen.

- Satellietgegevens kunnen gebruikt worden om de verbreiding van vegetatietypen in beeld te brengen, maar het onderscheidend vermogen is minder groot dan bij veldinventarisaties op basis van de planten-sociologische samenstelling van de vegetatie.
- De beslisseregels die gebruikt worden om de verbreiding van plantengemeenschappen in een gekarteerd gebied in beeld te brengen, kunnen ook gebruikt worden om de verbreiding buiten het gekarteerde gebied te voorspellen.
- Bij toekomstige veldkarteringen kan de methode gebruikt worden om de patronen in beeld te brengen als basis voor de veldinventarisatie.

Aanbevelingen

Met name voor het in beeld brengen van vegetatiepatronen lijken satellietgegevens toepassingsmogelijkheden te hebben. Om hier meer zicht op te krijgen, kunnen de volgende aanbevelingen gedaan worden:

- Het zou interessant zijn om de werkwijze met satellietdata te valideren voor vergelijkbare gebieden. Dus dan zou je de werkwijze toepassen en dan kijken hoe goed de voorspelde vegetaties overeenkomen met de vegetatieopnamen (validatie).
- Ook interessant om te doen is dan een directe vergelijking maken met puntwaarnemingen en daarop te kalibreren.
- Per pixel de informatie van de omliggende pixels gebruiken of andere hulpinformatie benutten (digital mapping-methoden)?
- Elk jaar herhalen: krijg je dan andere beelden, meer informatie of zicht op veranderingen?
- Combineren met de verdrogingsindexkaarten? Misschien is het denkbaar om de kaarten op basis van peilbuizen en vegetatieopnamen te vergelijken met de verkenningen op basis van satellietdata.

8.6 Monitoring

De gehanteerde werkwijze is uniform en reproduceerbaar, in tegenstelling tot de werkwijze in 2004, waarbij per provincie een verschillende benadering is gekozen. Hierdoor is herhaling van dezelfde werkwijze mogelijk om veranderingen in beeld te brengen. De landelijke schaal, met een uniforme werkwijze voor alle gebieden, maakt de resultaten vergelijkbaar tussen gebieden, maar houdt geen rekening met gebiedsspecifieke kenmerken en maatregelen waardoor de toepassing op gebiedsniveau minder goed mogelijk is. Bij studies op gebiedsniveau kan veel dieper ingegaan worden op de lokale situatie en de ecohydrologische relaties. Dat is bij de landelijke benadering niet mogelijk.

Of er sprake is van veranderingen in de grondwatersituatie tussen de periode voor 2005 en vanaf 2005 is in deze studie vastgesteld op basis van herhaalde waarnemingen op dezelfde plek in beide perioden. Daarbij is gebruikgemaakt van 103 peilbuizen die gedurende de beide meetperioden over een voldoende lange periode zijn gemeten. Daarnaast zijn herhaalde vegetatieopnamen in zogenaamde 'Permanente Quadranten' of PQ's in de betreffende perioden gebruikt. Uit de peilbuizen blijkt dat er sinds 2005 een zeer kleine, maar significante vernatting is opgetreden, terwijl de vegetatieopnamen niet op een significante verandering wijzen. Bij vergelijking van de vegetatieopnamen in twee perioden bleek dat er in het grootste deel van de PQ's geen verandering van de verdrogingsindex heeft plaatsgevonden. In een beperkt deel zijn kleine verschuivingen vast te stellen die echter zowel op een drogere als een nattere situatie wijzen. De vergelijking van de grondwatermeetreeksen en vegetatieopnamen in PQ's van voor 2004 laat echter ook zien dat structurele veranderingen langzaam gaan en niet altijd significant zijn vast te stellen door hun grote ruimtelijke variatie.

Aanbevelingen

Voor het monitoren van de grondwatersituatie is de continuïteit van het huidige peilbuizennetwerk een harde randvoorwaarde. Aanbevolen wordt om het huidige netwerk van peilbuizen te verdichten in de gebieden waar nu geen ondiepe peilbuizen aanwezig zijn en het bestaande meetnet te continueren, zodat het structurele monitoring van de grondwaterstand over decennia beter mogelijk is.

Daarnaast wordt aanbevolen om, gekoppeld aan dit peilbuizennetwerk, een netwerk van PQ's in te stellen, zodat ontwikkelingen in de vegetatie gekoppeld kunnen worden aan veranderingen in de grondwatersituatie.

8.7 Draagvlak

Een belangrijk doel van dit onderzoek was om een – voor zover mogelijk – breed gedragen overzicht van de informatie over verdroging te krijgen. De landelijke benadering leidt er onherroepelijk toe dat de resultaten niet altijd aansluiten bij de behoeften die op regionale of lokale schaal leven. De (tussen)resultaten zijn regelmatig besproken in de klankbordgroep. Door presentaties voor BIJ12 en een consultatieronde bij de provincies heeft PBL concrete stappen ondernomen om de reacties van de provincies te verzamelen en het draagvlak te vergroten. Voor zover het mogelijk was deze opmerkingen te vertalen in de landelijke aanpak zijn deze gebruikt om de kaarten te verbeteren.

Vershillende versies van de kaarten van de verwachte GVG afgeleid uit peilbuisgegevens zijn in de klankbordgroep besproken en als plausibel beoordeeld. De klankbordgroep beoordeelt de GVG-kaarten voor natuurterreinen beter dan landsdekkende GVG-kaarten die eerder beschikbaar waren. Vooral de grotere ruimtelijke differentiatie en het nattere beeld ten opzichte van eerdere kaarten werd positief beoordeeld, hoewel er ook kritische vragen over de betrouwbaarheid in specifieke gebieden gesteld zijn. De betrouwbaarheid voor gebieden met schijngrondwaterspiegels op bijvoorbeeld de Veluwe en in Drenthe en die in moeras- en hoogveengebieden werd in twijfel getrokken. Voor schijngrondwaterspiegels en hoogveengebieden is de grondwaterstand bijzonder lastig te meten, omdat vaak onduidelijk is of het om (tijdelijke) stagnatie van wegzakkend water gaat of om een stabiele grondwaterstand. Op de flanken van stuwwallen kunnen kleischotten tot sprongen in de grondwaterstand leiden die met de huidige interpolatiemethode niet goed zullen worden meegenomen. In hoogveengebieden kan het veen een hoge verticale hydraulische weerstand hebben, waardoor de freatische stand afwijkt van de stijghoogte in het onderliggende watervoerende pakket. Voor de vegetatie is ook stagnatie van wegzakkend (regen)water of door het veenpakket vastgehouden regenwater van belang voor de vochtvoorziening, en met peilbuizen wordt dit niet altijd gemeten. In moerasgebieden zijn vaak weinig peilbuizen beschikbaar, waardoor de betrouwbaarheid van de GVG-kaart in dit soort gebieden minder groot is.

Vershillende versies van de kaarten van de VerdrogingsIndex voor GVG zijn in de klankbordgroep en met de provincies besproken en werden over het algemeen als te rooskleurig beoordeeld. Het areaal waar vegetatie verdroging indiceert, is kleiner dan verwacht, terwijl het areaal waar een natte situatie wordt aangegeven juist groter is dan verwacht. De ruimtelijke patronen stemmen meestal overeen met de GVG-kaart, hoewel er minder ruimtelijke differentiatie zichtbaar is en worden als plausibel beoordeeld. In moeras- en (hoog)veengebieden levert de kaart van de verdrogingsindex door relatief veel vegetatieopnamen, ten opzichte van een gering aantal minder betrouwbare GVG-schattingen in peilbuizen, waarschijnlijk een betrouwbaarder beeld van de verdrogings situatie dan op basis van de GVG-kaart. De VerdrogingsIndex is speciaal voor deze studie ontwikkeld en in deze studie voor het eerst toegepast; de correcte interpretatie en praktische waarde van de kaarten die hiermee zijn gemaakt is daardoor lastig te beoordelen.

Aanbevelingen

BIJ12 en de provincies lijken vooral bezorgd dat de informatie niet aansluit bij hun investeringen in het oplossen van verdroging en de door hen gestelde prioriteiten. Tegelijkertijd: Rijk en provincies hebben gezamenlijke verantwoordelijkheid voor de monitoringgegevens waaronder de standplaatsfactoren. Voorgesteld wordt om met de provincies in overleg te gaan en na te gaan op welke punten afwijkingen geconstateerd worden. Nagegaan kan worden of deze punten voor verbetering vatbaar zijn.

Door de landelijke aanpak wordt waardevolle detailinformatie niet gebruikt. Voor de toekomst kan het interessant zijn om na te gaan of er mogelijkheden zijn dit alsnog te doen.

De verdrogingsindex is speciaal voor dit onderzoek ontwikkeld en is buiten dit rapport nog niet gepubliceerd. Deze methode biedt wel de mogelijkheid een directe vergelijking te maken tussen de indicatiewaarden van de vegetatie en de randvoorwaarden van het doeltype, zonder de (onzekere) tussenstap van het voorspellen van de GVG (of andere randvoorwaarde) uit de vegetatie. Aanbevolen wordt hierover met partijen in overleg te gaan en de methode verder te onderbouwen/uit te werken om als verdrogingsmaat te kunnen gebruiken.

Literatuur

- Beets, C. P., P. W. F. M. Hommel & R. W. de Waal, 2000 t/m 2005. Selectie van referentiepunten t.b.v. het Staatsbosbeheer-project terreincondities; Fase 1 t/m 6: resultaten inventarisatie 1999 t/m 2004 (6 delen). Wageningen, Driebergen, Alterra, Staatsbosbeheer.
- Breiman, L., 2001. Random Forests, *Machine Learning* 45(1), 5-32.
- Cate, J. A. M. t., A. F. van Holst, H. Kleijer & J. Stolp, 1995. Handleiding bodemgeografisch onderzoek; Richtlijnen en voorschriften; Deel B: Grondwater. Wageningen, SC-DLO. Technisch document 19B.
- Delft, B. v., R. d. Waal, R. Kemmers, P. Mekking & J. Sevink, 2006. Field guide Humus Forms; Description and classification of humus forms for ecological applications. Wageningen, Alterra.
- Delft, S. P. J. v., G. J. Maas & R. W. d. Waal, 2015. 'De Landschapsleutel OnLine.' 2015, <http://landschapsleutel.wur.nl/>. Wageningen, Alterra - Wageningen UR.
- Gaast, J.W.J. van der, H.Th.L. Massop, H. R. J. Vroon & I. G. Staritsky, 2006a. Hydrologie op basis van karteerbare kenmerken. Alterra-rapport 1339, ISSN 1566-7197. Alterra, Wageningen.
- Goovaerts, P., 1997. *Geostatistics for Natural Resources Evaluation*. Oxford University Press, New York.
- Hazeu, G. W., C. Schuiling, G. J. Dorland, G. J. Roerink, H. S. D. Naef & R. A. Smidt, 2014. Landelijk Grondgebruiksbestand Nederland versie 7 (LGN7); Vervaardiging, nauwkeurigheid en gebruik. Wageningen, Alterra Wageningen UR. Alterra-rapport 2548.
- Hennekens, S. M. & J. H. J. Schaminée, 2001. 'TURBOVEG, a comprehensive data base management system for vegetation data.' *Journal of Vegetation Science* 12: 589-591.
- Hoek, D.J. van der et al., 2017. Potentiële bijdrage van provinciaal natuurbeleid aan Europese biodiversiteitsdoelen. Achtergrondrapport lerende evaluatie van het Natuurpact, Den Haag: PBL.
- Holtland, W.J., C.J.F. ter Braak & M.G.C. Schouten, 2010. Iteratio: calculating environmental indicator values for species and relevés. *Applied Vegetation Science* 2010.
- Hoogland, T. & Runhaar, J., 2006. Neerschaling van de freatische grondwaterstand uit modelresultaten en de Gt-kaart; methodiek en eerste resultaten. Wageningen : WOT Natuur & Milieu, 2006 WOt-rapport 26.
- Hoogland, T., G.B.M. Heuvelink en M. Knotters, 2008. De seizoensfluctuatie van de grondwaterstand in natuurgebieden vanaf 1985 in kaart gebracht. Wageningen, WOT-rapport 89.
- Inberg, H., J. Loermans, 2014. Vegetatie- en plantensoortenkartering Beekvliet 2013. Bureau Waardenburg, rapport nr. 14-009.
- Inberg, H., R. van de Haterd, L. Leusink, P. Boddeke, 2014. Vegetatie- en plantensoortenkartering Beekvliet 2013. Bureau Waardenburg, rapport nr. 13-277.
- Jansen, P. C. & J. R. Runhaar, 2001. Droogtestress als functie van grondwaterstand en bodemtype. Wageningen, Alterra. Alterra-rapport 367.
- Kemmers, R. H., S. P. J. v. Delft, M. C. v. Riel, P. W. F. M. Hommel, A. J. M. Jansen, B. Klaver, R. Loeb, J. Runhaar & H. Smeenge, 2011. Landschapsleutel; Leidraad voor natuurontwikkeling. Wageningen, Alterra, onderdeel van Wageningen UR. Alterra-rapport 2140.
- Knotters, M., M.F.P. Bierkens, 1999. Hoe lang moet je de grondwaterstand meten om iets over de dynamiek te weten? *Stromingen: vakblad voor hydrologen* 5 (1999)4.
- Knotters, M. en T. Hoogland, 2015. Validatiemetnet voor grondwaterstands-informatie over verdroging; Fase 1: probleemverkenning en inventarisatie. Wageningen, Alterra, onderdeel van Wageningen UR. Alterra-rapport 2660.
- Kremers, A.H.M. en F.C. van Geer, 1998. Monitoring Actuele Grondwaterstanden 1998. Het grondwaterstandsverloop afgezet tegen de historische grondwaterkarakteristiek voor een aantal meetlocaties in Nederland en in 'verdrogingsgebieden'. NITG-TNO 99-103-B, Delft.
- Kremers, A.H.M. en F.C. van Geer, 2000. Trendontwikkeling Grondwater 2000 (analyseperiode 1955-2000). NITG-TNO 00-184-B, NITG-TNO Delft.
- Maas, G. J., S. P. J. v. Delft & B. Makaske, in voorbereiding. De Landschappelijke Bodemkaart van Nederland. Wageningen, Alterra, onderdeel van Wageningen UR. Alterra-rapport.

-
- Pouwels, R., P. Giesen, D.C.J. van der Hoek, H. Meeuwssen, G.W.W. Wamelink, B. de Knecht & A. van Hinsberg, in voorbereiding. Toepassing MNP voor Evaluatie Natuurpact. Beschrijving realisatie van invoerbestanden voor huidige en toekomstige situatie. WOT-interne notitie, Wageningen: Wageningen University & Research centre.
- Roerink, G.J., C.A. Mucher, 2013. Nationaal Satelliet Dataportaal, ontsluiting en toepassingen. Wageningen, Alterra, Edepot 265226.
- Rolf, H.L.M., 1989. Verlaging van de grondwaterstanden in Nederland; Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Lelystad.
- Runhaar, H. & S. Hennekens, 2014. 'Hydrologische Randvoorwaarden Natuur' Versie 3; Gebruikershandleiding. Wageningen, Nieuwegein, Utrecht, Alterra Wageningen UR, KWR Watercycle Research Institute, STOWA.
- PBL en WUR, 2017. Lerende evaluatie van het Natuurpact. Naar nieuwe verbindingen tussen natuur, beleid en samenleving, Den Haag: PBL.
- Schaminée, J. H. J., A. H. F. Stortelder & V. Westhof, 1995. De Vegetatie van Nederland; Deel 1. Inleiding tot de plantensociologie - grondslagen, methoden en toepassingen. Uppsala/Leiden, Opuluspress.
- Schaminée, J. H. J., A. H. F. Stortelder & V. Westhof, 1995. De Vegetatie van Nederland; Deel 2. Plantengemeenschappen van wateren, moerassen en natte heiden. Uppsala/Leiden, Opuluspress.
- Schaminée, J. H. J., A. H. F. Stortelder & E. J. Weeda, 1996. De Vegetatie van Nederland; Deel 3. Plantengemeenschappen van graslanden, zomen en droge heiden. Uppsala/Leiden, Opuluspress.
- Schaminée, J. H. J., E. J. Weeda & V. Westhof, 1998. De Vegetatie van Nederland; Deel 4. Plantengemeenschappen van de kust en van binnenlandse pioniermilieu's. Uppsala/Leiden, Opuluspress.
- Stortelder, A. H. F., J. H. J. Schaminée & P. W. F. M. Hommel, 1999. De Vegetatie van Nederland; Deel 5. Plantengemeenschappen van ruigten, struwelen en bossen. Uppsala/Leiden, Opuluspress.
- Sluijs, P. van der, 1990. Hoofdstuk 11: Grondwatertrappen. In: Locher, W.P. en H. de Bakker (red.) Bodemkunde van Nederland deel 1: Algemene bodemkunde. Malmberg, Den Bosch.
- Waal, R. W. d. & P. W. F. M. Hommel, 2013. Provinciaal meetnet verdroging Overijssel; Beschrijving en beoordeling van 56 meetpunten. Wageningen, WUR-Alterra. Alterra-rapport 2457.
- Wösten, J.H.M., F. de Vries, J. Denneboom, 1988. Generalisatie en bodemfysische vertaling van de bodemkaart van Nederland, 1 : 250.000, ten behoeve van de PAWN – studie. Rapport Stichting voor Bodemkartering no. 2055

Bijlage 1 De vergelijkbaarheid van de grondwatersituatie afgeleid uit vegetatieopnamen en metingen van grondwaterstanden

T. Hoogland

Doelstelling voor de korte termijn is voor terrestrische natuur op basis van bestaande gegevensbronnen op een uniforme, objectieve en reproduceerbare wijze aan te geven hoe het met de verdrogingssituatie gesteld is. Het bestaande werkplan gaat uit van het gebruik van verschillende meetinstrumenten om de verdrogingssituatie in beeld te brengen: 1) Grondwaterstandmetingen in peilbuizen en 2) Een indicatie van de grondwatersituatie uit vegetatieopnamen. Voordeel van deze gecombineerde aanpak is dat vegetatieopnamen voor diverse regelingen verzameld dienen te worden en daardoor ruim voorhanden zijn waardoor het meetnet ten opzichte van het peilbuizenennetwerk aanzienlijk verdicht kan worden en ook in de toekomst verder verdicht wordt. Voor het in kaart brengen van de GVG ten behoeve van verdroging is afgesproken om zowel GVG's in peilbuizen als uit vegetatieopnamen te combineren om zodoende het meetnet van waarnemingen te verdichten. Samenvoegen van GVG uit beide bronnen vereist echter dat beide schattingen nauwkeurige en vergelijkbare resultaten opleveren. Om dit te onderzoeken, is een beperkte vergelijking van een aantal methoden afgesproken waarmee vegetatieopnamen in GVG-schattingen kunnen worden omgezet. Het eerste deel van deze notitie beschrijft deze vergelijking en de consequenties die daaraan zijn verbonden voor het gecombineerd gebruik van peilbuizen en vegetatieopnamen voor het in beeld brengen van de verdrogingssituatie. Het tweede deel van deze notitie is een voorstel voor herziening van de werkwijze om beschikbare vegetatieopnamen te gebruiken voor het in beeld brengen van de verdrogingssituatie.

Vergelijking GVG-schattingen uit vegetatieopnamen met verschillende methoden

In drie testgebieden is een vergelijking tussen de volgende vijf methoden om de GVG uit vegetatieopnamen te schatten gemaakt:

- Ellenberg volgens twee transformaties (middels SynBioSys, Stephan Hennekens Alterra)
- ESTAR (Flip Witte, Kiwa Water Research)
- Iteratio (Jan Holtland, Staatsbosbeheer)
- Abiotic Indicatorvalues (AI, Wieger Wamelink, Alterra)

Vanwege de beschikbaarheid van Iteratio-berekening en een verdeling over landsdelen en landschapstypen is een keuze gemaakt voor drie proefgebieden: het Texel's duingebied, De Strabrechtse Heide en het gebied rond de Drentsche Aa. In totaal zijn hiervoor door Staatsbosbeheer 1125 vegetatieopnamen beschikbaar gesteld die met EC, Estar, Iteratio, AI zijn vertaald tot GVG schattingen. Met de EC-methode gebaseerd op Ellenberg indicator waarden is op twee manieren de GVG geschat via een lineaire- en een sigmoïde transformatie van de vochtindicator. Doel van deze vergelijking is om gevoel te krijgen voor de onderlinge verschillen tussen de vijf methoden en een indicatie over de vergelijkbaarheid van GVG schattingen uit gemeten grondwaterstanden en vegetatieopnamen. Knelpunt hierbij is dat GVG's uit grondwaterstandmetingen nabij vegetatieopnamen in de drie proefgebieden zeer beperkt beschikbaar zijn, waardoor een objectieve beoordeling van nauwkeurigheid of systematische verschillen nauwelijks mogelijk is. Een statistische beschrijving van de resultaten staat in Tabel 1.

Tabel 1 Beschrijving van de voorspelde GVG's voor alle 1125 opnamen.

	GVGlin	GVGsig	GVGEst	GVGAI	GVGIte
Min	-194.2	-131.0	-6.0	-39.7	-88.9
Mean	29.5	15.1	19.2	28.1	26.6
Max	240.5	195.0	50.0	89.9	100.0
Sd	81.7	41.1	15.5	27.8	29.3
Missing	2	200	337	3	0

Omdat de schattingen van Estar en met de sigmoïde transformatie van EC nogal wat ontbrekende waarden kennen vooral voor natte en droge GVG's is een directe vergelijking van spreiding en gemiddelde niet zinvol. Duidelijk is wel dat Estar bewust geen GVG voorspellingen droger dan 50 cm of natter dan 6 cm boven MV leveren, omdat de betrouwbaarheid hiervan gering geacht wordt of omdat in een opname onvoldoende grondwaterafhankelijke soorten aanwezig zijn voor een betrouwbare voorspelling.

Als we een statistische beschrijving geven voor alleen die vegetatieopnamen waar alle modellen een GVG voorspelling leveren, zijn gemiddelden en spreiding beter vergelijkbaar (zie Tabel 2).

Tabel 2 Beschrijving van de voorspelde GVG's voor 757 opnamen met een GVG-voorspelling volgens alle 5 methoden.

	GVGlin	GVGsig	GVGEst	GVGAI	GVGIte
Min.	-107.3	-79.1	-6.0	-35.6	-78.3
Mean	6.4	11.3	20.0	21.5	18.3
Max.	117.4	126.1	50.0	78.7	100.0
Sd	48.0	29.6	15.3	21.6	20.4

Uit de vergelijking in Tabel 2 blijkt dat beide transformatie van Ellenbergindicator waarden gemiddeld natter GVG's opleveren dan de overige methoden en ook een groter variatie aan GVG's laten zien. De variatie van geschatte GVG's met Estar is duidelijk geringer maar de gemiddelde GVG is wel vergelijkbaar met AI en Iteratio.

Behalve de verschillen in grootte en variatie van GVG's is het voor de vergelijkbaarheid van methoden belangrijk om vast te stellen of ze dezelfde variatie vertonen. Of de verschillende methoden voor dezelfde vegetatieopnamen hoge of juist lage GVG's voorspellen, kunnen we afleiden met de Pearsons correlatie coëfficiënt, naarmate voorspellingen vergelijkbaarder zijn in hun variatie komt de correlatie dichter bij 1 (zie Tabel 3).

Tabel 3 Paarsgewijze correlatie tussen de voorspelde GVG's voor alle opnamen.

	GVGlin	GVGsig	GVGEst	GVGAI	GVGIte
GVGlin	1.00	0.99	0.79	0.77	0.34
GVGsig	0.99	1.00	0.76	0.76	0.33
GVGEst	0.79	0.76	1.00	0.73	0.31
GVGAI	0.77	0.76	0.73	1.00	0.27
GVGIte	0.34	0.33	0.31	0.27	1.00

Uit de onderlinge correlaties tussen geschatte GVG's blijkt dat alleen Iteratio afwijkt wat betreft de variatie in voorspellingen. De overige methoden vertonen een redelijk vergelijkbare variatie van voorspellingen, waar het volgens de ene methode droger is, is dat voor de andere vaak ook zo. Als we ervan uitgaan dat de afhankelijk van vegetatie vooral binnen het natte GVG-bereik relevant is en de vergelijking voor alle methoden beperken tot alleen de voorspelde GVG-waarden tussen -6 en 50, blijft van de onderlinge correlatie nauwelijks iets over. De onderlinge vergelijking levert een puntenwolk waarin nauwelijks nog verband te ontdekken is.

Welke van de methoden GVG-voorspellingen levert die het best vergelijkbaar zijn met GVG's op basis van gemeten grondwaterstanden is echter niet objectief vast te stellen, omdat meetlocaties bij vegetatieopnamen nauwelijks beschikbaar zijn. Als de vegetatieopnamen worden vergeleken met GVG's in peilbuizen binnen een straal van 100 m resteren 107 opnamen. Gezien de grote ruimtelijke variatie in topografie, hydrologie en vegetatie is een vergelijking met deze onderlinge afstand niet meer betekenisvol. Als een vergelijking wordt gemaakt voor alleen die opnamen die binnen 50 m van een peilbuis liggen en in het Texels duingebied binnen 25 m van een peilbuis, resteren 15 opnamen. Zelfs deze onderlinge afstand is al groot gezien de ruimtelijke variatie binnen natuurterreinen. Bovendien zijn 15 opnamen een te klein aantal voor een nauwkeurige vergelijking. Als we de gemiddelden en spreiding van de GVG-schattingen uit deze 15 vegetatieopnamen vergelijken, valt op dat de peilbuizen systematisch drogere GVG aangeven met een meestal grotere spreiding (zie Tabel 4).

Tabel 4 Beschrijving van de voorspelde GVG's en gemeten GVG nabij 15 opnamen en hun onderlinge correlatie.

	GVGlin	GVGsig	GVGEst	GVGAI	GVGIte	GVG Peilbuis
Mean	-14.6	-1.4	17.2	13.3	17.3	29.5
Sd	59.1	38.0	17.7	32.6	24.2	48.1
Missing	0	0	3	0	0	0
Correlatie	0.41	0.36	0.60	0.30	0.58	1.00

Correlaties tussen de GVG-schattingen uit deze 15 vegetatieopnamen en die uit de dichtstbijzijnde peilbuizen laten ook een beperkte vergelijkbaarheid van de variatie zien. Estar en Iteratio zijn zowel wat betreft correlatie als systematische verschillen het meest vergelijkbaar, maar laten wel een beperkter spreiding van GVG-waarden zien. Uit deze beperkte vergelijking op basis van 15 vegetatieopnamen lijken GVG-schattingen uit vegetatieopnamen slecht vergelijkbaar met die uit peilbuizen. Voor een goede vergelijking zijn deze 15 opnamelocaties te weinig en liggen ze soms ook te ver van de peilbuis waarmee wordt vergeleken.

Er zijn een aantal gedetailleerde kaarten en modelvoorspelling van de GVG beschikbaar die gebaseerd zijn op grondwaterstanden, zoals het neergeschaalde NHI dat door Remko van Ek ter beschikking is gesteld, de GVG volgens karteerbare kenmerken (v/d Gaast) en de GVG voorspellingen in natuurgebieden voor 2005 (Hoogland et al., 2008). Hoewel dit allemaal modellen zijn met hun eigen onzekerheden en aannamen, is het voor de vergelijkbaarheid van GVG-voorspellingen gebaseerd op grondwaterstanden toch zinvol deze vergelijking te maken. Omdat niet voor alle vegetatieopnamen ook een voorspelling uit kaart of model beschikbaar is, vergelijken we met paarsgewijze correlatie de mate van onderlinge samenhang in variatie (zie Tabel 5).

Tabel 5 Paarsgewijze correlatie tussen de voorspelde GVG's, GVG-kaarten en het neergeschaalde NHI.

	Prgvg2005_grd	Gvg_nhi	Gvgkk_grd
Gvglin	0.61	0.48	0.60
Gvgsig	0.30	0.21	0.31
Gvggest	0.02	0.11	0.11
GvgAI	0.46	0.21	0.45
Gvgite	0.55	0.47	0.55

Hieruit blijkt dat de mate van variatie tussen vegetatieopnamen en kaarten slechts beperkt overeenkomen. Voor de overeenkomst met het NHI wordt dit deels veroorzaakt door ontbrekende voorspellingen op Texel. GVG-schattingen uit vegetatieopnamen met de lineaire transformatie van Ellenberg indicatoren en van Iteratio vertonen de meeste overeenkomst in variatie met GVG-kaarten. Estar vertoont de geringste overeenkomst met de kaarten, maar dit kan deels verklaard worden door ontbrekende GVG-schattingen op droge en hele natte locaties.

Ter illustratie zijn in Figuur 1 voor de drie proefgebieden de verschillende methoden om GVG uit vegetatie te schatten uitgezet tegen de GVG's in 2005 uit de kaart voor natuurgebieden (Hoogland et al. 2008). Op de verticale as staan de verschillende methoden waarmee een GVG (cm -MV) is geschat en op de horizontale as staat de GVG voorspelling volgens de kaart.



Figuur 1 GVG schattingen uit vegetatie in drie proefgebieden uitgezet tegen de GVG op kaart.

De 1:1 lijn in de figuren geeft aan waar GVG-schattingen volgens de kaart en uit vegetatieopnamen gelijk zijn. De grootte van GVG's uit de kaart, afgeleid van grondwaterstanden, is systematisch hoger (droger) dan die op basis van vegetatieopnamen volgens alle methoden; de meeste punten liggen onder de lijn. De vergelijkbaarheid tussen GVG's uit vegetatieopnamen en afgeleid uit grondwaterstanden is, zoals ook uit de paarsgewijze correlaties blijkt, gering. Het voorstel om beide GVG-schattingen in een gecombineerde aanpak samen te nemen is daarom af te raden. De vegetatieopnamen lijken immers systematisch natter en omdat een objectieve vergelijking met peilbuizen de mogelijkheid van een correctie hiervoor beperken kunnen geen gelijksoortige GVG-schattingen worden gecombineerd. De voorgaande getalsmatige vergelijking bepalen wel de bruikbaarheid voor dit project, maar leveren geen inhoudelijke redenen voor deze bevindingen. Hierna een aantal overwegingen waardoor verschillen tussen de methoden onderling en GVG uit metingen kunnen optreden: 1) De verschillende methoden voorspellen een GVG, terwijl voor de plantensoorten in de opname vooral fysiologische factoren bepalend zijn voor het voorkomen en de vitaliteit: beschikbaarheid vocht en lucht, zuurgraad en aanwezigheid van nutriënten en toxische stoffen als gevolg van biochemische processen in de bodem die gestuurd worden door de vochttoestand, bepaald door een combinatie grondwaterstanden bodemfysische en bodemchemische eigenschappen. 2) De modellen maken gebruik van indicatiewaarden van de plantensoorten die in de opname zijn aangetroffen. Deze waarden (voor GVG) per plantensoort kunnen verschillen tussen de modellen en de uiteindelijke waarde die berekend wordt voor een opname is afhankelijk van de (gewogen) middeling van de GVG per plantensoort, zelfs al wordt uitgegaan van gelijke indicatiewaarden. Met name de weegfactoren op basis van relatieve aantallen en bedekkingen binnen het proefvlak kunnen sterk verschillen waardoor de indicatiewaarden van individuele plantensoorten een grotere of kleinere invloed hebben op het resultaat.

Bijlage 2 Analyse grondwaterstandreeksen Drenthe

M.H. Knotters

Om een indruk te krijgen van de hoeveelheid grondwaterstandmetingen en de kwaliteit ervan in gebieden met grondwaterafhankelijke natuur zijn alle 316 grondwaterstandsreeksen geanalyseerd die voor deze gebieden in de provincie Drenthe beschikbaar zijn. De reeksen zijn visueel geïnspecteerd op trends en uitschieters. Bij de analyses is gebruikgemaakt van het softwarepakket Menyanthes. Tabel 1 geeft de resultaten.

Tabel 1 Resultaten visuele inspectie 316 grondwaterstandsreeksen in Drentse gebieden met grondwaterafhankelijke natuur.

Omschrijving	Aantal reeksen	Percentage
Dalende geleidelijke trend	47	15
Dalende staptrend	17	5
Stijgende geleidelijke trend	17	5
Stijgende staptrend	36	11
Geen vermoeden van trend, wel van uitbijters	24	8
Geen vermoeden van trend, geen uitbijters	175	54

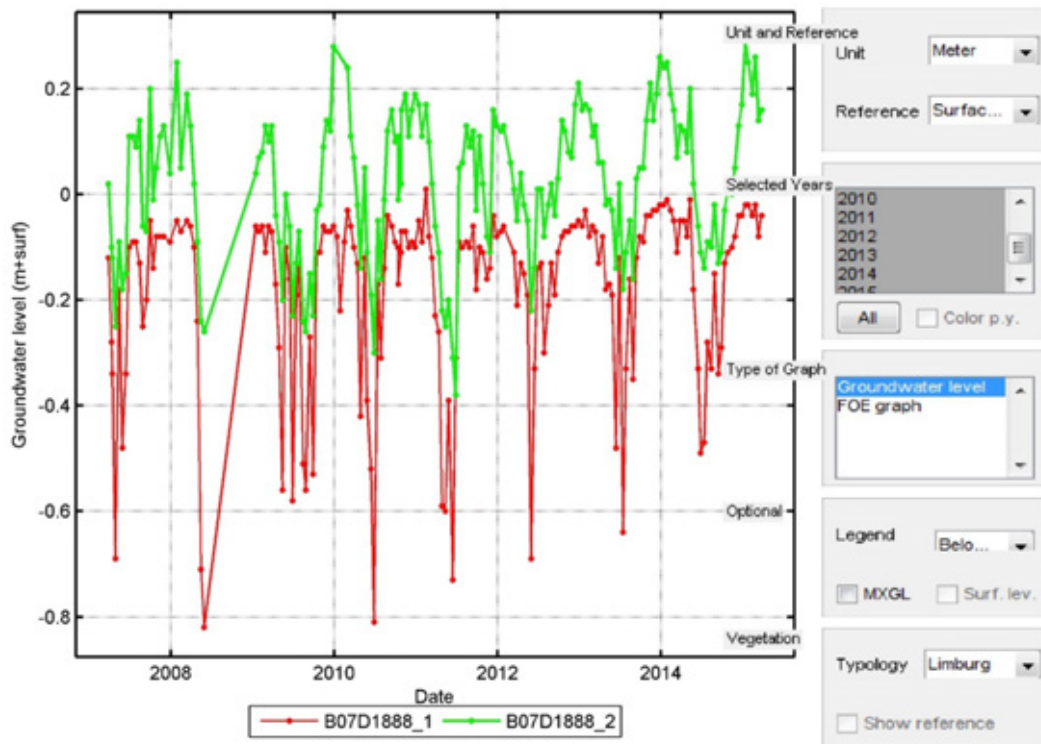
Voor de 175 reeksen waarvoor op basis van visuele inspectie geen trends of uitbijters worden vermoed zijn uit de data gemiddeld hoogste en laagste grondwaterstanden geschat op basis waarvan grondwatertrappen zijn bepaald. Tabel 2 geeft aan welke grondwatertrappen deze 175 reeksen vertegenwoordigen.

Tabel 2 Verdeling van grondwatertrappen over de 175 reeksen waarvoor op basis van visuele inspectie geen trends of uitbijters worden vermoed.

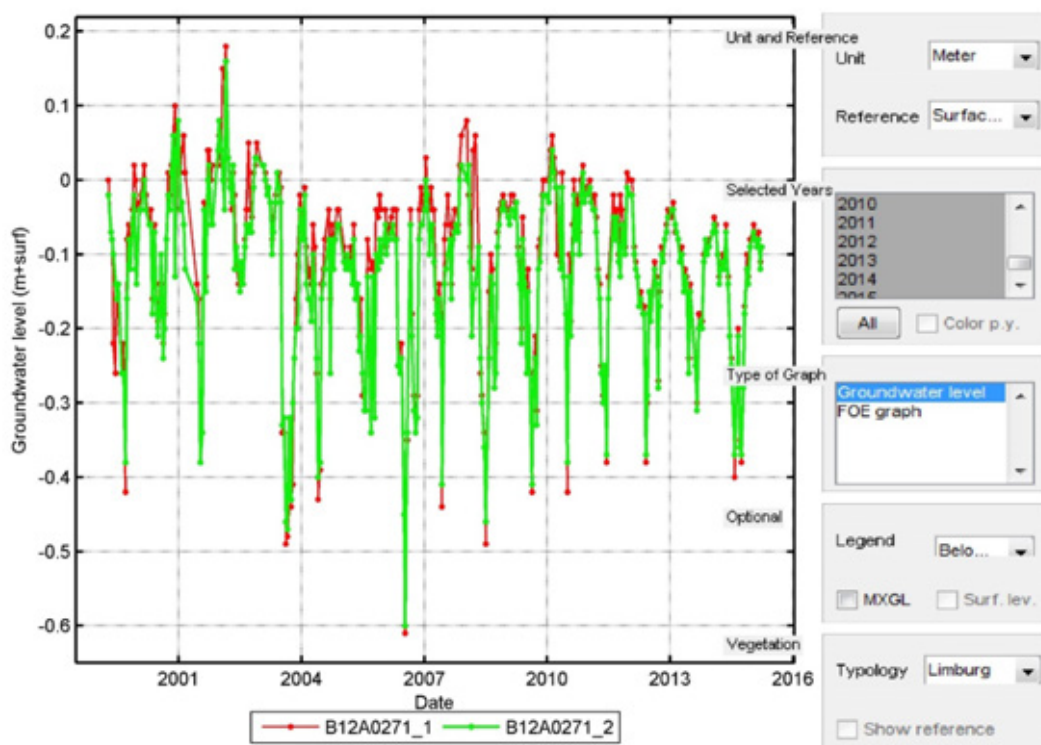
Grondwatertrap	Aantal locaties	Percentage
I	54	31
II	35	20
III	21	12
IV	7	4
V	19	11
VI	15	9
VII	13	7
VIII	11	6

Uit Tabel 2 blijkt dat de reeksen relatief veel locaties vertegenwoordigen met grondwaterstanden op geringe diepte (63% Gt I, II en III).

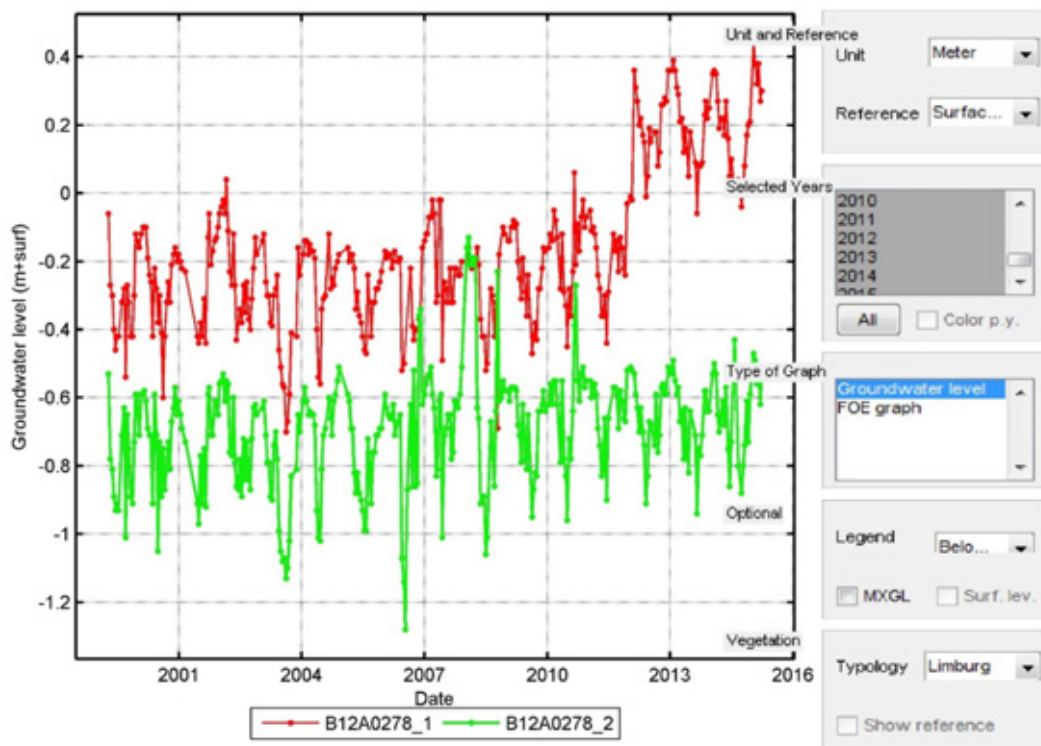
Figuur 1 t/m 3 geven tijdreeksgrafieken voor locaties met zowel een ondiep als een diep filter. Figuur 1 laat een situatie zien waarin zich de stijghoogte op grotere diepte hoger reikt dan de grondwaterstand die in het ondiepe filter is gemeten. In deze situatie is potentieel kwel mogelijk. Figuur 2 geeft een situatie weer die vrijwel neutraal is voor kwel of wegzijging. In de winter is enige wegzijging mogelijk, in de zomer enige kwel. In de situatie die Figuur 3 weergeeft is potentieel wegzijging mogelijk. De reeks die is waargenomen in het ondiepe filter lijkt echter wel beïnvloed te zijn door een ingreep, terwijl dit bij de reeks die in het diepere filter is waargenomen niet het geval lijkt te zijn. Dit duidt op grote weerstand in de bodemlaag tussen de diepten waarop beide filters zich bevinden en dientengevolge geringe wegzijging.



Figuur 1 Situatie met potentieel kwel: de stijghoogte die gemeten is in het diepere filter bevindt zich ondieper t.o.v. maaiveld dan de grondwaterstand die is gemeten in het ondiepe filter.



Figuur 2 Situatie die vrijwel neutraal is voor kwel of wegzijging: de stijghoogte die gemeten is in het diepere filter bevindt zich op ongeveer het zelfde niveau t.o.v. maaiveld als de grondwaterstand die is gemeten in het ondiepe filter. In de winter is enige wegzijging mogelijk, in de zomer enige kwel.



Figuur 3 Situatie met potentieel wegzijging: de stijghoogte die gemeten is in het diepere filter bevindt zich dieper t.o.v. maaiveld dan de grondwaterstand die is gemeten in het ondiepe filter. Bij de grondwaterstanden in het ondiepe filter is het effect van een ingreep zichtbaar (rond 2012) dat bij de stijghoogten in het diepe filter niet zichtbaar is.

Samenvattend zijn de bevindingen uit de visuele inspectie van reeksen van 316 locaties in Drenthe

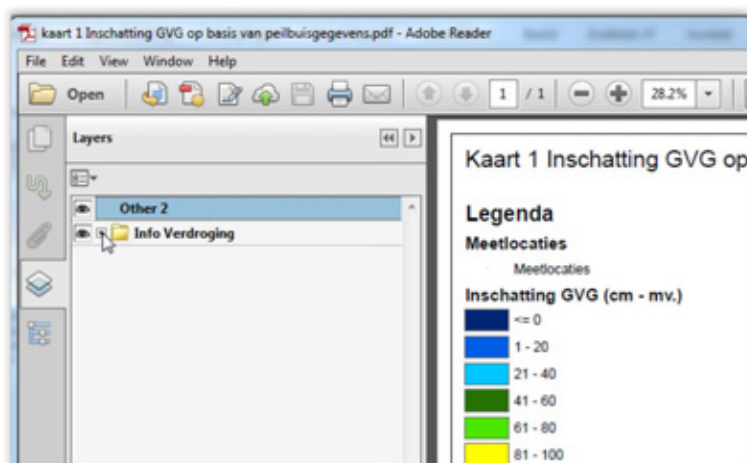
- Bij 64 reeksen (20%) een vermoeden van een dalende trend
- Bij 53 reeksen (17%) een vermoeden van een stijgende trend
- Bij 24 reeksen (8%) een vermoeden van meetfouten
- Voor de overige 175 reeksen (55%) zijn GXG's uit de data geschat

Grondwatertrap	Aantal locaties	%
I	54	31
II	35	20
III	21	12
IV	7	4
V	19	11
VI	15	9
VII	13	7
VIII	11	6
totaal	175	100

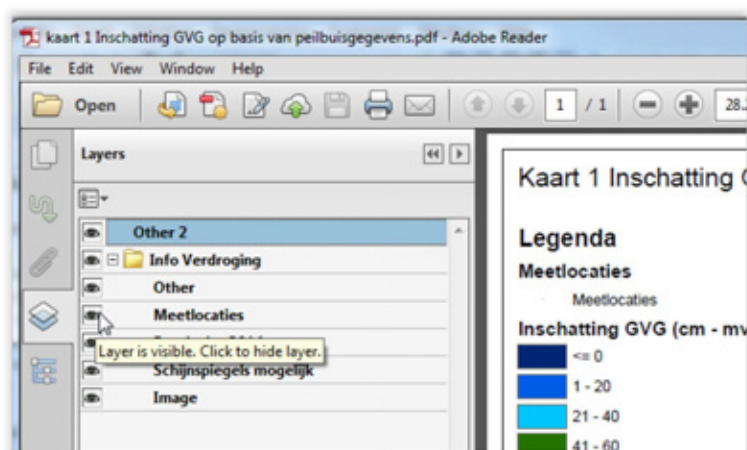
Bijlage 3 Lagen aan-/uitzetten in pdf-kaarten

De kaarten bij het rapport 'Verdrogingsinformatie voor de Nederlandse natuur' bevatten informatie over meerdere thema's, zoals een inschatting van de GVG op basis van peilbuisgegevens of de waarde van een verdrogingsindex. Deze kaarten zijn samengesteld door ruimtelijke interpolatie van informatie die beschikbaar was op het niveau van peilbuizen of vegetatieopnamen. Beide informatiebronnen zijn niet homogeen verdeeld waardoor er gebieden zijn met veel- en met weinig waarnemingen. Daarom zijn de locaties van de peilbuizen (kaart 1 en kaart 3) en vegetatieopnamen (kaart 4 t/m 12) met zwarte stippen aangegeven op de kaart. Deze extra kaartlaag kan in Adobe Reader aan- of uitgezet worden:

- Klik in het navigation Panel aan de linkerkant van het scherm op 'layers';
- Klik op het '+' symbol bij 'Info verdroging' om de lijst met lagen open te klappen (Figuur 1);
- Klik op het oogje bij verschillende lagen om deze aan- of uit te zetten (Figuur 2).



Figuur 36 Lijst kaartlagen openklappen.



Figuur 37 Lagen aan- of uitzetten.

Wageningen Environmental Research
Postbus 47
6700 AA Wageningen
T 0317 48 07 00
www.wur.nl/environmental-research

Wageningen Environmental Research
Rapport 2792
ISSN 1566-7197

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 5.000 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.



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



Wageningen Environmental Research
Postbus 47
6700 AB Wageningen
T 317 48 07 00
www.wur.nl/environmental-research

Rapport 2792
ISSN 1566-7197

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 5.000 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

