



NNPView

Van SWIMM - methode naar NatuurVerdrogingsmonitor

Pilot voor drie Natte Natuur Parels in Noord-Brabant



Gé van den Eertwegh², Flip Witte³, Gijs Simons¹, Peter Hoefsloot⁴ en Peter Droogers¹

Consortium: FutureWater ¹/ KnowH₂O ²
KWR Water Cycle Research Institute ³
Hoefsloot Spatial Solutions ⁴



Financiering: Stichting Klimaat voor Ruimte (Collaboratorium Klimaat en Weer, Valorius-programma)

Provincie Noord-Brabant

Provincie Noord-Brabant



INHOUDSOPGAVE

Managementsamenvatting	5
Samenvatting.....	7
1 Inleiding	11
1.1 Introductie	11
1.2 Probleemstelling.....	12
1.3 Doelstelling.....	13
2 Ontwikkeling SWIMM-methode	14
2.1 Technisch-inhoudelijke aspecten	14
2.1.1 Algemeen.....	14
2.1.2 Brongegevens	15
2.1.3 SPHY - vlakdekkend hydrologisch model.....	16
2.1.4 WaterNOOD instrument.....	19
2.2 Informatie online beschikbaar	22
2.3 Interactie met beheerders	25
3 Resultaten SWIMM.....	27
3.1 Beschikbaarheid brongegevens.....	27
3.2 Informatie in webservice en viewer/App.....	28
3.3 Test voor drie pilotgebieden	30
4 Conclusies	32
4.1 Algemeen.....	32
4.2 Beschikbaarheid van gegevens.....	32
4.3 Remote sensing	33
4.4 WaterNOOD	33
4.5 Ten besluit	34
5 Aanbevelingen	35
5.1 Betere schatting hydrologische toestand natuurgebieden.....	35
5.2 Toetsing en onzekerheden	36
5.3 Gemiddelde grondwaterstanden en de responstijd van de vegetatie.....	36
5.4 Overige aanbevelingen.....	39
6 Referenties.....	40
7 Bijlagen.....	42
7.1 Werkwijze en data	42
7.2 Natuurdoelen en doelbereik	44
7.3 Huidig grondwaterregime	53

- 7.4 Actuele toestand 53
- 7.5 Ondersteunende informatie..... 56
- 7.6 Geo-informatie..... 57
- 7.7 Achtergrond..... 59
- 7.8 Links naar andere websites 59
- 7.9 WaterNOOD toegepast op resultaten SPHY..... 60
 - 7.9.1 Doel..... 60
 - 7.9.2 Methode 60
 - 7.9.3 Resultaten..... 63
 - 7.9.4 Discussie 64
- 7.10 Koppeling UAV-beelden aan vegetatieopnamen 72
 - 7.10.1 Doel..... 72
 - 7.10.2 Werkwijze en analyse 72
 - 7.10.3 Resultaten en conclusies 72

MANAGEMENTSAMENVATTING

Om de verdroging van de natuur te bestrijden worden overal in Nederland maatregelen genomen, zoals het dempen van sloten en het verwijderen van veel water verdampend naaldbos. Provincies hebben de ministeriële bevoegdheid en taak om te beoordelen of die maatregelen wel effectief zijn geweest, en of natuurgebieden qua waterhuishouding weer op orde zijn.

De provincie Noord-Brabant heeft geconstateerd dat de huidige methode van evalueren bijzonder tijdrovend is, en afhankelijk is van de hoeveelheid en kwaliteit van de informatie die door terreinbeheerders en waterschappen wordt verstrekt. Daarom heeft zij in 2014 een project laten uitvoeren dat tot doel heeft kennis over de verdrogingstoestand van natuurterreinen op een gestandaardiseerde wijze te ontsluiten en interpreteren, en deze vervolgens via een webservice, viewer en App toegankelijk te maken. Dit project, SWIMM (Soil & Water evaluation system based on Integrated Measurements and Modelling), is voor de helft gesubsidieerd vanuit de Stichting Klimaat voor Ruimte en hun Valorius-programma. Het is bij wijze van proef uitgevoerd in 'drie natte natuurplekjes' (NNP's), natuurterreinen met waardevolle grondwaterafhankelijke natuur: De Kampina, Brabantse Wal en de Grootte Peel.

In het project kunnen de volgende zeven onderdelen worden onderscheiden:

1. Alle reeds aanwezige informatie verzamelen en op een uniforme wijze presenteren. Het gaat vooral om kaarten, zoals bodemtype, vegetatie, natuurdoeltypen, etc., maar ook om metingen van de grondwaterstand in peilbuizen en om vegetatieopnamen.
2. Een deel van deze gegevens verwerken tot informatie die van belang is bij de evaluatie van de verdrogingstoestand. Zo zijn grondwaterstandsmetingen omgezet in inzichtelijke grafieken, en is uit vegetatieopnamen berekend hoe vochtig en zuur de bodem ter plaatse is.
3. De hydrologie van de drie NNP's modelleren met SPHY met een ruimtelijke resolutie van 25m. Dit hydrologisch model berekent voor iedere dag wat de grondwaterstand en de hoeveelheid vocht in de wortelzone is. SPHY maakt gebruik van satellietwaarnemingen om de verdamping van de vegetatie (de belangrijkste verliespost op de waterbalans) op een correcte manier te berekenen. Door de korte rekentijd kan SPHY worden gebruikt om, bijvoorbeeld wekelijks, op basis van recente weergegevens de actuele waterhuishouding van natuurgebieden in kaart te brengen.
4. UAV-vluchten ('unmanned aerial vehicle', ook wel drone genoemd). Om de uitkomsten van SPHY te verbeteren en ruimtelijk te verfijnen, zijn terreingedeelten ingevlogen met een UAV die was uitgerust met een sensor voor de 'groenheidsindex' (NDVI) van de vegetatie. In tegenstelling tot landbouwkundige toepassingen, bleek deze index geen informatie te verschaffen over de vochttoestand in de bodem van de drie NNP's. Omdat de beelden wel informatief zijn, o.a. over vegetatiestructuur en begrazingsdruk, zijn ze opgenomen in de webservice, viewer en App.
5. De uitkomsten van SPHY gebruiken om te toetsen of de waterhuishouding voor opgelegde natuurdoelen op orde is. Die toetsing is uitgevoerd met het programma WaterNOOD, waarvan een eigen versie werd ontwikkeld. Deze versie kan berekenen hoeveel procent van een natuurdoeltype in een gebied maximaal kan worden gerealiseerd, gegeven de variatie aan maaiveldhoogten.
6. Alle informatie op gebruiksvriendelijke wijze ontsluiten via webservice, viewer en App.
7. Workshops met potentiële gebruikers om de rekenmethoden, selectie van gegevens en presentatiewijzen waar mogelijk aan te passen aan hun wensen.

Met de webservice, viewer en App hebben zowel de provincie als de waterschappen en terreinbeheerders een instrument dat hen kan helpen bij de beoordeling van de verdrogingstoestand van natte natuurgebieden. Op basis van alleen dit instrument kan echter nog geen definitief oordeel worden gegeven over de verdrogingstoestand. Kennis van deskundigen, die natuurterreinen goed kennen en die nog additionele informatie hebben, blijft dus onontbeerlijk. Zulke kennis kan worden verwerkt, zodat geleidelijk aan een instrument

ontstaat waar steeds meer consensus over is. De viewer en App bieden de mogelijkheid om feedback op onze informatie te geven en zo gaandeweg verbeteringen door te voeren. Er zijn reeds diverse voor de hand liggende mogelijkheden tot verbetering gesignaleerd, bijvoorbeeld op het gebied van de hydrologische modellering, WaterNOOD, het vinden van een goede hydrologische maat waarop natuurdoelen beleidsmatig kunnen worden getoetst. Het huidige WaterNOOD toetst namelijk op langjarig gemiddelde grondwaterstanden, waarin de effecten van vernattingsmaatregelen per definitie pas op de lange termijn tot uitdrukking komen.

Met het gebruik van satellietwaarnemingen in SPHY, heeft remote sensing binnen SWIMM een nuttige rol gespeeld. Door wetenschappelijke en technische ontwikkelingen kan die rol veel belangrijker worden. Op basis van recente studies is bekend dat belangrijke groeiplaatsfactoren voor de vegetatie in natuurgebieden, zoals zout, vocht, voedselrijkdom en zuurgraad, goed kunnen worden gekarteerd vanuit de lucht, mits de juiste sensoren worden gebruikt.

We stellen voor om in een vervolgproject met een klein vliegtuig gedetailleerd beelden in te vliegen met behulp van meerdere sensoren tegelijk: zichtbaar licht, hyperspectraal en thermisch. Deze beelden worden geïntegreerd aan vegetatieopnamen, die we in hetzelfde jaar als de vlucht laten maken, en die we nauwkeurig inmeten. Vervolgens worden aan de hand van de zogenaamde airborne remote sensing beelden kaarten gemaakt van de vochtindicatie. Hetzelfde kunnen we doen voor andere indicatoren die met de waterhuishouding samenhangen: de indicatiewaarde voor voedselrijkdom en die voor zuurgraad, en indien gewenst voor zout. Vervolgens zullen we een geautomatiseerde procedure ontwikkelen voor de volgende nabewerkingen, die nodig zijn om de verdrogingsstatus van gebieden vast te stellen.

Door een dergelijke vliegcampagne bijvoorbeeld elke drie jaar te herhalen voorafgaand aan een beleidsevaluatie, kan op onafhankelijke en objectieve wijze worden geconstateerd waar er significante veranderingen in de waterhuishouding van natuurgebieden zijn opgetreden, en waar het beoogde natuurherstel achterwege blijft. Met behulp van aanvullende informatie die binnen het BMV verzameld en verwerkt wordt, kan dan beoordeeld worden wat de verklaring hiervoor is.

SAMENVATTING

Sinds 1995 werken de provincie Noord-Brabant, waterschappen, terreinbeheerders en waterbedrijven samen om de waterhuishoudkundige situatie in en rondom verdroogde natuurgebieden te verbeteren. Hierdoor kan de karakteristieke, grondwaterafhankelijke vegetatie zich herstellen. Eenmaal in de drie jaar tussentijds en eenmaal in de zes jaar voor de volgende planperiode evalueert de provincie in het kader van de Kaderrichtlijn Water (KRW) en Natura-2000 welke voortgang de verdrogingsbestrijding boekt in Brabant. De provincie heeft hierin een ministeriële verantwoordelijkheid.

In 2002 is door alle betrokken partijen onderkend dat het daadwerkelijk meten van de effecten van maatregelen op de waterhuishouding belangrijk is om inzicht te krijgen in de voortgang van verdrogingsbestrijding. Dit heeft ertoe geleid dat er in 2003 een methode is ontwikkeld voor 'effectmonitoring' van verdrogingsbestrijding, beschreven in het 'Handboek Monitoring Verdroging Noord-Brabant' (Provincie Noord-Brabant, 2002). In een intentieverklaring hebben de partijen niet alleen afgesproken om per project hydrologische veranderingen te monitoren (kortweg 'projectmonitoring'), maar ook om de verdrogingstoestand van de Brabantse natuurgebieden in brede zin te monitoren. Hiervoor is op dit moment voor circa de helft van de natte natuurparels het BeleidsMeetnet Verdroging ingericht (BMV). In 2008 is het BMV voor het eerst geëvalueerd, in 2012 gebeurde dat het meest recent.

Er zijn meerdere vraagstukken aan het monitoren van de verdrogingsstatus van natuurgebieden verbonden. Allereerst zijn tot op heden de resultaten van het BMV niet vlakdekkend. Peilbuizen leiden tot puntmetingen van grondwaterstanden die verondersteld worden representatief te zijn voor een hydrologisch deelgebied. Het betreft een aanname die veelal onjuist is wegens hoogteverschillen binnen het deelgebied. Computermodellen en remote sensing data kunnen wel worden gebruikt om vlakdekkende hydrologische gegevens te leveren over de Brabantse natuur. Een tweede vraagstuk is hoe om te gaan met de evaluatie wanneer peilbuisgegevens ontbreken. Daar waar geen peilbuisgegevens voorhanden zijn, wordt nu gewerkt met het oordeel van de terreinbeheerder. Echter, de wijze van beoordelen van gebieden door beheerders is niet gestandaardiseerd en daardoor oncontroleerbaar en mogelijk onderhevig aan persoonlijke interpretatieverschillen. Daarom bestaat er bij de provincie de behoefte aan een uniforme manier van beoordelen. Ten slotte is er het vraagstuk over de wijze waarop de effectiviteit van maatregelen moet worden gemonitord: wat zegt de informatie binnen een bepaalde vorm van monitoring over de genomen maatregel, en wordt er wel voldoende en juiste informatie verzameld om de effecten vast te stellen?

De provincie heeft, zoals vermeld, een ministeriële verantwoordelijkheid in de evaluatie van de verdrogingstoestand van de Brabantse natuurgebieden. De rol die de provincie heeft is die van regisseur, bevorderaar van samenwerking tussen betrokken partijen, innovator, financier en beoordelaar. De provincie wil via een helder beeld de verdroging evalueren, op basis van vlakdekkende, uniform ingewonnen informatie over de toestand van Natte Natuur Parels (NNP's), gebieden met waardevolle natuur die afhankelijk is van een hoge grondwaterstand. Daarom heeft de provincie begin 2014 besloten co-financier (50%) te zijn van een project genaamd SWIMM – Soil & Water evaluation system based on Integrated Measurements and Modelling. Dit project heeft eind 2013 van de Stichting Klimaat voor Ruimte binnen het Valorius-programma een financiële bijdrage gekregen van 50% van de projectkosten.

Intermezzo SWIMM methode

SWIMM - een methode waarmee antwoord wordt gegeven op de vraag in welke mate natuurdoelen haalbaar zijn bij de huidige waterhuishouding. Dat gebeurt op basis van de natuurdoeltypenkaart van de provincie Noord-Brabant en berekeningen voor de actuele toestand van het bodemvocht en het grondwater. We gebruiken daarbij kaarten die op een uniforme wijze zijn geproduceerd. SWIMM heeft als doel de evaluatie van bestrijding van verdroging te ondersteunen. We analyseren niet de verdroging zelf en de oorzaken daarvan, maar richten ons op de verschillen tussen de optimale grondwaterstand voor de beoogde natuur en de actuele grondwaterstand. We bepalen de realisatie van beleidsdoelen met behulp van het WaterNOOD-instrumentarium. De resterende beleidsopgave is het verschil tussen de realisatie van gestelde natuurdoelen bij AGOR en OGOR, waarbij OGOR de ambitie van de provincie weerspiegelt. Wanneer het AGOR afwijkt van het OGOR, is het structureel te droog of, heel soms, aan de natte kant. Het is dus van belang om de actuele situatie in natuurgebieden goed te kennen, zowel om te zien of beleidsmaatregelen reeds effect hebben, als ook om te zien welke aanvullende hydrologische maatregelen er nog nodig zijn om de doelrealisatie te bereiken, zodat het door de provincie gevoerde beleid een succes wordt.

Voor de ontwikkeling van de SWIMM-methode werd deze toegepast op drie proefgebieden, te weten de natte natuurparels De Kampina, Brabantse Wal en Groote Peel. SWIMM kent diverse bronnen van informatie, waaronder remote sensing en modelberekeningen, en wordt vlakdekkend en uniform voor deze drie NNP's opgezet. De informatie wordt online beschikbaar gesteld aan gebruikers, via een webservice, een viewer en een App (iOS). De webservice bevat alle informatie, waarvan een selectie terugkomt in de viewer en App. Deze systemen zijn afgestemd op het commentaar in enkele workshops van toekomstige gebruikers.

De SWIMM-methode is ontwikkeld en getest, door in gesprek te gaan met terreinbeheerders Natuurmonumenten en Staatsbosbeheer, de drie betrokken waterschappen Dommel, Aa en Maas, Brabantse Delta, en overige deskundigen. Daartoe is op Yammer in de loop van 2014 een projectomgeving ingesteld, waarbinnen gebruikers met elkaar kunnen communiceren. We hebben in een tweetal workshops resultaten besproken met de deelnemers. De experimentele remote sensing component als onderdeel van het project, het invliegen van de gebieden met een sensor in een zogenaamd Unmanned Aerial Vehicle (UAV, ook wel drone genoemd), is ten dele geslaagd. We hebben een nauwkeurig beeld van de natuurlijke vegetatie kunnen maken, maar we hebben deze informatie onvoldoende aan de waterhuishouding van de gebieden kunnen koppelen.

We hebben binnen een relatief korte doorlooptijd van nog geen jaar een methode gerealiseerd dat een ruimtelijke analyse mogelijk maakt op basis van uniform tot stand gekomen kaarten. We kunnen langjarige effecten van maatregelen tegen verdroging evalueren op ruimtelijke schaal van 25m. We hebben de informatie uit het BMV geïntegreerd en verrijkt met andere informatie, zoals satelliet-informatie over de vegetatie (zogenaamde NDVI vegetatie-index), over de hydrologische en vegetatie-toestand van de drie NNP's. Hieraan koppelen we operationele informatie over de actuele vochttoestand van natuurgebieden en we laten daarbij zien hoe deze situatie verschilt, dan wel overeenkomt, met een langjarig gemiddelde situatie van 30 jaar. Voor deze pilot is er gekeken naar de hydrologie. Met andere, hyperspectrale sensoren kunnen we in een vervolg ook naar indicatoren voor voedselrijkdom, zuurgraad en eventueel zout kijken.

Het resultaat van ons project is de zogenaamde NatuurVerdrogingsmonitor (viewer) en de NNPView (App). Hiermee heeft de provincie een innovatief en online instrument in handen dat gebiedsdekkend informatie bundelt en integreert, waarop gebruikers kunnen reageren, en dat de interactie tussen terreinbeheerders en de provincie faciliteert en stimuleert. Een beheerdersoordeel is nog steeds relevant binnen de methode, maar speelt een andere rol dan voorheen, want het instrument werkt met onafhankelijke, gestandaardiseerde informatie uit herleidbare bronnen. Met dit instrument kan de provincie Noord-Brabant haar verantwoordelijkheid en rol waarmaken in de komende beleidsevaluaties ten aanzien van de verdrogingsbestrijding. Bij de eerstvolgende evaluatie door de provincie zal in overleg met de waterschappen en terreinbeheerders overlegd worden hoe de NatuurVerdrogingsmonitor zal worden ingezet.

We doen een aantal aanbevelingen voor de monitor en de beleidsevaluatie, waarvan de belangrijkste zijn, in willekeurige volgorde:

- Betere informatie inwinnen en gebruiken voor het hydrologisch model SPHY: grondwaterstanden ook onder natte condities meten ('peilbuis onder water') en gebiedskarteringen uitvoeren van ondiepe dichte bodemlagen, die schijnspiegels kunnen veroorzaken.
- Andere sensoren toepassen bij airborne remote sensing, bij sterke voorkeur tegelijkertijd, en gebieden vlakdekkend invliegen. Door een vliegtuig uit te rusten met een sensor voor zichtbaar licht, met een thermische camera en met een hyperspectrale sensor, kan informatie over o.a. de vochttoestand en de voedselrijkdom van natuurgebieden worden ingewonnen. Daartoe worden deze beelden geïkt aan de vochtindicatie van goed gelokaliseerde vegetatieopnamen. Zo ontstaat een sterke combinatie van remote sensing met grondwaarnemingen.
- Rekening houden met onzekerheden: voor een afgewogen oordeel is het noodzakelijk dat de onzekerheid van de informatiebronnen wordt meegewogen. Dit betreft aldus:
 - het toetsingsinstrumentarium van WATERNOOD: hydrologische randvoorwaarden van een natuurdoeltype houden nu geen rekening met de geaccidenteerdheid van het terrein, waardoor over een bereik van 0,1 m oppervlakte de waarden qua doelrealisatie kunnen 'instorten'; dit is niet realistisch.
 - het SPHY-model: dit wordt gevoed met remote sensing informatie om het bodemvocht in de wortelzone en de verdamping uit te rekenen. De berekende GxG kan een afwijking vertonen van een aantal decimeters van de werkelijkheid. Dit is vergelijkbaar met de afwijkingen van peilbuisgegevens en andere hydrologische modelberekeningen. SPHY-uitkomsten hebben dus ongeveer een even grote onzekerheid als meer traditionele rekenmodellen, maar is niet minder kwetsbaar voor afwijkingen door bijvoorbeeld onvolledige bodeminformatie uit het veld.
 - de reactietijd van de natuurlijke vegetatie: het duurt, afhankelijk van het type vegetatie, soms meerdere jaren voordat vegetatie zich aanpast aan nieuwe hydrologische omstandigheden.
- Grondwaterstanden en de responstijd van de vegetatie: WaterNOOD werkt met gemiddelde grondwaterstanden, de GVG en GLG. Volgens de oorspronkelijke richtlijn dienen deze karakteristiek te worden gebaseerd op acht jaar aan tweemaandelijks metingen. In een analyse van bijna 200 vegetatieopnamen met gemeten grondwaterstanden, werd echter geconstateerd dat een meetperiode van 30 jaar een GVG oplevert die beter correleert met de vochtindicatie van de vegetatie dan een GVG die is afgeleid van een kortere meetperiode. Wij stellen nu een pragmatische aanpak voor. We willen in de berekening van gemiddelde grondwaterstanden de verwachte responstijd van de vegetatie verwerken. Daarbij laten we de grondwaterstand in een bepaald jaar minder zwaar meetellen naarmate dat jaar verder achter ons ligt.
- Prestatiemonitoring voor natte natuurgebieden vastleggen in GIS (waar en wanneer zijn welke maatregelen getroffen) en deze informatie jaarlijks verwerken en documenteren, driejaarlijks gebruiken voor evaluatie van het beleid.
- Het opsplitsen van effecten van het klimaat (30 jaar), drainage door de landbouw, verdamping van landbouwgewassen, onttrekkingen voor drinkwater en de korte-termijn weersinvloeden van de afgelopen dagen en weken, relevante zaken die effect hebben op de verdroging.
- Er is geconstateerd dat er in Noord-Brabant met verschillende methoden wordt gewerkt om de hydrologie te bepalen onder AGOR en GGOR. Het is eenduidiger om een gezamenlijke methode af te spreken. De SWIMM-methode is hierbij goed bruikbaar.

We stellen daarom voor om in een vervolgproject met een klein vliegtuig zeer gedetailleerd beelden in te vliegen, met behulp van meerdere sensoren (zichtbaar licht, hyperspectraal, thermisch). Deze beelden worden geïkt aan vegetatieopnamen, die we in hetzelfde jaar als de

vlucht laten maken, en die we nauwkeurig inmeten. Vervolgens worden aan de hand van de airborne remote sensing beelden en de opnamen kaarten gemaakt van de vochtindicatie, met een daarbij behorende bekende onzekerheidsmarge (RMSE) (Schmidtlein, 2005; Witte & Kooistra, 2008; Kaiser *et al.*, 2012; Roelofsen *et al.*, submitted). Hetzelfde kunnen we doen voor andere indicatoren die met de waterhuishouding samenhangen: de indicatiewaarde voor voedselrijkdom en die voor zuurgraad, indien gewenst voor zout. Vervolgens zullen we een geautomatiseerde procedure ontwikkelen voor de volgende nabewerkingen, die nodig zijn om de verdrogingsstatus van gebieden vast te stellen:

- A. Kaarten met indicatiewaarden moeten allereerst worden omgezet naar gemiddelde indicatiewaarden per kaartvlak met natuurdoeltypen. Dat is een eenvoudige bewerking. Iets moeilijker is het om ook de onzekerheidsmarge bij dit gemiddelde uit te rekenen; wegens autocorrelatie tussen de pixels is daarvoor toepassing van geostatistiek nodig.
- B. Daarna zijn er twee mogelijkheden om de aldus gemaakte kaarten te gebruiken, namelijk voor het signaleren van veranderingen en voor het toetsen van natuurdoelen:
 - a. Signaleren veranderingen.
Via de in de vorige stap gekwantificeerde onzekerheidsmarge kunnen we aangeven of er significante verschillen zijn opgetreden tussen twee vluchten/opname-momenten. Die verschillen kunnen in kaartvorm worden weergegeven, maar ook in een kruistabel met per natuurgebied aangegeven hoeveel voor- en achteruitgang er is. Ook tabellarische vergelijking tussen gebieden kunnen eenvoudig worden gemaakt.
 - b. Toetsen doelen.
We kunnen ook een enkele vlucht gebruiken voor de toetsing van natuurdoelen. Dat kan weer op twee manieren:
 - Indirect: Indicatie waarde voor vocht omzetten naar GVG en GLG, gevolgd door integratie met SPHY-berekeningen. Vervolgens WaterNOOD gebruiken om natuurdoelen te toetsen aan de hand van deze aldus verbeterde schattingen.
 - Direct: per natuurdoeltype de drempelwaarden uitdrukken in indicatiegetallen, of zonder drempelwaarden rekenen maar met een frequentieverdeling van indicatiewaarden per type. Vervolgens ingevlogen indicatiewaarden hieraan toetsen. Drempelwaarden of frequentieverdelingen in termen van indicatiewaarden zijn te maken aan de hand van een groot bestand met geclassificeerde vegetatieopnamen dat is gebruikt voor het Vijfdelige standaardwerk 'De Vegetatie van Nederland' (Schaminée *et al.*, 1995a; Schaminée *et al.*, 1995b; Schaminée *et al.*, 1996; Schaminée *et al.*, 1998; Stortelder *et al.*, 1999). Een dergelijke bewerking is al eerder met succes uitgevoerd (Runhaar *et al.*, 2009).

Door een dergelijke vliegcampagne bijvoorbeeld elke drie jaar te herhalen voorafgaand aan een beleidsevaluatie, kan op onafhankelijke en objectieve wijze worden geconstateerd waar er significante veranderingen in de waterhuishouding van natuurgebieden zijn opgetreden, en waar het beoogde natuurherstel achterwege blijft. Met behulp van aanvullende informatie die binnen het BMV verzameld en verwerkt wordt, kan dan beoordeeld worden wat de verklaring hiervoor is.

1 INLEIDING

1.1 INTRODUCTIE

Ruim 19 jaar werken de provincie Noord-Brabant, waterschappen, terreinbeheerders en waterbedrijven samen om de waterhuishoudkundige situatie in en rondom verdroogde natuurgebieden zodanig te verbeteren, dat de karakteristieke, grondwaterafhankelijke vegetatie zich kan herstellen. Periodiek, eens in de 3 jaar, evalueert de provincie in het kader van de Kaderrichtlijn Water (KRW) en Natura 2000 welke voortgang de verdrogingsbestrijding in Brabant boekt. De provincie heeft hierin een ministeriële verantwoordelijkheid.

Verdroging is het verschijnsel waarbij de grondwaterspiegel daalt ten opzichte van het "natuurlijke" niveau of waarbij water met een andere chemische samenstelling uit andere gebieden (gebiedsvreemd water) lokaal grondwater vervangt. De Vierde Nota Waterhuishouding (1998) geeft de volgende definitie voor verdroging:

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 (grondwater dat omhoog stroomt in bodem) 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.

We hebben te maken met natuurgebieden die verdroogd zijn, waar de provincie beleid voor heeft en waar zij samen met de terreinbeheerders de uitvoering van beleid ter hand nemen en maatregelen en effecten in een bepaalde mate en op een bepaalde manier monitoren. Laatste evaluatie verdrogingsbestrijding dateert uit 2013 (RHDHV, 2013) en betreft het jaar 2012.

De referentiewaarden voor de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand (GVG), de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) en de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) geven de grondwaterstanden aan zoals die op basis van bodemkenmerken en historische beschrijvingen vóór of rond 1950 moeten zijn voorgekomen. De *streefwaarde* geeft aan welke grondwaterstanden gewenst zijn om de door de provincie nagestreefde natuurdoelen te kunnen realiseren. Daarbij is (net als in de vorige ronde in 2009) uitgegaan van natuurdoeltypen en niet van beheertypen. Het verschil tussen de gewenste waarde en de actuele (voor weersomstandigheden gecorrigeerde; NB) waarde wordt in deze studie gebruikt als maat voor de verdroging. Het gaat hier om een normatief begrip, in eerdere rapportages aangeduid als 'bestuurlijke verdroging'.

Over de definities van de GHG en GLG kan het volgende worden vermeld. Op Nederlandse bodemkaarten (bijvoorbeeld schaal 1:50.000) wordt de diepte en de dynamiek van de grondwaterstand ten opzichte van maaiveld in klassen weergegeven. Deze klassen, grondwatertrappen genoemd (vaak afgekort met 'Gt'), worden van nat naar droog aangeduid met de Romeinse cijfers I-VII. Grondwatertrappen zijn gebaseerd op de gemiddeld hoogste en de gemiddeld laagste grondwaterstand (afgekort met GHG, resp. GLG). De GHG en GLG worden bepaald op basis van grondwaterstanddiepten. In Nederland worden grondwaterstanddiepten in het algemeen op de 14^e en de 28^e van elke maand gemeten. Per jaar vinden dus in beginsel 24 metingen per meetpunt plaats. De GHG en GLG worden berekend op basis van reeksen van zulke waarnemingen. Die reeksen moeten per meetpunt tenminste 8 zogenaamd hydrologische jaren omvatten, lopend van 1 april tot en met 31 maart. Per jaar worden de drie hoogste en de drie laagste standen bepaald. Van elk drietal wordt het rekenkundig gemiddelde berekend. Die

gemiddelden heten respectievelijk HG3 en LG3. De GHG is nu het rekenkundig gemiddelde van de HG3-, de GLG dat van de LG3-waarden van tenminste 8 hydrologische jaren. De Gt's zijn op basis van GHG en GLG gedefinieerd. Van deze indeling zijn in de loop der jaren verschillende varianten verschenen.

Definities van de GVG zijn:

- Proefschrift van Han Runhaar (1999): *de GVG is berekend als de gemiddelde grondwaterstand in de maanden maart en april met als voorwaarde dat in die periode minstens tweemaal moet zijn gemeten.*
- Stiboka (Van der Sluijs, 1987): *er is op grond van 550 stambuizen verspreid over NL een relatie gelegd tussen de GVG, gedefinieerd als de grondwaterstand op 1 april, en de GHG en GLG. Uit lineaire regressie met deze twee grootheden blijkt het volgende verband:*
$$GVG = 5.4 + 0.83*GHG + 0.19*GLG \pm 8.7$$

1.2 PROBLEEMSTELLING

In 2002 is door alle betrokken partijen in Noord-Brabant onderkend dat het daadwerkelijk meten van effecten van uitgevoerde maatregelen op de hydrologische situatie een belangrijke sleutel is om inzicht te krijgen in de voortgang van verdrogingsbestrijding. Dit heeft er toe geleid dat een methodiek is ontwikkeld voor 'effectmonitoring' van verdrogingsbestrijding, beschreven in het 'Handboek Monitoring Verdroging Noord-Brabant' (Provincie Noord-Brabant, 2002). In een intentieverklaring hebben de partijen niet alleen afgesproken om per project hydrologische veranderingen te monitoren (kortweg 'projectmonitoring'), maar ook om de verdrogingstoestand van de Brabantse natuurgebieden in brede zin te monitoren. Hiervoor is het genoemde BeleidsMeetnet Verdroging ingericht (BMV).

BMV-werkwijze provincie Noord-Brabant:

- Prestatiemonitoring projecten;
- Evaluatieresultaten BMV;
- Analyse van vegetatiekarteringen op basis van looproutes;
- Expert-oordeel/beeld van beheerders: dit is uiteindelijk de kern van de evaluatie. De provincie vraagt aan de beheerders aan te geven welk % van het natuur-areaal verdroogd is.

Het BMV is operationeel sinds 2003, bij projectmeetnetten is dat afhankelijk van de fase waarin de projecten zich bevinden. In circa de helft van de NNP's in Brabant zijn hydrologische meetpunten ingericht, als onderdeel van de bepaling van de verdrogingstoestand. In 2008 is het BMV voor het eerst geëvalueerd. Er zijn nu in totaal gedurende 14 jaar meetinspanningen verricht. Omdat het BMV gebaseerd is op de projectmeetnetten en deze niet allemaal tegelijk gestart zijn, is nog niet voor ieder gebied een complete meetreeks van acht jaar beschikbaar. Tot op heden zijn de resultaten niet vlakdekkend geweest. Peilbuizen zijn puntmetingen en worden momenteel representatief geacht voor een hydrologisch deelgebied. Het betreft een aanname die veelal onjuist is wegens hoogteverschillen binnen de deelgebieden. Remote sensing data kunnen gebruikt worden om een beeld te geven van vlakdekkende hydrologische gegevens van de Brabantse natuur. Daar waar geen peilbuisgegevens voor handen zijn, wordt gewerkt met het oordeel van beheerders. Echter, ook is de wijze van beoordelen van gebieden door beheerders niet altijd even uniform. Er is vanuit de provincie een behoefte om de verdroging van natuurgebieden op een vergelijkbare manier te beoordelen.

De conclusies m.b.t. gebruikte data en methodieken volgens (RHDHV, 2013) is als volgt:

- 25 à 30% van verdroogd areaal is mogelijk hersteld anno 2012, de rest is beperkt verdroogd of verdroogd.
- Aantal meetpunten BMV is beperkt om specifieke gebieden te analyseren.

- Vlakdekkende informatie is niet/beperkt beschikbaar, hetgeen bovenstaande uitspraken bemoeilijkt.
- Prestatiemonitoring is op basis van procesinfo over uit te voeren/uitgevoerde projecten en bijbehorende maatregelen: wat zegt deze info (niet) over welke maatregel wanneer en waar is uitgevoerd, en wordt er informatie verzameld om de effecten van de maatregel vast te stellen?

Spelers in de problematiek zijn de provincie, waterschappen De Dommel, Aa en Maas en Brabantse Delta, terreinbeheerders Staatsbosbeheer (SBB) en Vereniging Natuurmonumenten (NM), waterbedrijf Brabant Water en de landbouw (ZLTO; groot aantal agrariërs).

1.3 DOELSTELLING

Het doel van de toepassing van de NatuurVerdrogingsmonitor is als volgt:

Toepassing van de SWIMM-methode heeft als doel de evaluatie van bestrijding van verdroging te ondersteunen. We analyseren niet de verdroging zélf en de oorzaken daarvan, maar richten ons op de verschillen tussen de actuele situatie (AGOR) en de gewenste situatie voor de natte natuur (OGOR) in termen van GxG, vegetatie en doelrealisatie. Voor dit laatste gebruiken we WaterNOOD.

Wij hebben in 2014 een methode ontwikkeld onder de naam SWIMM - Soil & Water evaluation system based on Integrated Measurements and Modelling. De resultaten hiervan zijn ondergebracht in het praktische instrument de NatuurVerdrogingsmonitor. Hiermee kunnen we antwoord geven op de volgende drie vragen:

1. In welke mate natuurdoelen gerealiseerd bij de huidige waterhuishouding? Welke gebieden zijn in welke mate verdroogd, welke niet, welke gebieden voldoen in welke mate aan de gewenste GxG? Als basis hiervoor gebruiken we de natuurdoeltypenkaart.
2. Welke informatiebronnen zijn vlakdekkend beschikbaar voor alle gebieden, en op een transparante en uniforme wijze afgeleid?
3. Hoe is het draagvlak voor deze informatiebronnen en resultaten bij terreinbeheerders en stakeholders?

Naast deze twee vragen zullen we het volgende inbrengen:

4. Aanvullende informatie die nuttig is bij het beoordelen van natuurdoelen.
5. Creëren van draagvlak onder beheerders voor de voorgestelde aanpak van de evaluatie, en de mogelijkheid tot feedback op het systeem door de gebruiker.

Hierbij gebruiken we de volgende vlakdekkende remote sensing informatie:

- Vegetatiebedekking en NDVI (normalized difference vegetation index; Landsat-data) om gewasfactoren te bepalen waarmee de referentiegewas-verdamping kan worden omgerekend naar een potentiële verdamping van een vegetatie;
- Hoogtekaart: AHN-1;
- Landgebruik: LGN-6;
- Unmanned Airborne Vehicle (UAV) -beelden (vluchten in juni en aug/sep 2014).

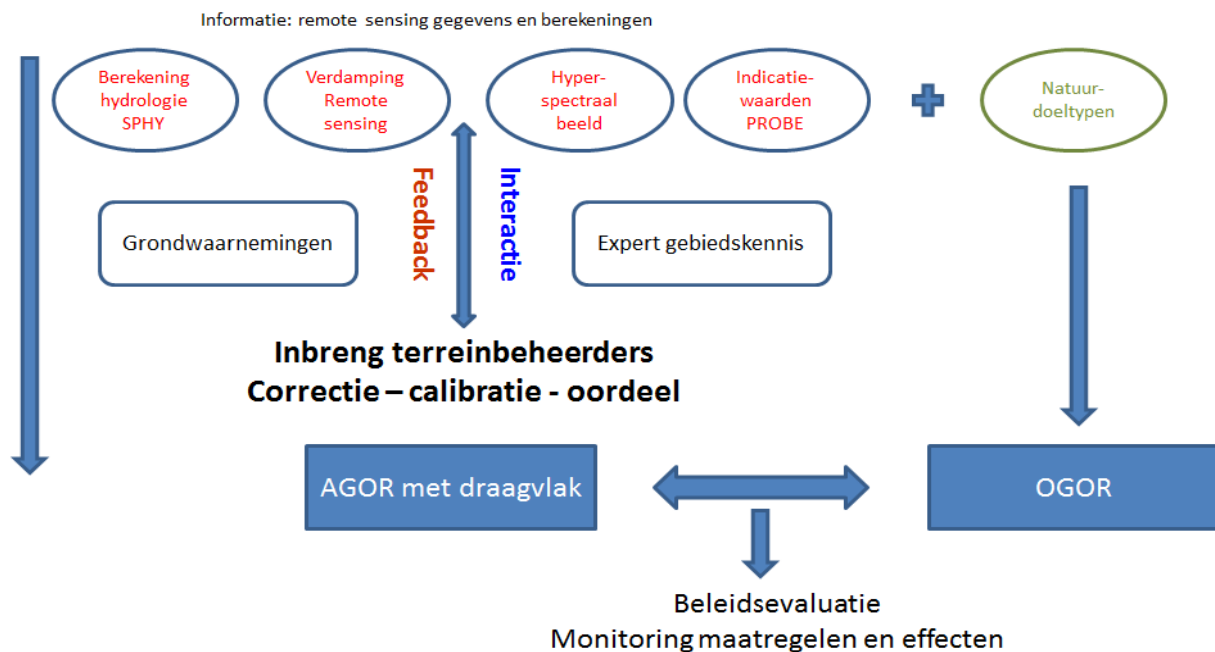
We proberen binnen SWIMM zoveel mogelijk met data te werken die een onafhankelijk beeld schetsen van de toestand van de waterhuishouding en van de vegetatie. We stellen SWIMM-informatie online beschikbaar als de NatuurVerdrogingsmonitor via een webservice, een viewer en een App (iOS).

2 ONTWIKKELING SWIMM-METHODE

2.1 TECHNISCH-INHOUDELIJKE ASPECTEN

2.1.1 Algemeen

SWIMM methodiek en proces: van informatie via draagvlak naar evaluatie



Figuur 1. Schema van SWIMM-methode.

Monitoring moet gebiedsdekkende informatie opleveren over de effecten van genomen maatregelen, teneinde het beleid zinvol te kunnen evalueren. Een nauwe band tussen beleidsmaatregelen-resultaatgerichtheid is gelegd door het Rijksprogramma 'Van Beleidsbegroting Tot Beleidsverantwoording' (VBTB). Monitoring van effecten vormt hiervan een wezenlijk onderdeel. De monitoring van de waterhuishouding richt zich veelal op punten in de ruimte, bijvoorbeeld een locatie waar een grondwaterstand in de tijd wordt gemeten in een peilbuis, of de waterafvoer met een stuw. Deze informatie wordt soms niet-uniform, niet-permanent en niet op de juiste locatie vergaard. Zo staan peilbuizen nogal eens in wegbermen. Ook wordt de monitoring veelal niet ruimtelijk c.q. vlakdekkend uitgezet. Daarnaast zijn bij de uitvoering van monitoringsprogramma's vaak verschillende partijen betrokken. Omdat de informatie niet gebiedsdekkend is, noch op een uniforme wijze ingewonnen, is de vergelijking van gebieden door verschillende partijen bij beleidsvaluatie lastig eenduidig en objectief te maken.

Wij stellen daarom een methode voor om de toestand van de waterhuishouding van een gebied te bepalen vanuit gebiedsdekkende informatie over weer en klimaat, bodem, landgebruik en regionale waterhuishouding (Figuur 1). Dat doen we door een slimme integratie van waarnemingen aan de grond, waarnemingen uit de lucht via satellieten en/of UAV's en vliegtuigen, vlakdekkende hydrologische modelberekeningen en de lokale kennis die bij terreindeskundigen aanwezig is. Vervolgens vergelijken we gebiedsdoelen met de aldus vastgestelde waterhuishoudkundige toestand van een gebied en stellen eventuele discrepanties vast tussen de huidige waterhuishoudkundige toestand en de optimale situatie. Weer en klimaat nemen we hier expliciet in mee. De analyse en informatie worden beschikbaar voor alle betrokken beheerders via een viewer en een App (iOS). Via deze middelen bevorderen wij de

samenwerking tussen partijen en activiteiten inzake monitoring en verbeteren wij de eenduidigheid van beleidsevaluatie. We zijn gestart met een generieke opzet van de methode, zodat deze toepasbaar is voor diverse landgebruiksfuncties. We gebruiken een drietal gebieden in Noord-Brabant om de methode te testen voor de landgebruiksfunctie natuur.

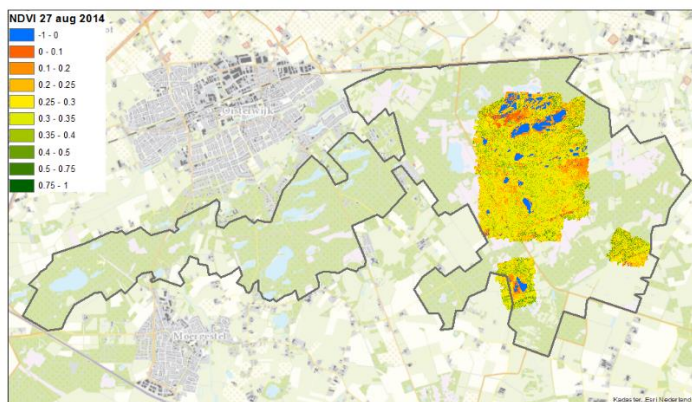
Door gezamenlijke analyse en presentatie van integrale resultaten denken we lokale en regionale beheerders enthousiast te kunnen maken om hun maatregelen én monitoring uit te blijven voeren en te verbeteren, mede omdat ook zij toegang krijgen tot de analyse en gegevens via een toegankelijke viewer. Hier kunnen ze ook hun eigen informatie aanleveren en zien hoe andere partijen het doen. Dat is niet alleen leerzaam, het kan leiden tot de wens om het nog beter te doen. Hierdoor zal de kwaliteit van de resultaten van SWIMM verbeteren. Dit project heeft namelijk mede als doel de samenwerking te bevorderen tussen beleid, uitvoering en monitoring. Daarnaast zetten we een werkwijze en techniek op, die ook elders in Nederland en internationaal uit te rollen is.

2.1.2 Brongegevens

We hebben diverse bronnen van informatie nodig om de SWIMM-methode te vullen. Gegevens bestaan uit dynamische en statische, in de vorm van vlakdekkende gegevens en tijdreeksen. Te noemen zijn als voorbeeld:

- Natuurdoeltypekaart en Natuurbeheertypekaart;
- Vegetatiekaart (actueel) en vegetatie-opnames (2mx2m);
- Bodemtypen 1:50.000 en -fysische eenheden van het NHI (nationaal hydrologisch instrumentarium);
- Landgebruik LGN-6;
- Maaiveldhoogte AHN-1;
- Vegetatiebedekking en NDVI (Landsat-5) (dynamisch);
- NDVI en verschil in NDVI binnen groeiseizoenen (UAV) (dynamisch);
- Indicatorwaarden (De Kampina - APEX);
- Stijghoogte grondwater, dagsommen neerslag en referentiegewasverdamping (dynamisch).

De stijghoogte van het grondwater is een typisch voorbeeld van informatie puntniveau (XYZ) in de vorm van een tijdreeks. Gegevens over dagsommen van neerslag en referentiegewasverdamping zijn een combinatie van vlakdekkende kaarten (1000 m resolutie, bron KNMI) en tijdreeksen (dagelijkse kaarten). In Figuur 2 is een voorbeeld te zien van een NDVI-kaart voor De Kampina in augustus 2014, ingevlogen met een UAV.



Figuur 2. NDVI-opname (augustus 2014) van deelgebied van De Kampina.

2.1.3 SPHY - vlakdekkend hydrologisch model

Spatial Processes in HYdrology (SPHY) is een door FutureWater ontwikkeld hydrologisch model. SPHY combineert een aantal eigenschappen die noodzakelijk zijn voor het efficiënt doorrekenen van ruimtelijke hydrologische processen, die binnen het huidige aanbod van hydrologische modellen nog onvoldoende werden afgedekt. Het is een gedistribueerd hydrologisch model dat per gridcel de waterbalans oplost en sterk gevoed wordt door remote sensing data. Afhankelijk van de beoogde toepassing kunnen bepaalde modules aan of uit worden gezet, wat de rekentijd sterk doet afnemen. Voorbeelden van modules zijn gletsjer- en sneeuwmelt, open water routing en grondwater.

SPHY is geschikt voor toepassingen op verschillende ruimtelijke schalen en kan zowel in een analytische als operationele setting worden gehanteerd. De schematisering van de bodem in SPHY met bijbehorende hydrologische processen is weergegeven in Figuur 3. SPHY wordt typisch op dagbasis gerund en levert uitvoer zoals werkelijke verdamping, bodemvochtgehalte in de wortelzone en grondwaterstand. SPHY is geheel open-source en kan, inclusief begeleidende documentatie, worden gedownload via www.sphy.nl.

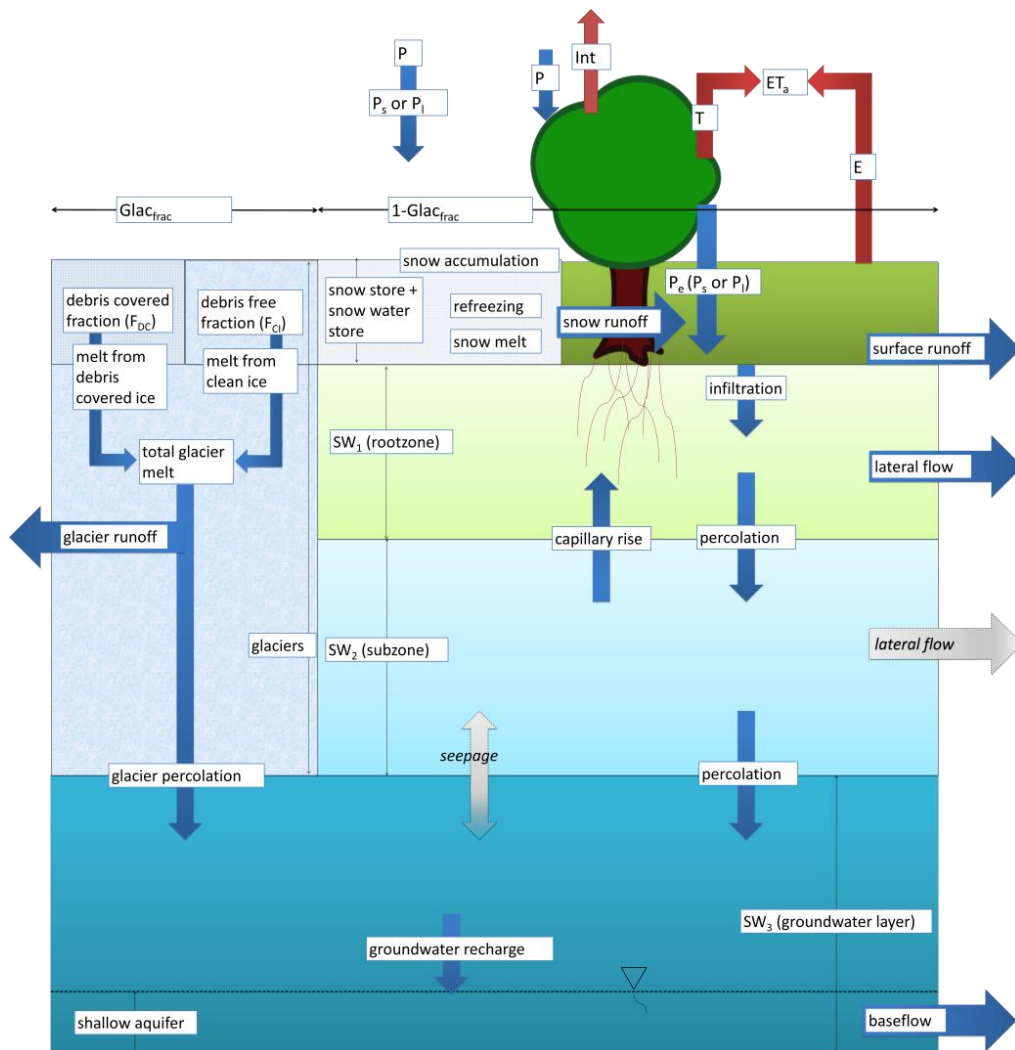
In de SPHY-configuratie voor de NatuurVerdrogingsmonitor maakt het model gebruik van o.a. de volgende inputgegevens:

- Normalized Difference Vegetation Index (NDVI): deze indicator van vegetatiebedekking wordt afgeleid van Landsat-beelden, die afhankelijk van de locatie elke 8 of 16 dagen op 30m resolutie worden opgenomen. Hiermee worden gewasfactoren bepaald waarmee de referentiegewas-verdamping kan worden omgerekend naar een potentiële verdamping van een vegetatie.
- Hoogtekaart: hiervoor wordt de tweede versie van het Actueel Hoogtebestand Nederland gebruikt (AHN-2).
- Landgebruik: om landgebruiksveranderingen in tijd en ruimte mee te nemen in het model wordt de historische LGN-reeks gebruikt (LGN1 t/m LGN6).
- Bodem: de bodemkaart van Alterra op schaal 1:50.000 wordt gebruikt, met bijbehorende hydraulische eigenschappen, zoals gebruikt in het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium (NHI).
- Neerslag en referentiegewas-verdamping volgens Makkink: hiervoor worden de dagelijkse vergridde producten met 1000 meter celgrootte uit het KNMI datacentrum gebruikt.

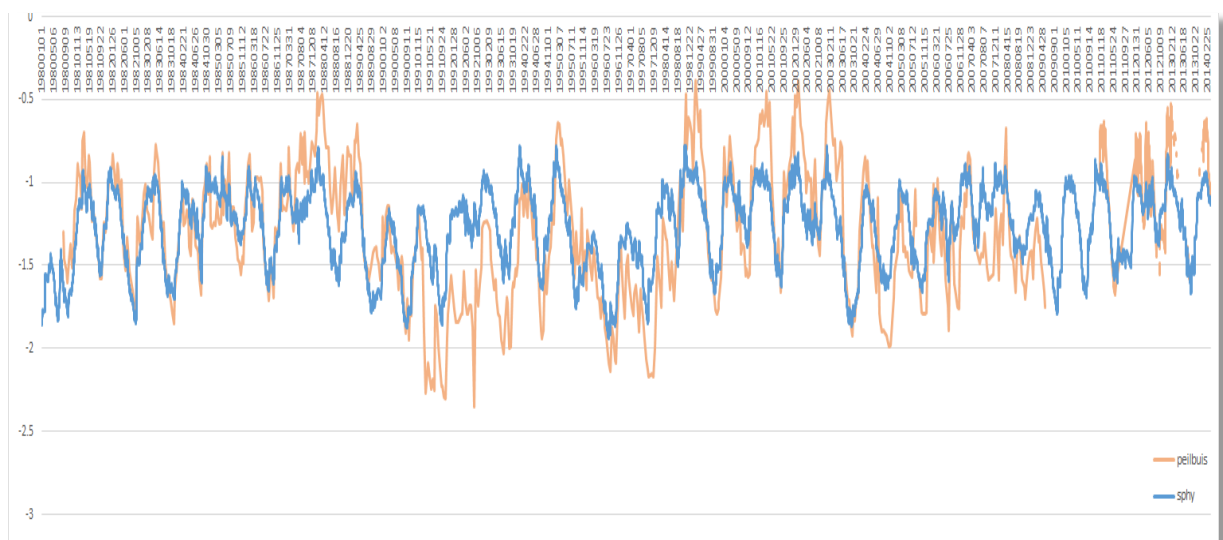
SPHY is opgezet op voor De Kampina, Brabantse Wal en Groote Peel voor de periode van 1 april 1980 tot en met 31 maart 2014, oftewel 34 volledige hydrologische jaren. Alle output is op dagbasis gegenereerd met een ruimtelijke resolutie van 25 meter. De eerste jaren worden hierbij gezien als “inlooptijd” van het model. De overige 30 jaar worden gebruikt voor het vaststellen van de langjarige grondwatercondities in de vorm van GLG en GHG. Om aan te sluiten bij WaterNOOD is de GVG gedefinieerd als de gemiddelde grondwaterstand in de maanden maart en april van de jaren 1982 tot en met 1987.

Voor de NatuurVerdrogingsmonitor is SPHY gekalibreerd aan de hand van peilbuismetingen van grondwaterstanden (Figuur 4). Hierbij is het laatste hydrologische jaar (2013-2014) niet meegenomen, zodat dit als validatiedataset kan worden gebruikt (

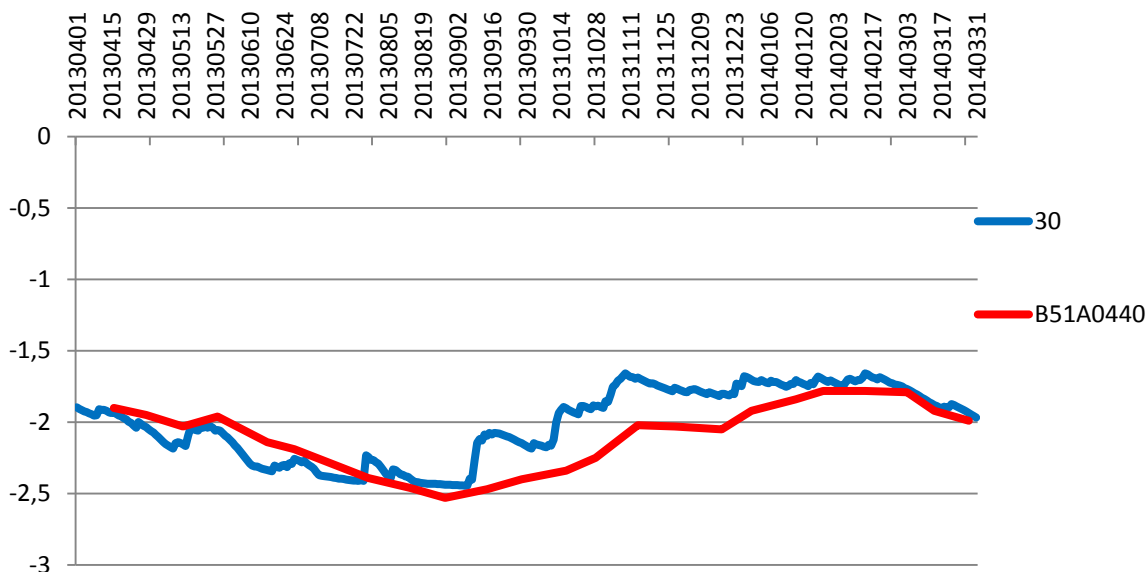
Figuur 5). Naast grondwaterstanden is ook validatie aan de hand van werkelijke verdamping mogelijk. Voor een locatie in De Kampina is de in het veld gemeten verdamping beschikbaar voor het jaar 1996. Gemeten en gemodelleerde waarden zijn tegen elkaar uitgezet in Figuur 6. De met SPHY gevonden totale verdamping in 1996 op deze locatie valt binnen de bandbreedte van onzekerheid die met de veldmeting gepaard gaat.



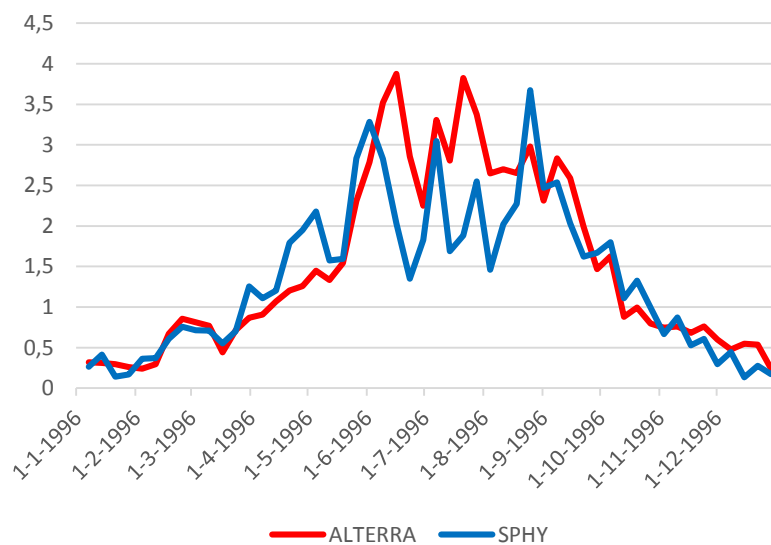
Figuur 3. SPHY Spatial Processes in Hydrology: hydrologische processen die in het SPHY-model gesimuleerd kunnen worden.



Figuur 4. Gemeten en door SPHY berekende grondwater-stijghoogten, voorbeeld 1980-2014.



Figuur 5. Validatie SPHY: gemeten (rood) en berekende (blauw) stijghoogte grondwater te peilbuis B51A0440 voor 1-4-2013 t/m 31-3-2014.



Figuur 6. Gemeten (Alterra, STOWA rapport 1920) werkelijke verdamping in 1996 van locatie De Kampina van 540 mm/jaar (+/- 55mm) versus berekende werkelijke verdamping met SPHY van 496 mm/jaar.

Nu de pilotfase van de NatuurVerdrogingsmonitor is voltooid kan worden gesteld dat SPHY een geschikte tool is om op basis van remote sensing, veldmetingen en GIS-datasets op dagbasis werkelijke verdamping, bodemvocht en grondwaterstanden te simuleren. Er bestaan echter verschillende uitdagingen die in de toekomst extra aandacht behoeven, zoals:

- Hoe om te gaan met ingrepen in het watersysteem in de calibratie van het model?
- Het modelleren van schijnspiegels.
- Zeer ondiepe grondwaterstanden – het model heeft de neiging deze te dieper te schatten.
- Het variërende oppervlak van vennen simuleren.

Laterale drainage en oppervlakkige afvoer worden door SPHY berekend in de SWIMM configuratie. De 'routing' module die in SPHY beschikbaar is gekomen, werkt grotendeels op basis van een DEM ('digital elevation model', maaiveldhoogte-model) en is reeds succesvol toegepast op grovere ruimtelijke resoluties en bergachtige gebieden. Echter, in de Nederlandse situatie wordt de waterhuishouding vaak aangestuurd door middel van drainagemiddelen en kunstwerken zoals duikers, stuwen e.d. en in mindere mate door de vorm en helling van het maaiveld. De vraag is dus in hoeverre de laterale drainage en oppervlakkige afvoer in zo'n situatie beschreven worden door slechts een DEM. Een hydraulisch model is in zo'n situatie wenselijk. Gedacht kan worden aan een koppeling waarbij SPHY de bodem-waterhuishouding afdekt en door SPHY berekende waterfluxen een hydraulisch model voeden. Dit zou nader uitgezocht moeten worden.

Om maatregel-effect berekeningen te doen met SPHY kan het model tweemaal gekalibreerd worden, i.c. voor een tijdserie van peilbuisgegevens gemeten vóór en ná het uitvoeren van de ingreep. Idealiter zijn de tijdreeksen vóór en ná de ingreep lang genoeg i.c. een aantal seizoenen om twee gekalibreerde SPHY modellen te kunnen draaien, om zo ruimtelijk het effect van de maatregel op grondwaterstand of bodemvocht in beeld te kunnen brengen.

Echter, de grootste uitdagingen liggen waarschijnlijk niet zozeer in het verder ontwikkelen van het model, maar in het verbeteren van de data-beschikbaarheid. In het bijzonder de volgende input zijn is voor verdere verbeteringen van SPHY-inzet in een vervolgfase van de NatuurVerdrogingsmonitor:

- Ingrepen in het watersysteem en uitgevoerde maatregelen in de natuurgebieden (wat, waar en wanneer).
- Storende lagen in bodem en ondergrond, die tot stagnatie van de stroming van bodemwater en schijnspiegels kunnen leiden.
- Validatiedata: werkelijke verdamping en bodemvochtmetingen.

Naast het bovenstaande is er behoefte aan aansluiting bij bestaand een database-systeem (DINO-nationaal, Hydronet-App waterschappen), waarin peilbuismetingen van alle verschillende instanties worden verzameld, en waarin op een gestandaardiseerde manier wordt omgegaan met gaten in de dataset en metingen ten tijde van bijvoorbeeld (zeer) natte omstandigheden, waarbij peilbuizen onder water kunnen komen te staan.

2.1.4 WaterNOOD instrument

WaterNOOD (Runhaar et al., 2002) is een computerprogramma waarmee kan worden getoetst in hoeverre de waterhuishouding van een gebied voldoet aan de eisen van de in dat gebied aanwezige natuurdoelen. Het programma gebruikt daartoe vier waterhuishoudkundige toetsingsgrootheden: (1) de gemiddelde voorjaargrondwaterstand GVG, (2) de gemiddelde laagste grondwaterstand GLG, (3) de droogtestress DS, en (4) de invloed van kwel op de vegetatie. DS geeft aan hoe droog de wortelzone van de bodem in de zomer kan worden. WaterNOOD bepaalt deze maat op basis van de GLG, het bodemtype, en het regionale klimaat. Of er sprake is van kwel of niet (ad 4), dient door de gebruiker zelf te worden geschat (Boleaanse grootheid: 'ja' of 'nee').

Voor de toetsing aan de eerste drie grootheden maakt WaterNOOD gebruik van trapeziumvormige functies. Als voorbeeld is hier de doelrealisatiefunctie gegeven voor de GVG van het natuurdoeltype 'Gagelstruweel' (Figuur 7). Uit deze figuur kan worden afgeleid dat dit type optimaal voorkomt bij een GVG van 5-23 cm min maaiveld. Staat de GVG meer dan 5 cm boven maaiveld, of meer dan 30 cm onder maaiveld, dan is de doelrealisatie 0%. Met vier knikpunten (in het voorbeeld: (-5 cm, 0 %), (5 cm, 100 %), (23 cm, 100 %), (30 cm, 0 %)) ligt de trapeziumvorm dus vast en tussen deze knikpunten wordt de doelrealisatie via lineaire interpolatie bepaald. Veel natuurdoeltypen stellen alleen als eis dat het niet te nat mag zijn (bijvoorbeeld voor de GVG bij Droge heide), of niet te droog (bijvoorbeeld voor de GLG bij Grote

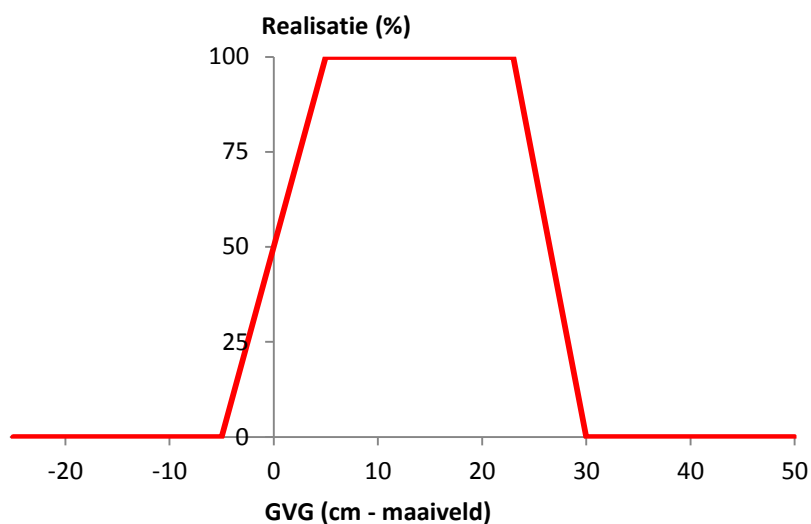
zeggenmoeras). In dat geval is de doelrealisatiefunctie eenzijdig begrensd en wordt hij beschreven met slechts twee knikpunten.

In dit project werd gebruik gemaakt van een op Noord-Brabant toegesneden lijst met knikpunten (Ertsen et al., 2005).

Vrijwel alle natuurdoeltypen stellen in WaterNOOD eisen aan de GVG, maar aan de GLG, de droogtestress en de kwelinvloed worden door maar een beperkt aantal typen eisen gesteld. In dat geval is de doelrealisatie per definitie 100%. (voorbeeld: voor Gagelstruweel zijn geen eisen geformuleerd ten aanzien van de GLG en dus is de doelrealisatie van dit type voor de GLG altijd 100%). Door vermenigvuldiging van de doelrealisaties van de vier hydrologische grootheden ontstaat de Totale Doelrealisatie. Is de totale doelrealisatie 100%, dan is de waterhuishouding voor het betreffende type optimaal: er is dan sprake OGOR: het optimale grond- en oppervlaktewaterregime.

Tijdens de uitvoering van het project bleek WaterNOOD foute uitkomsten te produceren of voortijdig de berekeningen afbrak, zonder opgave van redenen. Na enig speurwerk kwam het projectteam erachter dat WaterNOOD niet meer functioneert onder de nieuwere versies van ArcGIS die nu bijna overal in Nederland op computers zijn geïnstalleerd. Omdat het projectteam niet kon beschikken over de oude, wel geschikte ArcGIS versies (9.1 en 9.2), noch kon wachten op een update van WaterNOOD, besloot het nieuwe software te schrijven. In bijlage 7.9 is over deze eigen versie van WaterNOOD uitgebreid gerapporteerd. Deze versie bevat een drietal nieuwe functionaliteiten, te weten berekening van:

- minimale doelgat dat hoort bij de OGOR;
- maximaal haalbare doelrealisatie per natuurdoelkaartvlak;
- relatieve doelrealisatie per natuurdoelkaartvlak.



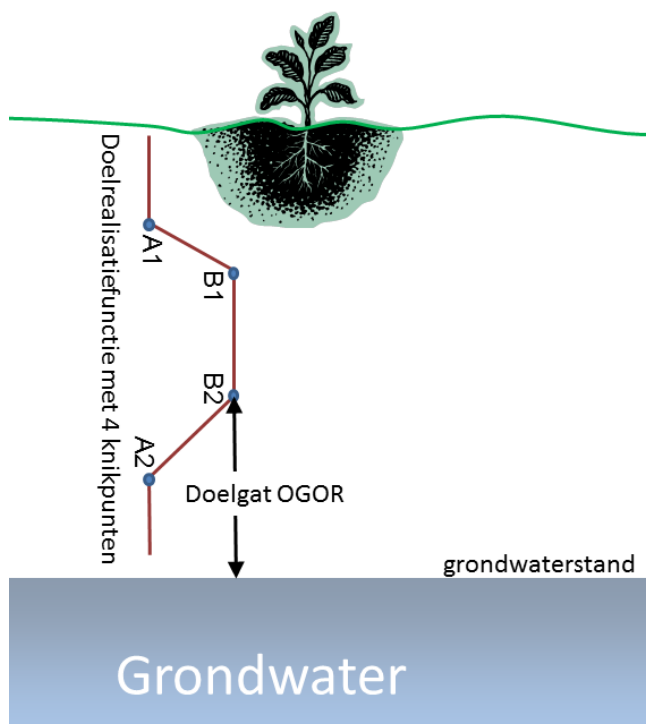
Figuur 7. Doelrealisatiefunctie voor de GVG van het natuurdoeltype 'Gagelstruweel'.

Ad a) Het OGOR-doelgat is de minimale grondwaterstandsverhoging of -verlaging die vereist is om een doelrealisatie van 100% te halen (Figuur 8). Dit is dus het doelgat dat hoort bij de grondwaterstand die optimaal is voor het natuurdoeltype. Deze wordt berekend voor de GVG en de GLG. Dat gebeurt ook voor de droogtestress (DS), alleen is het doelgat dan uitgedrukt in dagen, omdat DS is gedefinieerd als het aantal dagen per jaar dat een zuigspanning in de bodem van 120 m wordt overschreden.

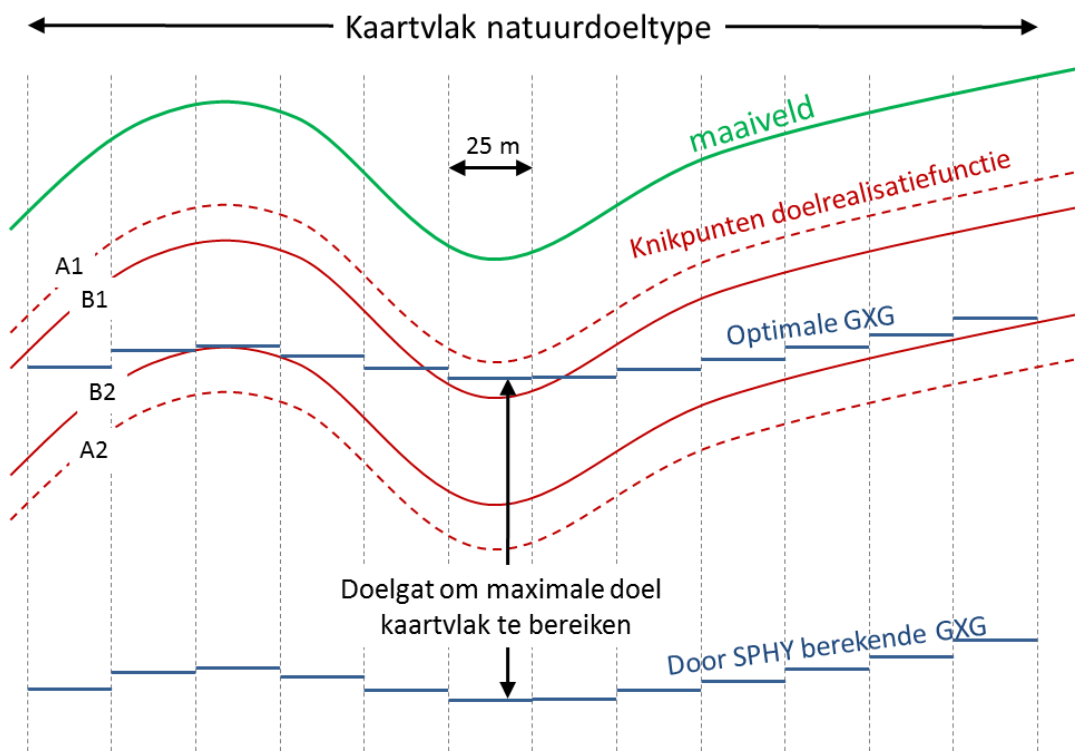
Ad b) Natuurdoelen zijn op kaart in vlakken aangegeven. Om honderd procent doelrealisatie te halen, zou overal in ieder vlak de grondwaterstand optimaal het maaiveld moeten volgen. Het is niet realistisch te veronderstellen dat dit altijd mogelijk is, al was het maar omdat veel natuurterreinen een niet te verwaarlozen variatie in maaiveldhoogte hebben. Deze variatie is in de natuurdoelenkaart is weg geschematiseerd. In onze applicatie berekenen we de maximale doelrealisatie per kaartvlak door de GVG en GLG uit het hydrologische model voor dat kaartvlak met kleine stapjes te verhogen en verlagen en zo proefondervindelijk vast te stellen wat maximaal haalbaar is aan doelrealisatie (Figuur 9), gegeven de variatie in maaiveldhoogte.

Ad c) De relatieve doelrealisatie is de totale doelrealisatie per kaartvlak, geschaald naar wat maximaal kan worden gerealiseerd op basis van de geaccidenteerdheid van het terrein. Is de totale doelrealisatie bijvoorbeeld 40%, en de maximale realisatie 50%, dan wordt de relatieve realisatie $100 \cdot (40/50) = 80\%$.

Bij de toepassing in de drie proefgebieden zijn we op een aantal tekortkomingen en discrepanties gestuit die aanleiding kunnen zijn voor verbeteringen. Deze worden beschreven in bijlage 7.9 en komen aan de orde bij de aanbevelingen.



Figuur 8. Berekeningswijze van (minimale) doelgat bij OGOR. De trapeziumvormige doelrealisatiefunctie van Figuur 7 is nu gekanteld weergegeven (90 graden met de klok mee).



Figuur 9. Berekeningswijze van maximale doelrealisatie en bijbehorend doelgat, uitgaande van aanwezige variatie in maaiveldhoogte en de uitkomsten van SPHY. Met stippellijnen zijn de grenzen van rekencellen van 25m gegeven. In dit voorbeeld is 100% doelrealisatie in het hele kaartvlak onmogelijk, want het lukt niet de grondwaterstand zo te verhogen dat hij overal tussen de twee binnenste knikpunten (B1 en B2) van WaterNOOD valt.

2.2 INFORMATIE ONLINE BESCHIKBAAR

We hebben er in SWIMM bewust voor gekozen data niet in rapportvorm e.d. te tonen en op te leveren. Beter lijkt het ons om 'levend' data te presenteren, zowel tijdreeksen als kaarten, online en digitaal, die voor betrokkenen dan wel voor iedereen toegankelijk zijn. We hebben drie platforms die de SWIMM informatie beschikbaar maken, te weten een webservice als online GIS, een viewer en een App (iOS). De opzet, structuur en functionaliteiten van de viewer en de App zijn 1:1 identiek. In Tabel 1 zijn alle kaartlagen en info te zien die beschikbaar zijn binnen SWIMM.

De wensenlijst die we hebben vastgesteld n.a.v. de workshop in juli 2014 luidde als volgt:

- Functionaliteit App is identiek aan functionaliteit viewer.
- iOS native ondersteuning (iPhone en iPad).
- Legenda's voor alle kaarten, toelichting bij alle kaartlagen.
- Inzoomen / uitzoomen en plaatsbepaling .
- Alle peilbuizen en grafieken van GxG.
- Rapportage over locatie (doelrealisatie, natuurdoeltype, grondwaterregime etc...).
- Links naar andere websites (zoals WaterNOOD, Wateratlas).
- Alle drie gebieden te zien vanuit elke plek.
- Feedback naar makers & initiatiefnemers vanuit de App (Yammer-link is in de maak).
- Ondersteuning door de webservice (alle informatie), kaartlagen in viewer en App zijn selectie uit de kaarten in de webservice.
- Publicatie in de Apple App store.
- Generieke aanpak, om een toekomstige Android App mogelijk te maken.

We hebben deze lijst verwerkt in een intuïtieve App, waarvoor uiteraard geen handleiding nodig is. De webservice is een online GIS, dat benaderbaar is via internet:

http://swimm-brabant.nl/swimm_map/swimm.html

Alle SWIMM informatie is opgeslagen in de webservice als ware het een digitale kaartenbak. Het is mogelijk om als gebruiker alle kaartlagen in SWIMM als GIS-kaart te downloaden en verder te verwerken.

Viewer en App

De viewer en App zijn identiek qua inhoud en functionaliteit. De functionaliteiten van de viewer en App staan in Tabel 2 vermeld. De functionaliteiten van de viewer en App zijn getest en goed bevonden door de provincie, een groep deelnemers aan de workshops en het SWIMM-consortium. De kaartlagen en de informatie in de viewer en App (Tabel 1) vormen een selectie van de informatie in de webservice.

Tabel 1. Lijst van kaartlagen in webservice enerzijds en viewer en App anderzijds.

27-1-2015 NatuurVerdrogingsMonitor		Webservice	Website en App
<Natuurdoelen>	Natuurdoeltypen	x	x
	Resterende Beleidsopgave Totaal 2014 (%)	x	x
<Doelgat>	Doelgat GVG (AGOR t.o.v. OGOR) (cm)	x	x
	Doelgat GLG (AGOR t.o.v. OGOR) (cm)	x	x
	Doelgat Droogtestress (AGOR t.o.v. OGOR) (d)	x	x
	Doelgat Kwel (AGOR t.o.v. OGOR) (mm/d)	x	x
<Doelrealisatie>	Doelrealisatie Totaal (AGOR t.o.v. OGOR) (%)	x	x
	Doelrealisatie GVG (AGOR t.o.v. OGOR) (%)	x	x
	Doelrealisatie GLG (AGOR t.o.v. OGOR) (%)	x	x
	Doelrealisatie Droogtestress (AGOR t.o.v. OGOR) (%)	x	x
	Doelrealisatie Kwel (AGOR t.o.v. OGOR) (%)	x	x
<Actuele toestand>	Grondwaterstanden peilbuizen in DINO (langjarig voortschrijdend) (cm-maaiveld)	x	x
<Huidig grondwaterregime>	GVG (AGOR, SPHY, 30 jaar) (cm-maaiveld)	x	
	GLG (AGOR, SPHY, 30 jaar) (cm-maaiveld)	x	
	GHG (AGOR, SPHY, 30 jaar) (cm-maaiveld)	x	
	GG (AGOR, SPHY, 30 jaar) (cm-maaiveld)	x	
	Kwel (AGOR, SPHY, 30 jaar) (mm/d)	x	
	Dynamische wekelijkse grondwaterstand SPHY (klassen) (-)	x	x
	Dynamische wekelijkse vochttoestand wortelzone SPHY (klassen) (-)	x	x
	Dynamische wekelijkse werkelijke verdamping SPHY (mm/week)	x	x
	Doelrealisatie Haalbaar rekening houdend met variatie in maaiveldhoogte (%)	x	
	Doelrealisatie Totaal Gecorrigeerd (AGOR t.o.v. OGOR) (%)	x	
<Ondersteunende informatie>	Vegetatie-kaart (vlakken en legenda)	x	
	Standplaats-indicator natheid minnende soorten (-)	x	
	Standplaats-indicator droogte minnende soorten (-)	x	
	Standplaats-indicator Vocht (-)	x	
	Standplaats-indicator Voedselrijkdom (-)	x	
	Standplaats-indicator Zuur (-)	x	
	UAV-orto-foto	x	
	UAV-orto-foto (hoge resolutie)	x	
	UAV-beeld NDVI juni 2014 (-)	x	
	UAV-beeld NDVI augustus 2014 (-)	x	
	UAV-beeld verschil in NDVI juni-augustus 2014 (-)	x	
	APEX hyperspectraal-beeld Standplaats-indicator Vocht (-)	x	
	APEX hyperspectraal-beeld Standplaats-indicator Voedselrijkdom (-)	x	
	APEX hyperspectraal-beeld Standplaats-indicator Zuur (-)	x	
	APEX hyperspectraal-beeld Standplaats-indicator pH (-)	x	
	APEX hyperspectraal-beeld GVG-indicatie (cm-maaiveld)	x	
	Wateratlas (link naar website)	x	x
	Grondwateronttrekkingen: ligging putten	x	
<Geo-informatie>	Maaiveldhoogte (AHN-1)	x	x
	Bodemkaart Nederland	x	
	Bodemfysische Eenheden	x	
	LGN-6 (Nederland)	x	
	Grenzen provincie Noord-Brabant	x	
	Grenzen gemeenten	x	
	Gebieden NNP	x	
	Grenzen NNP	x	x
<Achtergrond>	Achtergrond Google Straten	x	x
	Achtergrond Google Satelliet	x	x
	Achtergrond Google Hybride	x	x
<Websites>	WaterNOOD (link)	x	x

Tabel 2. Lijst van functionaliteiten viewer/App, op basis van workshops 7 juli en 7 oktober 2014.

	Functioneel	
	Doelstelling 1 Monitoren	Doelstelling 2 terugkoppelen "app"
Dissatisfier	Eigen kaart toevoegen [1]	Push van relevante info over een deelgebied wanneer je daar in de buurt bent of van vragen
	Automatisch alert wanneer gebied risicovol droog is [2]	Foto 's uploaden
Satisfier	Exporteren naar JPG, CSV en Shape [3]	Zoeken op gebiedsnaam
		Selecteren van gebieden die je wilt bekijken
		Verschillende locaties tegelijk bekijken [4]
Satisfier	Invoeren en opvragen van data per tijdvak en datum [5]	
	Geopositie van het gebied	
	rol en taak [6]	
	Aan geven wie contactpersoon is van ingevoerde data	
	Data of visual (satelliet) [7]	
	Inzicht geven in verschillende soorten data	
	meerdere gegevens van 1 locatie opvragen [8]	
	Impressie van het natuurdoel (foto)	
	Gebruiksgemak [9]	
	Intutief gebruiksgemak	
Dissatisfier	Opvragen doelrealisatie per grid/vlakdekkend inzicht in de natuurdoelen	AGOR, grondwaterstanden historisch, en optimaal
	mogelijkheid tot vergelijken van gebieden op mate van herstel [10]	grondwaterstandmetingen (GLG, GHG, GVG en peilbusgegevens, gegevens (grond)waterkwaliteit
	lonen van metadata van gebieden en meetpunten, inclusief betrouwbaarheid en actualiteit	gebieden hersteld, werk gedaan
	kaartlagen toevoegen en weglaten [12]	weergave doelbereik, bij dynamische weergave incl waarschuwingfunctie
	aan-en uitzetten en zelf toevoegen van kaartlagen	controleren en waarnemingen kunnen invoeren (per locatie en/of vlak, foto, geotekenen)
	1 samenvattende laag [13]	beoordeling grondwaterstand per beheertype goed/matig/slecht
	aanklikbaar voor meer info, zowel resultaten als referentie en onderliggende data	AHN hoogte waarden
	kunnen in- en uitzoomen per device	vegetatie/habitatype
	betrouwbaarheidsindicatie [14]	locatie peilbuizen als stip geautoriseerd
		statistische modus data tabellen en visuele grafieken/Pie charts en geosatellietdata in diverse mod

2.3 INTERACTIE MET BEHEERDERS

Een cruciale vraag is in hoeverre de beheerder/gebruiker informatie kan terugkoppelen naar het systeem, en in hoeverre wij van deze info gebruik kunnen en willen maken.

Voorstel is een proefperiode waarin de gebruiker m.b.t. een paar specifieke gemeten variabelen (bijv. grondwaterstand, groenbedekking, ...) veldwaarnemingen kan terugkoppelen. In deze periode kan de SPHY invoer hierop worden aangepast. Dit vraagt wel extra functionaliteit van de App waarvan het de vraag is hoe deze eruit moet komen te zien. Tijdens de workshops is aangegeven dat er redenen zijn om dergelijke veldwaarnemingen te twijfelen, maar zo'n feedback systeem kan wel tot meer betrokkenheid, draagvlak en vertrouwen leiden.

Het is goed om tijdens de aanstaande gesprekken met natuurbeheerders een overzicht te maken van welke variabelen zij op welke manier meten, en hoe dit te relateren is aan onze modelruns. Andere mogelijkheid is om deze feedback informatie als extra op zichzelf staande informatiebron te verspreiden (dan hoeft het niet beperkt te worden tot een proefperiode).

We hebben voor het SWIMM-project een drietal workshops georganiseerd:

1. Introductie en functionele eisen App.
2. Eerste inhoudelijke resultaten en prototype van viewer en App.
3. Inhoudelijke resultaten, webservice, viewer en App.

Deze workshops hadden als deelnemers belanghebbenden en betrokkenen in de monitoringsomgeving van provincie, waterschappen en terreinbeheerders. De bijeenkomsten dienden de kans te geven actief kennis te maken met SWIMM, functionele en technische wensen te uiten inzake viewer en App, en draagvlak te genereren voor de methodiek en gebruikte informatie.

Ons instrument is ontwikkeld en functioneel getest, mede door in gesprek te gaan met terreinbeheerders Natuurmonumenten en Staatsbosbeheer, de drie betrokken waterschappen (Dommel, Aa en Maas, Brabantse Delta) en overige deskundigen. Daartoe is op Yammer in de loop van 2014 een projectomgeving ingesteld, waarbinnen gebruikers met elkaar kunnen communiceren. Via een 'Yammer-group' kunnen deelnemers elkaar berichten over ervaringen, vragen stellen en discussie voeren. Yammer is daarmee een professioneel platform dat

gekoppeld zou kunnen worden aan een IT-product zoals de App, om interactie tussen gebruikers te bevorderen en te faciliteren. In de periode februari-juni 2015 zal een operationele fase volgen. Hierin wordt de App technisch getest.



Figuur 10. Impressie workshop december 2014 te waterschap Aa en Maas.

(foto: Gé van den Eertwegh)

3 RESULTATEN SWIMM

3.1 BESCHIKBAARHEID BRONGEGEVENS

De meeste gegevens die we voor SWIMM nodig hebben zijn beschikbaar gekomen door de inzet van betrokkenen. Er is echter een aantal data niet geleverd, niet compleet geleverd of niet goed bruikbaar. Daar zijn diverse redenen voor:

- De Natuurdoeltypekaart Grote Peel van de provincie toont slechts één doeltype. Daarom is na de laatste workshop voor dit gebied de Natuurbeheertypekaart ingezet. Daarmee is de vergelijkbaarheid van de resultaten van drie gebieden niet 100% identiek.
- De UAV-beelden van juni en augustus 2014 laten na bewerking een te gering verband zien met de beschikbare vegetatieopnames (uit 2001-2011) in de vorm van indicatorwaarden op de standplaatsen. Een momentopname van de NDVI via de drie NIR-banden levert voor een natuurlijke vegetatie blijkbaar onvoldoende informatie-inhoud op om indicatorwaarden uit af te leiden. We wilden hiermee de ruimtelijke resolutie van het instrument verfijnen van 25m naar 2m, hetgeen niet gelukt is.
- We wilden de werkelijke verdamping van de vegetatie uit remote sensing bronnen, die de SAT-waterschappen in 2011-2013 en 2014 aangekocht hebben (dagwaarden op 250m resolutie), gebruiken om SPHY-berekeningen te valideren. De plausibiliteit van deze data bleek echter onvoldoende onderzocht, waardoor we deze data niet hebben kunnen inzetten.
- We wilden de digitale GxG-GGOR-kaarten van de drie NNP's gebruiken om de doelgaten te kunnen bepalen tussen AGOR en GGOR. Voor de Brabantse Wal zijn er geen kaarten tijdig beschikbaar gekomen. De beschikbare GGOR-kaarten voor de Groote Peel en De Kampina waren wel beschikbaar maar zijn via verschillende modelberekeningen tot stand gekomen. Hiermee is de kans groot dat als we gebieden onderling willen vergelijken voor beleidsdoeleinden, we verschillende modellen aan het analyseren zijn in plaats van de feitelijke doelrealisaties in de gebieden. Voldoende uniform berekende GxG-GGOR kaarten (methodiek, resolutie) zijn in digitale vorm nodig voor beleidsevaluaties die gaan komen.
- AGOR-informatie van andere modellen dan SPHY als onafhankelijke bron van AGOR-data is onvoldoende beschikbaar gekomen tijdens het project. Hierdoor hebben geen alternatieve data voor de discussies kunnen gebruiken.
- De digitale vegetatiekaart en de bijbehorende legenda zijn niet gekoppeld. De complete informatie kwam niet tijdig beschikbaar voor de webservice.
- Inhoudelijke informatie over de prestatie monitoring inzake maatregelen tegen verdroging van de Groote Peel en Brabantse Wal was niet compleet en kwam niet tijdig beschikbaar. Voor De Kampina hadden we de informatie wel. Voor een koppeling tussen de AGOR en het uitvoeren en tot hydrologisch effect komen van maatregelen én om NNP's onderling te kunnen vergelijken is digitale informatie nodig (GIS-kaarten bij voorkeur) over waar en wanneer welke maatregelen zijn getroffen in en om de NNP's. In RHDHV (2013) staat weinig tot geen inhoudelijke informatie over de prestatie monitoring.
- Metingen van de grondwaterstand op 'natte' locaties ontbreken nogal eens, omdat deze niet worden verzameld/uitgelezen als peilbuizen onder water staan.

Kortom, door genoemde problemen die onder andere ook deels door RHDHV (2013) al zijn benoemd, is het niet mogelijk geweest ons instrument te ontwikkelen en te testen zoals we van plan waren. Acties die hieruit voortvloeien zijn:

- Gelijke doel-vegetatietypen hanteren om vergelijkbaarheid van gebieden mogelijk te maken (provincie).
- De vegetatie van de NNP's invliegen met andere sensoren; zie aanbevelingen (projectteam).
- Cijfers over werkelijke verdamping op basis van remote sensing informatie (eLeaf 2011-2013 en HKV-ITC 2014) toetsen op fysische plausibiliteit (actie waterschappen).

- GGOR-GxG voor NNP's op een uniforme manier berekenen en in een GIS-ICT omgeving beheren en documenteren om beschikbaarheid te garanderen (waterschappen). Idem GxG-AGOR-informatie. Regie voeren door provincie.
- Up-to-date vegetatiekaarten genereren in een GIS-ICT omgeving, documenteren en beheren om beschikbaarheid te garanderen (provincie i.s.m. natuurterreinbeheerders NM en SBB). Er zijn nu geen digitale kaarten beschikbaar.
- Inhoudelijke aspecten van de prestatie monitoring (waar wanneer welke ingreep gepleegd) up to date maken en houden in een GIS-ICT omgeving, documenteren en beheren om beschikbaarheid te garanderen (waterschappen i.s.m. terreinbeheerders).
- Na elke BMV-evaluatie de aanbevelingen prioriteren en opvolgen die o.a. in KWR (2009) en RHDHV (2013) zijn benoemd (actie provincie), vóór de eerstvolgende evaluatie.
- Meetnet BMV aanpassen aan het doel van de monitoring: betreft de monitoring maatregel-effect-relaties (i.c. grondwaterstanden meten in gebieden waar maatregelen getroffen zijn), dan wordt deze anders opgezet dan voor een modelkalibratie. Voor deze laatste is het nodig om spreiding van meetpunten te realiseren over combinaties van standplaatsen en vegetatietypen.

3.2 INFORMATIE IN WEBSERVICE EN VIEWER/APP

De informatie en kaarten in SWIMM staat in Tabel 1. Informatie en kaarten worden per gebied opgesteld en gepresenteerd. De ruimtelijke resolutie van de gridkaarten is 25m. We richten ons op natuurlijke vegetatie en hydrologie. Belangrijk is dat de informatie steeds vlakdekkend beschikbaar is en op één eenduidige manier is bepaald. We onderscheiden de volgende niveaus:

1. Natuurdoelen en beleidsopgave;
2. Doelrealisatie en doelgat;
3. Huidig grondwaterregime (AGOR);
4. Actuele toestand (dynamisch);
5. Ondersteunende informatie en geo-informatie;
6. Achtergrond;
7. Link naar andere website(s).

Er volgt nu per niveau een korte omschrijving van de informatie/kaartlaag en een voorbeeldkaart, voor zover de kaartlagen voorkomen in de viewer en App.

Een natuurdoeltype is een in het natuurbeleid nagestreefd type ecosysteem dat een bepaalde biodiversiteit en een bepaalde mate van natuurlijkheid als kwaliteitskenmerken heeft. Met behulp van de landelijk gehanteerde systematiek van natuurdoeltypen kunnen meetbare doelstellingen voor gebieden worden bepaald. Deze doelstellingen zijn bedoeld als een belangrijk hulpmiddel voor de planvorming, het beheer, de inrichting en de evaluatie van natuur. Ieder natuurdoeltype stelt specifieke eisen aan de waterhuishouding, in het bijzonder aan de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand GVG, de gemiddeld laagste grondwaterstand GLG, de kwelinvloed en de droogtestress. De provincie heeft de kaarten ter beschikking gesteld. Voor de Groote Peel is na de workshop van december 2014 een kaart door de provincie ter beschikking gesteld met zogenaamde natuurbeheertypen. Deze kaart is gebruikt als referentie voor de doelrealisatie-berekeningen, omdat de natuurdoeltypekaart voor de Groote Peel geen ruimtelijk onderscheid kent en slechts één type omvat.

De resterende beleidsopgave [%] laat zien welk deel van de opgave voor het beleidsdoel nog behaald kan worden. Het is een opgave die gebaseerd is op de ambitie van de provincie, waarbij de referentie gelijk is aan de OGOR voor natte natuur.

De totale doelrealisatie geeft weer voor hoeveel procent het geplande natuurdoeltype kan worden gerealiseerd op basis van vier hydrologische parameters: de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand GVG, de gemiddeld laagste grondwaterstand GLG,

de droogtestress en de kwelinvloed. De totale doelrealisatie wordt berekend door de vier afzonderlijke doelrealisaties voor deze hydrologische parameters met elkaar te vermenigvuldigen. In Figuur 11 is een voorbeeld te zien voor de Brabantse Wal. De mate waarin een natuurdoeltype kan worden gerealiseerd (doelrealisatie) hangt af van de hydrologische omstandigheden ter plaatse. De doelrealisatie op basis van de GVG geeft weer wat de doelrealisatie is bij een gegeven gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand GVG. Deze doelrealisatie is berekend aan de hand van doelrealisatiefuncties met behulp van het programma WaterNOOD. Er worden ook doelrealisaties gepresenteerd op basis van de GLG, de droogtestress en de kwel.

Het doelgat GVG is de verandering in de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand die minimaal nodig is om voor het beoogde natuurdoeltype een doelrealisatie van 100% te realiseren. De grenswaarden voor de optimale grondwaterstand zijn ontleend aan WaterNOOD. Met behulp van het hydrologische raster-gebaseerde model SPHY (www.sphy.nl; Terink et al. 2012) zijn GxG-waarden in de Kampina, Grootte Peel en Brabantse Wal berekend voor de periode van 1 april 1984 tot en met 31 maart 2013, op een ruimtelijke resolutie van 25 meter. 1:1 Volgend uit de in WaterNOOD gebruikte definitie is de SPHY GVG van 1982 tot en met 1987 genomen als input voor berekening van het doelgat. De GVG is per cel gedefinieerd als het gemiddelde van de grondwaterstanden tussen 1 maart en 30 april. Er worden ook doelgaten gepresenteerd voor de GLG, droogtestress en kwel.

We kunnen alle TNO DINO-loket peilbuislocaties en tijdreeksen laten zien via de GIS-ICT-platforms. In SWIMM zijn peilbuizen opgenomen die aan de volgende criteria voldoen:

- Data beschikbaar in DINO-loket TNO, inclusief essentiële metadata (met name maaiveldhoogte en filterdiepte);
- Langjarige tijdreeks tussen de jaren 1980 en 2014 (minimaal 10 aaneengesloten jaren);
- Een filter in het freatisch grondwater.

Door de peilbuizen aan te klikken wordt een nieuw venster geopend dat tijdseries van de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand (GVG), gemiddelde laagste grondwaterstand (GLG), en gemiddelde hoogste grondwaterstand (GHG) weergeeft. Deze voortschrijdende gemiddeldes zijn voor elk jaar berekend op basis van de 8 voorgaande jaren. De GVG is het gemiddelde van de gemeten voorjaarsgrondwaterstand (maart en april) in de 8 voorgaande hydrologische jaren. De GHG en GLG zijn respectievelijk gebaseerd op de gemiddelden van de 3 hoogste (HG3) en laagste (LG3) gemeten grondwaterstanden per jaar voor de 8 voorgaande hydrologische jaren. De HG3 en LG3 per jaar kunnen eveneens worden bekeken in deze grafiek.

We gaan vanaf februari 2015 wekelijks een update geven van de hydrologische situatie van de drie NNP-pilotgebieden. De hierbij gepresenteerde resultaten van SPHY zullen zijn:

- Grondwaterstand;
- Bodemvocht in wortelzone;
- Werkelijke verdamping van de vegetatie.

De eerste twee variabelen zullen we weergeven in relatieve klassen, die aangeven hoe de actuele toestand afwijkt ten opzichte van de langjarig gemiddelde situatie. De werkelijke verdamping wordt weergegeven als een week-som (mm/week).

Grondwateronttrekking is het onttrekken van grondwater om verschillende redenen, bijvoorbeeld: bij bouwwerkzaamheden (bronbemaling); bij het aanleggen van riolering, kabels en leidingen (sleufbemaling); bij het uitvoeren van een bodemsanering (sanering van grond en grondwater); voor productieprocessen in industrieën; voor drinkwaterwinning voor vee; voor warmte/koude opslag in de bodem. De kaart in SWIMM toont de putten voor zover die opgenomen zijn in de Wateratlas van de provincie Noord-Brabant.

Drie voorbeelden van kaarten in de categorie geo-informatie zijn:

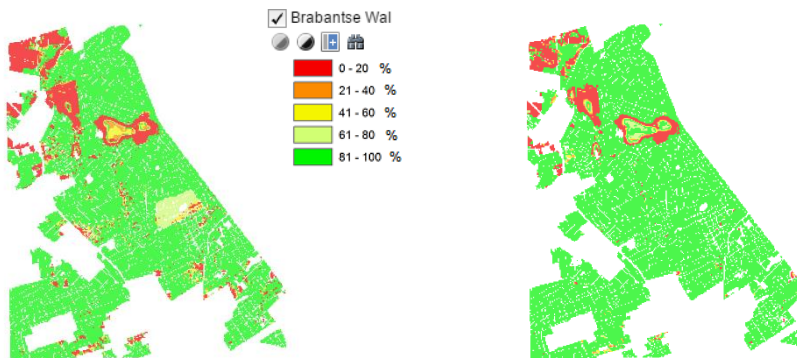
- Maaiveldhoogte (AHN-1);
- Grenzen NNP;
- Gebieden in Noord-Brabant.

Binnen de viewer en App kan de gebruiker een keuze maken tussen de achtergronden Google-Straten, Satelliet en Hybride. De volgende twee websites hebben een verwijzing in de viewer en App:

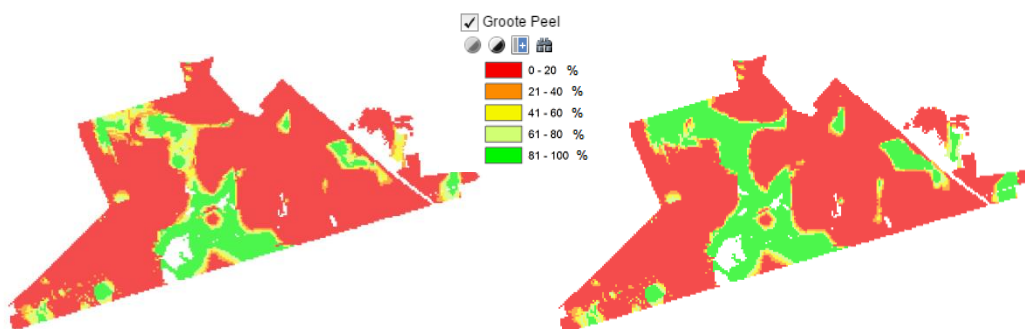
1. WaterAtlas provincie Noord-Brabant
<http://atlas.brabant.nl/wateratlas/>
2. WaterNOOD instrument
<http://www.modelwalhalla.nl/cgi-bin/wiki/view/Tools/WaterNOOD>

3.3 TEST VOOR DRIE PILOTGEBIEDEN

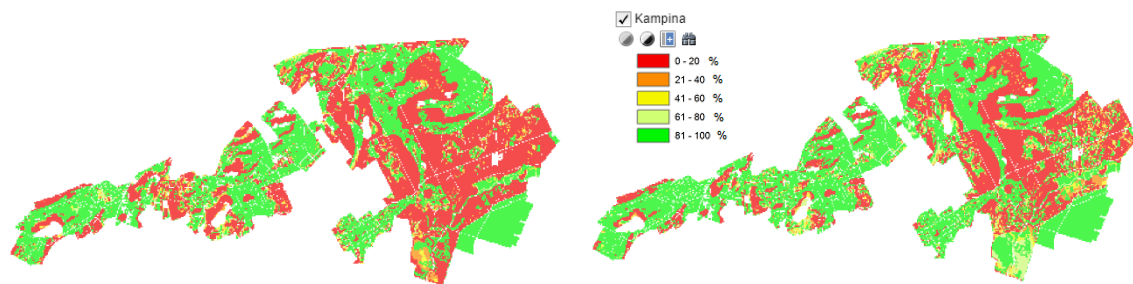
De doelrealisaties van de drie Natte Natuur Parel die we in de pilot berekend hebben staat samengevat in Figuur 11 - Figuur 13. In de figuren is de doelrealisatie totaal te zien, alsmede de hydrologische grootheid die qua patroon en omvang deze het meest verklaart. In alle drie gebieden is dat de GVG.



Figuur 11. Brabantse Wal: doelrealisatie totaal (links) en doelrealisatie GVG (rechts) als dominante factor hierin. Berekeningen: AGOR vs. OGOR.



Figuur 12. Grote Peel: doelrealisatie totaal (links) en doelrealisatie GVG (rechts) als dominante factor hierin. Berekeningen: AGOR vs. OGOR.



Figuur 13. De Kampina: doelrealisatie totaal (links) en doelrealisatie GVG (rechts) als dominante factor hierin. Berekeningen: AGOR vs. OGOR.

We hebben met SPHY langjarig gemiddelde GxG's uitgerekend (1984-2013), die als basis dienden voor de berekening van doelrealisaties met WaterNOOD. Uit de berekeningen in de getoonde figuren volgt dat de waterhuishouding van de Brabantse Wal overwegend op orde is, met alleen in het noordwesten en rondom vennen een resterende opgave qua GVG en droogtestress. De Grootte Peel is qua areaal voor 30% in orde, met name doordat de GVG niet op orde is. Dit geldt ook, maar in mindere mate voor de GLG. Droogtestress en kwelvoorkomen zijn niet beperkend. De waterhuishouding van De Kampina, ten slotte, is qua areaal voor iets meer dan de helft op orde. Ook voor dit gebied is de GVG hier met name debet aan, terwijl de droogtestress een vergelijkbaar ruimtelijk patroon volgt.

Bij deze berekeningen kunnen we een aantal kanttekeningen maken:

1. De eerste is dat de GVG-berekening met SPHY waarschijnlijk aan de lage kant is.
 - a. Een eerste reden hiervoor is de aanwezigheid van schijnspiegels in de veldpraktijk als gevolg van lokale slecht-doorlatende lagen. Informatie hierover was niet beschikbaar en het fenomeen wordt door SPHY niet meegenomen.
 - b. Een tweede reden is dat waarnemingen van grondwaterstanden boven maaiveld vaak niet zijn genoteerd door waarnemers/inwinners, zodat tijdens de kalibratie van SPHY zulke perioden buiten beschouwing moesten worden gelaten ('geen data').
2. Een andere kanttekening bij de berekening is dat er nog eens goed moet worden gekeken naar de drempelwaarden van de doelrealisatiefuncties in WaterNOOD.
 - a. Wij hebben namelijk geconstateerd dat de door ons gebruikte drempelwaarden, die we van de provincie kregen, soms afwijken van de waarden die zijn gepresenteerd in Bijlage II ('Doelrealisatiefuncties natuurdoeltypen Noord-Brabant') van het rapport van Witteveen+Bos dat hoort bij het peilbesluit van waterschap Rivierenland (Anonymus 2010), maar ook van de waarden in het rapport 'OGOR Natuur in Noord-Brabant' (Ertsen et al. 2005), dat in opdracht van de provincie is gemaakt, en van de landelijke systematiek die door STOWA wordt uitgedragen.
 - b. Ook hebben we geconstateerd dat de combinatie van eisen die WaterNOOD stelt aan sommige natuurdoelen, in de praktijk soms moeilijk, zo niet onmogelijk te realiseren zal zijn in het veld.
 - c. Ten slotte moet worden opgemerkt dat natuurdoelen te ambitieus kunnen zijn, en/of niet op de goede locaties kunnen zijn gepland.

Daarom zal in werkelijkheid naar verwachting bijvoorbeeld de Grootte Peel meer zijn hersteld dan Figuur 12 toont. In de workshops van oktober en december 2014 hebben we een eerste indruk gekregen. Toepassing van de NatuurVerdrogingsmonitor in de komende maanden zal een nadere beoordeling tot gevolg hebben.

4 CONCLUSIES

4.1 ALGEMEEN

Het SWIMM-project is gestart in februari 2014 en afgerond eind januari 2015. In opdracht van de Stichting Klimaat voor Ruimte (Valorius-programma) en de provincie Noord-Brabant werd een instrument ontwikkeld en toegepast op drie Natte Natuur Parels in Noord-Brabant, te weten Groote Peel, De Kampina en Brabantse Wal. Met dit instrument, de NatuurVerdrogingsmonitor, kan de provincie de evaluatie van het verdrogingsbeleid ondersteunen. Het maakt gebruik van veldmetingen, bestaande kaartlagen in GIS, modelberekeningen, remote sensing en – maar tot nu toe nog in beperkte mate – het oordeel van velddeskundigen.

32

De NatuurVerdrogingsmonitor geeft inzicht in de actuele waterhuishouding van natuurgebieden en in hoeverre deze voldoet aan de natuurdoelen die aan die gebieden zijn opgelegd. De ruimtelijke resolutie van de kaarten in de monitor bedraagt 25 m. De monitor kan worden ingezet als hulpmiddel bij het evalueren van langjarige effecten van maatregelen tegen verdroging. Ook biedt hij de mogelijkheid om de actuele vochttoestand van natuurgebieden te vergelijken met langjarig gemiddelden; de gebruiker ziet dan bijvoorbeeld dat de grondwaterstand op een bepaald moment veel lager staat dan anders in die tijd van het jaar, of dat de bodem juist veel meer vocht bevat dan normaal.

4.2 BESCHIKBAARHEID VAN GEGEVENS

Tijdens de bouw van de monitor en de gesprekken met beoogde gebruikers, hebben we geconstateerd dat het vaak ontbreekt aan uniforme en herleidbare informatie over de waterhuishouding van natuurgebieden. Zo is gebleken dat karakteristieke grondwaterstanden (GXG's) die horen bij het GGOR, voor de drie studiegebieden niet uniform en/of niet digitaal beheerd en beschikbaar waren. Een ander voorbeeld is het niet compleet of beschikbaar zijn van informatie over de uitgevoerde anti-verdrogingsmaatregelen. Ook liepen we aan tegen het feit dat gebieden waar maatregelen zijn getroffen tegen verdroging, soms onvoldoende of niet gemonitord worden. Tenslotte bleek dat er soms onvoldoende grondwaterstandsmetingen uit het veld beschikbaar waren om GXG's betrouwbaar mee vast te stellen, bijvoorbeeld omdat er bij sommige standplaatsen, als combinatie van geografische ligging, bodemopbouw en maaiveldhoogte, geen peilbuis geïnstalleerd was. Het project heeft aldus inzicht geboden in de aanwezigheid en kwaliteit van basisgegevens. Dit inzicht is relevant voor verbeteringen in de wijze van monitoring (zie hoofdstuk Aanbevelingen).

Uit deze constatering volgt dat onze SWIMM-methode helpt om helder te krijgen welke uniforme en vlakdekkende informatie over natuurgebieden nodig is en welke eventueel ontbreekt. Deze informatie is nodig om het effect van de huidige waterhuishouding op de natuurkwaliteit te bepalen. Ter verklaring van geconstateerde effecten van uitgevoerde maatregelen moet er informatie vanuit de prestatie monitoring beschikbaar zijn. Als die informatie aanwezig is, is met behulp van de monitor beter vast te stellen of de uitwerking van maatregelen in het veld conform de verwachting is.

In dit project is gebleken dat het noodzakelijk is voldoende veldgegevens te hebben om modellen te kunnen ijken en valideren. Dit lukte qua grondwaterstanden niet helemaal voor natte standplaatsen, daarnaast waren de cijfers over de werkelijke verdamping op basis van remote sensing informatie van de waterschappen niet beschikbaar. De gegevensbehoefte van modellen zou tot een ander meetnetontwerp kunnen leiden dan een grondwatermeetnet dat directe veldinformatie moet opleveren voor de evaluatie van het verdrogingsbeleid. Herziening van meetnetten met het oog op de bouw van modellen die vlakdekkende kaarten produceren, dient daarom te worden overwogen. Zo'n herziening vergt een nadere analyse, waarbij nauw wordt samengewerkt met de modelbouwer.

4.3 REMOTE SENSING

Bij aanvang stond ons voor ogen dat het gebruik van remote sensing informatie een belangrijke rol zou spelen in het project. Deze verwachting is gedeeltelijk uitgekomen:

- Voor het hydrologische model SPHY hebben we nuttig gebruik kunnen maken van satellietwaarnemingen om de verdamping van de vegetatie beter te kunnen berekenen.
- Het gebruik van de remote sensing beelden die in 2014 speciaal voor het project werden ingewonnen door een UAV, leverde echter weinig op. Deze UAV was uitgerust met een sensor die meet in drie banden (rood, groen, nabij-infrarood), waaruit de NDVI (een maat voor de groenheid van de vegetatie) kan worden berekend. We hadden verondersteld dat die NDVI verband zou houden met de vochtindicatie van vegetatieopnames. Uit eerder onderzoek (bijv. Peng et al. 2014, Narasimhan et al. 2005) was immers gebleken dat de NDVI uit Landsat-5 een indicatie is voor de vochttoestand van de bodem. Dit onderzoek had echter betrekking op landbouwgebieden. De veronderstelling bleek echter niet op te gaan in deze studie (Bijlage 7.10). Natuurgebieden ‘gedragen’ zich toch anders dan landbouwgebieden, waar vegetatie i.c. gewassen jaarlijks wordt geoogst, maar ook weersomstandigheden ten tijde van de UAV-opnames kunnen een versturende rol hebben gespeeld bij de koppeling met langjarige vegetatieopnames.
- Wat wel bleek te werken, was het gebruik van een sensor die het lichtspectrum meet in zeer veel banden (228, spectrum 507-2410 nm). Met het oog op de monitoringsbehoefte van de provincie hadden wij al in 2012 door een gespecialiseerd bedrijf beelden met zo’n sensor laten inwinnen voor een deel van De Kampina. Met deze sensor lukte het ons niet alleen de vochttoestand, maar ook de voedselrijkdom en de zuurgraad te karteren.

Op grond van deze ervaringen hebben wij nagedacht over een aanpak waarvan veel succes verwachten. Daar komen wij in het hoofdstuk Aanbevelingen (5) op terug.

4.4 WATERNOOD

Ter berekening van de haalbaarheid van natuurdoelen (de zogenaamde doelrealisatie) hebben we in dit project een eigen versie van WaterNOOD ontwikkeld. WaterNOOD berekent de doelrealisatie met trapeziumvormige functies op basis van vooral de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand GVG en de gemiddeld laagste grondwaterstand GLG. Er zijn echter vele manieren waarop deze gemiddelden kunnen worden berekend, wat consequenties kan hebben voor de uitkomsten. Wij hebben ze zo berekend, dat ze aansluiten op de door ons gebruikte doelrealisatiefuncties die door (Ertsen et al., 2005) voor de provincie Brabant waren afgeleid. Door gebrek aan gegevens over het gewenste grond- en oppervlaktewaterregime (GGOR), hebben we de doelrealisaties alleen kunnen uitdrukken ten opzichte van het voor de natuur optimale grond- en oppervlakteregime (OGOR). De berekende doelrealisaties waren vaak erg laag, waarvoor wij een aantal mogelijke verklaringen hebben:

- 1) De gesimuleerde grondwaterstand wijkt af van de werkelijke grondwaterstand.
- 2) De natuurdoelen zijn te ambitieus en/of niet op de goede locaties gepland.
- 3) De combinatie van ‘eisen’ die WaterNOOD stelt aan sommige natuurdoelen, is in de praktijk moeilijk te realiseren.

De eerste verklaring gaat vaak op voor de natte-natuur-studies waar we tot nu toe bij betrokken zijn geweest. Het blijkt dat SPHY bijna overal een GVG van dieper dan 0,2m beneden maaiveld berekent, o.a. door het ontbreken van veldmetingen onder natte condities en door beperkte informatie over ondiep storende bodemlagen en schijnspiegels. De berekende GVG’s zijn aan de lage kant voor het realiseren van de natte natuurdoelen die bijvoorbeeld aan De Kampina zijn opgelegd. De lage GVG’s hebben we na deze constatering gecorrigeerd. De tweede verklaring kan worden onderbouwd met ervaringen bij de evaluatie van het meetnet Brabant (Runhaar et al, 2009). Daarbij werd geconstateerd dat doeltypen soms erg ongelukkig liggen, zoals droge heide op relatief natte plekken en natte heide op relatief droge plekken. De derde verklaring lijkt zeker op te gaan voor de typen *38 Berken-Eikenbos (v)* en *40 Beuken-Eikenbos (v)*. Deze typen vereisen

voor een optimale ontwikkeling een vrij hoge GVG, namelijk tussen 0,4 en 0,6m beneden maaiveld, maar tegelijk een droogtestress van ten minste 20 dagen, wat op de meest voorkomende bodemsoorten in De Kampina (Hd21, Hn21, Zd21) alleen mogelijk is bij een GLG van meer dan 1,5m beneden maaiveld. De GVG is voor deze typen in de huidige situatie vaak te laag en de GLG juist te hoog.

De conclusie die we hieraan verbinden is dat ons instrument en daarmee de monitor goede mogelijkheden biedt om inconsistenties in berekeningen in combinatie met gerealiseerde natuurdoelen, op basis van gewenste natuurdoelen in een gebied, op het spoor te komen. Dit is een zeer belangrijk gebruiksdoel van het instrument en leidt mogelijk tot betere ruimtelijke allocatie van natuurdoelen, inclusief de argumenten daarvoor.

4.5 TEN BESLUIT

Met de NatuurVerdrogingsmonitor heeft de provincie een innovatief en online instrument in handen dat vlakdekkend informatie bundelt en integreert, waarop gebruikers kunnen reageren, en dat interactie tussen terreinbeheerders en de provincie faciliteert en stimuleert. Een beheerdersoordeel is nog steeds relevant, maar speelt een andere rol dan voorheen, want het instrument werkt met onafhankelijke, gestandaardiseerde informatie uit herleidbare bronnen. Met dit instrument kan de provincie Noord-Brabant haar verantwoordelijkheid en rol waarmaken in de komende beleidsevaluaties ten aanzien van de verdrogingsbestrijding.

De Beleidsevaluatie Verdrogingsbestrijding is al sinds de 90-er jaren een groot dossier in Nederland. Natuurwaarden zijn belangrijk, alsmede de hydrologische effecten van vernatting van natuurgebieden op omliggende gebieden met andere gebruiksfuncties, zoals landbouw. Er gaat veel publiek geld om in dit dossier. We hopen dat ons instrument bijdraagt aan doelmatige inzet van menskracht en middelen en het natuurherstel bevordert en versnelt.

5 AANBEVELINGEN

5.1 BETERE SCHATTING HYDROLOGISCHE TOESTAND NATUURGEBIEDEN

Voor het vlakdekkend beoordelen van de verdrogingsstoestand van natuurgebieden wordt vaak gebruik gemaakt van de uitkomsten van een hydrologisch model. In onze studie hebben we daartoe het model SPHY ingezet. Omdat de meeste natte en vochtige natuurdoeltypen zeer gevoelig zijn voor variaties in de grondwaterstand, dienen aan de uitkomsten van SPHY zeer hoge eisen stellen te worden gesteld. Er zijn meerdere mogelijkheden om betere schattingen te krijgen van de grondwaterstand:

- In onze studie bleek dat grondwaterstanden boven maaiveld vaak niet worden genoteerd, zodat het SPHY alleen werd geijkt aan standen beneden maaiveld. Dit leidde tot systematisch te lage standen, waarvoor we later een correctie hebben aangebracht. Een beter aanpak zou het echter zijn om SPHY opnieuw te ijken op zo goed mogelijk ingeschatte grondwaterstanden boven maaiveld.
- Prestaties van het model hebben vaak te leiden onder een gebrek aan goede invoergegevens. Modelbouwers typeren dat verschijnsel met het acroniem GIGO ('garbage input, garbage output'): stop je er rotzooi in, dan komt er troep uit. Bij toepassing van SPHY in onze drie studiegebieden kampten we met een wezenlijk gebrek aan gegevens over de uitgevoerde vernattingsmaatregelen. Het spreekt vanzelf dat de effecten van zulke maatregelen dan ook niet, of zeer gebrekkig, kunnen worden gesimuleerd.
- Verder zou SPHY moeten worden uitgebreid met de mogelijkheid schijnspiegels te simuleren. Dat is zinvol wanneer de aanwezigheid van zeer slecht-doorlatende lagen in het te modelleren natuurgebied bekend zijn. Een inventarisatie en benutting van alle beschikbare veldgegevens, en mogelijk een nieuw veldonderzoek, zijn daarvoor nodig.
- Er bestaat een aanvullende mogelijkheid om de hydrologische toestand van natuurgebieden in kaart te brengen, namelijk door gebruik te maken van remote sensing technieken. Er komen steeds betere sensoren op de markt en het inwinnen van beelden in een hoge resolutie met een UAV, vliegtuig of helikopter wordt steeds goedkoper. In meerdere studies is aangetoond dat met thermische beelden en hyperspectrale beelden, de vochttoestand van natuurgebieden kan worden ingewonnen (Tabel 3). Daartoe worden deze beelden geijkt aan de vochtindicatie van goed gelokaliseerde vegetatieopnamen. Zo ontstaat een sterke combinatie van airborne sensing met grondwaarnemingen. Met hyperspectrale beelden kan ook het zoutgehalte, de voedselrijkdom en de zuurgraad van de bodem in kaart worden gebracht. De indicatiewaarden kunnen weer worden omgezet in fysische grootheden, zoals de GVG of de bodem-pH (Roelofsen et al., submitted; Kaiser et al., 2012). In de toekomst zullen de ingevlogen beelden worden aangevuld met informatie van nieuwe satellieten, zoals Sentinel 2 (lancering gepland in april 2015; 10 m resolutie, optisch). Wij bevelen voor nu aan om een pilot te starten waarin enkele natuurgebieden vlakdekkend in kaart worden gebracht door een met drie sensoren uitgerust vliegtuig: thermisch, hyperspectraal, zichtbaar licht. In die pilot dienen tevens grondwaarnemingen (vegetatieopnamen, pH-metingen) te worden gedaan of al aanwezig te zijn (grondwaterstanden, opnamen) voor de ijking en validatie van de airborne sensing beelden.

Tabel 3. Verklaarde variantie (%) van bekende studies, waarin remote sensing beelden zijn geijkt aan indicatiewaarden van vegetatieopnamen.

Bron	Systeem	Indicatiewaarde			
		Zout	Vocht	Voedsel	Zuurgraad
Schmidtlein et al. 2005	Alpenwei		58	66	68
Witte & Kooistra 2008	Beekdal		73	51	40
Kaiser et al. 2012	Grasland		77		
Roelofsen et al. 2012	Kwelder	77	65	76	
Roelofsen et al. 2014	De Kampina		81	62	71

Het beste resultaat kan worden verwacht van een combinatie van een hydrologisch model met schattingen uit remote sensing beelden. De remote sensing schattingen dienen dan om het model bij te sturen en ruimtelijk te verfijnen via de techniek van data-assimilatie. Een hydrologisch model blijft nodig als 'interpolator' van waarnemingen en om effecten van systeemveranderingen, zoals maatregelen in het veld of klimaatveranderingen, door te kunnen rekenen.

5.2 TOETSING EN ONZEKERHEDEN

Bij het beoordelen van de verdrogingstoestand van gebieden worden verschillende gegevensbronnen gebruikt, waarbij de karakteristieke grondwaterstanden GVG en GLG wel de belangrijkste zijn. Voor een afgewogen oordeel is het noodzakelijk dat de onzekerheid van die bronnen wordt meegewogen. Het is namelijk niet zinvol en zelfs onjuist om, zoals nu staande praktijk is, een natuurdoeltype dat over een bereik van 0,1m qua doelrealisatie kan 'instorten', te toetsen aan een berekende GVG die gemiddeld een aantal decimeters van de werkelijkheid kan afwijken. In bijlage 7.9 is een concreet en op korte termijn te realiseren voorstel gedaan voor het meewegen van onzekerheden in de resultaten. Dat zal tot kaartbeelden leiden met een meer 'fuzzy-achtig' karakter, dat wil zeggen met minder scherpe overgangen tussen de kaartvlakken. Uitvoering van dat voorstel zal leiden tot resultaten die veel realistischer zijn, maar die misschien ook iets meer uitleg aan de gebruiker vergen.

5.3 GEMIDDELDE GRONDWATERSTANDEN EN DE RESPONSTIJD VAN DE VEGETATIE

WaterNOOD werkt met gemiddelde grondwaterstanden, de GVG en GLG. Volgens de oorspronkelijke richtlijn dienen deze karakteristiek te worden gebaseerd op acht jaar aan tweemaandelijks metingen (Van der Sluijs, 1982). De eerste versie van WaterNOOD (Runhaar et al., 2002) maakte dan ook gebruik van metingen die aan de richtlijn voldeden, uitgevoerd in de periode 1982-1987 (Runhaar, 1989). De doelrealisatiefuncties van WaterNOOD voor Brabant (Ertsen et al., 2005) die hieruit voortkwamen, zijn ook aan de periode 1982-1987 gerelateerd. In een analyse van bijna 200 vegetatieopnamen met gemeten grondwaterstanden, werd echter geconstateerd dat een meetperiode van 30 jaar een GVG oplevert die beter correleert met de vochtindicatie van de vegetatie dan een GVG die is afgeleid van een kortere meetperiode (Bartholomeus et al., 2008). Dertig jaar geeft ook gemiddelden die representatief zijn voor het heersende klimaat, dat immers is gedefinieerd als de gemiddelde weersomstandigheden in een

periode van 30 jaar. In de nieuwe versie van WaterNOOD (Runhaar et al., 2009) worden daarom doelrealisatiefuncties gebruikt die aansluiten op GVG's en GHG's over 30 jaar.

Het probleem met gemiddelde grondwaterstandskarakteristieken over een periode van acht jaar, en helemaal die over een periode van 30 jaar, is dat ze niet zo geschikt zijn om de verdrogingstoestand van natuurgebieden mee te monitoren. Pas na acht (of 30) jaren na de uitvoering van een vernattingsmaatregel zou dan het effect van die maatregel helemaal zijn verwerkt in de berekende GVG of GHG. Dit probleem kan op twee manieren worden opgelost:

- Ten eerste door het hydrologisch modelleren van de effecten van uitgevoerde maatregelen. Nadeel hiervan is dat het weinig met monitoring te maken heeft en een grote modelleerinspanning vergt, met een gedegen analyse van alle factoren die de grondwaterstand kunnen beïnvloeden.
- Ten tweede door de definitie van de karakteristieke grondwaterstanden aan te passen aan de snelheid waarmee de vegetatie reageert op veranderingen in de waterhuishouding. Bartholomeus et al. (2008) mogen dan gevonden hebben dat een meetperiode van 30 jaar het beste aansluit bij de vochtindicatie van de vegetatie, hun resultaat is wel gebaseerd op een analyse zeer stabiele vegetatieopnamen en zegt daarom niets over vegetaties die ten gevolge van maatregelen aan verandering onderhevig zijn. Daarnaast kan binnen een periode van 30 jaar het klimaat aan verandering onderhevig zijn.

Bij KWR is onderzoek gedaan naar de responstijd van de vegetatie. Deze zou afgeleid kunnen worden van pq's ('permanente quadraten': vegetatieopnamen die in de tijd worden gevolgd) die onderhevig zijn geweest aan een verandering in het hydrologisch regime. Door gebrek aan meetgegevens is dit onderzoek echter nooit goed van de grond gekomen.

Eerder schreven Van den Berg en Bastiaansen (2012):

“Over de snelheid waarmee de vegetatie verandert, is weinig bekend (Douma et al., submitted). Onze inschatting is dat veranderingen in de vegetatie door verdroging en vernatting zichtbaar worden in de vegetatie na een periode van één tot vele jaren. Bij pioniervegetaties gaat de verandering heel snel (na één jaar zichtbaar), bij graslanden wat langzamer (denk aan vijf jaar) en bij struwelen en bossen gaat de verandering heel langzaam (tien jaar of meer). Op basis van langjarige meetreeksen werd door Runhaar et al. (1999) geconcludeerd dat het ca. 10 jaar duurt voordat na vernatting in grazige vegetaties de vegetatie weer in evenwicht verkeert met de gewijzigde hydrologische omstandigheden, waarbij de grootste veranderingen optreden in de eerste jaren na de ingreep. Dit betekent dat voor het monitoren van veranderingen in de waterhuishouding moet worden gedacht aan een tijdsinterval van ca. 5-10 jaar. Door kaartbeelden van bijvoorbeeld de vochtindicatie van twee tijdsintervallen te vergelijken, wordt inzichtelijk waar gebieden zijn vernet, onveranderd zijn gebleven, of zijn verdroogd.”

Wij stellen nu een pragmatische aanpak voor. Een nieuwe optie die ons aanspreekt, is in de berekening van gemiddelde grondwaterstanden de verwachte responstijd van de vegetatie te verwerken. Daarbij laten we de grondwaterstand in een bepaald jaar minder zwaar meetellen naarmate dat jaar verder achter ons ligt. Bovendien kunnen we eventueel nog onderscheid maken tussen pioniervegetaties – die snel reageren op een hydrologische verandering, vegetaties bestaande uit tweejarigen – die iets langzamer reageren, en vegetaties bestaande uit overblijvende soorten – die het langzaamst reageren. In formulevorm zouden we de volgende in de tijd gewogen ecologisch gemiddelde grondwaterstandskarakteristiek kunnen berekenen:

$$GXG^e = \frac{\sum_{t=1,30} \exp\left(\frac{t}{\alpha}\right) G_t}{\sum_{t=1,30} \exp\left(\frac{t}{\alpha}\right)}$$

waarin:

GXG^e = ecologische GVG of GLG (m-m.v.)

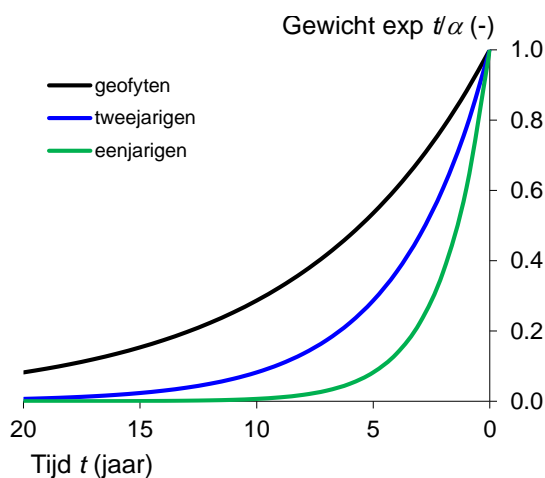
t = terugschrijdende tijd (jaar)

α = responstijd (jaar), d.w.z. de tijd waarin de grondwaterstand XG voor 1/e-de deel (37%) meetelt in het gemiddelde GXG^e

G = kenmerkende grondwaterstand, dus de stand op 1 april in jaar t (bij GVG) of het gemiddelde van de drie laagste standen in jaar t (bij GLG)

Dit lijkt misschien ingewikkeld, maar de term $\exp(t/\alpha)$ is niets anders dan een gewicht om de grondwaterstand G van t jaar geleden te wegen. Nemen we voor pioniervegetaties een waarde $\alpha = 2$ jaar (het duurt ook tijd voor soorten om zich te vestigen, dus $\alpha = 1$ jaar zou te kort zijn), tweejarigen $\alpha = 4$ jaar en geofyten $\alpha = 8$ jaar, dan krijgen we gewichten als functie van de tijd zoals weergegeven in Figuur 14. Informatie over de groeiwijze van verschillende plantensoorten (pionier, tweejarig, geofyt) is bekend, zodat een gemiddelde responstijd per natuurdoeltype kan worden afgeleid. Gaan we bijvoorbeeld uit van een evaluatieperiode van 5 jaar, een grondwaterstandsreeks van 8 jaar en de hierboven vermelde waarden voor de responstijd, dan tellen de grondwaterstanden van de afgelopen 5 jaar voor 94% mee in de berekening van de ecologische grondwaterstandskarakteristiek GXG^e , als de vegetatie geheel uit pionierssoorten bestaat. Bij een vegetatie van tweejarigen is dit percentage 83% en bij een persistente vegetatie van geofyten 74%. Bij een reeks van 30 jaar aan grondwaterstanden, zijn deze percentages respectievelijk 92, 72 en 48%.

Met deze pragmatische oplossing kan de provincie voorlopig aan de slag. Ondertussen kan via onderzoek, bijvoorbeeld door de universiteit, beter worden achterhaald met welke snelheid vegetaties reageren op hydrologische veranderingen. Om voor nu aansluiting te houden bij gangbare methoden en om eventuele verschillen te duiden, kan parallel voorlopig de achtjarige middelingsperiode gehandhaafd blijven.



Figuur 14. Voorbeeld van wegingsfactoren voor de grondwaterstand die afnemen in de tijd.

5.4 OVERIGE AANBEVELINGEN

Als overige aanbevelingen zijn te noemen:

- Prestatiemonitoring voor natte natuurgebieden vastleggen in GIS (waar wanneer wat) en deze info jaarlijks verwerken en documenteren, driejaarlijks gebruiken voor evaluatie beleid.
- Veldwaarnemingen van grondwaterstanden voor effectmonitoring naast een meetnet voor modelkalibratie opzetten (dekkend voor hydrologie-standplaats-vegetatie-combinaties), dan wel op basis van effectiviteit kiezen tussen het één of het ander.
- Effecten op verdroging splitsen van het klimaat, drainage door de landbouw, verdamping van landbouwgewassen, onttrekkingen voor drinkwater, korte termijn weersinvloeden.
- Gebruik van nieuw KNMI neerslagproduct: gevalideerde radarinformatie voor hydrologische modellering.
- Analyseren en valideren van grote hoeveelheden peilbuisdata m.n. voor opschaling naar andere gebieden, hiervoor aanhaken bij bestaande systemen zoals DINO (TNO) en de Hydronet App (waterschappen).
- Online en actueel data verzamelen, bewerken en beschikbaar stellen betekent een inspanning verrichten van de kant van inwinners en eigenaren van data. Tijdig aankaarten bij partners in de provincie.
- Gebruik van App aanmoedigen, feedback geleiden en terugkoppelen naar gebruikers.

6 REFERENTIES

- Anonymus (2010). Toelichting op het GGOR/peilbesluit Alm & Biesbosch inclusief beschrijving GGOR Alm & Biesbosch. Deventer: Witteveen + Bos.
- Bal, D., Beije, H.M., Fellinger, M., Haveman, R., van Opstal, A.J.F.M. & Zadelhoff, F.J. (2001) Handboek Natuurdoeltypen. EC- LNV, Wageningen, NL.
- Bartholomeus, R.P. & Witte, J.P.M. (2013) Ecohydrological Stress - Groundwater To Stress Transfer. Theory and manual version 1.0. In. KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
- Bartholomeus, R.P., Witte, J.P.M., van Bodegom, P.M., van Dam, J.C., de Becker, P. & Aerts, R. (2011) Process-based proxy of oxygen stress surpasses indirect ones in predicting vegetation characteristics. *Ecohydrology*, 5, 746-758.
- Bartholomeus, R.P., Witte, J.P.M., Van Bodegom, P.M., & Aerts, R. (2008). The need of data harmonization to derive robust empirical relationships between soil conditions and vegetation. *Journal of Vegetation Science*, 19, 799-808.
- Berg, R. van den, en M.A. Bastiaanssen, 2012. Remote sensing technieken ten behoeve van verdrogingsmonitoring van Brabantse natte natuurgebieden. Opdrachtgever: Provincie Noord-Brabant. Arcadis 076386406:0.16.
- Douma, J.C., Witte, J.P.M., Aerts, R., Van Bodegom, P.M., submitted. Predicting the impacts of extreme weather events on vegetation characteristics applying an integrative traits-based conceptual framework. *Biogeosciences*.
- Ertsen, D., De Louw, P., Buma, J., 2005. OGOR natuur in Noord-Brabant. Hydrologische randvoorwaarden voor Brabantse natuurdoeltypen, Provincie Noord-Brabant, 's-Hertogenbosch.
- Kaiser, T., Wehrhan, M., Werner, A., & Sommer, M. (2012). Regionalizing ecological moisture levels and groundwater levels in grassland areas using thermal remote sensing. *Grassland Science*, 58, 42-52.
- Klaus, V.H., Kleinebecker, T., Boch, S., Müller, J., Socher, S.A., Prati, D., Fischer, M., & Hölzel, N. (2012). NIRS meets Ellenberg's indicator values: Prediction of moisture and nitrogen values of agricultural grassland vegetation by means of near-infrared spectral characteristics. *Ecological Indicators*, 14, 82-86.
- Roelofsen, H.D., Kooistra, L., Van Bodegom, P.M., Verrelst, J., & Witte, J.P.M. (2014). Mapping a priori defined plant associations using remotely sensed vegetation characteristics. *Remote Sensing of Environment*, 140, 639-651.
- Roelofsen, H.D., Van Bodegom, P.M., Kooistra, L., Van Amerongen, J.J., & Witte, J.P.M. (submitted). An evaluation of remote sensing derived site factors for use in ecological assessment studies. *Remote Sensing of Environment*.
- RoyalHaskoningDHV, 2013. Beleidsevaluatie verdrogingsbestrijding 2012. Definitief rapport 9X6220.
- Runhaar, J. (1989). Toetsing van het ecotopensysteem. Leiden: Rijksuniversiteit Leiden.
- Runhaar, J., Gehrels, J.C., van der Lee, G., Hennekes, S.M., Wamelink, G.W.W., van der Linden, W. & de Louw, P.G.B. (2002). WaterNOOD deelrapport Doelrealisatie Natuur. STOWA, Utrecht.
- Runhaar, J., Leunk, I. & Jalink, M.H. (2009a) Evaluatie Beleidsmeetnet verdroging Noord-Brabant. KWR, Nieuwegein.
- Runhaar, J., Jalink, M.H., Hunneman, H., Witte, J.P.M. & Hennekens, S.M. (2009b) Ecologische vereisten habitattypen. In. KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.

- Runhaar, J., Witte, J.P.M., & Verburg, P. (1997). Ground-water level, moisture supply, and vegetation in the Netherlands. *Wetlands*, 17, 528-538.
- Schaminée, J.H.J., Stortelder, A.H.F. & Westhoff, V. (1995a) *De Vegetatie van Nederland. Inleiding tot de plantensociologie: grondslagen, methoden en toepassingen*. Opulus press, Uppsala/Leiden.
- Schaminée, J.H.J., Weeda, E.J. & Westhoff, V. (1995b) *De vegetatie van Nederland. Wateren, moerassen, natte heiden*. Opulus Press, Uppsala, SE, Leiden, NL.
- Schaminée, J.H.J., Stortelder, W. & Weeda, E.J. (1996) *De vegetatie van Nederland. Graslanden, zomen, droge heiden*. Opulus Press, Uppsala, SE, Leiden, NL.
- Schaminée, J.H.J., Weeda, E.J. & Westhoff, V. (1998) *De vegetatie van Nederland*. Opulus Press, Uppsala, SE, Leiden, NL.
- Schmidtlein, S. (2005) Imaging spectroscopy as a tool for mapping Ellenberg indicator values. *Journal of Applied Ecology*, 42, 966-974.
- Stortelder, A.H.F., Schaminée, J.H.J. & Hommel, P.W.F.M. (1999) *De vegetatie van Nederland*. Opulus Press, Uppsala, SE, Leiden, NL.
- Stuurman, R., Perry de Louw, Jelle Buma, Han Runhaar, Gilbert Maas, Corine Geujen, Ysbrand Graafsma, Bianca Nijhof, Aris Lourens (2002). Beleidsmeetnet verdroging Provincie Noord-Brabant. Opdrachtgever: Provincie Noord-Brabant. Rapport P03-0496.
- Terink, W., P. Droogers, W.W. Immerzeel, G.A.P.H. van den Eertwegh (2012): SPHY – Een hydrologisch model gericht op de berekening van bodemvocht en de actuele verdamping. FutureWater rapport 115.
- Terink, W., G.A.P.H. van den Eertwegh, P. Droogers (2012): Model voor landsdekkende berekening bodemvocht in wortelzone en actuele verdamping. H2O/23-2012: 16-18.
- Van der Sluijs, P., 1982. De grondwatertrap als karakteristiek van het grondwaterstandsverloop. *H2O*, 15(3): 42-46.
- Witte, J.P.M. & Kooistra, L. (2008) Vegetatiekartering via remote sensing. Verantwoording besteding innovatiefonds & voorstel vervolgonderzoek. In. Kiwa WR, Nieuwegein.
- Witte, J.P.M., Bartholomeus, R.P., Cirkel, D.G., Doomernik, E., Fujita, Y., & Runhaar, J. (2014). Manual and description of ESTAR, version 01; A software tool to analyse vegetation plots. Nieuwegein: KWR Watercycle Research Institute.

7 BIJLAGEN

7.1 WERKWIJZE EN DATA

Typische BMV-data zijn:

- GXG (uit metingen en berekeningen);
- Venpeilen (open water, metingen);
- Stijghoogte grondwater (modelberekeningen, peilbuiswaarnemingen);
- Zuurbuffering (indicatorwaarden);
- Voedselrijkdom (indicatorwaarden).

Deze data zijn aanwezig bij de provincie van 1995-heden, gebiedsspecifiek. Andere data voor de periode van 1980 – heden zijn o.a.:

- KNMI neerslag en E_{ref} Makkink verdamping (puntdata en gridkaarten);
- Vegetatiedata uit veld;
- NDVI-tijdreeks (RS info) opbouwen en analyseren (1995-heden) kwantitatief voor natuurgebieden
- SPHY-berekeningen grondwater, bodemvocht, werkelijke verdamping
- Indien plausibel en beschikbaar: SEBAL-SEBS E_a data (2011-2013) en E_a data HKV-ITC (2014).

Geo-data zijn o.a.:

- LGN-6 dataset;
- Grenzen van gebieden, gemeenten e.d.
- Maaiveldhoogte (AHN-1).

Via eerste workshop op 7 juli 2014 met provincie en beheerders grote lijn van veranderingen in waterhuishoudkundige infrastructuur en beheer samen vaststellen, Landbouw: ZLTO, waterschap. Brabant Water: navraag doen hierover (o.a. via nat- en droogteschade). Trends vaststellen, verklaren (...) en zo uitkomen bij huidige situatie. Beoordelen of we deze trends kunnen vertalen in een onderrandvoorwaarde voor SPHY-model.

Aan natuurdoelen kunnen eisen worden gesteld ten aanzien van het zogenaamde optimale grond- en oppervlaktewaterregime (OGOR). In een GGOR-proces is dat beleidsmatig vastgelegd in de vorm van een GGOR. Wanneer daarvan wordt afgeweken met het actuele regime (AGOR) is het te droog of, heel soms, te nat. De vegetatie reageert op veranderingen in de waterhuishouding binnen 5 à 10 jaar. Bovendien is de provincie vooral geïnteresseerd in de structurele waterhuishoudkundige gesteldheid van haar gebieden, en niet in toevallige veranderingen die te maken hebben met variaties in weersgesteldheid. AGOR, OGOR en GGOR dienen dus per definitie als meerjarig gemiddelde te worden bepaald. Voor alle kaartinformatie gaan we uit van een resolutie van 25 m. We kijken tenslotte voor natte natuur naar het verschil tussen OGOR en AGOR en bepalen hiermee het doelgat. Optimale grond- en oppervlaktewaterregimes voor natte natuur zijn verwerkt in WaterNOOD.

Natuurdoelen in de vorm van habitattypen zijn op een kaart aangegeven. We hebben de SWIMM procedure zo opgezet dat we een nieuwe kaart erin kunnen toepassen.

Aan ieder type zijn eisen gesteld ten aanzien van de waterhuishouding (Runhaar et al., 2009). Die eisen zijn geformuleerd in de vorm van de volgende parameters: gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand GVG, gemiddeld laagste grondwaterstand GLG, droogtestress DS. Voor ieder habitatype is de response ten aanzien van deze drie grootheden beschreven in de vorm van een trapeziumvormige functie: er is een bereik waarin het type optimaal voorkomt (doelrealisatie 100%), aan weerszijde lineair aflopend naar een bereik waarin het type niet kan

voorkomen (0%). De functie is dus trapeziumvormig, hoewel er ook typen zijn die eenzijdig begrensd zijn, bijvoorbeeld: als de GVG maar dieper is dan 1 m – m.v. is de doelrealisatie 100%. De doelrealisaties van de afzonderlijke grootheden dienen te worden vermenigvuldigd om de uiteindelijke doelrealisatie te bepalen.

Kaarten met habitattypen zijn noodgedwongen sterk gegeneraliseerd, en houden geen rekening met de interne variatie binnen een kaartvlak. Die variatie is vooral een gevolg van kleinschalige hoogteverschillen, waardoor op de ene plek de planten dichter bij het grondwater wortelen, dan op de andere plek. Deze interne heterogeniteit zorgt ervoor dat een gepland natuurdoeltype nooit voor de volle 100% kan worden gerealiseerd. Wij zouden de beheerders en de provincie blij kunnen maken met een procedure die per kaartvlak de maximaal haalbare doelrealisatie berekent. Het gerealiseerde doel dient hiermee te worden vergeleken (bijvoorbeeld: als doelrealisatie is 40% en maximum is 50%, dan gepresteerde realisatie is 80%). Het maximum wordt via iteratieve procedure berekend uit maaiveldhoogten en de aanname dat de met SPHY berekende vorm van de grondwaterspiegel binnen een kaartvlak ongewijzigd blijft als de grondwaterspiegel wordt verhoogd of verlaagd.

DS volgens de definitie (Runhaar et al., 2009) is het gemiddelde aantal dagen per jaar dat een zuigspanning van 12000 cm in de wortelzone wordt overschreden. WaterNOOD rekent deze uit op basis van GLG-waarden, bodemtype en klimaatdistrict.

GGOR-kaartmateriaal hebben we opgevraagd bij provincie en is in beheer bij de waterschappen. Gebiedsdekkende, up to date kaarten van de natuurgebieden en de omgeving zijn voor dit project niet tijdig en niet compleet beschikbaar gekomen. Grote Peel en De Kampina zijn beschikbaar. Daarnaast is het zo dat er voor deze gebieden verschillende berekeningsmethodes bij de GGOR-kaarten zijn toegepast. Daarmee wordt een verdere analyse met deze niet-uniforme datasets niet eenvoudiger, want het kan zijn dat de verschillen in deze methodes het ruimtelijk beeld gaan overheersen wanneer we natuurgebieden proberen te vergelijken.

Bronnen van vlakdekkende informatie:

- SPHY, 25m resolutie op dagbasis. Uitkomsten GLG, GVG (in cm t.o.v. maaiveld) en kwelintensiteit (mm/d). Tevens werkelijke verdamping, gemiddelde grondwaterstand GG, gemiddeld hoogste grondwaterstand GHG, bodemvocht wortelzone.
- PROBE kan uit bovenstaande SPHY gegevens vochtstress en zuurstofstress berekenen (Bartholomeus & Witte, 2013), rekening houdend met de bodemkaart en het lokale klimaat. Vochtstress bij Bartholomeus & Witte (2013) is hetzelfde als DS, alleen dan anders gedefinieerd; zuurstofstress is een betere maat voor de vegetatie dan de GVG (Bartholomeus et al., 2011).
- Uitkomsten NHI en regionale modellen: we hebben NHI-info via Deltares en het 'Brabant-model' via RHDHV proberen beschikbaar te krijgen voor dit project, hetgeen niet gelukt is.
- Uitkomsten hyperspectrale APEX metingen De Kampina omzetten naar GVG.

Bronnen, puntinformatie:

- Grondwaterstanden uit peilbuizen. Verwerkt tot GXG's op puntniveau (DINO-data).
- Vegetatieopnamen bij provincie opgevraagd. Deze omzetten naar indicatiewaarden, GVG, vochtstress, zuurstofstress (Witte et al., 2014).

De beleidsopgave is het verschil tussen realisatie van natuurdoelen bij AGOR versus die bij GGOR (gebiedsproces), want GGOR is vastgesteld beleid. OGOR-doelen zijn verwerkt in WaterNOOD instrument. Bij gebrek aan GGOR-data schakelen we om naar OGOR-data en vergelijken deze met AGOR. Het OGOR geeft de ambitie van de provincie weer.

We hebben met de provincie ervoor gekozen om uitkomsten van SPHY (binnenkort online info via www.sphy.nl) als basis te nemen. Belangrijkste argument hiervoor is dat deze data uit een onafhankelijke bron komen en op een uniforme wijze tot stand komen. Het voordeel daarmee is de eenvoud, nadeel is dat we wel zwaar leunen op een hydrologisch model, terwijl ecologen daar niet altijd goede ervaringen mee hebben. Door langjarig GXG (gemiddelde over 30-jaar) te werken halen we de korte termijn invloed van het weer eruit (zie definitie verdroging).

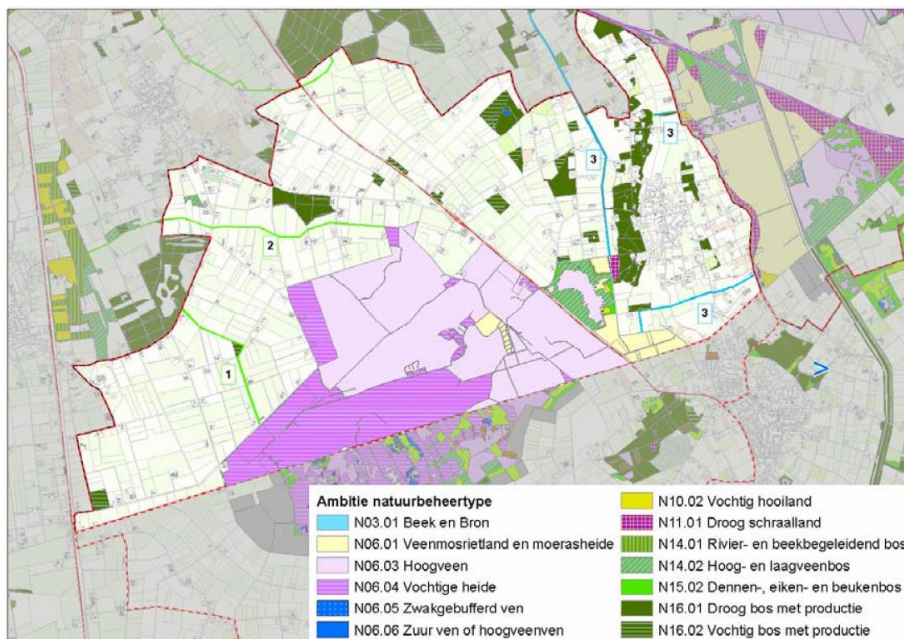
7.2 NATUURDOELEN EN DOELBEREIK

Natuurdoeltypekaart De Kampina en Brabantse Wal

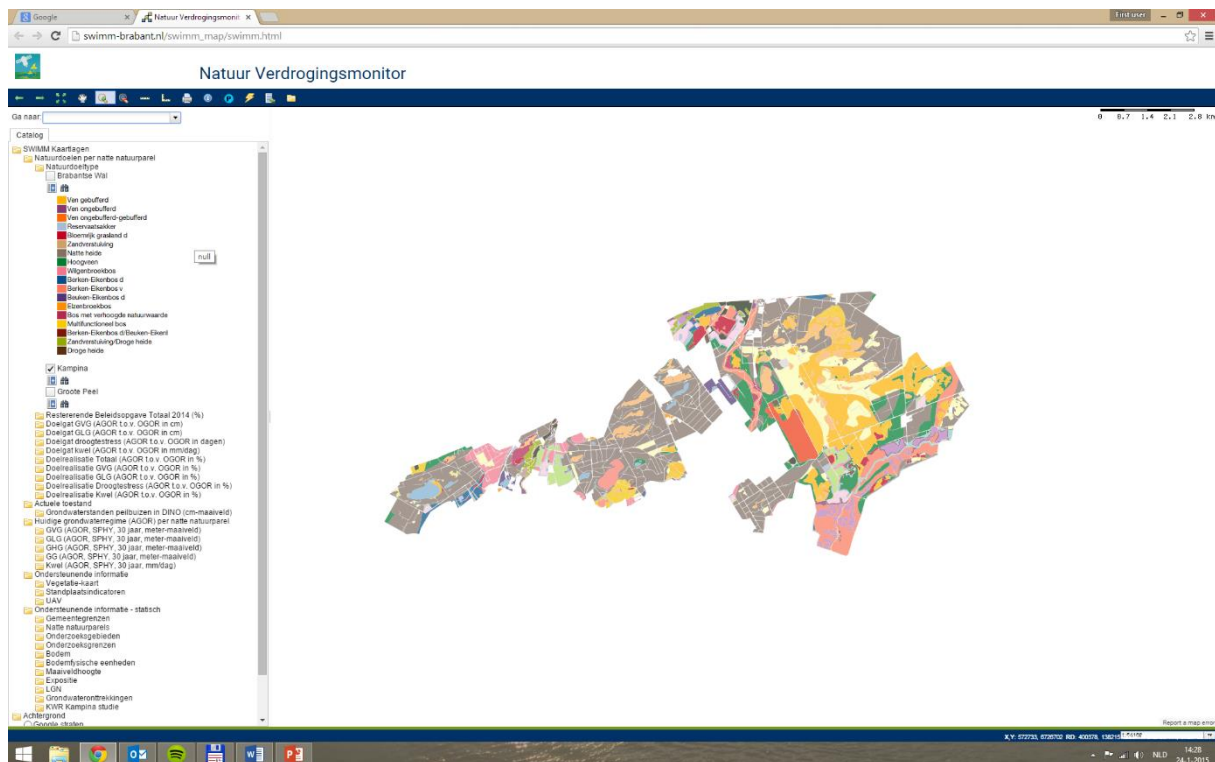
Een natuurdoeltype is een in het natuurbeleid nagestreefd type ecosysteem dat een bepaalde biodiversiteit en een bepaalde mate van natuurlijkheid als kwaliteitskenmerken heeft. Met behulp van de landelijk gehanteerde systematiek van natuurdoeltypen kunnen meetbare doelstellingen voor gebieden worden bepaald. Deze doelstellingen zijn bedoeld als een belangrijk hulpmiddel voor de planvorming, het beheer, de inrichting en de evaluatie van natuur. Ieder natuurdoeltype stelt specifieke eisen aan de waterhuishouding, in het bijzonder aan de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand GVG, de gemiddeld laagste grondwaterstand GLG, de kwelinvloed en de droogtestress. De provincie heeft de kaarten ter beschikking gesteld. In Figuur 2 staat een voorbeeld voor De Kampina.

Beheertypekaart Grootte Peel

Voor de Grootte Peel is na de workshop van december 2014 een kaart door de provincie ter beschikking gesteld met zogenaamde natuurbeheertypen (Figuur 15). Deze kaart is gebruikt als referentie voor de doelrealisatie-berekeningen, omdat de natuurdoeltypekaart voor de Grootte Peel geen ruimtelijk onderscheid kent en slechts één type omvat



Figuur 15. Natuurbeheertypen Grootte Peel provincie Noord-Brabant.



Figuur 16. Natuurdoeltypekaart De Kampina.

Resterende Beleidsopgave 2014 (%)

Benodigde informatie:

- ✓ Maximale Doelrealisatie Totaal bij OGOR [100%]
- ✓ Actuele Doelrealisatie Totaal berekend met WaterNOOD bij AGOR [%]
- ✓ Verschil bepalen

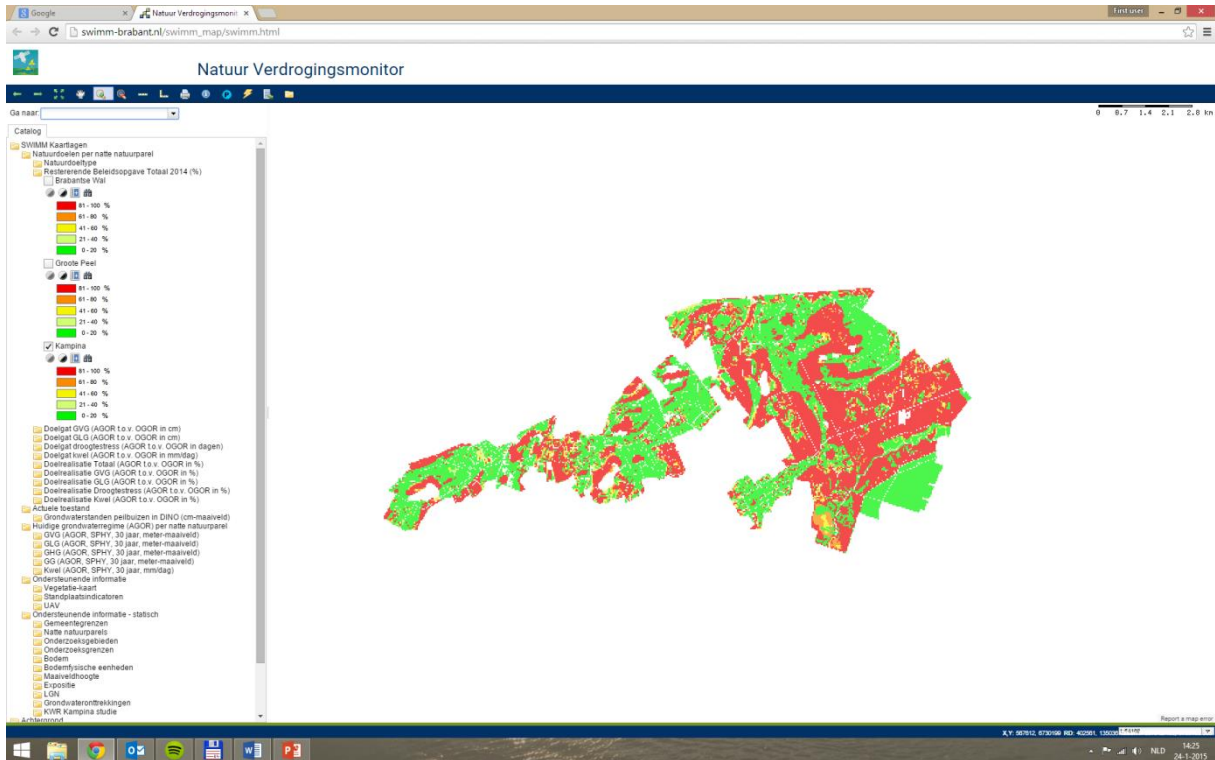
De resterende beleidsopgave [%] laat zien welk deel van de opgave voor het beleidsdoel nog behaald kan worden. Het is een opgave die gebaseerd is op de ambitie van de provincie (OGOR natte natuur). In Figuur 17 is een voorbeeld te zien voor de Kampina.

Doelgat GVG (AGOR op basis van SPHY, 30 jaar) [cm]

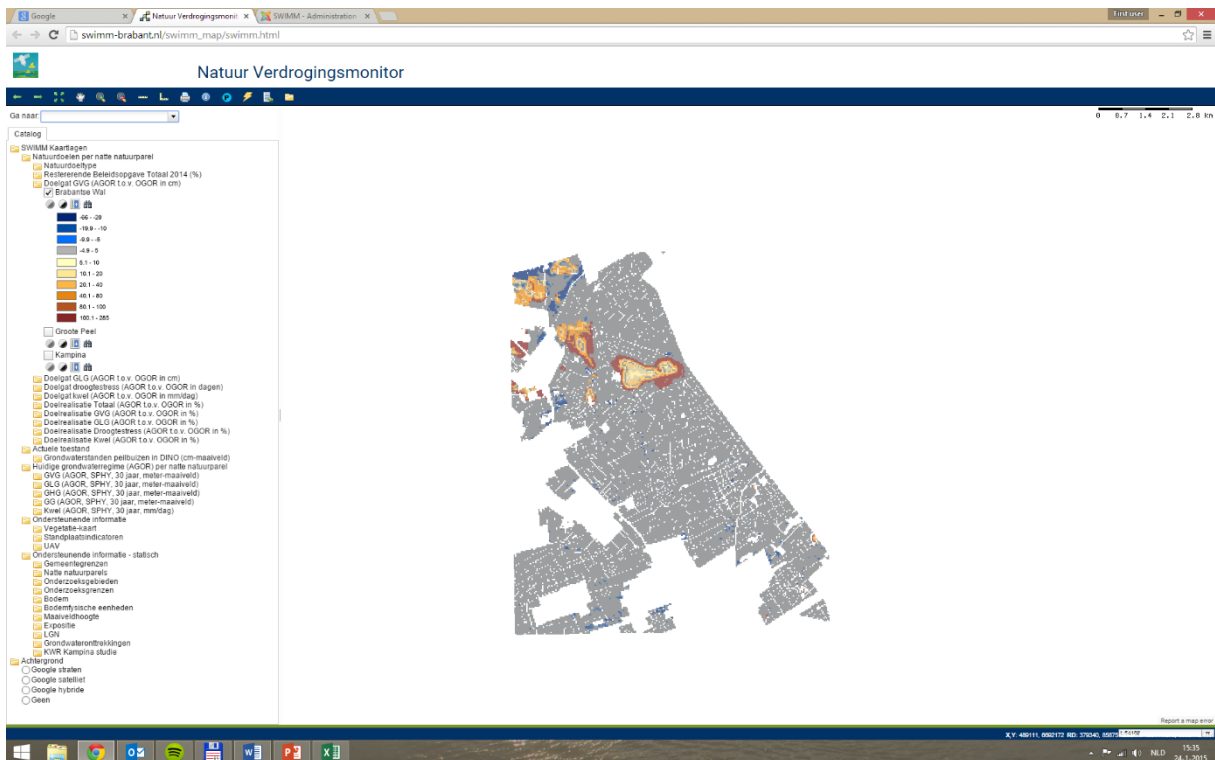
Benodigde informatie:

- ✓ GVG-OGOR
- ✓ GVG-AGOR

Het doelgat GVG is de verandering in de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand die minimaal nodig is om voor het beoogde natuurdoeltype een doelrealisatie van 100% te realiseren. De grenswaarden voor de optimale grondwaterstand zijn ontleend aan WaterNOOD. Met behulp van het hydrologische raster-gebaseerde model SPHY (Terink et al. 2012) zijn grondwaterstanden in de Kampina, Grootte Peel en Brabantse Wal berekend voor de periode van 1 april 1984 tot en met 31 maart 2013, op een ruimtelijke resolutie van 25 meter. Volgend uit de in WaterNOOD gebruikte definitie is de SPHY GVG van 1982 tot en met 1987 genomen als input voor berekening van het doelgat. De GVG is per cel gedefinieerd als het gemiddelde van de grondwaterstanden tussen 1 maart en 30 april. Per februari 2015 is meer informatie over het SPHY model te vinden via www.sphy.nl. In Figuur 18 is een voorbeeld te zien voor de Brabantse Wal.



Figuur 17. Kaart van Resterende Beleidsopgave 2014 [%] voor De Kampina.



Figuur 18. Doelgat GVG (AGOR, SPHY, 30 jaar) in [cm] voor de Brabantse Wal.

Doelgat GLG (AGOR op basis van SPHY, 30 jaar) [cm]

Benodigde informatie:

- ✓ GLG-OGOR

✓ GLG-AGOR

Het doelgat GLG is de verandering in de gemiddeld laagste grondwaterstand die minimaal nodig is om voor het beoogde natuurdoeltype een doelrealisatie van 100% te realiseren. De grenswaarden voor de optimale grondwaterstand zijn ontleend aan WaterNOOD. Met behulp van het hydrologische raster-gebaseerde model SPHY zijn grondwaterstanden in de Kampina, Grote Peel en Brabantse Wal berekend voor de periode van 1 april 1984 tot en met 31 maart 2013, op een ruimtelijke resolutie van 25 meter. Volgend uit de in WaterNOOD gebruikte definitie is de SPHY GLG van 1982 tot en met 1987 genomen als input voor berekening van het doelgat. De GLG is per cel gedefinieerd als het gemiddelde van de drie laagste grondwaterstanden per hydrologisch jaar. Per februari 2015 is meer informatie over het SPHY model te vinden via www.sphy.nl. In Figuur 19 is een voorbeeld te zien voor de Grote Peel.



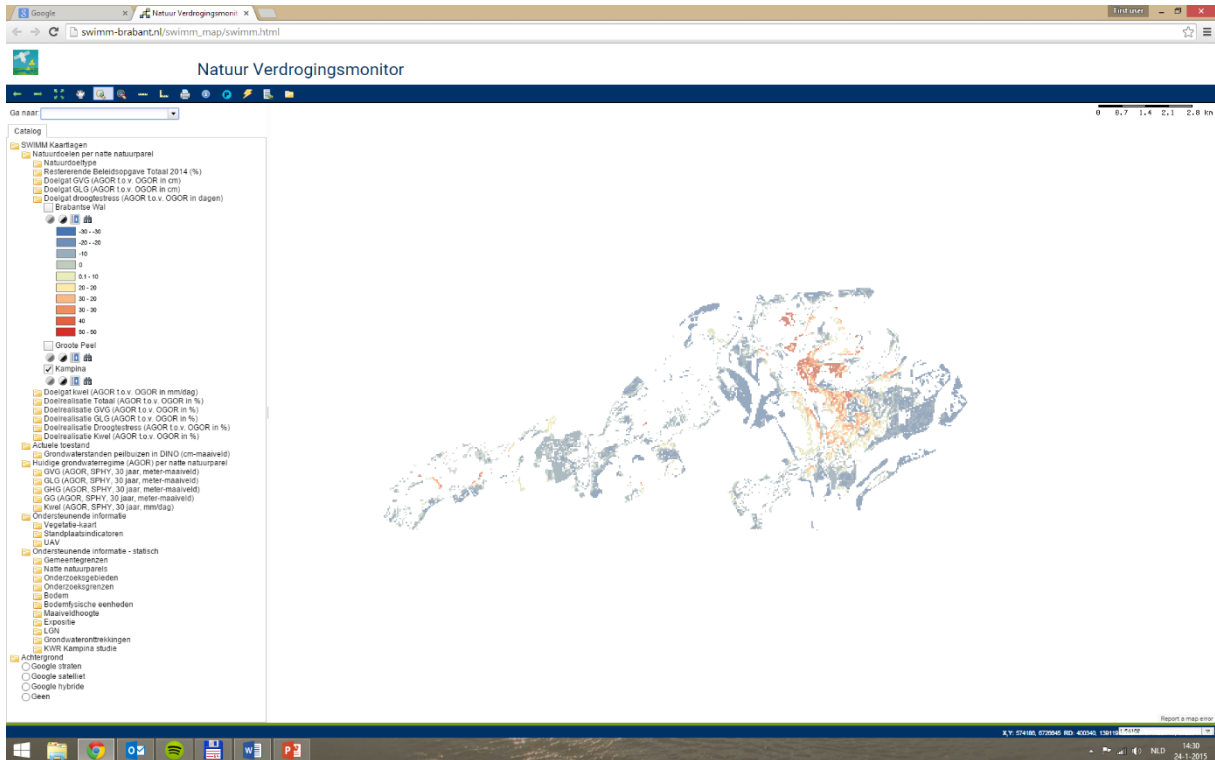
Figuur 19. Doelgat GVG (AGOR, SPHY, 30 jaar) in [cm] voor de Grote Peel.

Doelgat Droogtestress (DS) (AGOR op basis van SPHY, 30 jaar) [d]

Benodigde informatie:

- ✓ DS-OGOR
- ✓ DS-AGOR

De droogtestress is een maat voor hoe ver de wortelzone van de bodem in de zomer uitdroogt. De droogtestress hangt af van de gemiddeld laagste grondwaterstand GLG, het bodemtype, en het regionale klimaat (neerslag en referentieverdamping). Hij is gedefinieerd als het aantal dagen [d] per jaar dat de zuigspanning van de bodem een waarde van 120 m overschrijdt. In Figuur 20 is een voorbeeld te zien voor de Kampina.



Figuur 20. Doelgat Droogtestress (AGOR, SPHY, 30 jaar) in [d] voor De Kampina.

Doelgat Kwel (AGOR op basis van SPHY, 30 jaar) [mm/d]

Benodigde informatie:

- ✓ Kwel-OGOR
- ✓ Kwel-AGOR

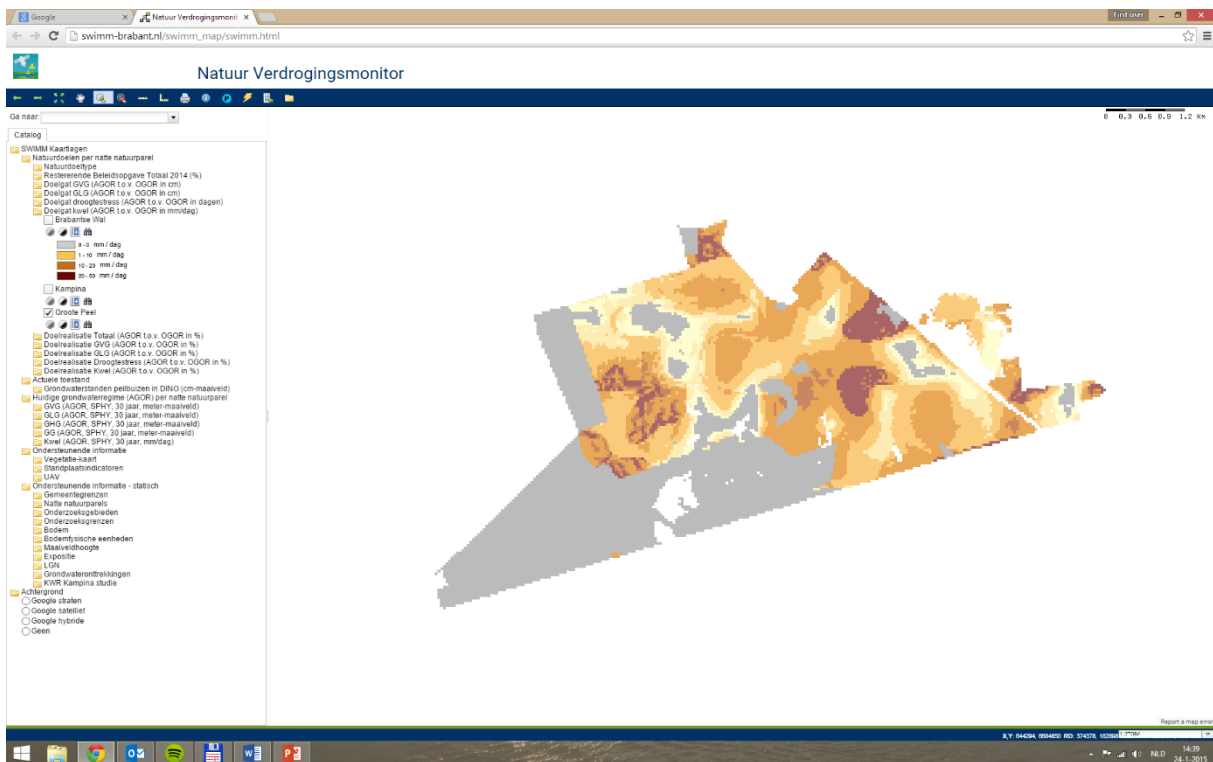
De kwel is een maat voor hoever grondwater de wortelzone van de bodem in de zomer kan bereiken. De kwel hangt af van de gemiddeld laagste grondwaterstand GLG, het bodemtype en de bodemopbouw en de stijghoogte van het regionale grondwater. Of een natuurdoeltype afhankelijk is van kwelinvloed, is bepaald met het computerprogramma WaterNOOD. Er is voor deze kaart aangenomen dat er sprake is van kwelinvloed, wanneer de kwelintensiteit groter is dan 0,25 mm/d. De kwelintensiteit is berekend met het hydrologische model SPHY op 25 meter resolutie en is een gemiddelde voor de periode van 1 april 1984 tot en met 31 maart 2013. In Figuur 7 is een voorbeeld te zien voor de Grootte Peel.

Doelrealisatie Totaal (AGOR t.o.v. OGOR) [%]

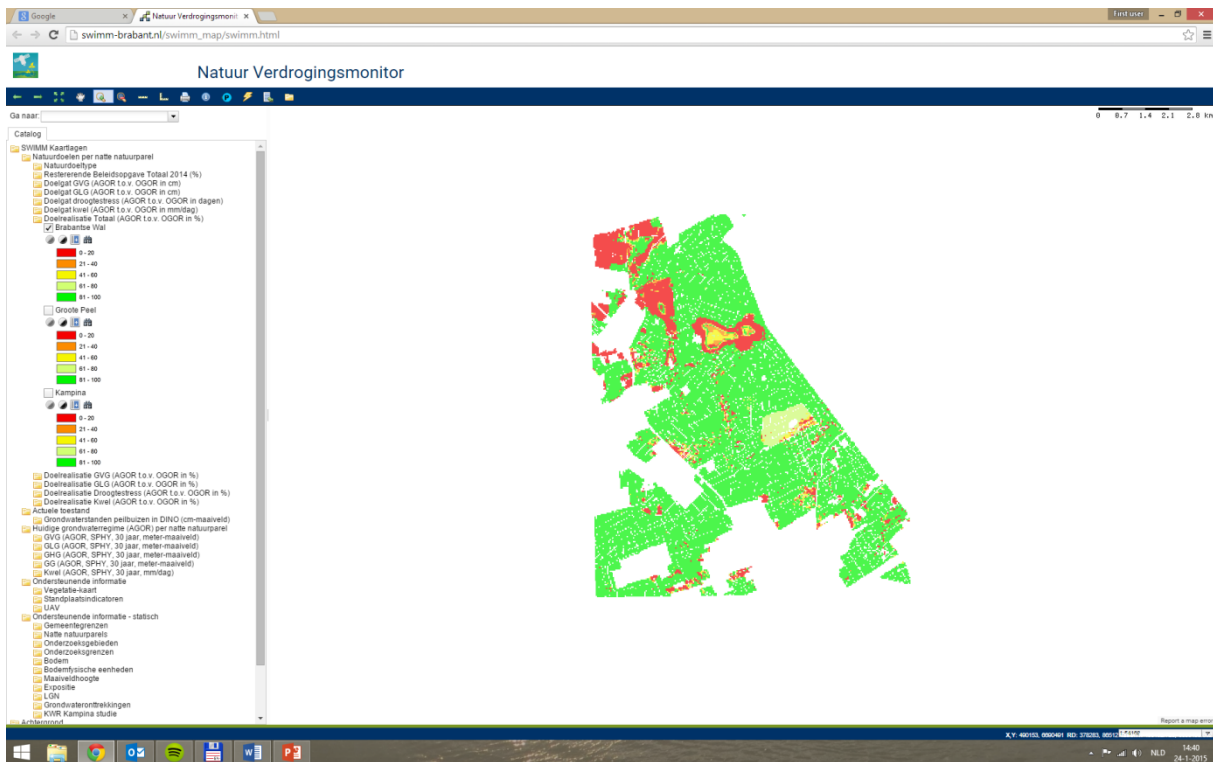
Benodigde informatie:

- ✓ Natuurdoeltype-kaart
- ✓ GXG-OGOR, GXG-AGOR
- ✓ Doelrealisaties GVG, GLG, Droogtestress, Kwel

De totale doelrealisatie geeft weer voor hoeveel procent het geplande natuurdoeltype kan worden gerealiseerd op basis van vier hydrologische parameters: de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand GVG, de gemiddeld laagste grondwaterstand GLG, de droogtestress en de kwelinvloed. De totale doelrealisatie wordt berekend door de vier afzonderlijke doelrealisaties voor deze hydrologische parameters met elkaar te vermenigvuldigen. In Figuur 22 is een voorbeeld te zien voor de Brabantse Wal.



Figuur 21. Doelgat Kwel (AGOR, SPHY, 30 jaar) in [mm/d] voor de Grootse Peel.



Figuur 22. Doelrealisatie Totaal (AGOR t.o.v. OGOR) in [%] voor de Brabantse Wal.

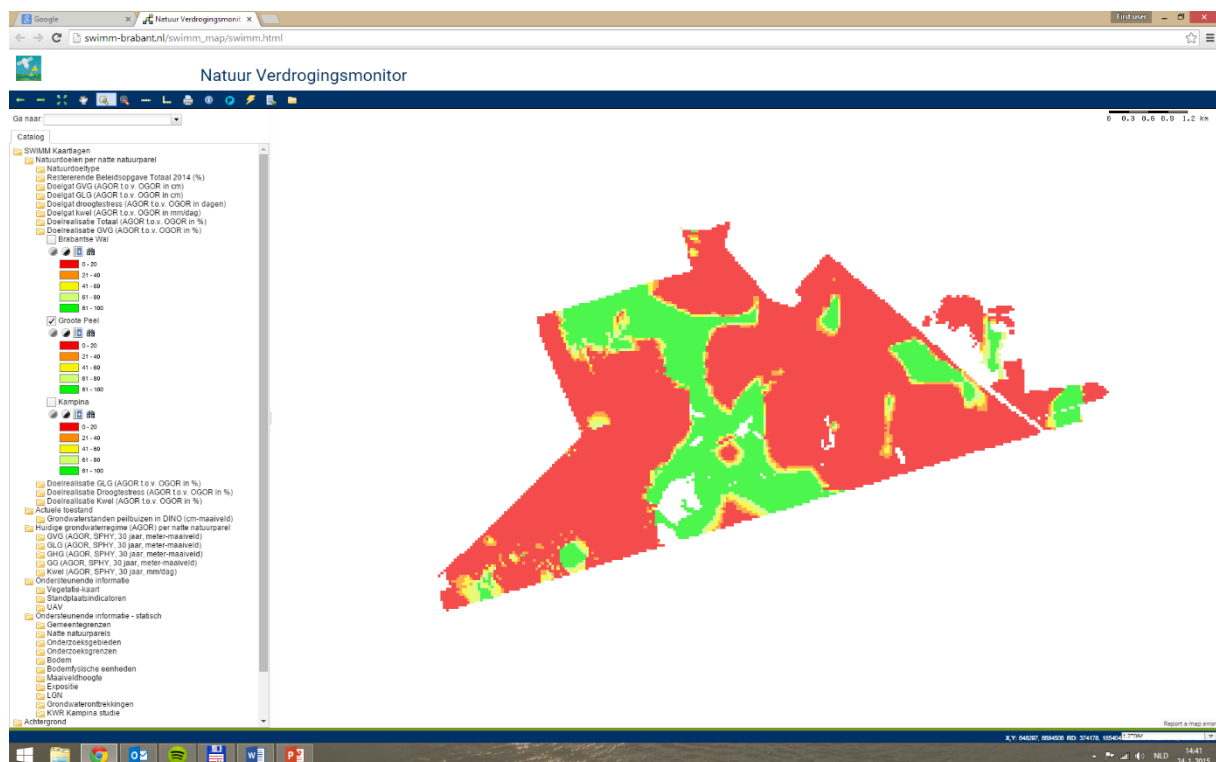
Doelrealisatie GVG (AGOR t.o.v. OGOR) [%]

Benodigde informatie:

- ✓ Natuurdoeltype-kaart
- ✓ GVG-OGOR, GVG-AGOR

De mate waarin een natuurdoeltype kan worden gerealiseerd (de doelrealisatie) hangt af van de hydrologische omstandigheden ter plaatse. De doelrealisatie op basis van de GVG geeft weer wat de doelrealisatie is bij een gegeven gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand GVG. Deze doelrealisatie is berekend aan de hand van doelrealisatiefuncties met behulp van het programma WaterNOOD. Met behulp van het hydrologische raster-gebaseerde model SPHY zijn grondwaterstanden in de Kampina, Grootte Peel en Brabantse Wal berekend voor de periode van 1 april 1984 tot en met 31 maart 2013, op een ruimtelijke resolutie van 25 meter. volgend uit de in WaterNOOD gebruikte definitie is de SPHY GVG van 1982 tot en met 1987 genomen als input voor berekening van de doelrealisatie. De GVG is per cel gedefinieerd als het gemiddelde van de grondwaterstanden tussen 1 maart en 30 april. Per februari 2015 is meer informatie over het SPHY model te vinden via www.sphy.nl. In Figuur 23 is een voorbeeld te zien voor de Grootte Peel.

50



Figuur 23. Doelrealisatie GVG (AGOR t.o.v. OGOR) in [%] voor de Grootte Peel.

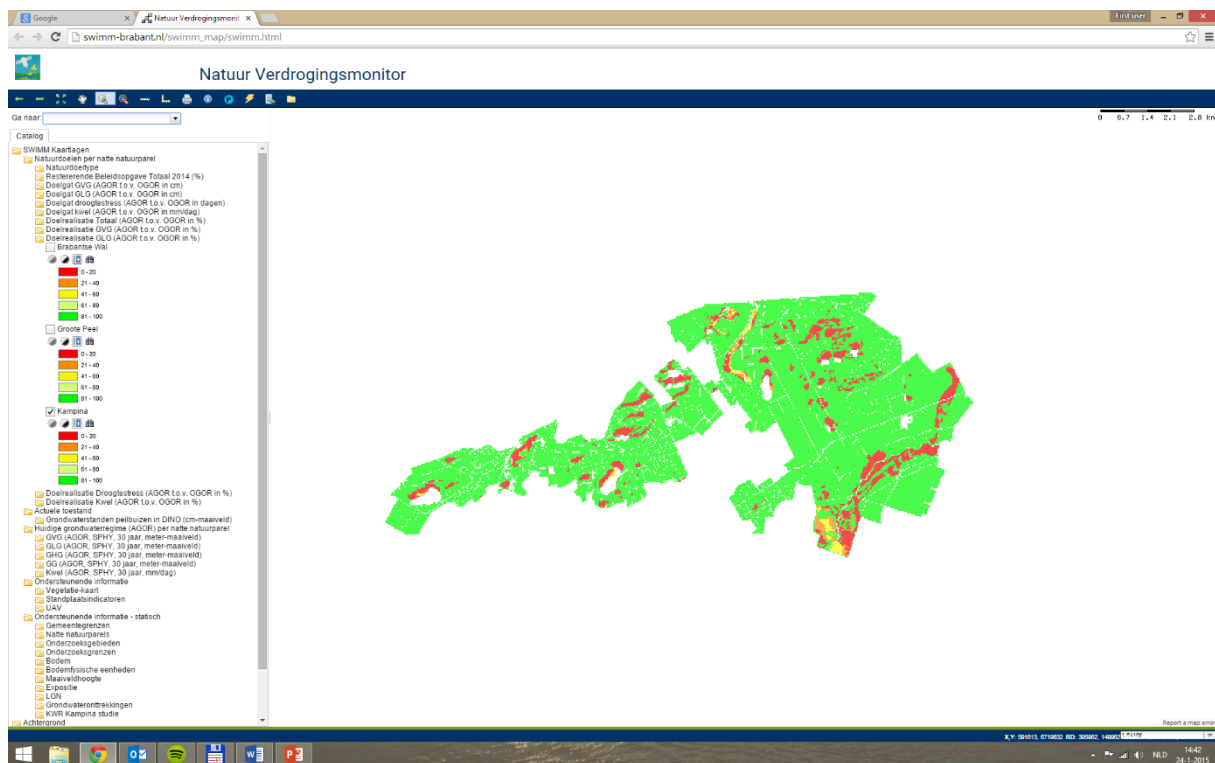
Doelrealisatie GLG (AGOR t.o.v. OGOR) [%]

Benodigde informatie:

- ✓ Natuurdoeltype-kaart
- ✓ GLG-OGOR, GLG-AGOR

De mate waarin een natuurdoeltype kan worden gerealiseerd (de doelrealisatie) hangt af van de hydrologische omstandigheden ter plaatse. De doelrealisatie op basis van de GLG geeft weer wat de doelrealisatie is bij een gegeven gemiddeld laagste grondwaterstand GLG. Deze doelrealisatie is berekend aan de hand van doelrealisatiefuncties met behulp van het programma WaterNOOD. Met behulp van het hydrologische raster-gebaseerde model SPHY zijn grondwaterstanden in de Kampina, Grootte Peel en Brabantse Wal berekend voor de periode van 1 april 1984 tot en met 31 maart 2013, op een ruimtelijke resolutie van 25 meter. volgend uit de in WaterNOOD

gebruikte definitie is de SPHY GLG van 1982 tot en met 1987 genomen als input voor berekening van de doelrealisatie. De GLG is per cel gedefinieerd als het gemiddelde van de drie laagste grondwaterstanden per hydrologisch jaar. Per februari 2015 is meer informatie over het SPHY model te vinden via www.sphy.nl. In Figuur 10 is een voorbeeld te zien voor de Kampina.



51

Figuur 24. Doelrealisatie GLG (AGOR t.o.v. OGOR) in [%] voor De Kampina.

Doelrealisatie Droogtestress (DS) (AGOR t.o.v. OGOR) [%]

Benodigde informatie:

- ✓ Natuurdoeltype-kaart
- ✓ DS-OGOR, DS-AGOR

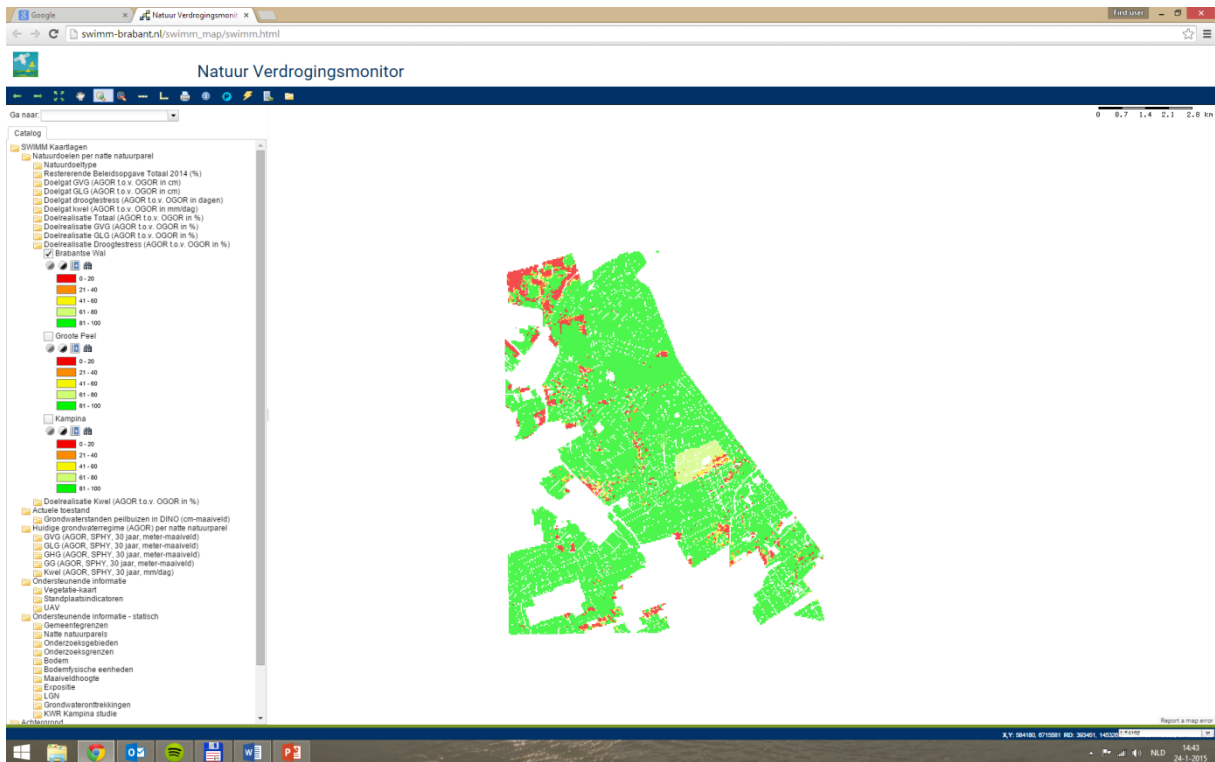
De mate waarin een natuurdoeltype kan worden gerealiseerd (de doelrealisatie) hangt af van de hydrologische omstandigheden ter plaatse. De doelrealisatie op basis van de Droogtestress geeft weer wat de doelrealisatie is bij een gegeven gemiddelde Droogtestress. Deze doelrealisatie is berekend aan de hand van doelrealisatiefuncties met behulp van het programma WaterNOOD. In Figuur 25 is een voorbeeld te zien voor de Brabantse Wal.

Doelrealisatie Kwel (AGOR t.o.v. OGOR) [%]

Benodigde informatie:

- ✓ Natuurdoeltype-kaart
- ✓ Kwel-OGOR, Kwel-AGOR

De mate waarin een natuurdoeltype kan worden gerealiseerd (de doelrealisatie) hangt af van de hydrologische omstandigheden ter plaatse. De doelrealisatie op basis van de kwelinvloed geeft of de kwelinvloed voldoende is (doelrealisatie 100%), dan wel onvoldoende (doelrealisatie 0%). Of een natuurdoeltype afhankelijk is van kwelinvloed, is bepaald met het computerprogramma WaterNOOD. Er is voor deze kaart aangenomen dat er sprake is van kwelinvloed, wanneer de kwelintensiteit groter is dan (-)0,25 mm/d. De kwelintensiteit is berekend met het hydrologische model SPHY op 25 meter resolutie en is een gemiddelde voor de periode van 1 april 1984 tot en met 31 maart 2013. In Figuur 12 is een voorbeeld te zien voor de Grote Peel.



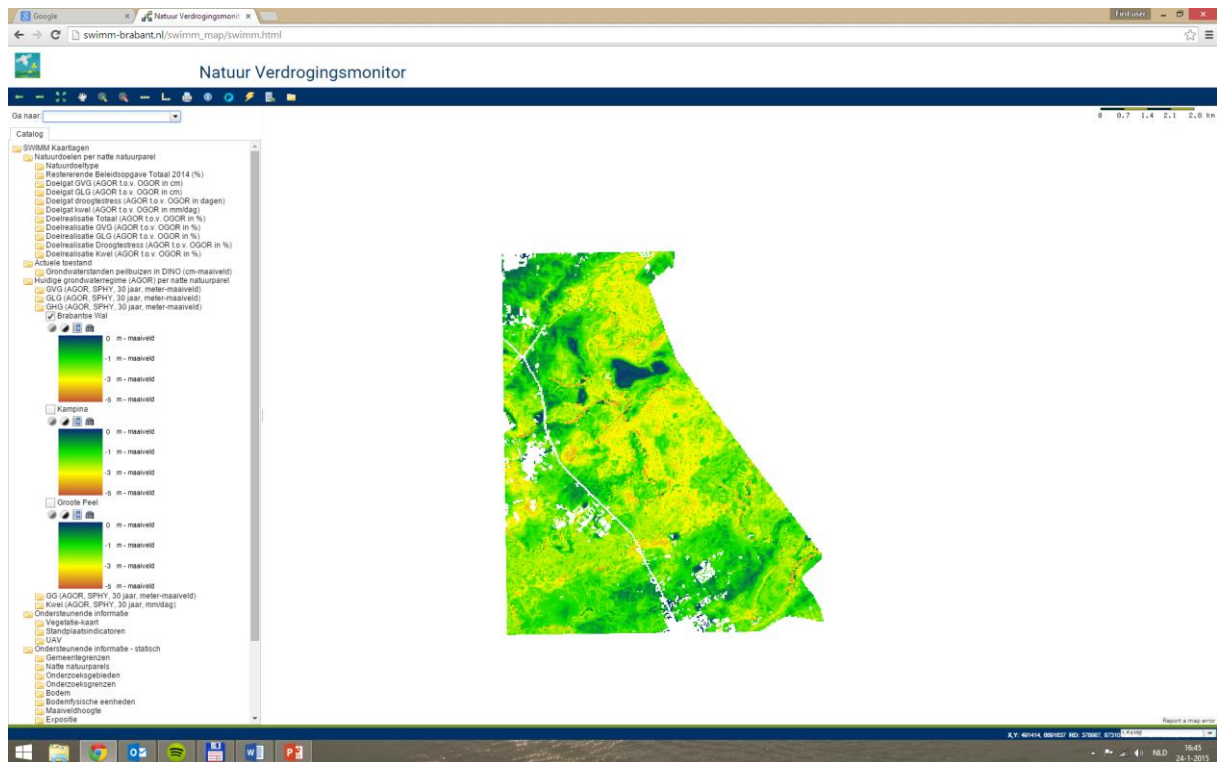
Figuur 25. Doelrealisatie Droogtestress (AGOR t.o.v. OGOR) in [%] voor de Brabantse Wal.



Figuur 26. Doelrealisatie Kwel (AGOR t.o.v. OGOR) in [%] voor de Groote Peel.

7.3 HUIDIG GRONDWATERREGIME

Kaarten met het huidige grondwaterregime staan in de webservice, maar niet in de viewer of in de App. Om toch een voorbeeld daarvan te geven staat in Figuur 27 een voorbeeld van de GHG van de Brabantse Wal.



Figuur 27. Voorbeeld-kaart GHG Brabantse Wal, AGOR-huidig grondwaterregime.

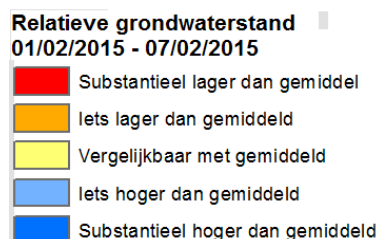
7.4 ACTUELE TOESTAND

Dynamische actuele informatie hydrologie via SPHY

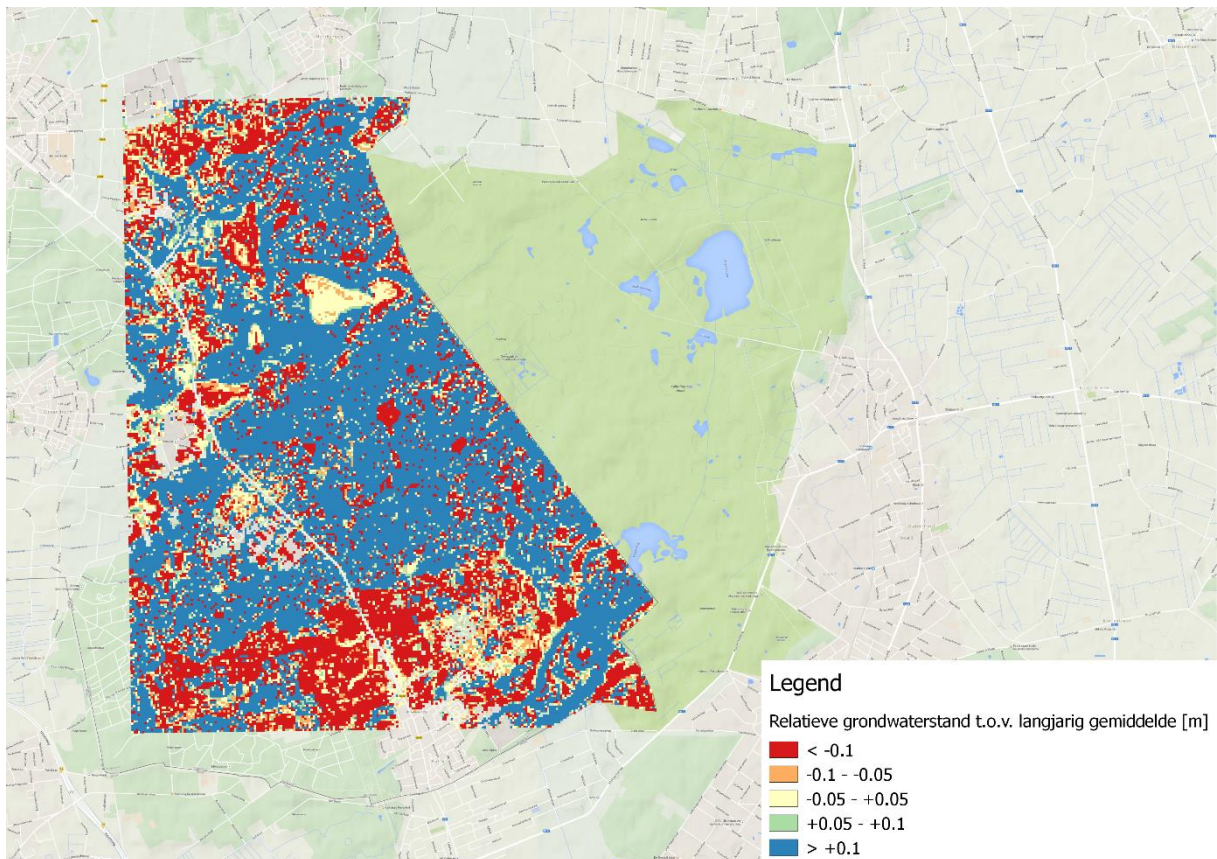
We gaan vanaf februari 2015 wekelijks een update geven van de hydrologische situatie van de drie NNP-pilotgebieden. De hierbij gepresenteerde data op kaart per gebied zullen zijn:

- Grondwaterstand
- Bodemvocht in wortelzone
- Werkelijke verdamping

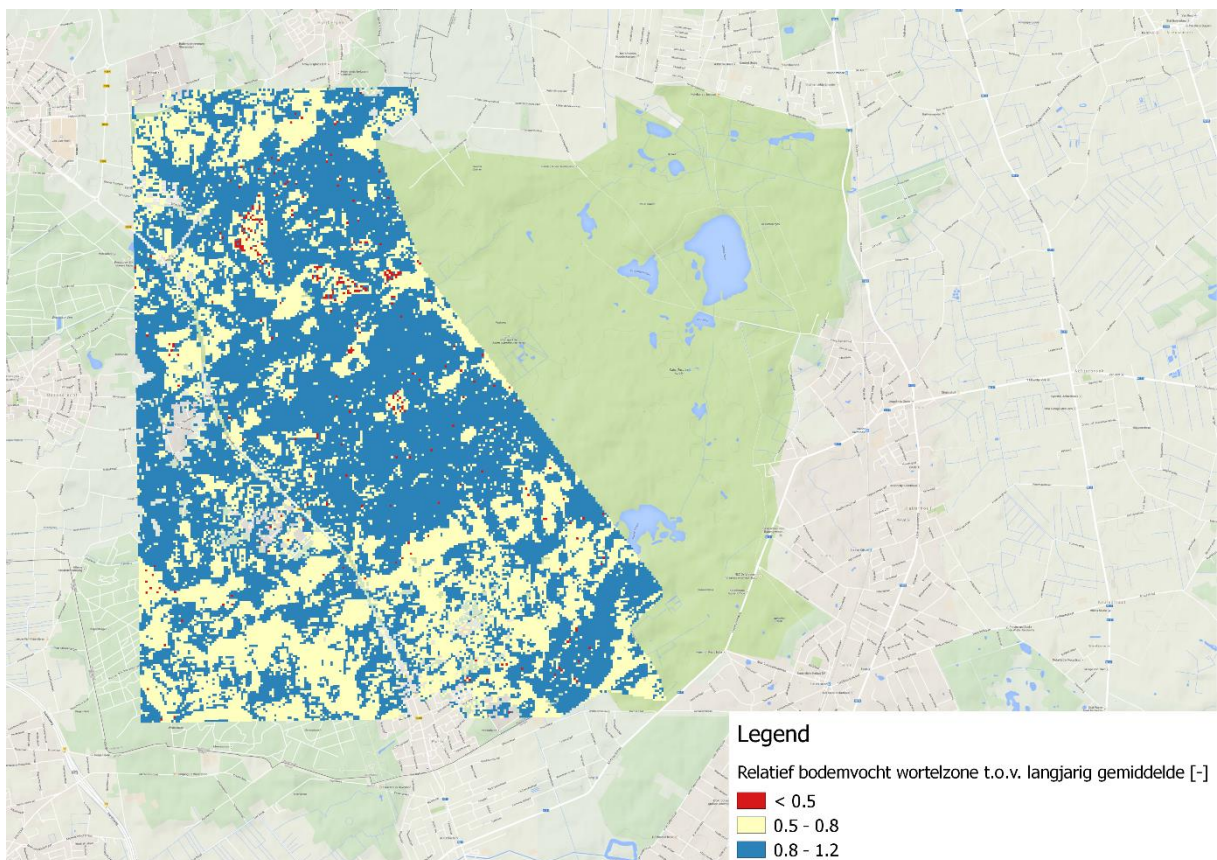
De eerste twee variabelen zullen we weergeven in relatieve klassen, die aangeven hoe de actuele toestand afwijkt ten opzichte van de langjarig gemiddelde situatie. Figuur 28 geeft een voorbeeld van de legenda. De werkelijke verdamping wordt weergegeven als een weksom (mm/week).



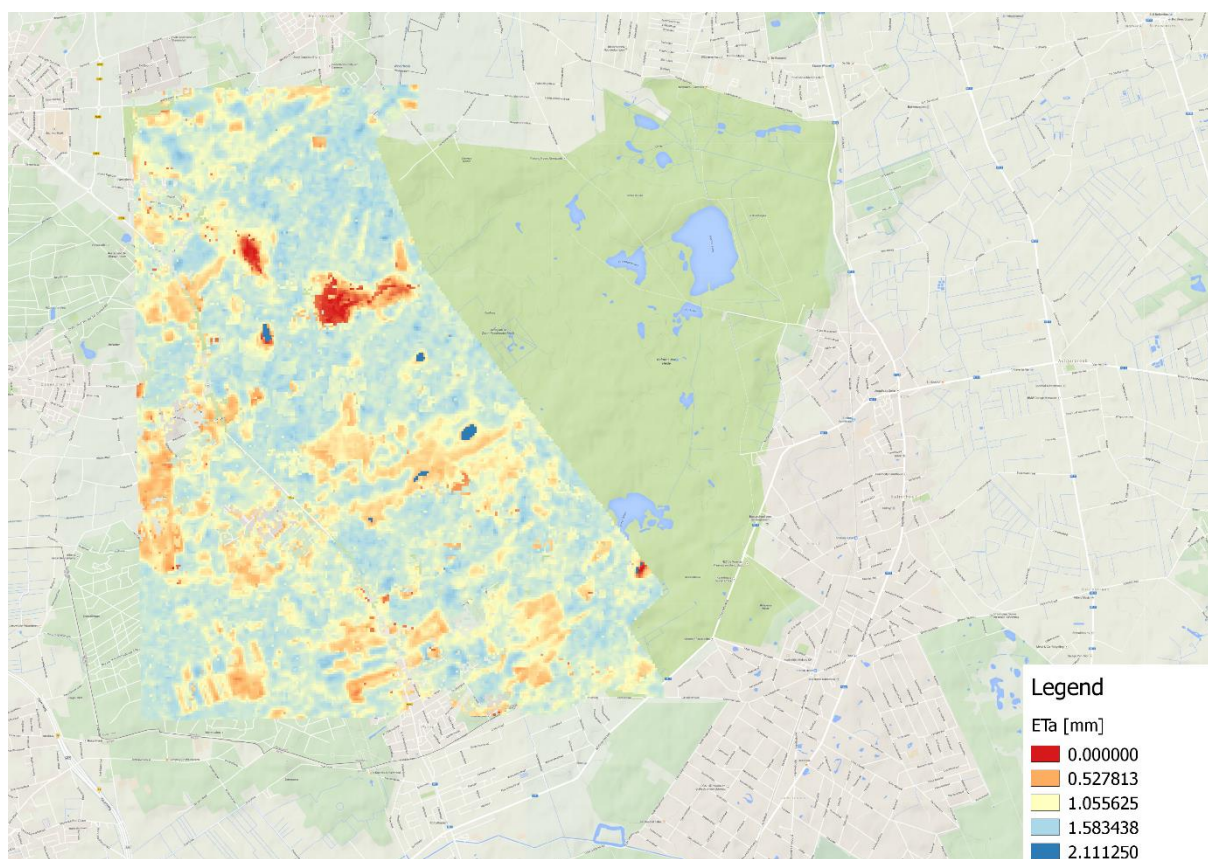
Figuur 28. Voorbeeld-legenda SPHY operationeel, voor actuele hydrologische situatie van gebieden.



Figuur 29. Dynamische wekelijkse grondwaterstand Brabantse Wal (SPHY) (relatieve klassen) [-].



Figuur 30. Dynamische wekelijkse vochttoestand wortelzone Brabantse Wal (SPHY) (relatieve klassen) [-].



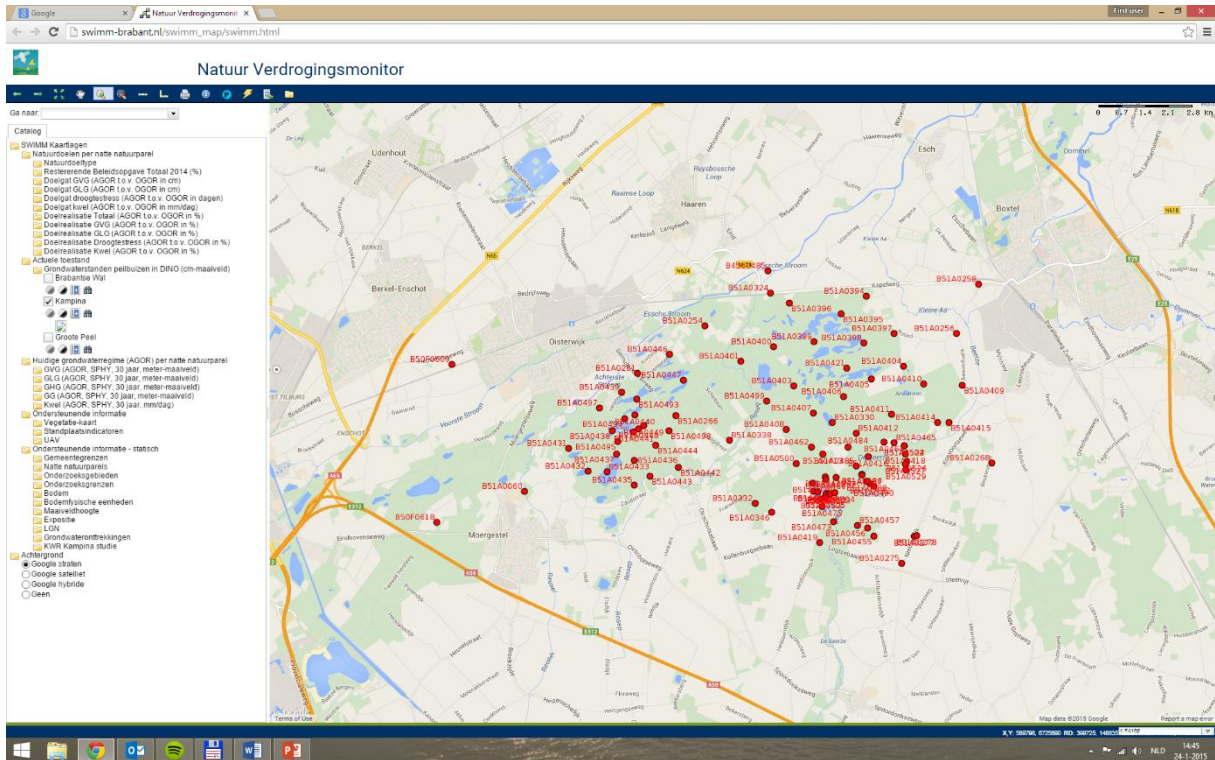
Figuur 31. Dynamische wekelijkse werkelijke verdamping Brabantse Wal (SPHY) [mm/d].

Grondwaterstanden peilbuizen uit DINO [cm-m.v.]

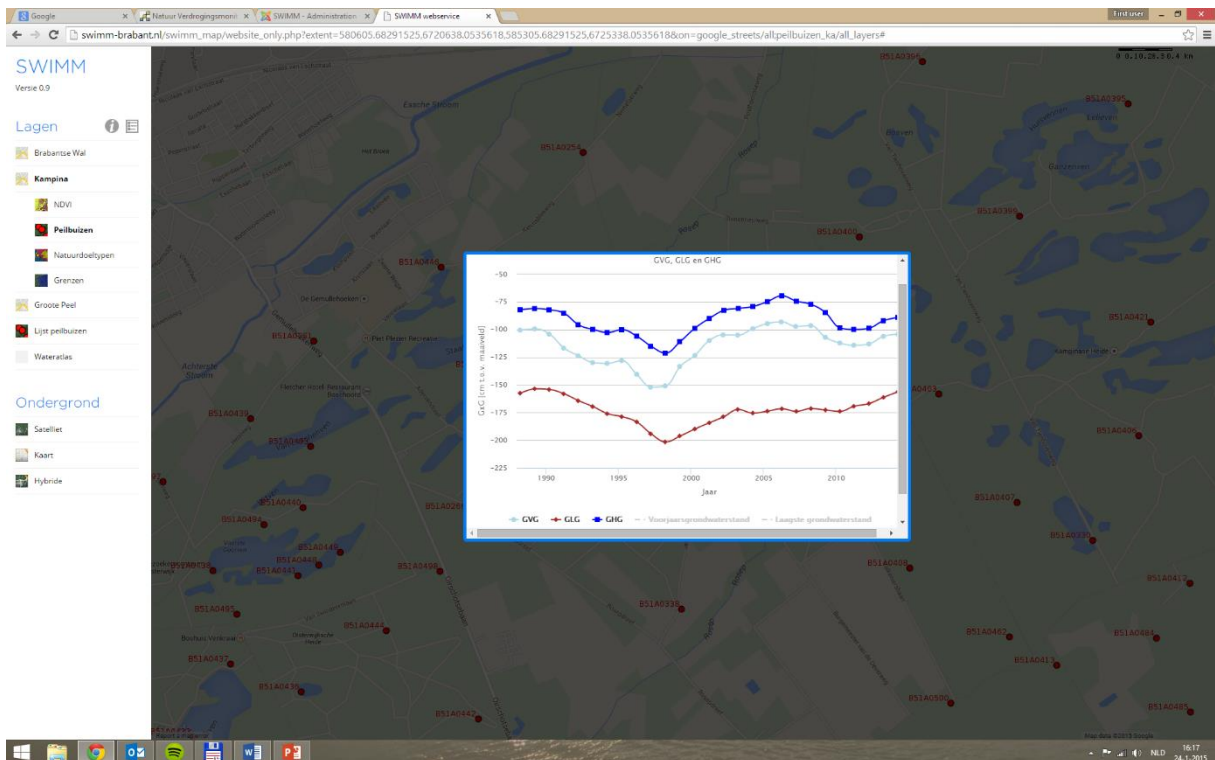
De in Figuur 32 getoonde peilbuislocaties voor De Kampina zijn afkomstig uit DINOloket van TNO. In het SWIMM instrument zijn peilbuizen opgenomen die aan de volgende criteria voldoen:

- Data beschikbaar in DINO-loket TNO, inclusief essentiële metadata (met name maaiveldhoogte en filterdiepte)
- Langjarige tijdreeks tussen de jaren 1980 en 2014 (minimaal 10 aaneengesloten jaren)
- Een filter in het freatisch grondwater

Door de peilbuizen aan te klikken wordt een nieuw venster geopend dat tijdseries van de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand (GVG), gemiddelde laagste grondwaterstand (GLG), en gemiddelde hoogste grondwaterstand (GHG) weergeeft (Figuur 33). Deze voortschrijdende gemiddeldes zijn voor elk jaar berekend op basis van de 8 voorgaande jaren. De GVG is het gemiddelde van de gemeten voorjaarsgrondwaterstand (maart en april) in de 8 voorgaande hydrologische jaren. De GHG en GLG zijn respectievelijk gebaseerd op de gemiddelden van de 3 hoogste (HG3) en laagste (LG3) gemeten grondwaterstanden per jaar voor de 8 voorgaande hydrologische jaren. De HG3 en LG3 per jaar kunnen eveneens worden bekeken in deze grafiek.



Figuur 32. Locatie peilbuizen DINO-loket TNO voor De Kampina.

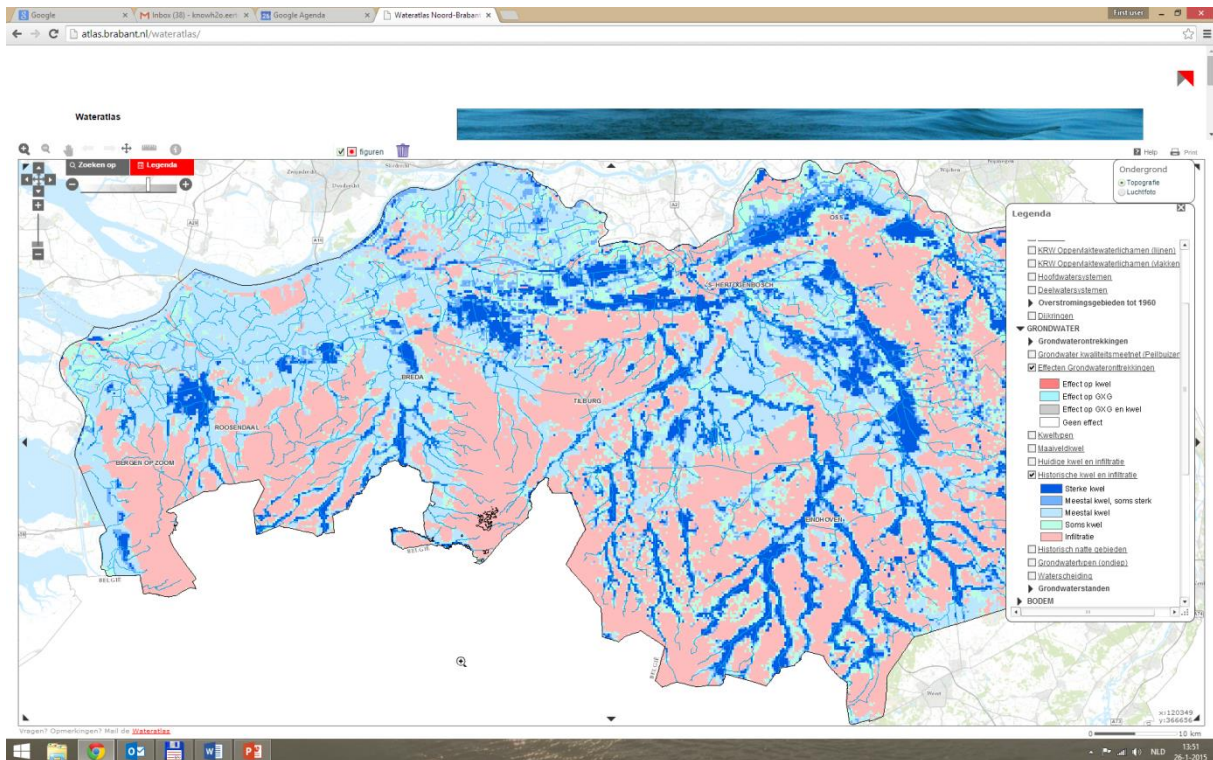


Figuur 33. Voorbeeld van verwerkte grondwaterstanden van een peilbuis uit DINO-loket TNO voor De Kampina. Grafiek toont voortschrijdende gemiddelden van GVG, GLG en GHG.

7.5 ONDERSTEUNENDE INFORMATIE

Grondwateronttrekkingen: ligging putten

Grondwateronttrekking is het onttrekken van grondwater om verschillende redenen, bijvoorbeeld: bij bouwwerkzaamheden (bronbemaling); bij het aanleggen van riolering, kabels en leidingen (sleufbemaling); bij het uitvoeren van een bodemsanering (sanering van grond en grondwater); voor productieprocessen in industrieën; voor drinkwaterwinning voor vee; voor warmte/koude opslag in de bodem. De kaart in SWIMM toont de putten voor zover die opgenomen zijn in de Wateratlas van de provincie Noord-Brabant. Figuur 34 laat zien waar welke effecten zijn van de onttrekking van grondwater.

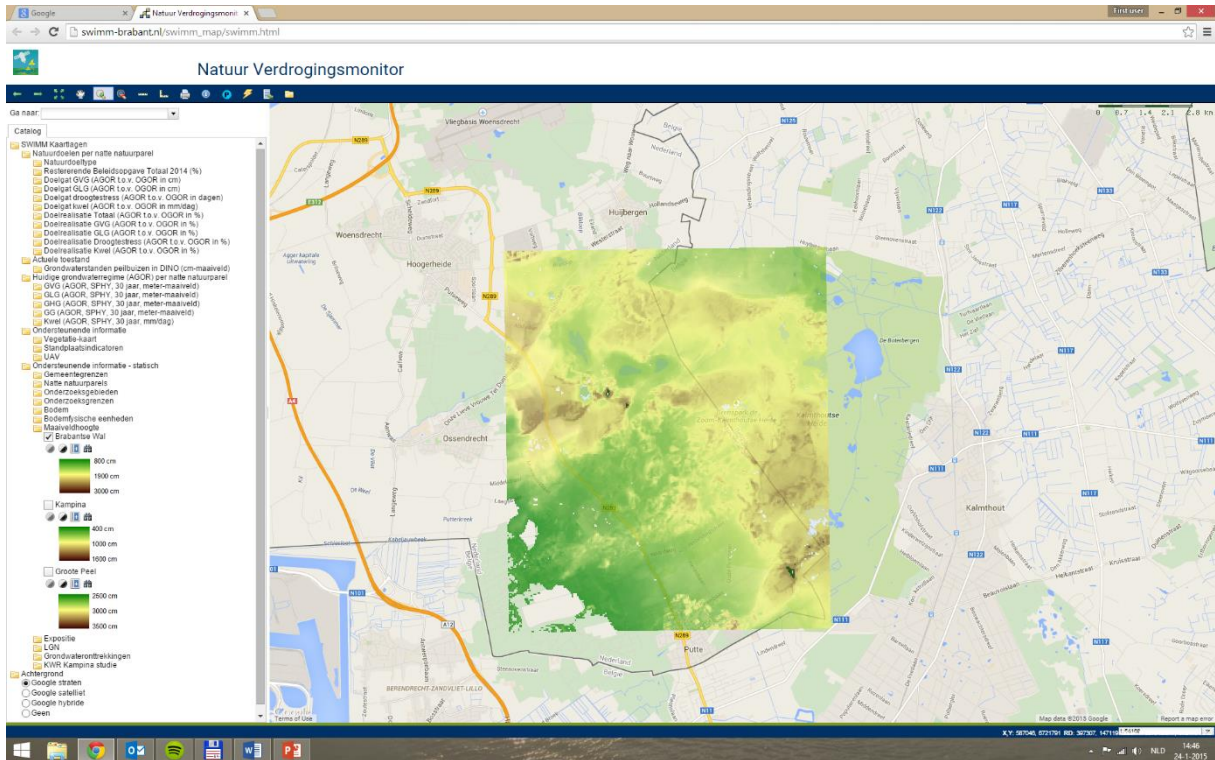


Figuur 34. Kaart met effecten van putten waar grondwater onttrokken wordt op kwel en GXG (bron: Wateratlas provincie Noord-Brabant).

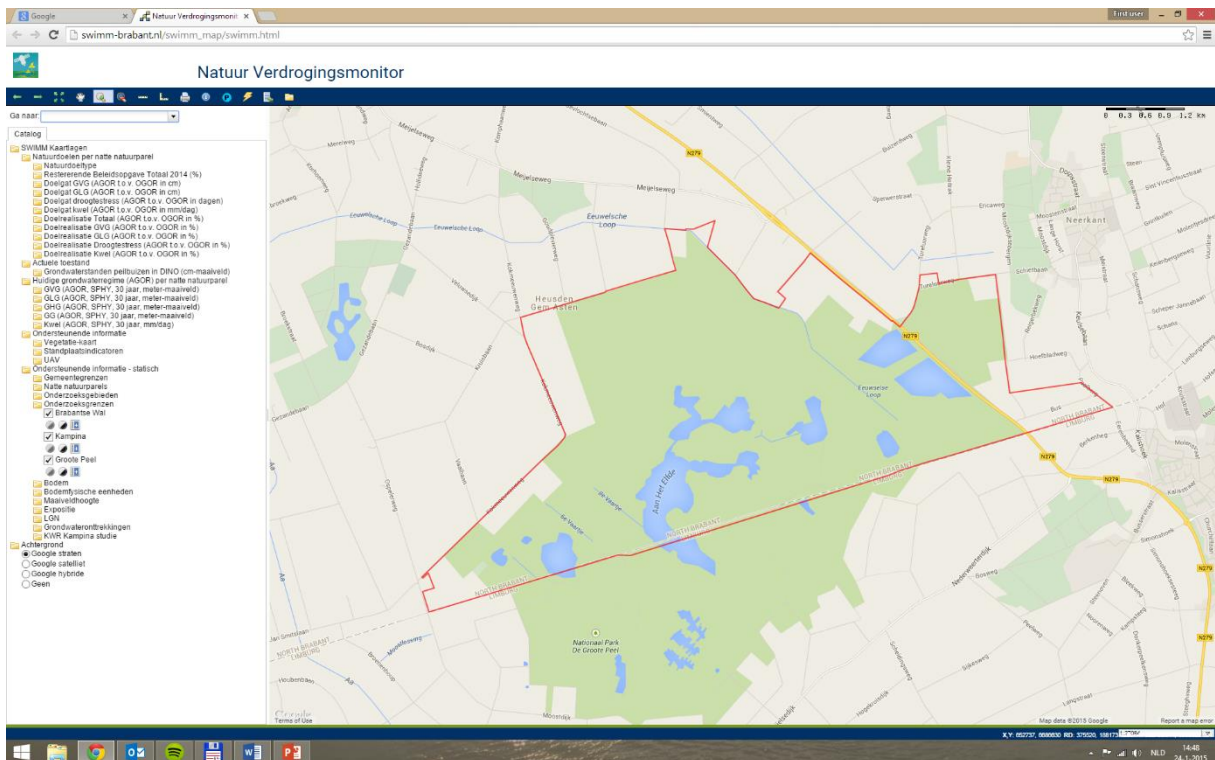
7.6 GEO-INFORMATIE

Drie voorbeelden van kaarten in deze categorie zijn:

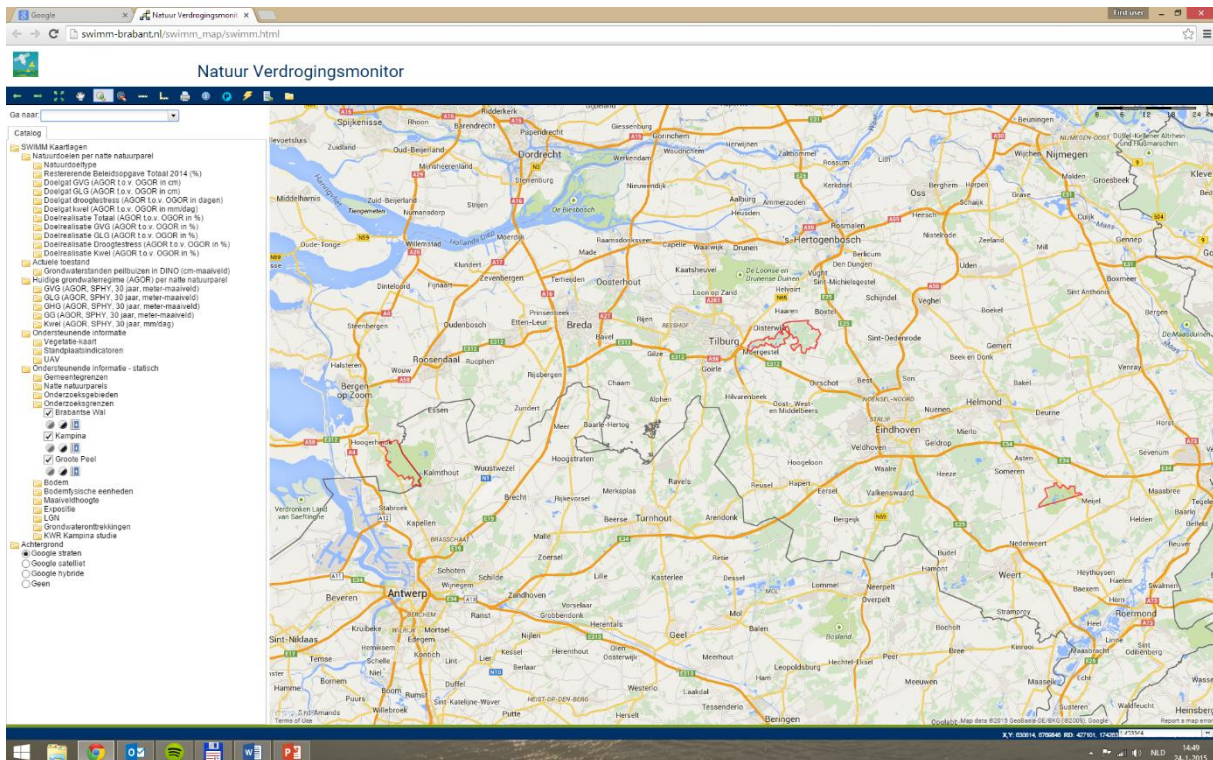
- *Maaveldhoogte (AHN-1)* (Figuur 35)
- *Grenzen NNP* (Figuur 36)
- *Gebieden in Noord-Brabant* (Figuur 37)



Figuur 35. Maaiveldhoogte (AHN-1) van de Brabantse Wal.



Figuur 36. Grens van NNP de Grootte Peel.



Figuur 37. Geografische grenzen provincie en drie pilot-NNP's.

7.7 ACHTERGROND

Binnen de viewer en App kan de gebruiker een keuze maken tussen drie achtergronden:

- Google-Straten
- Google-Satelliet
- Google-Hybride

7.8 LINKS NAAR ANDERE WEBSITES

De volgende twee viewers hebben een verwijzing in de viewer/App:

WaterAtlas provincie Noord-Brabant:

<http://atlas.brabant.nl/wateratlas/>

WaterNOOD instrument:

<http://www.modelwalhalla.nl/cgi-bin/wiki/view/Tools/WaterNOOD>

7.9 WATERNOOD TOEGEPAST OP RESULTATEN SPHY

7.9.1 Doel

De eisen die natuurdoelen stellen aan de waterhuishouding toetsen aan de uitkomsten van SPHY met behulp van het programma WaterNOOD (Runhaar et al. 2002).

7.9.2 Methode

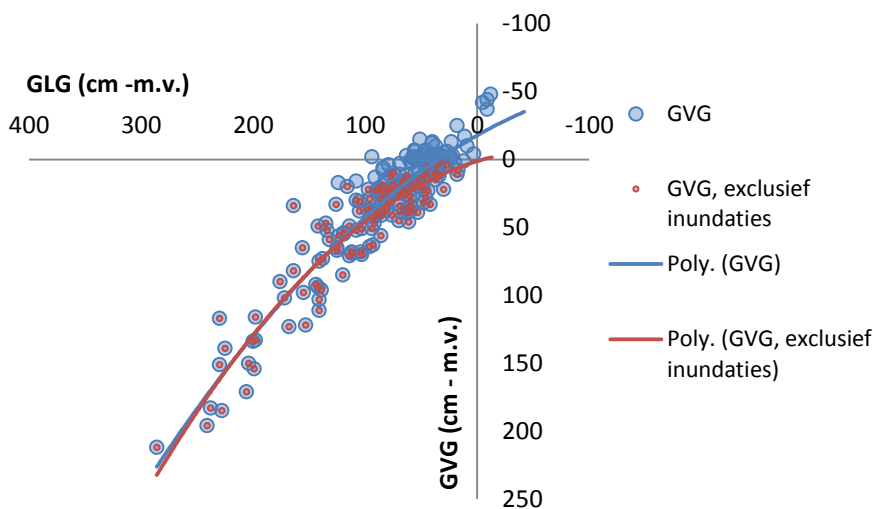
A. Gebruik van SPHY resultaten ten behoeve van WaterNOOD

WaterNOOD heeft voor zijn berekeningen drie hydrologische parameters nodig: de *GVG*, de *GLG* en de kwelintensiteit. Deze grootheden werden in eerste instantie met SPHY berekend als dertigjarig gemiddelde over de periode 1982-2012. De drempelwaarden in WaterNOOD die wij gebruiken (zie punt C) zijn echter gebaseerd op meetgegevens over 8 jaar in de periode 1982-1987 (Runhaar 1989; Runhaar et al. 1997). Alleen voor de *GVG* bleek de keuze van de referentieperiode uit te maken, d.w.z. tot een systematisch andere *GVG* te leiden. Daarom is de *GVG* met SPHY opnieuw berekend over de jaren 1982-1987, zodat de resultaten aansluiten op WaterNOOD. N.B.: In de nieuwe versie van WaterNOOD wordt gebruik gemaakt van drempelwaarden die zijn gebaseerd op grondwaterstandsreeksen van 30 jaar, en die dus representatief zijn voor het huidige klimaat.

Bij de ijking van SPHY zijn tijdseries van peilbuiswaarnemingen van de grondwaterstand gebruikt. Een gedeelte van die series bevatten hiaten ten gevolge van het onder water staan van het maaiveld: op die momenten zijn er geen veldwaarnemingen van de grondwaterstand verricht. Door het ontbreken van deze waarden in de kalibratie-dataset berekent SPHY de hoge grondwaterstanden systematisch iets te laag. We hebben voor deze systematische afwijking als volgt gecorrigeerd door gebruik te maken van meetgegevens van 186 peilbuizen over 1982-1987 van Runhaar (1989) waarin standen boven maaiveld goed zijn genoteerd (Figuur 38):

- Eerst berekenden we het parabolische verband tussen de *GLG* (verklarende variabele) en de *GVG* gebaseerd op alle 186 peilbuizen.
- Vervolgens deden we hetzelfde met weglating van 60 buizen met een *GHG* op of boven maaiveld.
- Het verschil tussen beide verbanden gebruikten we vervolgens als correctie voor ondiepe grondwaterstanden (waarden in cm - maaiveld):

$$GVG_{\text{cor}} = -0.0007GVG^2 + 1.221GVG - 19.05 \quad | \quad GVG < 158 \text{ cm}$$



Figuur 38. Verband tussen *GLG* en *GVG*, gebaseerd op metingen van Runhaar (1989), met en zonder weglating van peilbuizen met een *GHG* ≥ 0 .

Een met SPHY berekende *GVG* van 0, 20, 40, 100 en 150 cm – maaiveld, is dus gecorrigeerd naar respectievelijk -19, 5, 29, 96 en 148 cm – maaiveld.

In WaterNOOD zijn bepaalde natuurdoeltypen afhankelijk gesteld van de invloed van kwelwater. Het gaat om een simpele regel: type is wel, of is niet afhankelijk van kwel. WaterNOOD geeft geen richtlijnen voor de vraag hoe kwel uit een hydrologisch model moet worden geïnterpreteerd naar zijn ecologische relevantie. Als simpele regel hebben we nu ingevoerd dat er sprake is van ecologisch relevante kwel zodra de met SPHY berekende wegzijging gemiddeld op jaarbasis kleiner is dan 0,25 mm/d. De kwelafhankelijke natuurdoelen in de NNP Kampina liggen grotendeels beneden deze grenswaarde. N.B.: in infiltratiegebieden is de wegzijging gelijk aan het neerslagoverschot, die, afhankelijk van de vegetatie, meestal varieert tussen de 0,5 en 1,5 mm/d; waarden lager dan 0,25 mm/d wijzen er op dat er tenminste een deel van het jaar sprake is van kwel.

B. WaterNOOD opnieuw geprogrammeerd en uitgebreid

WaterNOOD bleek niet te werken onder de nieuwste versie van ArcGis. We hebben alles geprobeerd, maar konden de software niet aan de praat krijgen. Bij Arcadis zou nog ergens een oude PC staan waarop de software draait, maar dat leek ons geen goede oplossing, gegeven de ervaring dat in een project berekeningen vaak over gedaan moeten worden. We hebben daarom een eigen versie gebouwd.

Deze versie hebben we uitgebreid met drie functionaliteiten:

- a. berekening van de minimale doelgaten die horen bij de OGOR;
- b. berekening van de maximaal haalbare doelrealisatie per natuurdoelkaartvlak;
- c. berekening van de relatieve doelrealisatie per natuurdoelkaartvlak.

Ad a) Het OGOR-doelgat is de minimale grondwaterstandsverhoging of -verlaging die vereist is om een doelrealisatie van 100% te halen (Figuur 8). Dit is dus het doelgat dat hoort bij de grondwaterstand die *optimaal* is voor het natuurdoeltype. Deze wordt berekend voor de *GVG* en de *GLG*. Dat gebeurt ook voor de droogtestress, alleen is het doelgat dan uitgedrukt in dagen, omdat droogtestress is gedefinieerd als het aantal dagen per jaar dat een zuigspanning in de bodem van 120 m wordt overschreden.

Ad b) Natuurdoelen zijn op kaart in vlakken aangegeven. Om honderd procent doelrealisatie te halen, zou overal in ieder vlak de grondwaterstand optimaal het maaiveld moeten volgen. Het is niet realistisch te veronderstellen dat dit altijd mogelijk is, al was het maar omdat veel natuurterreinen een niet te verwaarlozen variatie in maaiveldhoogte hebben, die in de natuurdoelenkaart is weg geschematiseerd. In onze applicatie berekenen we de maximale doelrealisatie per kaartvlak door de *GVG* en *GLG* uit SPHY voor dat kaartvlak met kleine stapjes te verhogen en verlagen en zo proefondervindelijk vast te stellen wat maximaal haalbaar is aan doelrealisatie (Figuur 9), gegeven de variatie in maaiveldhoogte. De stapsgewijze procedure houdt als volgt rekening met het feit dat de dynamiek in grondwaterstand kleiner wordt, naarmate de grondwaterstand dichterbij aan maaiveld staat (Figuur 39), en dat er tussen locaties met eenzelfde *GLG* ook verschillen in dynamiek bestaat:

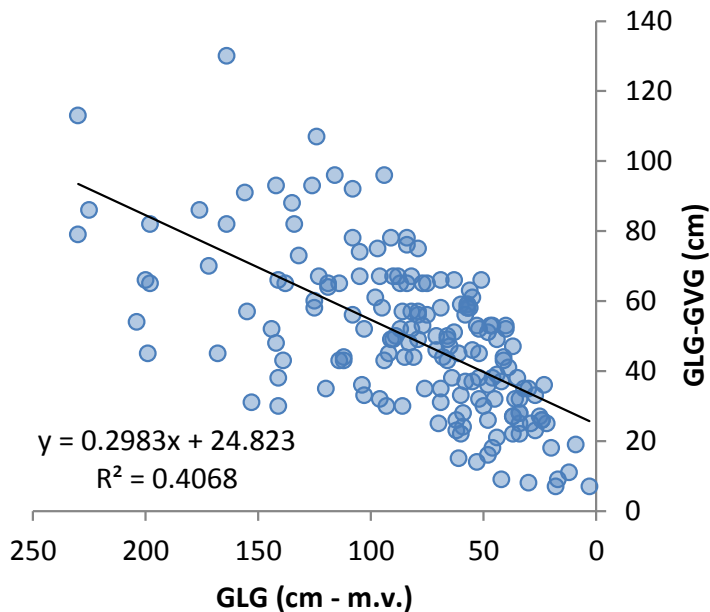
- a) Dynamiek drukken we uit als het verschil tussen *GLG* en *GVG*
- b) We berekenen voor iedere cel een schaalfactor *F*, welke de verhouding is tussen de dynamiek uit SPHY en de verwachte dynamiek op basis van de *GLG* uit SPHY en het in Figuur 39 getoonde empirische verband:

$$F = \frac{GLG_{SPHY} - GVG_{SPHY}}{a_0 + a_1 GLG_{SPHY}}$$

Waarbij a_0 en a_1 de parameters zijn uit het lineaire verband van Figuur 39 (nl. 24,8 en 0,30). Een F groter dan 1 duidt op een dynamischer systeem dan verwacht op basis van Figuur 39, en een lagere waarde op een gedempter systeem.

- c) De GLG veranderen we met n stapjes van 1 cm wat leidt tot een nieuwe GLG : GLG_n
- d) Uit deze stapsgewijs bereikte GLG berekenen we vervolgens de bijbehorende GVG_n :

$$GVG_n = GLG_n - F(a_0 + a_1 GLG_n)$$



Figuur 39. Dynamiek in grondwaterstand (uitgedrukt als GLG - GVG) uitgezet tegen de diepte van de grondwaterstand (uitgedrukt als GLG). Gegevens: Runhaar (1989). Diepe standen ($GVG > 150$ cm) en standen boven maaiveld ($GVG > 0$) weggelaten.

Heel lage waarden van F kunnen op de invloed van kwelwater wijzen, op de nabijheid van oppervlaktewater, of op de aanwezigheid van laagten of een poreuze bodemstructuur (veenmos) waar water in kan worden geborgen. Ook zou het kunnen wijzen op onvoldoende dynamiek in het gebruikte hydrologische model. Waarden voor de Kampina varieerden tussen de 0.19 en 1.31, met 0.73 als gemiddelde en 0.70 als mediaan; 15% van de waarden lag boven de 1.

Veronderstelling bij de berekening van de maximale doelrealisatie, is dat de kwelintensiteit uit SPHY geen beperking vormt.

Ad c) De relatieve doelrealisatie is de totale doelrealisatie per kaartvlak, geschaald naar wat maximaal kan worden gerealiseerd. Is de totale doelrealisatie bijvoorbeeld 40%, en de maximale realisatie 50%, dan wordt de relatieve realisatie $100 \cdot 40 / 50 = 80\%$.

C. Gebruikte drempelwaarden WaterNOOD

De provincie heeft het SWIMM-team kaarten met de opgelegde natuurdoelen aangeleverd. Bij die kaart zaten ook per type vastgelegde drempelwaarden voor GVG , GLG , droogtestress, en kwel. Deze waarden bleken voor twee doeltypen overduidelijk fout te zijn. Daarom zijn ze in overleg met de provincie aangepast. De door ons gebruikte waarden staan in Tabel 4.

Tabel 4. De voor SWIMM gebruikte drempelwaarden in WaterNOOD voor natuurdoeltypen (Kampina, Brabantse wal) en beheertypen (Grote Peel). Geel gemarkeerd: waarden die na overleg met de provincie zijn aangepast.

Nr	Natuurdoeltype	GVG (cm-m.v.)				GLG (cm - m.v.)				Droogtestress (d)				Kwel-afhankelijkheid
		A1	B1	B2	A2	A1	B1	B2	A2	A1	B1	B2	A2	
0	Begeleid-natuurlijke eenheid	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	Beek/Rivier/Waterloop met natuurvriendelijke oevers	-999	-888	888	999	-999	-888	888	999	0	0	0	0	0
2	Natuurlijke laaglandbeek	-999	-888	888	999	-999	-888	888	999	0	0	0	0	0
5	Soortenrijk water	-999	-888	888	999	-999	-888	888	999	0	0	0	0	0
6	Ven (gebufferd)	-300	-55	-15	50	-999	-888	3	50	0	0	0	0	0
7	Ven (onbufferd)	-120	-36	-3	40	-999	-888	5	50	0	0	0	0	0
8	Ven (onbufferd-gebufferd)	-100	-38	-11	50	-999	-888	3	50	0	0	0	0	0
9	Reservaaatsakker	30	82	888	999	0	0	0	0	-999	-999	25	55	0
10	Bloemrijk grasland (d)	70	90	888	999	0	0	0	0	0	14	27	45	0
12	Bloemrijk grasland (v)	-10	18	42	55	0	0	0	0	-999	-999	1	15	0
17	Droog/Heischraal grasland	50	79	888	999	0	0	0	0	10	31	999	999	0
18	Vochtig schraalland	-20	7	25	50	0	0	0	0	-999	-999	6	25	3
19	Vochtig heischraal grasland	10	18	33	40	0	0	0	0	-999	-999	10	25	0
23	Zandverstuiving	70	90	888	999	0	0	0	0	45	55	999	999	0
25	Natte heide	-20	-3	19	40	0	0	0	0	-999	-999	3	25	0
26	Hoogveen	-150	-58	-18	20	-999	-888	5	50	0	0	0	0	0
29	Moeras	-300	-39	3	55	0	0	0	0	-999	-999	2	25	0
31	Grote zeggenmoeras	-40	-28	-5	5	-999	-888	20	40	0	0	0	0	0
33	Braam/Doornstruweel	40	70	888	999	0	0	0	0	-999	-999	25	35	0
34	Gagelstruweel	-5	5	23	30	0	0	0	0	-999	-999	1	10	0
35	Wilgenbroekbos	-15	-2	18	30	0	0	0	0	-999	-999	3	15	0
37	Berken-Eikenbos (d)	50	83	888	999	0	0	0	0	5	21	999	999	0
38	Berken-Eikenbos (v)	30	40	60	70	0	0	0	0	10	20	999	999	0
39	Beuken-Eikenbos (d)	45	84	888	999	0	0	0	0	1	17	999	999	0
40	Beuken-Eikenbos (v)	30	40	60	70	0	0	0	0	10	20	999	999	0
45	Berkenbroekbos	-10	0	19	30	-999	-888	50	70	0	0	0	0	0
46	Elzenbroekbos	-15	-8	9	25	-999	-888	40	70	0	0	0	0	3
47	Bos met verhoogde natuurwaarde	-15	64	888	999	0	0	0	0	1	22	999	999	0
48	Multifunctioneel bos	10	71	888	999	0	0	0	0	1	25	999	999	0
49	Berkenbroekbos/Elzenbroekbos	-15	-5	15	30	-999	-888	50	70	0	0	0	0	0
50	Berken-Eikenbos (d)/Beuken-Eikenbos (d)	45	90	888	999	0	0	0	0	1	17	999	999	0
51	Berken-Eikenbos (v)/Berkenbroekbos	-5	21	40	70	0	0	0	0	0	0	0	0	0
52	Berken-Eikenbos (v)/Beuken-Eikenbos (v)	30	40	60	70	0	0	0	0	10	20	999	999	0
55	Beuken-Eikenbos (v)/Eiken-Haagbeukenbos/Vogelkers-Essenbos	10	31	888	999	0	0	0	0	0	0	0	0	3
59	Bloemrijk grasland (v) en Braam/Doornstruweel	15	61	888	999	0	0	0	0	-999	-999	13	35	0
66	Natte heide/Gagelstruweel	-15	2	20	35	0	0	0	0	-999	-999	7	25	0
76	Vochtig schraalland/Bloemrijk grasland	-5	13	31	55	0	0	0	0	-999	-999	3	15	3
77	Vogelkers-Essenbos/Elzenbroekbos	-15	10	36	80	0	0	0	0	-999	-999	5	20	3
79	Zandverstuiving/Droge heide	70	90	888	999	0	0	0	0	20	43	999	999	0
241	Droge heide	50	85	888	999	0	0	0	0	10	31	999	999	0
nr	Beheertype													
1	Hoogveen	-999	-888	20	30	-999	-888	35	55	0	0	0	0	0
2	Vochtige heide	-20	-5	25	45	-999	-888	888	999	0	0	0	0	0
3	Veenmosrietland en moerasheide	-5	0	15	20	-15	5	25	50	0	0	0	0	0

N.B. de drempelwaarden wijken af van de waarden die zijn gepresenteerd in Bijlage II ('Doelrealisatiefuncties natuurdoeltypen Noord-Brabant') van het rapport van Witteveen+Bos dat hoort bij het peilbesluit van waterschap Rivierenland (Anonymus 2010), maar ook van de waarden in het rapport 'OGOR Natuur in Noord-Brabant' (Ertsen et al. 2005) dat in opdracht van de provincie is gemaakt.

7.9.3 Resultaten

We tonen hier de resultaten voor het natuurgebied De Kampina.

Figuur 41 geeft de doelrealisatie op basis op basis van de GVG; Figuur 42 toont het OGOR-doelgat voor de GVG, dat wil zeggen de grondwaterstandsverhoging (positieve waarden, bruine kleuren) of grondwaterstandsverlaging (negatieve waarden, blauwe kleuren) die minimaal nodig is om op een doelrealisatie van 100% uit te komen. Aangezien de knikpunten in WaterNOOD met een

bepaalde onzekerheid zijn omgeven, die we hier voorzichtig schatten op 5 cm, zijn doelgaten in het bereik -5 cm – t/m +5 cm in Figuur 42 niet gekleurd, ofwel grijs, weergegeven.

In grote delen van de Kampina is de GVG volgens SPHY te laag om de vastgestelde doelen volledig te realiseren, maar er zijn ook grote stukken die juist te nat zijn. Dit zou er op kunnen wijzen dat SPHY een minder grillig ruimtelijk verloop van de grondwaterstand berekent dan er in werkelijkheid is. Door bijvoorbeeld de aanwezigheid van Brabantse leem, die in feite löss is die vaak begraven is onder dekzand, zou de grondwaterstand over korte afstand wel eens meer kunnen verschillen dan blijkt uit berekeningen op basis van de beschikbare geografische informatie.

Figuur 43 en Figuur 44 tonen doelrealisatie en OGOR-doelgat voor de GLG. Er zijn volgens de berekeningen in de Kampina minder problemen ten aanzien van deze grootheid; vooral in de beekdalen blijkt de GLG te laag te kunnen zijn.

De gesimuleerde droogtestress en de daarvan afgeleide doelrealisatie en het OGOR-doelgat zijn weergegeven in respectievelijk Figuur 45, Figuur 46 en Figuur 47. Grote oppervlakten zijn nu juist te nat om het geplande natuurdoel te realiseren. Het gaat hier vooral om de typen 37 *Berken-Eikenbos (d)* en 38 *Berken-Eikenbos (v)*.

De doelrealisatie voor kwel is te vinden in Figuur 48; slechts in kleine oppervlakten is de kwelintensiteit te laag om het natuurdoel te realiseren.

Figuur 49 geeft de totale doelrealisatie weer, berekend volgens de WaterNOOD procedure als product van de afzonderlijke hiervoor getoonde realisaties. Zo op het oog wordt in ongeveer de helft van het gebied het natuurdoel niet gehaald. De uitkomsten zijn vrijwel geheel zwart-wit, of liever gezegd rood-groen: het natuurdoel wordt helemaal niet gehaald, of voor 100% wel gehaald. Dit binaire karakter wordt veroorzaakt door de zeer korte afstanden in WaterNOOD waarbinnen een type van 0 naar 100% gaat (afstand tussen knikpunten A1 en B1, en van B2 naar A2).

Figuur 50 laat zien dat niet in ieder kaartvlak een doelrealisatie van 100% mogelijk is. De grondwaterstands daling- of verhoging die nodig is om op het maximaal haalbare uit te komen, is opgenomen in Figuur 51. Deze laatste kaart is wat lastig te interpreteren omdat sommige natuurdoelen alleen als eis hebben dat de grondwaterstand niet te hoog is. Is er dan binnen een kaartvlak een kleine terreindepressie, dan wordt de maximale doelrealisatie pas dan bereikt, als deze depressie voldoende drooglegging heeft. Dit verklaart waarom Figuur 51 overwegend blauw kleurt. In Figuur 52 is de totale doelrealisatie (Figuur 49) geschaald naar de maximaal haalbare realisatie (Figuur 50). Uiteraard ziet deze kaart met relatieve de doelrealisatie er gunstiger uit dan Figuur 49.

7.9.4 Discussie

1. Gebruikers van WaterNOOD dienen de berekening van GXG's goed te laten aansluiten op de definities in WaterNOOD.
2. De eigen versie van WaterNOOD werkt goed en we kunnen hiermee de andere gebieden doorrekenen.
3. Het minimale doelgat wordt nu berekend op basis van de optimale condities voor de natuurdoeltypen (OGOR), maar mogelijk wil de provincie ook het GGOR doelgat zien, want dat is staand beleid.
4. Uit de kaarten blijkt dat de doelrealisatie veelal zeer laag is; de totale doelrealisatie is in ongeveer de helft van het gebied zelfs 0-20% (kleur rood in Figuur 49). Dat kan meerdere oorzaken hebben, waarvan de belangrijkste drie zijn:
 - De grondwaterstand is inderdaad te laag voor het geplande natuurdoel.

- De gesimuleerde grondwaterstand wijkt te veel af van de werkelijke grondwaterstand.
- De doelen zijn te ambitieus of niet op de goede locaties gepland.
- De combinatie van eisen die WaterNOOD stelt aan sommige natuurdoelen, is in de praktijk moeilijk te realiseren.

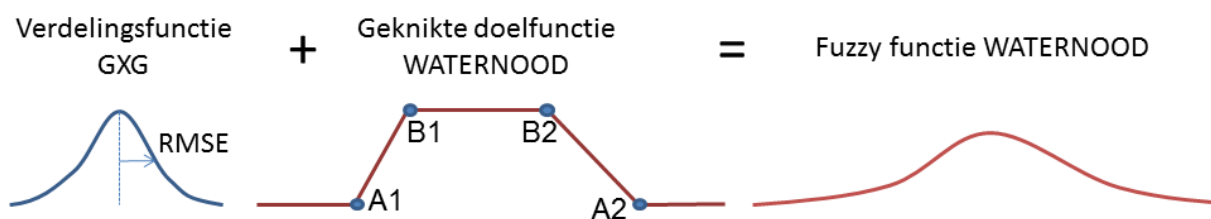
De eerste verklaring is waar we naar op zoek zijn; de overige verklaringen zouden we het liefst met zekerheid willen kunnen uitsluiten.

De tweede verklaring gaat vaak op voor de studies waar KWR tot nu toe bij betrokken is geweest. Uit Figuur 53 blijkt dat SPHY bijna overal een GVG van dieper dan 0,2 m minus maaiveld simuleert. Zulke grondwaterstanden zijn te laag voor het realiseren van de natte natuurdoelen die aan de Kampina zijn opgelegd.

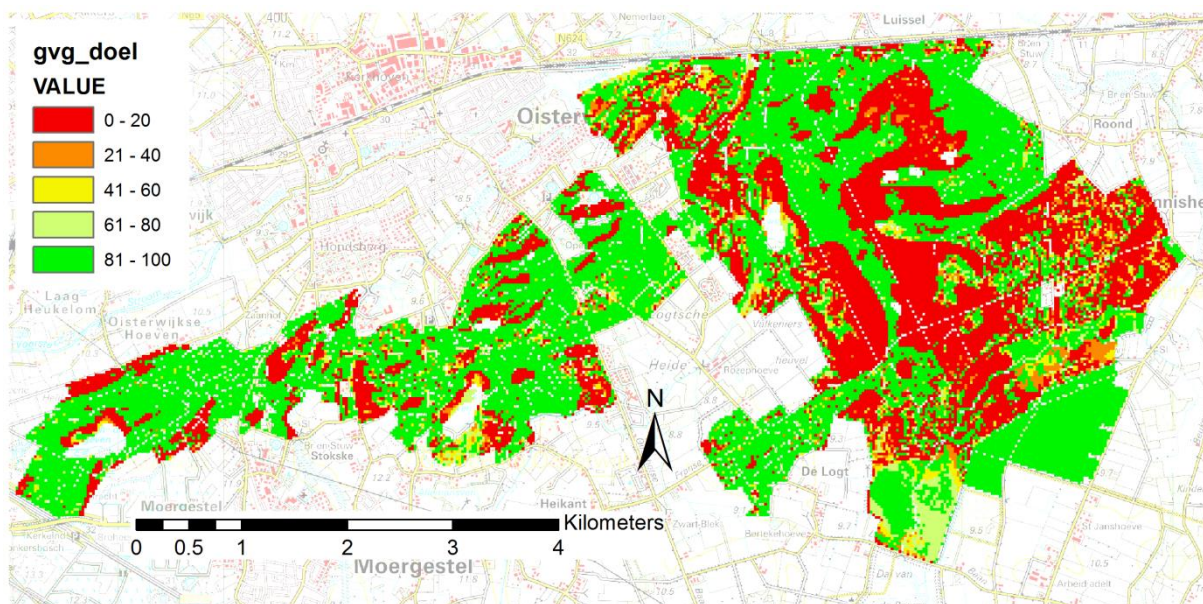
De derde verklaring kan worden onderbouwd met ervaringen bij de evaluatie van het meetnet Brabant (Runhaar et al. 2009). Daarbij werd geconstateerd dat doeltypen soms erg ongelukkig liggen, zoals droge heide op relatief natte plekken en natte heide op relatief droge plekken.

De vierde verklaring lijkt zeker op te gaan voor de typen *38 Berken-Eikenbos (v)* en *40 Beuken-Eikenbos (v)*. Deze typen vereisen voor een optimale ontwikkeling een vrij hoge GVG, namelijk tussen 40 en 60 cm beneden maaiveld, maar tegelijk een droogtestress van ten minste 20 d, wat op de meest voorkomende bodemsoorten in de Kampina (Hd21, Hn21, Zd21) alleen mogelijk is bij een GLG van meer dan 150 cm beneden maaiveld. De GVG is voor deze typen in de huidige situatie vaak te laag en de GLG juist te hoog.

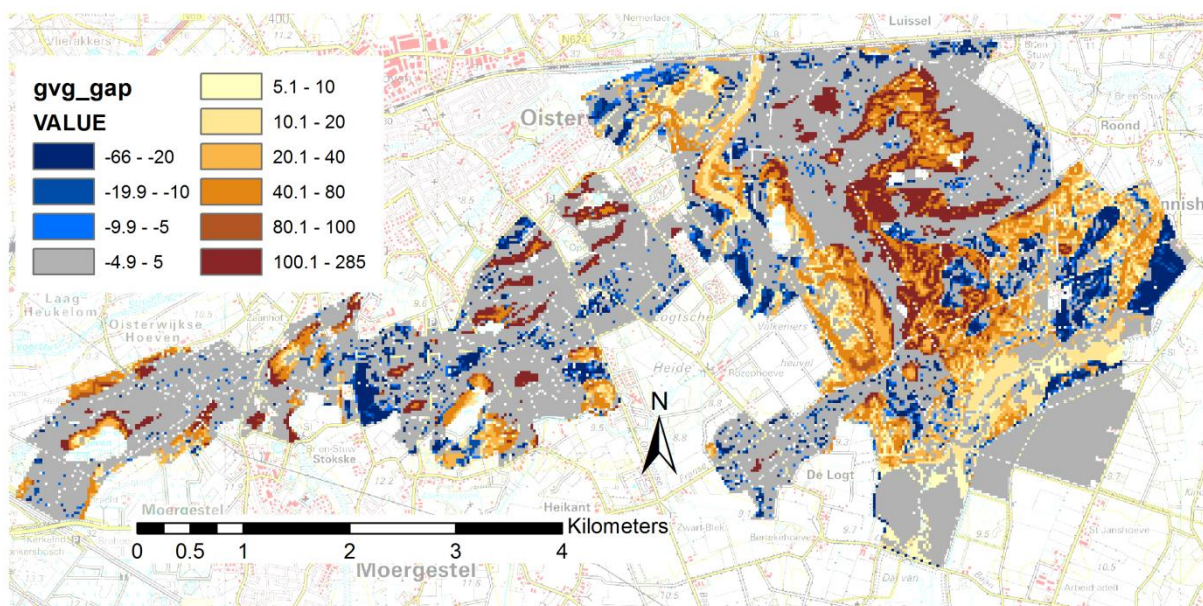
5. Een verbetering die we nog kunnen doorvoeren is het rekening houden met de onzekerheid in de berekende GXG (bijvoorbeeld uitgedrukt als RMSE). Dat zou een veel realistischer beeld geven; het is merkwaardig een natuurdoeltype dat over een bereik van 10 cm kan instorten, te toetsen aan een GVG met een RMSE van 20 cm. Voor deze analyse dienen we rekening te houden met drie bronnen van ruis: (i) afwijkingen van de GXG berekend uit SPHY met de werkelijke GXG; (2) variatie van maaiveldhoogte binnen een 25 m gridcel; (3) ruis in de knikpunten van WaterNOOD. Deze drie bronnen kunnen eenvoudig worden gecombineerd tot een enkele waarde (varianties van de drie bronnen mogen worden gesommeerd). De onzekerheidsverdeling combineren met de geknikte doelrealisatiefunctie leidt vervolgens tot een realistische, meer fuzzy-achtige functie (Figuur 40).



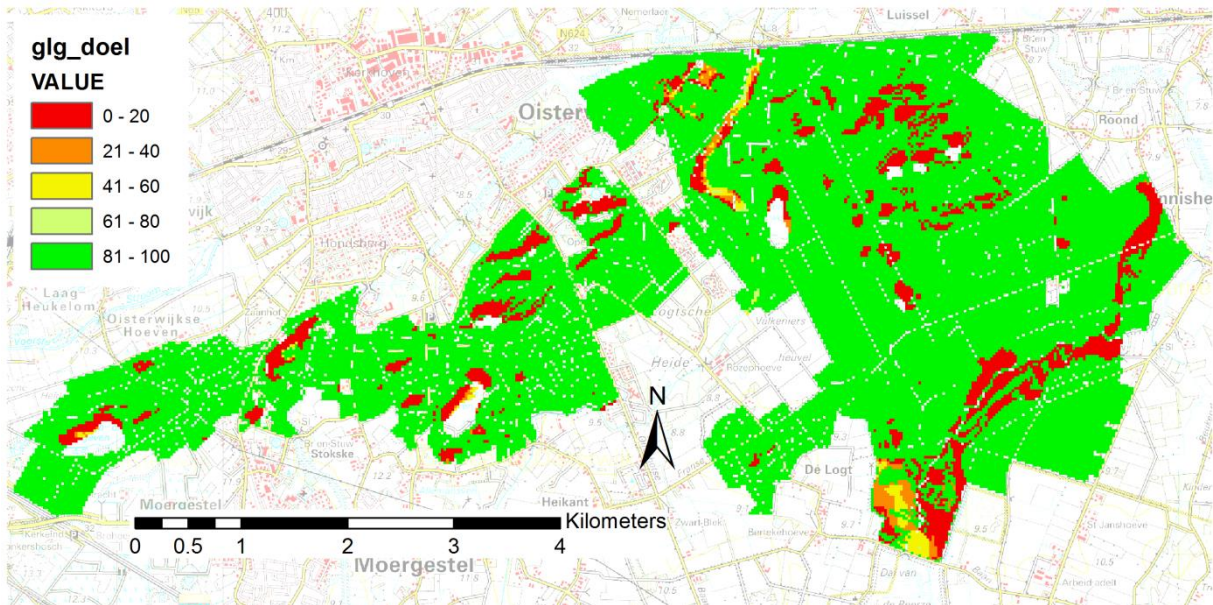
Figuur 40. Correctie van de geknikte functies in WaterNOOD tot een meer gladde functie op basis van bekende kansverdeling GXG.



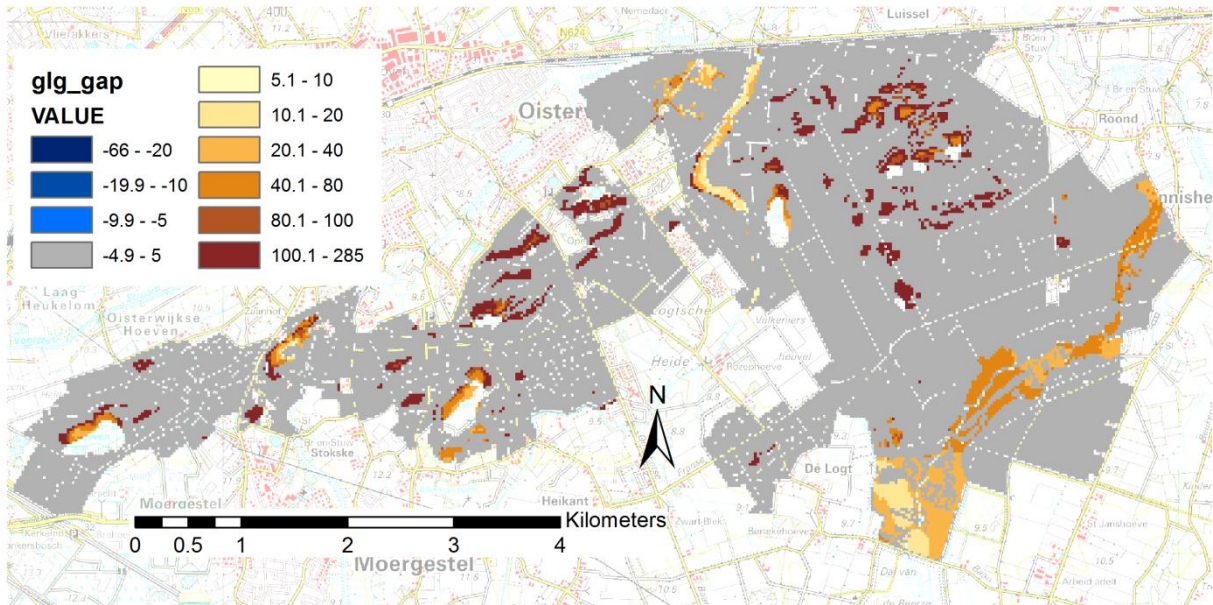
Figuur 41. Doelrealisatie (%) op basis van de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand ofwel GVG.



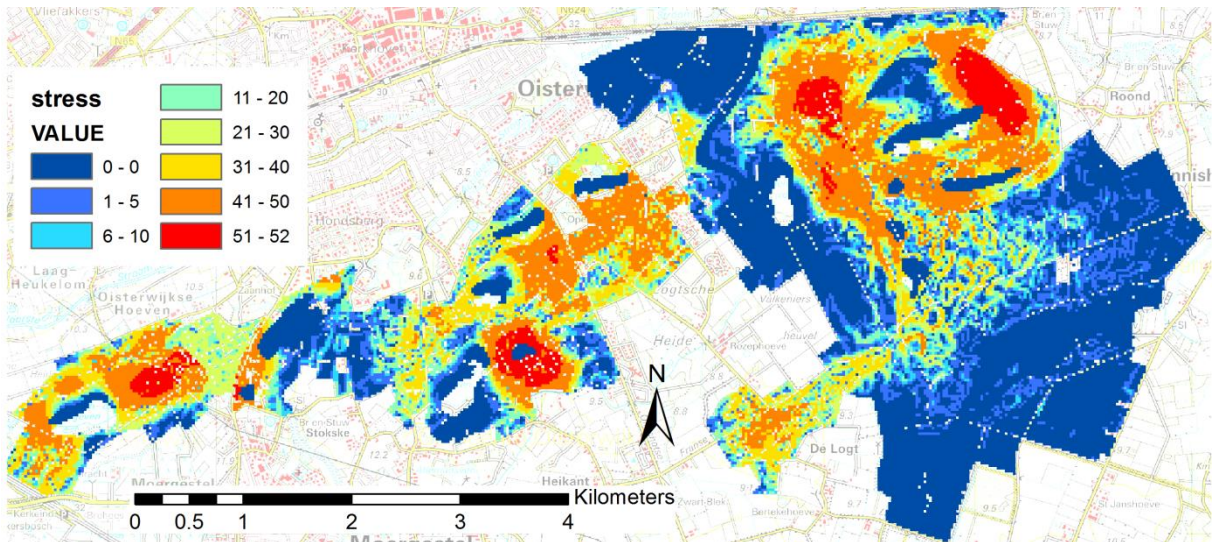
Figuur 42. Doelgat GVG (cm), dat wil zeggen de verandering in GVG die minimaal nodig is om het natuurdoel volledig te realiseren. Negatieve waarden (blauw) wijzen op een te hoge GVG (te nat in huidige situatie), positieve waarden (bruin) op een te lage GVG (te droog in huidige situatie).



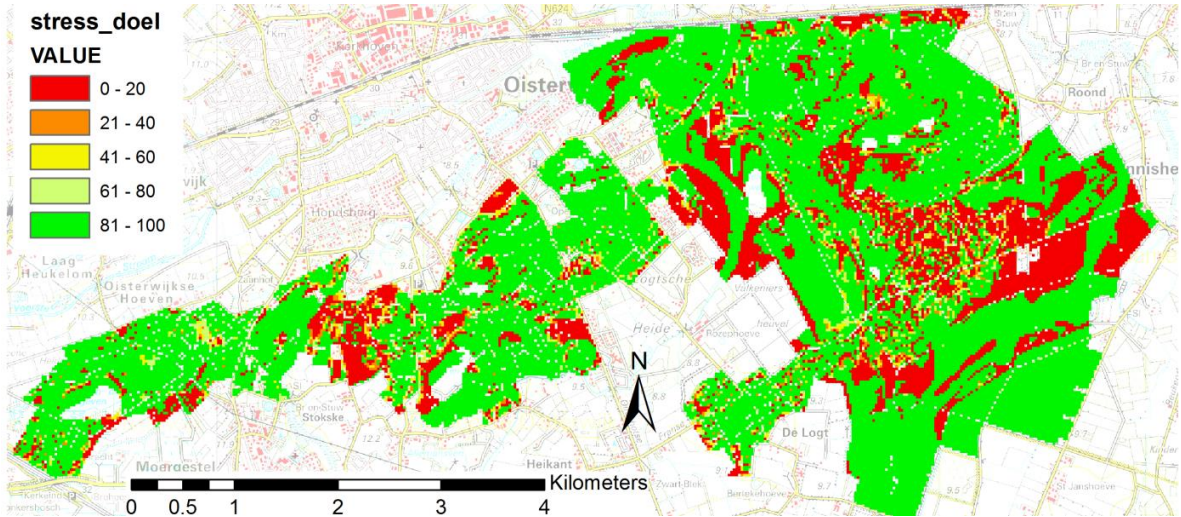
Figuur 43. Doelrealisatie (%) op basis van de gemiddeld laagste grondwaterstand, GLG.



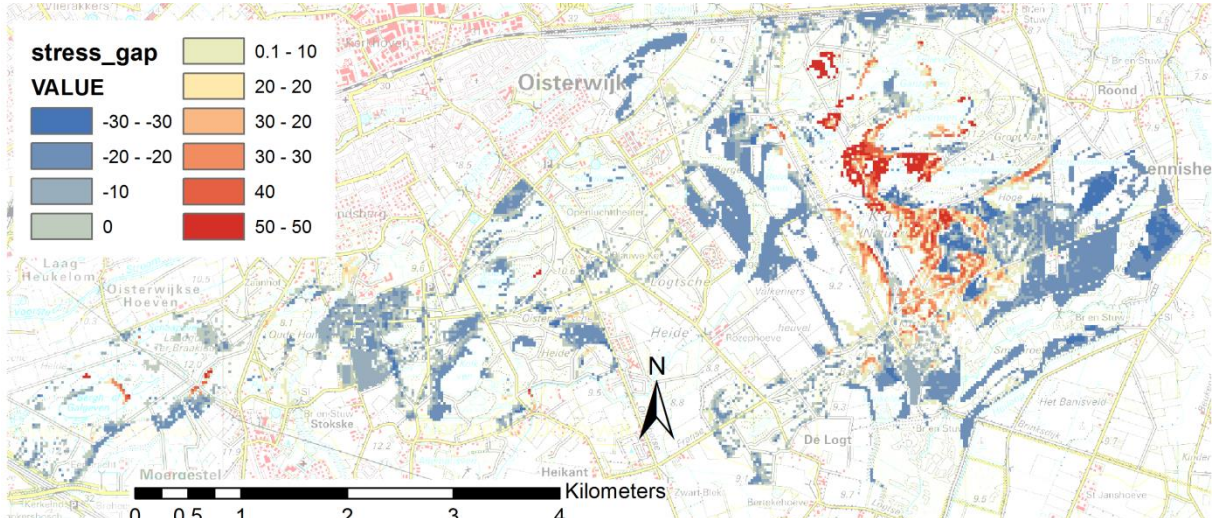
Figuur 44. Doelgat GLG (cm), dat wil zeggen de verandering in GLG die minimaal nodig is om het natuurdoel volledig te realiseren. Negatieve waarden (blauw) wijzen op een te hoge GLG (te nat in huidige situatie), positieve waarden (bruin) op een te lage GLG (te droog in huidige situatie).



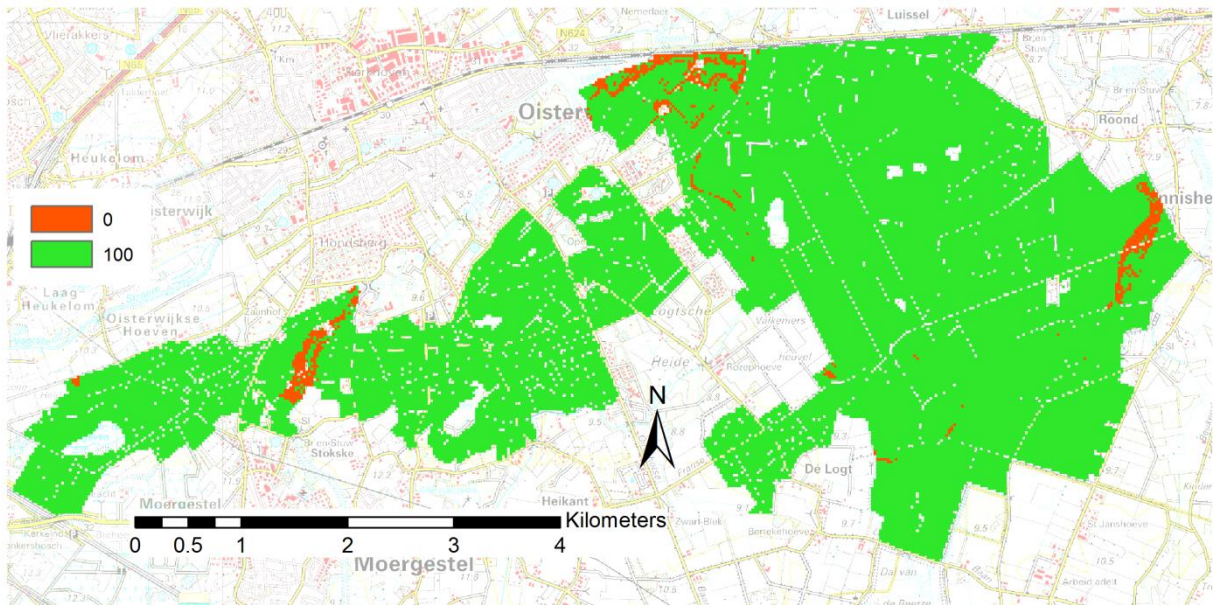
Figuur 45. Droogtestress (d), dat wil zeggen het aantal dagen in een gemiddeld jaar dat een bepaalde zuigspanning in de bodem wordt overschreden.



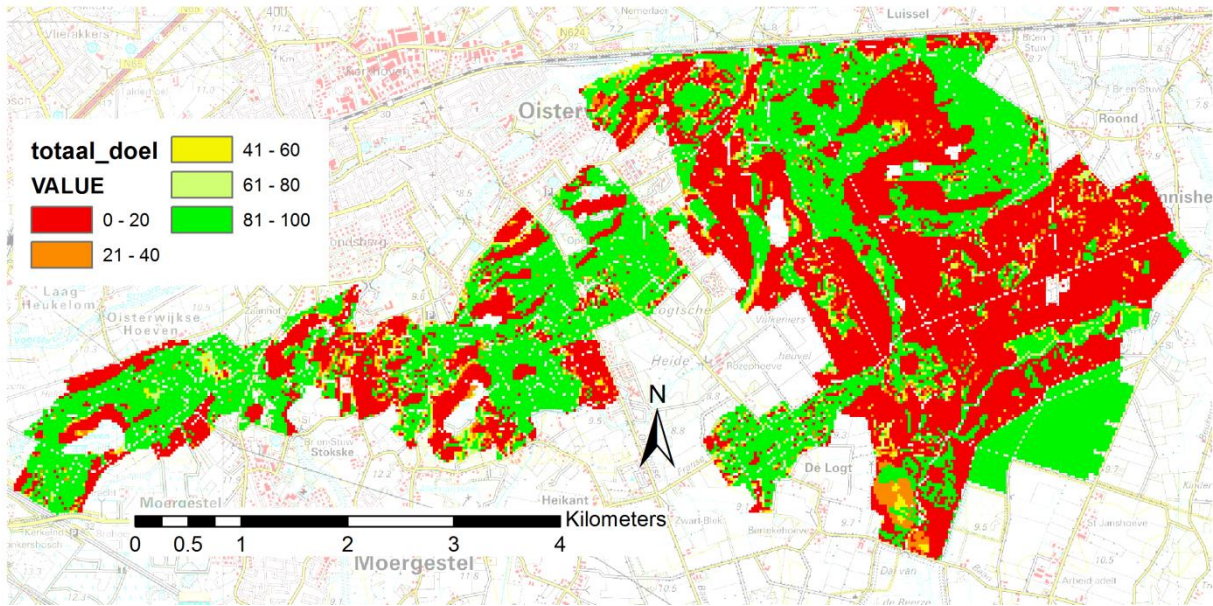
Figuur 46. Doelrealisatie (%) op basis van de droogtestress.



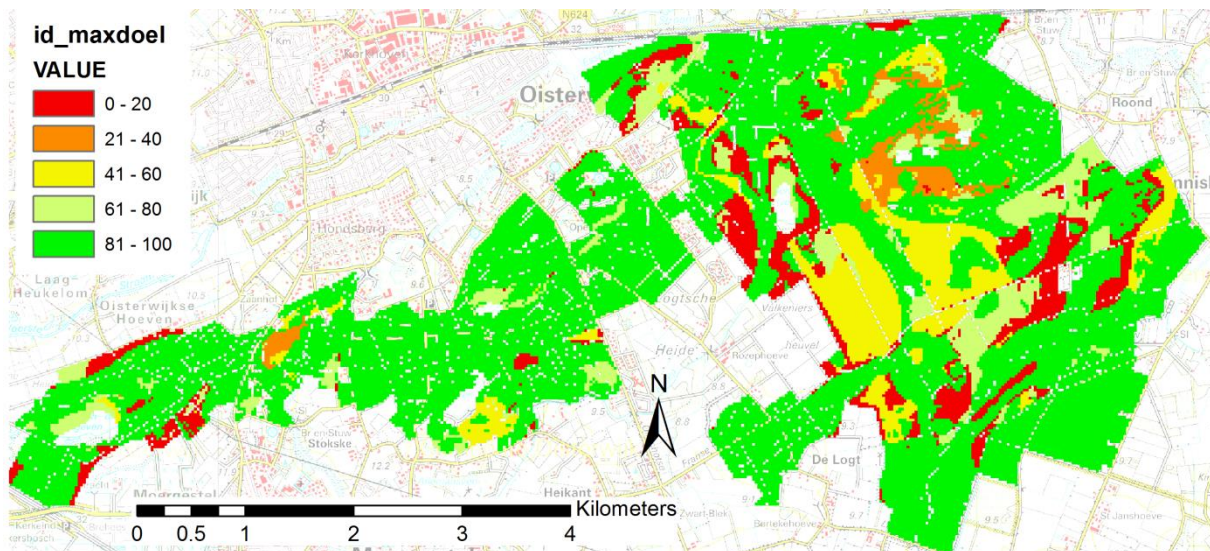
Figuur 47. Doelgat droogtestress (d). Negatieve waarden (blauw) = te nat, positieve (bruin) = te droog.



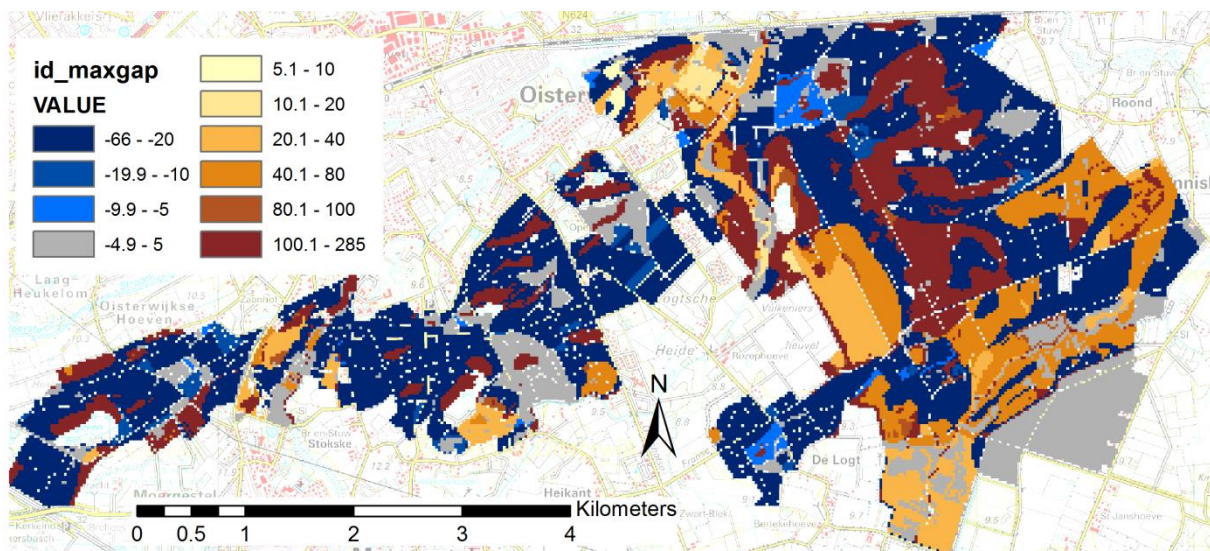
Figuur 48. Doelrealisatie (%) op basis van de kwelintensiteit.



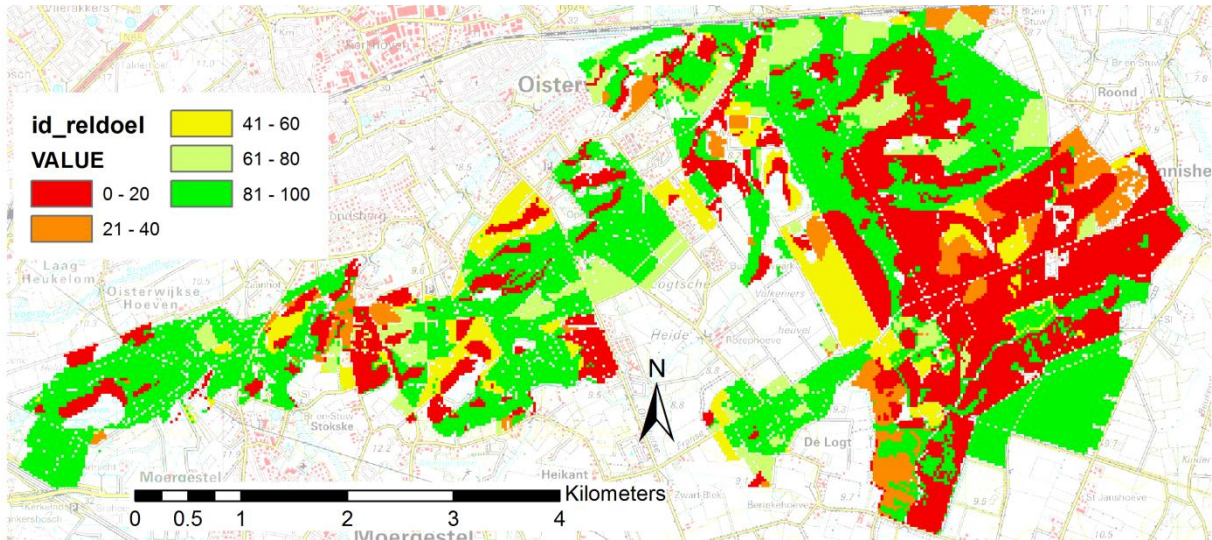
Figuur 49. Totale doelrealisatie (%).



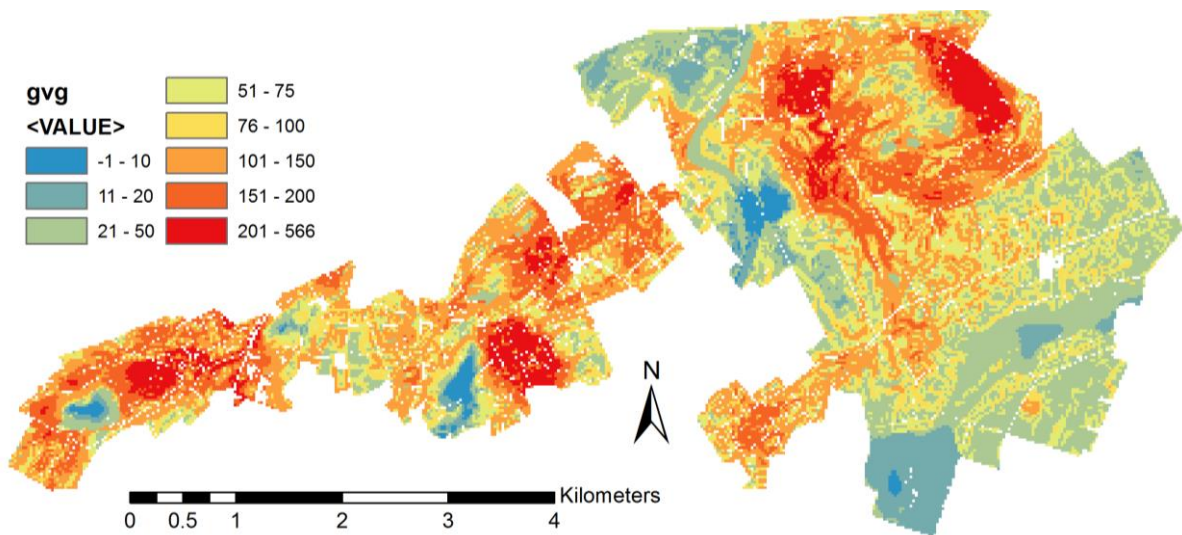
Figuur 50. Maximaal haalbare doelrealisatie per natuurdoeltype-kaartvlak (%). Dit maximum houdt rekening met verschillen in maaiveldhoogte en met de dynamiek in grondwaterstand. Bovendien is aangenomen er geen beperkingen zijn ten aanzien van de kwelintensiteit.



Figuur 51. Doelgat (cm) bij maximaal haalbare doelrealisatie per natuurdoeltype kaartvlak.



Figuur 52. Relatieve doelrealisatie per natuurdoeltype kaartvlak (%). Het relatieve doel is de totale doelrealisatie volgens WaterNOOD ten opzichte van de doelrealisatie die maximaal kan worden gerealiseerd, gegeven de verschillen in maaiveldhoogte binnen ieder kaartvlak.



Figuur 53. GVG (gecorrigeerd) (cm - m.v.).

7.10 KOPPELING UAV-BEELDEN AAN VEGETATIEOPNAMEN

7.10.1 Doel

Uit de databank Synbiosys zijn vegetatieopnamen gehaald voor de drie NNPs, te weten Brabantse Wal, De Kampina en Groote Peel. Deze opnames, met een gemiddelde oppervlakte van ca. 25 m², zijn gemaakt in de periode 2001 t/m 2011, met de meeste in 2006 (79), 2008 (73) en 2011 (22). De belangrijkste doelstelling van het gebruik van de Flying Sensors was het genereren van aanvullende informatie die niet in de opnamen is te vinden. Vegetatieopnamen geven een éénmalig beeld van de vegetatie zoals waargenomen op de waarnemingsdag van het steekproefoppervlak. Daar staat tegenover dat de indicatieve waarde van de vegetatie voor vocht in natuurgebieden, zeker als die conservatief beheerd worden, zeer traag reageert op hydrologische veranderingen (Bartholomeus et al. 2008). Daardoor lijkt het verantwoord UAV beelden uit 2014 te vergelijken met opnamen uit de periode 2001-2011.

Om een ruimtelijk beeld te krijgen, en om de evolutie in tijd waar te nemen, is een aantal testvluchten met Flying Sensors gedaan. We hebben gevlogen in juni (droog weer) en eind augustus/begin september 2014 (wisselvallig weer). Zo hoopten we een beeld te krijgen van de vegetatieontwikkeling i.c. verschillen in NDVI in het groeiseizoen 2014. We hebben per NNP-gebied over meer dan 20 opnamen gevlogen, teneinde de grondwaarnemingen te kunnen koppelen aan de sensor-signalen. Met de Flying Sensors hebben we in het project via drie banden in het nabij infrarood (NIR 3-band) opnames gemaakt. Hieruit schatten we per opname de NDVI en genereren we informatie om aan de vegetatieopnamen te ijken. Met de NDVI-schatting per opname kunnen we een Δ NDVI berekenen over het groeiseizoen, die een maat kan zijn voor de groei van de vegetatie als functie van water-beschikbaarheid in de wortelzone.

De UAV-beelden leveren informatie op met een ruimtelijke resolutie van 0,1 m. Deze hebben we opgeschaald tot een resolutie van 1m. De UAV-beelden zijn dus vooral bedoeld om aanvullende informatie te genereren die de vegetatieopnamen niet hebben. Het is dus interessant om te kijken hoe de opnamen zich verhouden tot de UAV-beelden.

7.10.2 Werkwijze en analyse

De beelden van de UAV campagnes in 2014 zijn vergeleken met de vochtindicatie zoals die is 'waargenomen' in vegetatieopnamen uit eerdere jaren. Met behulp van de ijkrelatie die daaruit volgt, kunnen de UAV beelden vervolgens omgezet worden in een kaart van de vochtindicatie, die vervolgens weer vertaald kan worden naar een GVG of vochttekort (droogte-stress).

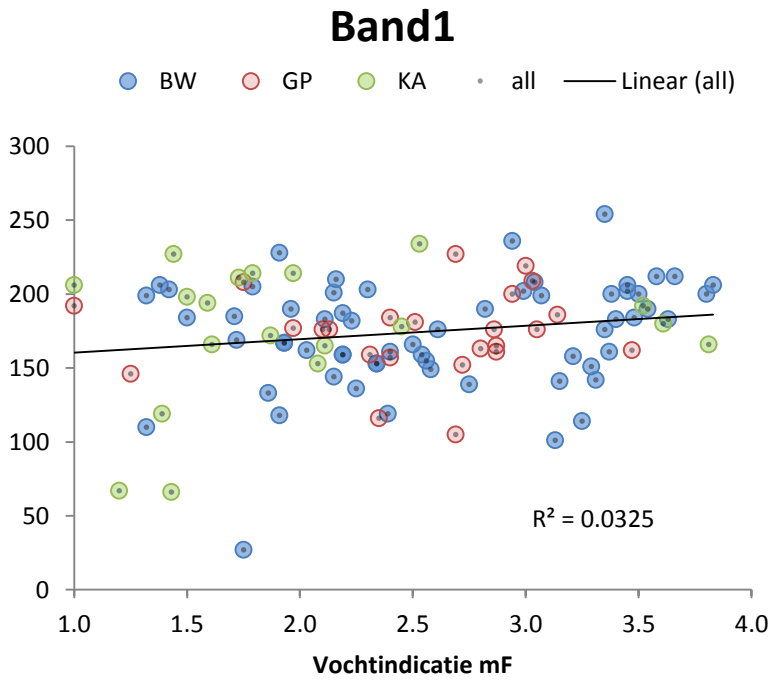
Van de vegetatieopnamen waarover gevlogen is hebben we de gemiddelde indicatiewaarde voor vocht (mF) berekend (Witte et al. 2014). Vervolgens is die uitgezet tegen de drie banden waarin door HiView gevlogen is juni 2014 en augustus/september 2014 (nabij-infrarood, rood, en groen), alsmede tegen het verschil in NDVI zoals afgeleid van de vluchten in juni en augustus/september 2014. De UAV-beelden zijn omgezet naar een resolutie van 1m, de vegetatieopname heeft gemiddeld een 5m-resolutie. Het coördinatenpaar van het centrum van de opname is gebruikt voor de koppeling aan één unieke UAV-cel van 1m. Dit is verantwoord, want vegetatiekundigen nemen vegetatieopnamen midden in een begroeiing die er op het oog homogeen uit ziet.

7.10.3 Resultaten en conclusies

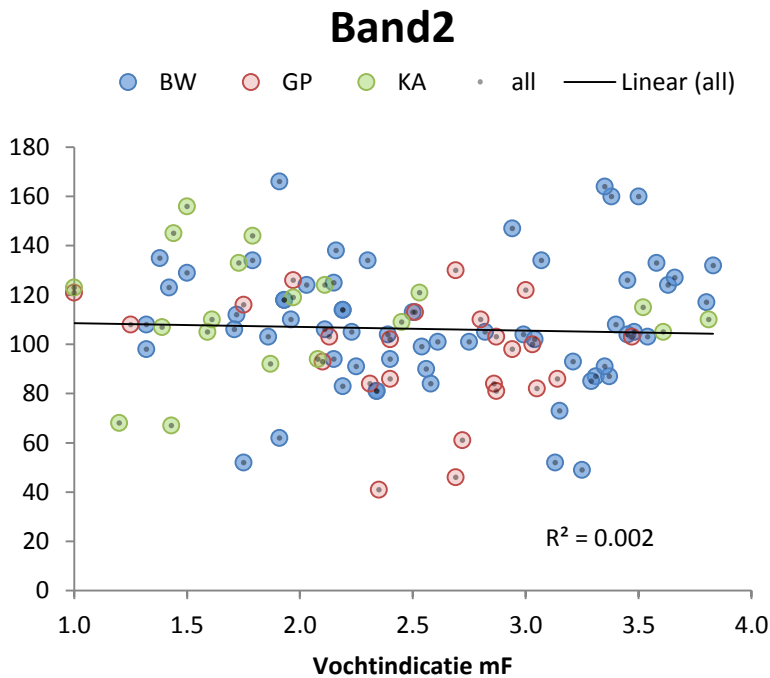
De resultaten zijn opgenomen in Figuur 54 t/m Figuur 59. In alle gevallen is er geen significant verband tussen de vochtindicatie en de informatie uit de UAV-beelden. Er is wel een significante relatie tussen GVG en vochtindicatie.

1. De niet-significante relaties tussen vochtindicatie en zowel de drie afzonderlijke NIR-banden, als het verschil in NDVI over het groeiseizoen (Δ NDVI) impliceren dat het geen zin heeft om met meer ingewikkelde statistiek (zoals PLSR) naar betere relaties te zoeken.

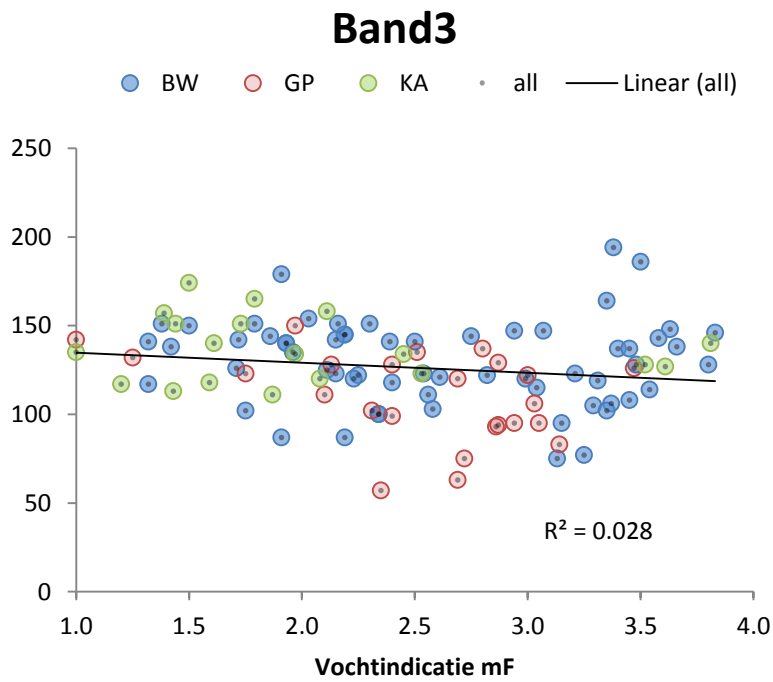
2. Uit onderzoek (bijv. Peng et al. 2014, Narasimhan et al. 2005) blijkt dat de NDVI uit Landsat-5 een indicatie was voor de vochttoestand van de bodem. Dit onderzoek had betrekking op landbouwgebieden. De NDVI uit Landsat-5 van een dag in de zomer hebben wij daarom ook vergeleken met de vochtindicatie van de vegetatieopnamen. Ook die vergelijking levert geen bruikbaar verband op (Figuur 58).
3. De veronderstelling dat de NDVI, of het verschil in NDVI van twee opnamen in het groeiseizoen, zou correleren met de vegetatieopnamen, lijkt in deze studie niet op te gaan.
4. Weersomstandigheden kunnen een rol hebben gespeeld bij de bruikbaarheid van de UAV-beelden, met name wisselvallig weer levert omstandigheden aan de grond op die verstoringen kunnen werken. Ook kan een ander type sensor gebruikt worden voor natuurgebieden dan NIR 3-band. In onderzoek is aangetoond dat met een infraroodsensor (IR) de vochtvoorziening van natuur- en cultuurgraslanden goed kan worden gekarteerd (Kaiser et al. 2012; Klaus et al. 2012). Een meting met zo'n sensor dient uiteraard te gebeuren in de zomer als het een tijd niet heeft geregend, zodat de warmtebeelden duidelijk waarneembare ruimtelijke verschillen in temperatuur laten zien. Ook kan een hyperspectrale sensor worden overwogen, die in een ander onderzoek goede resultaten gaf (Roelofsen et al. 2014; Roelofsen et al. submitted; Schmidtlein 2005).
5. Gewone vegetatieopnamen worden, anders dan permanente kwadraten (pq's) die regelmatig worden geïnventariseerd, eenmalig gemaakt. Waarschijnlijk zijn de van jaar tot jaar of langjarige ontwikkelingen in de vegetatie via de NDVI van een natuurlijke vegetatie goed met vlakdekkende informatie uit UAV-beelden van NIR 3-band af te leiden.
6. Geconcludeerd kan worden dat de (i) vegetatieopnamen geen correlatie laten zien met de Flying Sensor beelden, (ii) vegetatieopnamen ook geen correlatie hebben met satellietgegevens.
7. Samenvattend (i) geeft de berekende GVG een mogelijkheid om de éénmalige opnamen in ruimte te extrapoleren en (ii) bieden zowel de satelliet en de Flying Sensor belangrijke aanvullende informatie voor vegetatieontwikkeling in tijd en ruimte, (iii) bevelen we aan een ander type sensor (bijv. thermisch of hyperspectraal) te gebruiken voor het monitoren van de droogtestatus van natuurgebieden.



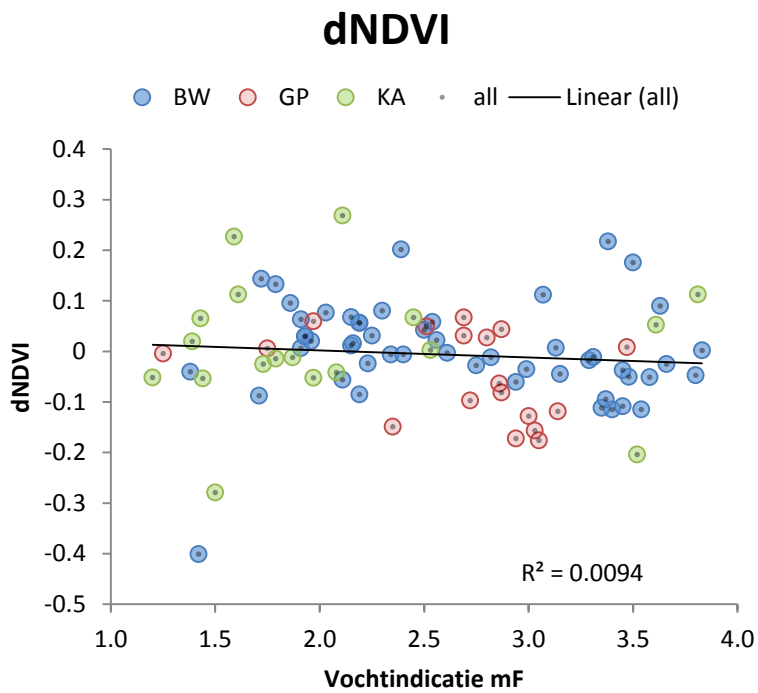
Figuur 54. Relatie tussen vochtindicatie mF in de vegetatieopname en de intensiteit van band 1, uitgesplitst naar Brabantse wal (BW), Grote peel (GP) en de Kampina (KA). De getoonde regressielijn is gefit op alle punten.VG (gecorrigeerd) (cm - m.v.).



Figuur 55. Als Figuur 54, maar nu voor band 2.

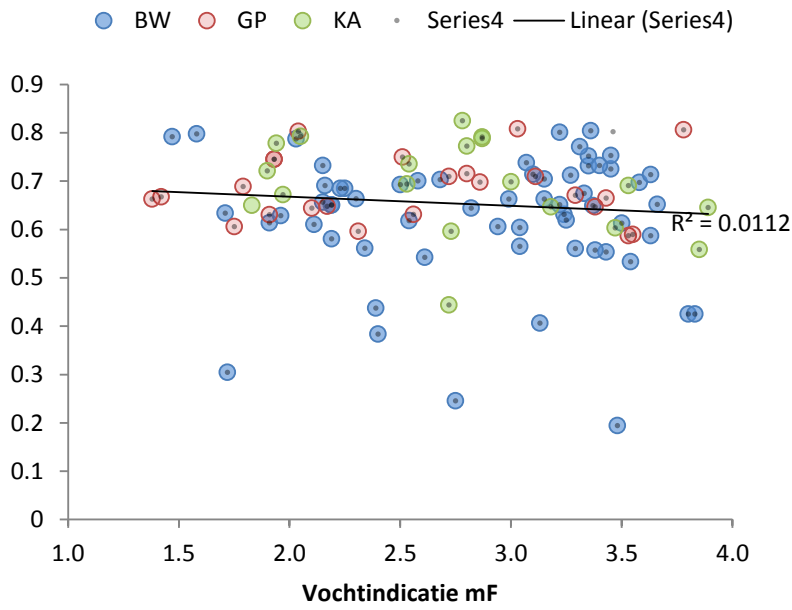


Figuur 56. Als Figuur 54, maar nu voor band 3.



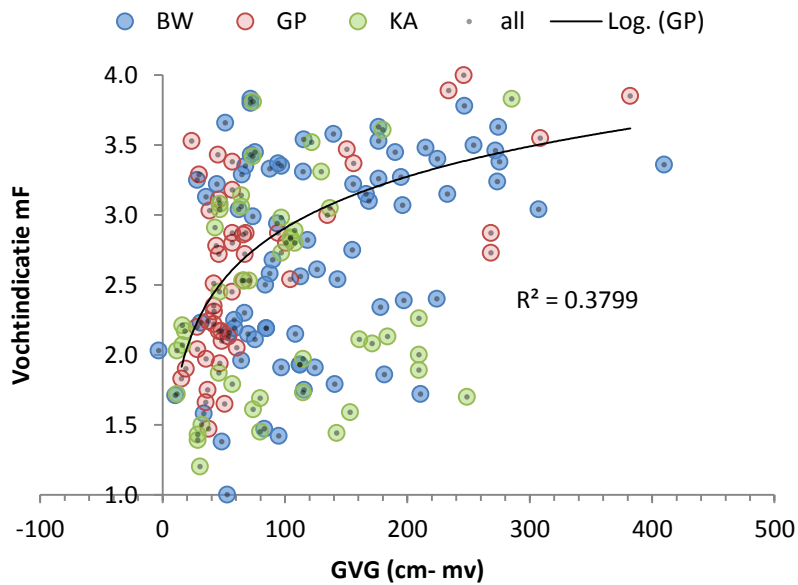
Figuur 57. Als Figuur 54, maar nu voor verschil in NDVI.

NDVI Landsat



Figuur 58. Als Figuur 54, maar nu voor de NDVI uit LANDSAT-5.

GVG



Figuur 59. Als Figuur 54, maar nu GVG uitgezet tegen de vochtindicatie mF.