



# Naar een sober en doelmatig meetnet bodem- en grondwaterkwaliteit voor grondwaterafhankelijke natuur in duingebieden

In het kader van het Europese Natura 2000-netwerk dient onder meer de toestand en de trend van de habitattypen in Natura 2000-gebieden te worden gemonitord. Dit geldt voor zowel de vegetatie als daarvoor bepalende abiotische factoren en processen, die ook van belang zijn in het kader van de realisering en het beheer van het Natuurnetwerk Nederland. Hiervoor geldt een monitoringsverplichting. Daarnaast dient in het kader van de – eveneens Europese – Kaderrichtlijn Water (KRW) de invloed van grondwater op “van grondwater afhankelijke terrestrische ecosystemen” in beeld gebracht te worden, met behulp van monitoringmeetnetten voor zowel grondwaterkwantiteit als –kwaliteit (chemische samenstelling). Voor beide monitoringmeetnetten dragen provincies de primaire verantwoordelijkheid.

— B.J.H.M. Possen (Royal HaskoningDHV), J.M.H. van Diggelen (B-WARE), J. Groenendijk (Royal HaskoningDHV), J. Meijles (Provincie Zuid-Holland), T. van den Broek (Royal HaskoningDHV)

> Landelijk hebben de provincies een aanzet voor een werkwijze geformuleerd die probeert synergie te vinden tussen de verschillende monitoringsverplichtingen (van Beek, van Rosmalen, van Tooren, & van der Molen, 2014). Deze heeft echter alleen betrekking op de relatie tussen grondwaterkwantiteit en vegetaties (verdroging en vernatting), waarbij geen chemische relaties (van verzuring en of vermisting) van het grondwater en de bodem zijn betrokken. In het kader van het Programma Aanpak Stikstof (PAS) worden de chemische aspecten overigens wel nadrukkelijk beschouwd als onderdeel van de monitoringsverplichting in relatie tot de habitattypen (e.g. Smits, Mucher, Ozinga, de Waal, & Wamelink, 2016). Aangezien er voor de Natuura 2000-gebieden voor vegetaties doelen zijn geformuleerd op het schaal-

niveau van habitattypen -een vegetatietypen die tot een bepaald habitatype worden gerekend- hebben de gezamenlijke provincies in KRW-verband besloten om de relaties tussen grondwater en de van grondwater afhankelijke terrestrische natuur te bepalen op het niveau van habitattypen. Om dit zo volledig mogelijk in beeld te brengen, is het dus van belang om een methode te ontwikkelen die niet alleen inzicht geeft in mogelijke beïnvloeding van de vegetatie(s) door kwantitatieve grondwateraspecten (verdroging en venatting), maar ook in mogelijke beïnvloeding door kwalitatieve aspecten (ofwel grdonwater- en bodemchemische aspecten; zie kader).

Aangezien er altijd een gelimiteerd budget beschikbaar is voor monitoring, ontstaat een spanningsveld tussen datgene wat idealiter gemeten zou moeten worden en dat wat met ter beschikking staande budgetten gemeten kan worden om voldoende invulling te geven aan de (monitoring-)verplichtingen uit het beleid. Een sober en doelmatig meetnet met een minimaal benodigde meetfrequentie is dan het uiteindelijke streven.

## Relevante bodem- en hydrochemische aspecten in kort bestek

De monitoring in het kader van Natura 2000 en de KRW moet het mogelijk maken om de bodem- en hydrochemische aspecten die samenhangen met de thema's verdroging, vermisting en verzuring te volgen. Het gaat met name om de basentoestand en de trofische toestand, samenhangend met respectievelijk verzuring en vermisting. Tegelijkertijd vormt dit een complex waar ook verdroging op van invloed is. Daarnaast zijn de basentoestand en de trofische toestand ook onderling aan elkaar gerelateerd. In de kalkrijke duinen (planten-sociologisch gerekend tot het Renodunaal district) wordt de buffering van zuren grotendeels bewerkstelligd door kalk (calciumcarbonaat, CaCO<sub>3</sub>) in het moedermateriaal. In situaties waar regenwater van invloed is op de bodemprocessen, wordt deze kalk in de loop der tijd opgelost en afgevoerd; er treedt neerwaartse ontkalking op. De bodem wordt daardoor zuurder. De buffering wordt dan in toenemende mate bepaald door de mate van aanrijking van basen vanuit het grondwater (via kwelstroming) en door de buffercapaciteit van het adsorptiecomplex in de vaste delen van de bodem (in de zandige duinen is daarbij voornamelijk humus van belang). Het verloop van chemische reacties in de wortelzone wordt ook beïnvloed door de vochttoestand (de mate van 'verdroging'). Droge omstandigheden betekenen over het algemeen de aanwezigheid van méér zuurstof, waardoor enerzijds organische materialen kunnen oxideren tot opneembare nutriënten en anderzijds uitloging van de aanwezige kalk door regenwater een grotere rol speelt.

## Een pilot in Zuid-Holland

Provincie Zuid-Holland heeft in 2012 besloten om een pilot te starten in twee Natura 2000-gebieden in de duinen, te weten “Voornes Duin” en “Duinen Goeree & Kwade Hoek” (Figuur 1). De pilot had als doel na te gaan of een dergelijke benadering leidt tot voldoende betrouwbare relaties tussen een aantal grondwateraspecten en de betreffende habitattypen. Ook werd nagegaan in hoeverre een dergelijke benadering tot een in de praktijk werkbare toepassing kan leiden, die ook in andere Natura 2000-gebieden zou kunnen worden toegepast. Daartoe heeft Provincie Zuid-Holland

Voor beide gebieden is in 2014 eerst een opzet voor de inrichting van een monitoringmeetnet (meetpunten) en een meetprogramma (frequentie van metingen) ontwikkeld. Dit is gedaan voor voor de relatie tussen de aanwezige habitattypen en grondwaterstanden en de relatie tussen de habitattypen en een aantal parameters die van belang zouden kunnen zijn met het oog op de chemische processen van verzuring en vermisting in het grondwater (en de bodem) in die gebieden. Over de uiteindelijke inrichting van het meetnet en de meetfrequentie is op basis van enkele voorliggende varianten in 2014 besloten, waarop de ontwikkelde benadering in de jaren 2015 en 2017 is uitgetest.

Onder de vlag van het project “Pilot nulmeting GxG Voornes Duin en Westduinen” is provincie Zuid-Holland met behulp van 82 meetpunten in

beide gebieden op zoek gegaan naar een optimale invulling van haar monitoringsverplichting voor de relatie tussen grondwaterafhankelijke habitattypen en grondwaterstanden en (bodem- en) grondwaterkwaliteitsparameters (Figuur 1). Hiertoe is een zestal habitattypen in het onderzoek betrokken, te weten: Heischrale Grijsduinen (H2130C), Vochtige duinbossen (H2180B), Duinplassen (H2190A), Kalkrijke (H2190B) en Ontkalkte vochtige duinvalleien (H2190C) en Duinmoerassen (H2190D). Allereerst is de actuele standplaatskwaliteit (toestand) van deze grondwaterafhankelijke habitattypen in beide gebieden vastgelegd (t=0). Daarna is onderzocht welke set parameters het meest relevant is voor het volgen van de standplaatskwaliteit, welke bemonsteringsfrequentie minimaal nodig is. Ook is bepaald wat het minimum aantal monsterpunten is, waarmee een sober maar doelmatig meetnet kan worden ingericht voor zowel de toestand- als de trendbepaling van grondwaterafhankelijke habitattypen in duingebieden. Deze informatie is vervolgens vertaald naar handvatten voor de inrichting van een meetnet en meetprogramma voor de toestand- en trendbepaling van grondwaterafhankelijke habitattypen buiten de duinen.

## Wat te meten?

Het aantal in potentie relevante parameters is schier eindeloos (KWR, 2014). In de pilot is er voor gekozen om zo mogelijk potentieel relevante parameters op te nemen in het meetprogramma. Vandaar dat voor elk van de 82 monsterlocaties 24 parameters zijn gemeten die verband houden met



Figuur 1. Ligging Natura 2000-gebieden “Voornes Duin” en “Duinen Goeree & Kwade Hoek” en de daarbinnen gebruikte monsterlocaties.

**Tabel 1** Range van de in de tekst genoemde parameters per habitattypen waarbinnen 50 % van de gemeten waarde vallen en indien beschikbaar de toetswaarde (weergegeven tussen haakjes). Toevoegingen: Ondiep: waarde geldt voor het ondiepe poriewater (0-10 centimeter -mv). Diep; waarde geldt voor het diepe poriewater (90-100 centimeter -mv). Voor H2190A gelden waarden voor oppervlaktewater. nvt: Niet van toepassing. n.b.: Niet beschikbaar. pH-H2O: waarde voor de zuurgraad van de bodem, gemeten met behulp van water (H2O). Ontkalkingsdiepte (OKD): gemiddelde waarde over 0-100 centimeter -mv, met stappen van 5 centimeter (0-30cm -mv) en 10cm (30-100cm -mv). Zuurbuffercapaciteit (alk): potentieel zuurbufterend vermogen gemeten als som van kationen na destructie. Geleidbaarheid (EGV): Elektrisch geleidingsvermogen in mS/centimeter. Totaal P: Totaal in de bodem aanwezig fosfor in mmol l-1 Olsen-P: maat voor planten beschikbaar fosfor (P) in µmol l-1. NO3 : Nitraat in het poriewater in µmol l-1. NH4: Ammonium in het poriewater in µmol l-1. P totaal: Totaal fosfor in het poriewater in µmol l-1.

| Parameter                          | Habitattypen          |                   |                |                   |                   |                   |
|------------------------------------|-----------------------|-------------------|----------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|                                    | H2130C                | H2180B            | H2190A         | H2190B            | H2190C            | H2190D            |
| pH-H2O                             | 5,4-6,21<br>(5,0-6,5) | 6,51<br>(4,5-7,5) | nvt            | 6,61<br>(6,0-7,5) | 5,31<br>(4,5-6,5) | 6,51<br>(4,5-7,5) |
| Ontkalkingsdiepte (OKD)            | 5-25<br>(-)           | 5-10<br>(-)       | nvt            | 0-5<br>(-)        | 35-65<br>(-)      | 0-5<br>(-)        |
| pHondiep                           | 5,5-6,3<br>(-)        | 7,1-7,4<br>(-)    | nvt            | 6,9-7,4<br>(-)    | 4,7-5,5<br>(-)    | 7,1-7,2<br>(-)    |
| Geleidbaarheid (EGV)               | 359-552<br>(-)        | 774-916<br>(-)    | 268-353<br>(-) | 515-827<br>(-)    | 92-135<br>(-)     | 576-749<br>(-)    |
| Zuurbuffercapaciteit (alk; mmol/l) | 140-164<br>(-)        | 194-310<br>(-)    | nvt            | 320-741<br>(-)    | 62-82<br>(-)      | 403-762<br>(-)    |
| P-totaal                           | 4,6-5,4<br>(-)        | 1,2-3,6<br>(-)    | nvt            | 3,7-6,5<br>(-)    | 2,8-4,2<br>(-)    | 4,7-5,9<br>(-)    |
| Olsen-P                            | 250-392<br>(-)        | 60-186<br>(-)     | nvt            | 139-219<br>(-)    | 466-717<br>(-)    | 183-391<br>(-)    |
| NO3 Ondiep                         | 1,4-13,4<br>(-)       | 268-416<br>(-)    | nvt            | 0,1-1,8<br>(-)    | 2,4-3,6<br>(-)    | 0,1-1,3<br>(-)    |
| NH4 Ondiep                         | 6,2-11,5<br>(-)       | 2,7-3,8<br>(-)    | nvt            | 2,5-7,6<br>(-)    | 6,3-7,9<br>(-)    | 2,1-4,7<br>(-)    |
| P totaalOndiep                     | 2,3-63,0<br>(-)       | 0,9-1,9<br>(-)    | nvt            | 1,7-5,3<br>(-)    | 3,7-12,9<br>(-)   | 1,1-2,1<br>(-)    |

**Tabel 2** Samenvattende statistiek voor de uitgevoerde DCA analyse

| Parameter                         | As 1 | As 2  | As 3  | As 4  |
|-----------------------------------|------|-------|-------|-------|
| Eigenwaarde                       | 0,61 | 0,39  | 0,26  | 0,20  |
| Verklaarde variantie (cumulatief) | 7,91 | 12,96 | 16,35 | 18,90 |
| Lengte van de gradiënt            | 4,45 | 3,91  | 3,07  | 2,26  |

**Tabel 4** Correlatie tussen ontkalkingsdiepte (OKD) en de in het veld gemeten pH (pH-veld) en de parameters die het verschil tussen habitattypen onderliggen. Toevoegingen: bv: bodemvocht, zo: zomer, wi: winter, z: zuurextract.

|             | OKD   | pH-veld |
|-------------|-------|---------|
| pH-z        | -0,84 | 0,87    |
| Ca-z        | -0,37 | 0,23    |
| pH-bvOD_wi  | 0,55  | 0,84    |
| alk-bvOD_wi | 0,46  | 0,58    |
| EGV-bvOD_wi | 0,52  | 0,41    |
| Zn-bvOD_wi  | -0,41 | -0,60   |

**Tabel 3** Regressiecoëfficiënten tussen de monsterpunten en de gemeten variabelen voor de eerste ordinatie-as, gesorteerd op de absolute waarde van de regressiecoëfficiënt. Toevoegingen: bv: bodemvocht, zo: zomer, wi: winter, z: zoutextract.

| Herkomst parameter | Parameter    | Regressie-coëfficiënt |
|--------------------|--------------|-----------------------|
| Grondwater         | EGV-bvOD_wi  | 0,59                  |
| Grondwater         | alk-bvOD_wi  | 0,57                  |
| Grondwater         | pH-bvOD_wi   | 0,56                  |
| Bodem              | Ca-z         | 0,54                  |
| Grondwater         | Zn-bvOD_wi   | 0,53                  |
| Bodem              | pH-z         | 0,51                  |
| Grondwater         | Ca-bvOD_wi   | 0,50                  |
| Bodem              | vocht%       | 0,50                  |
| Grondwater         | Al-bvOD_wi   | 0,50                  |
| Bodem              | Zn-z         | 0,49                  |
| Bodem              | Ca-t         | 0,47                  |
| Grondwater         | Cl-bvOD_wi   | 0,47                  |
| Grondwater         | HCO3-bvOD_wi | 0,46                  |
| Grondwater         | Na-bvOD_wi   | 0,45                  |
| Bodem              | Mg-t         | 0,44                  |
| Grondwater         | Mg-bvOD_wi   | 0,42                  |
| Bodem              | S-z          | 0,42                  |
| Grondwater         | P-bvOD_wi    | 0,41                  |
| Bodem              | Mn-z         | 0,40                  |
| Bodem              | OKD          | 0,39                  |
| Bodem              | BSV          | 0,39                  |
| Grondwater         | P-bvD_zo     | 0,38                  |
| Bodem              | Al-z         | 0,38                  |
| Bodem              | NO3-z        | 0,34                  |
| Grondwater         | PO4-bvOD_wi  | 0,34                  |
| Grondwater         | NH4-bvD_zo   | 0,30                  |
| Bodem              | pH_is(0-20)  | 0,29                  |
| Grondwater         | PO4-bvD_zo   | 0,28                  |
| Bodem              | Fe-t         | 0,24                  |
| Bodem              | S-t          | 0,23                  |
| Grondwater         | NO3-bvD_zo   | 0,23                  |
| Bodem              | Mg-z         | 0,21                  |
| Grondwater         | NH4-bvOD_wi  | 0,21                  |
| Grondwater         | NO3-bvOD_wi  | 0,16                  |
| Bodem              | Al-t         | 0,15                  |
| Grondwater         | CO2-bvOD_wi  | 0,13                  |
| Bodem              | P-t          | 0,01                  |

**Tabel 5** Advies bepaling van bodem- en hydrochemische parameters voor terrestrische grondwater-gerelateerde habitattypen (H2130C, H2180B, H2190B, C, D), voor Natura 2000-landschap Duinen

| Categorie                              | Parameter   | Toelichting   | Frequentie  |
|--|---|---|---|
| <b>Bodemmateriaal</b>                  |   |   | 1 x per 3 jaar<br>In de droge tijd (mei-augustus)                     |
| Basentoestand                          | pH-H2O  | pH-papier, elke 5 cm, tot 25 cm -mv                                 |   |
|  | ontkalkingsdiepte                                 | Bruistest 10% HCl, elke 5 cm diepte tot max. 120 cm -mv             |   |
| <b>Bodemporiewater (ondiep 0-10cm)</b> |   |   | 1 x per 3 jaar<br>ondiep: alleen natte tijd (dec-feb; niet bij vorst) |
| Basentoestand                          | pH  |   |   |
|  | EGV   |   |   |
|  | alkaliniteit                                      |   |   |
|  | Ca, Mg, Na, K, SO4, Fe, Mn, Al, Si, Zn, CO2, HCO3 | opgelost  |   |
| Vegetatie                              | Vegetatie rond meetpunten                         | relatie leggen tussen verzamelde gegevens en vegetatiesamenstelling | 1x per 6 jaar   |

de trofiegraad en basentoestand van de bodem (bodemchemie), trofiegraad en basentoestand van grondwater en oppervlaktewater (hydrochemie) en de chemische samenstelling van de vegetatie (Tabel 1). Daar waar die op basis van literatuur beschikbaar waren (e.g. Hommel, Spek, & de Waal, 2002; KWR, 2014; Verdonschot & Janssen, 2000), zijn zogenoemde optimale bereiken voor de habitattypen bepaald, om na te gaan in hoeverre de abiotische uitgangssituatie passend is voor de nagestreefde habitattypen. Kanttekening daarbij is dat deze optimale bereiken vaak rusten op een (zeer) beperkt aantal waarnemingen (en in geval van habitattypen ook op een selectie van kwalificerende vegetatietypen), waarbij met name de invloed van grondslag en kwel beperkt tot niet zijn meegewogen.

Uitgezonderd Duinplassen (H2190A), is op elke monsterlocatie op twee dieptes poriewater verzameld (ie. 0-10 centimeter (diep) en 90-100 centimeter (ondiep)). Dit is gedaan met behulp van rhizons; poreuze staafjes die in de bodem worden gestoken. Tegelijkertijd is op een diepte van 0-5 centimeter, Duinplassen (H2190A) uitgezonderd, bodemmateriaal verzameld. Hierbij is telkens ook een vast volume bodem verzameld om het massavolume te kunnen bepalen. Gegevens met betrekking tot de chemische samenstelling van de vegetatie zijn verkregen door in een vast oppervlak zoveel mogelijk bovengronds levend plantenweefsel te oogsten. Houtige stengels, stammen en takken zijn niet geoogst. Het gedroogde materiaal (peak standing crop) is gebruikt voor verdere analyse. Alle chemische analyses zijn uitgevoerd volgens de standaard protocollen van B-WARE en BrightLabs.

#### Zijn de bemonsterde vegetaties representatief

Allereerst is van belang om vast te stellen dat de bemonsterde vegetaties ook daadwerkelijk kwalificeren in het licht van de Europese Habitatrichtlijn. Dit is gedaan met behulp van het programma

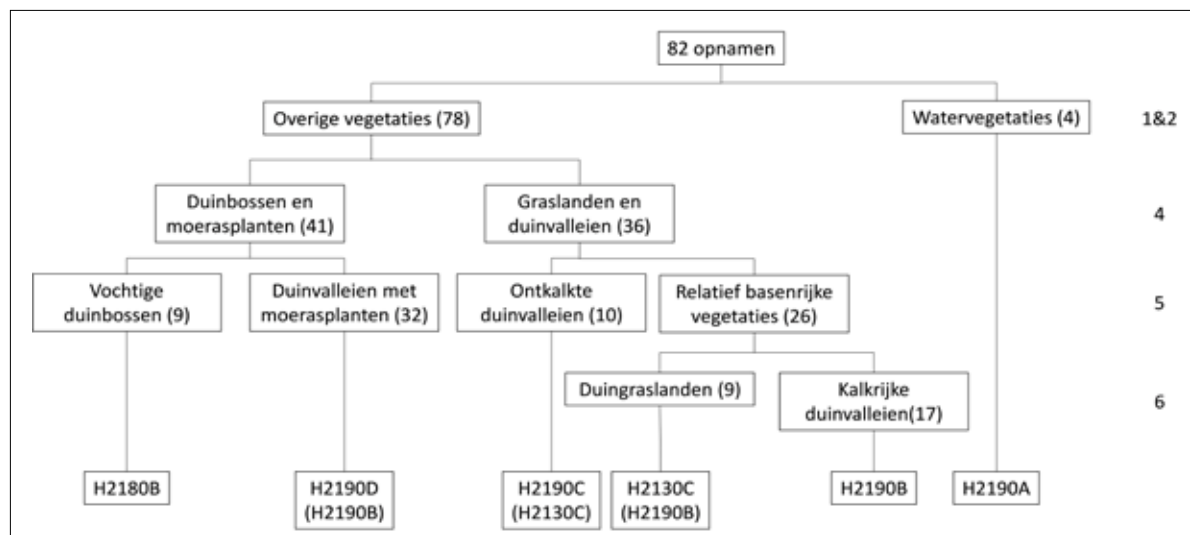
TWINSPAN (Hill, 1979), een softwarepakket dat veel wordt gebruikt om vegetatie-opnamen te classificeren. De verkregen ordening van vegetatie-opnamen naar habitattypen is goed in overeenstemming met de werkelijkheid en rechtvaardigt een koppeling tussen de abiotische toestand in de opnamepunten en de habitattypen, hoewel ook sprake is van overlap (Figuur 2). Onder natuurlijke omstandigheden is overlap tussen vegetatietypen eerder regel dan uitzondering. Zo zijn de habitattypen vegetatiekundig weliswaar strak begrensd (één vegetatietype uit de Vegetatie van Nederland kan in combinatie met de bijbehorende zogenoemde beperkende criteria slecht kwalificeren voor één habitattypen), maar vertonen de verschillende vegetatietypen overlap voor wat betreft kensoorten van bijvoorbeeld klasse of verbond (Schaminée, Sýkora, Smits, & Horsthuis, 2010; Schaminée et al., 2017).

Opvallend is dat opnamen toegerekend aan H2190B (Vochtige duinvalleien, Kalkrijk) en H2130C (Grijze duinen, Heischraal) vaak voorkomen binnen groeperingen die toe te schrijven zijn aan andere habitattypen. Dit duidt erop dat sprake is van overgangsvormen tussen de habitattypen en daarmee mogelijk -maar niet noodzakelijk- op processen van veranderingen in de vegetatiesamenstelling in het veld. Abiotische kenmerken van de habitattypen In grote lijnen komt de bodemchemie overeen met hetgeen voor de bemonsterde habitattypen verwacht mag worden. De zuurgraad en de basenverzadiging van de bodem en het grondwater zijn passend voor de nagestreefde vegetaties en doen weinig risico's of actuele problemen vermoeden. De pH-H2O ligt tussen 4,5 en 7,5. Dat komt overeen met het kernbereik van de nagestreefde habitattypen (Tabel 1). Ook zijn alle bemonsterde bodems te classificeren als (zeer) voedselarm, gekenschetst door lage waarden voor totaal-P en Olsen-P. De ontcalcite vochtige duinvalleien kennen in dat licht met afstand de rijkste bodems, maar de gevonden waarden zijn niet buitensporig

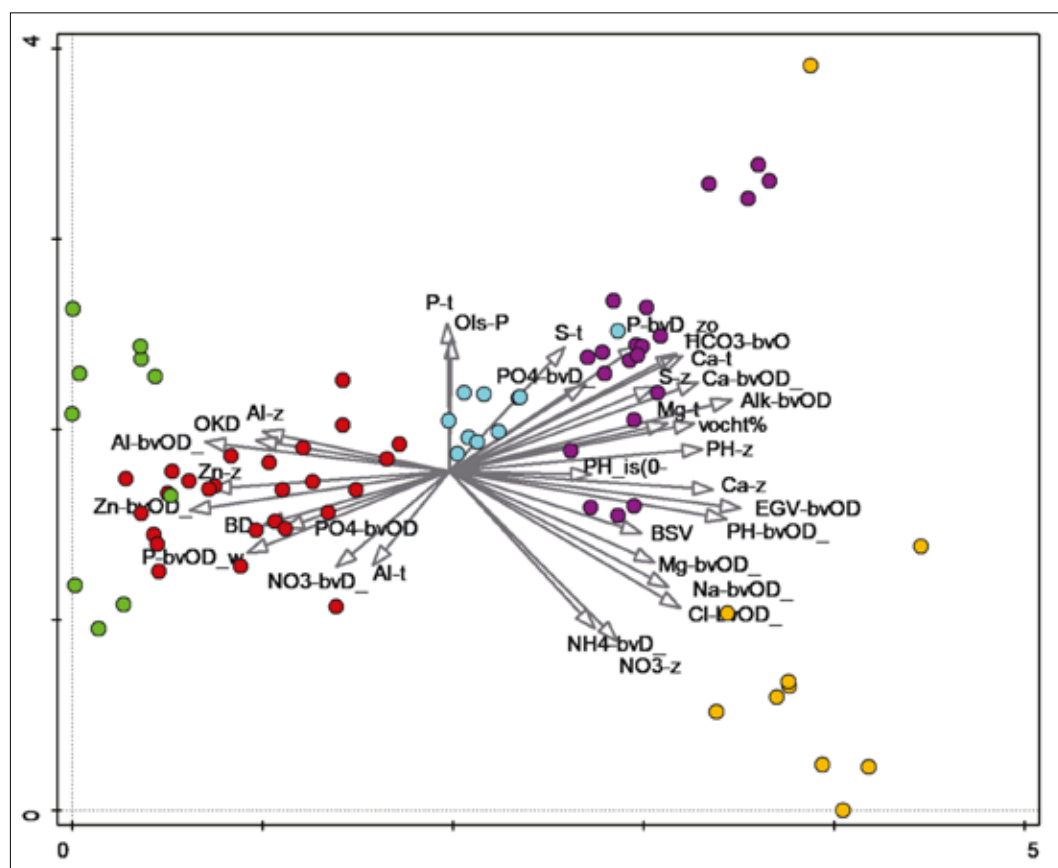
hoog. Het grondwater is schoon, hoewel sommige meetpunten verhoogde N en P-gehalten laten zien, hetgeen zich uit in relatief brede ranges waarbinnen de helft van de meetpunten gevangen kan worden (Tabel 1).

Over het geheel gezien komen de gevonden N:P-ratio's van de bemonsterde vegetatie overeen met N:P-ratio's die door Koerselman en Meuleman (1996) zijn gevonden in andere Nederlandse duinvalleien. Door Hommel et al. (2002) zijn grenswaarden voor de C:P-ratio gegeven, die een maat zijn voor de voedselrijkdom van een standplaats. De C:N-ratio is hierbij van beperkter belang. Overigens zijn deze grenswaarden gedefinieerd voor loofbossen. Het geheel overziend kenmerken de meeste bodems zich door een relatief hoge C:P-ratio, waarmee de trofische toestand van de standplaats in het "matig voedselrijke tot voedselarme" spectrum zit. Dit past bij de steeds lage gehalten totaal en beschikbaar fosfor en stikstof. Welke variabelen hebben de meeste zeggingskracht Om inzichtelijk te maken welke variabelen de meeste zeggingskracht hebben met betrekking tot het monitoren van de relatie tussen habitattypen en bodem- en grondwaterkwaliteit (om invulling te geven aan een "sober en doelmatig" meetprogramma) is gebruik gemaakt van een zogenoemde "unconstrained" Detrended Correspondence Analysis (DCA), uitgevoerd met behulp van het programma CANOCO (versie 4). Hierbij zijn de gebruikelijke stappen en methoden gevolgd (e.g. Legendre & Gallagher, 2001; van Katwijk & ter Braak, 2008; Zuur, 2009; Oksanen et al., 2018). Duinplassen (H2190A), zijn omwille van de sterk afwijkende basisgegevens niet meegenomen in deze analyse.

De DCA analyse verklaart op de eerste twee assen 13 % van de totale door het model verklaarde variatie van bijna 19% (Tabel 2). De lage percentages zijn dan ook niet zorgwekkend: data met betrekking tot soorten wordt gekenmerkt door zeer



**Figuur 2** Classificatie van de vegetatie-opnamen met behulp van TWINSPLAN. De cijfers aan de rechterkant geven het classificatieniveau weer: de 1e, 2e, 4e, 5e en 6e splitsing. De derde splitsing is niet apart weergegeven; hier splitst slechts een opname (zie tekst). Splitsing 1 en 2 zijn samengenomen, deze differentieren binnen H2190A. Tussen haakjes het aantal opnamen per klasse. Onderaan staan de habitattypen weergegeven waarmee de classificatie-groepen overeenkomen. H2190: Vochtige duinvalleien; A: Open water, B: Kalkrijk, C: Ontkalkt en D: Hogere moerasplanten. H2180B: Duinbossen, Vochtig. H2130C: Grijze duinen, Heischraal.



**Figuur 3** DCA-diagram voor de geselecteerde parameters in relatie tot de meetpunten. De kleur geeft aan in hoeverre deze tot een habitatype gerekend worden (●: H2190C/H2130C, ●: H2130C/H2190B, ●: H2190B, ●: H2190D, ●: H2180D). H2190A is als groep buiten beschouwing gelaten. Het diagram is als volgt te lezen: pijlen in de (globale) richting van een van de assen, zijn bepalend voor de betreffende as en liggen ten grondslag aan de verdeling van groepen over die as. De pijlen geven een gradiënt weer, een verband. Hoe langer de pijl, hoe sterker het verband. De waarde van de parameter voor de betreffende as neemt toe in de richting van de pijl. De lengte van de assen wordt bepaald door de lengte van de berekende gradiënten. Gebruikte afkortingen zijn niet apart weergegeven, maar komen waar relevant aan de orde in de begeleidende tekst.

veel "ruis", hetgeen vrijwel altijd resulteert in lage percentages verklaarde variatie (Gauch, 1982).

Figuur 3 laat zien dat op de eerste ordinaat-as (x-as) op grond van de gemeten variabelen een scheiding plaats vindt tussen habitattypen; de minder basenrijke habitattypen (Ontkalkte duinvalleien (H2190C) en Heischrale duingraslanden (H2130C) aan de linkerzijde en de basenrijkere habitattypen (Kalkrijke duinvalleien (H2190B), Vochtige duinbossen (H2180B) en Duinvalleien met hogere moerasplanten (H2190D)) aan de rechterzijde. Op de tweede ordinaat-as (y-as) is een dergelijk verschil minder duidelijk, afwezig. Deze groepering wordt bepaald door parameters die gemeten worden met behulp van het ondiepe poriewater

(x-bvOD<sub>-</sub> in figuur 3) en het diepe poriewater in de zomer (x-bvD<sub>-</sub> in figuur 3).

Met behulp van de regressiecoëfficiënten tussen de abiotische variabelen en de monsterpunten (Tabel 3) kan een selectie van meest relevante parameters worden gemaakt. Anders gezegd: welke variabelen zijn bepalend geweest voor het ontstaan van de groepen in figuur 3 en moeten dus in ieder geval onderdeel zijn van een sober en doelmatig meetprogramma? Tabel 3 laat zien dat de belangrijkste parameters (hier gedefinieerd als een correlatiecoëfficiënt van meer dan 0,5) vrijwel zonder uitzondering samenhangen met de kwaliteit van het ondiepe grondwater in de winter en dus de bodembuffering. Bodem- en

vegetatieparameters spelen in veel mindere mate een rol. Dat betekent dat niet al de 24 gemeten mogelijke relevante parameters onderdeel hoeven te zijn van een "sober en doelmatig meetnet". Er kan volstaan worden met een selectie van -in dit geval- vijf parameters, namelijk de geleidbaarheid, alkaliniteit en pH van het ondiepe grondwater en de pH en het calcium-gehalte van de bodem.

Kortom: de basen-gerelateerde parameters in het ondiepe grondwater en de bodem moeten in het monitoringpakket een hoofdrol krijgen. Vanuit praktisch en kostentechnisch oogpunt is er geen bezwaar om een groot aantal aan grondwater gerelateerde parameters te laten analyseren. Een standaard-analysepakket met een groot aantal

chemische parameters waarin ten minste alle kationen, pH en EGV aanwezig zijn, is vaak standaard bij de betere laboratoria en is voor de in dit kader benodigde informatie voldoende. Daarnaast dient in het veld de ontkalkingsdiepte en het diepteverloop van pH-H<sub>2</sub>O in de bodem opgenomen te worden. De chemische samenstelling van de bovengrondse biomassa van de vegetatie en parameters gerelateerd aan de voedselrijkdom van de bodem hebben weinig hier verklarende waarde voor de vegetatiekwaliteit. Deze parameters hoeven geen standaard onderdeel te zijn in een monitoringspakket voor grondwaterafhankelijke vegetatietypen in duinen. Kanttekening hierbij is dat hier gemeten is in goed ontwikkelde voorbeelden van de betreffende habitattypen. In suboptimaal ontwikkelde voorbeelden, kan de voedselrijkdom van de bodem wel degelijk van belang zijn.

In het kader van de monitoringsverplichting is het verder óók goed om toch inzicht te hebben in de kwaliteit van het diepe grondwater. Elders in het land laat het diepe grondwater bijvoorbeeld steeds vaker sporen van menselijk handelen (bijvoorbeeld een hoge sulfaatbelasting) zien. Welke inspanning is voldoende? Het aantal van 82 meetpunten is in ieder geval voldoende gebleken om op habitatype-niveau uitspraken te kunnen doen als het gaat om de (abiotische) toestand van de bodem- en grondwaterkwaliteit voor de habitattypen in "Voornes Duin" en "Duinen Goeree & Kwade Hoek". Dat betekent echter niet dat de hier gekozen methode om te komen tot een aantal meetpunten, direct toepasbaar is op andere gebieden. Die hebben immers een geheel eigen variatie in bijvoorbeeld bodemsamenstelling, waardoor het aantal monsterpunten groter moet of juist kleiner kan zijn.

Om per gebied meer grip te krijgen op de benodigde dichtheid van de monsterlocaties kan gebruik gemaakt worden van een tweetal eenvoudige en snel in het veld te bepalen parameters, die goed correleren met de parameters die van belang zijn voor het meetprogramma (Tabel 4), namelijk de ontkalkingsdiepte (als benadering voor bodempH) en met behulp van pH-papier bepaalde pH-H<sub>2</sub>O (als benadering voor EGV, pH en alkaliniteit van het bodemvocht). Door voor een groot aantal locaties binnen een gebied de ontkalkingsdiepte en pH-H<sub>2</sub>O te bepalen, ontstaat inzicht in de ruimtelijke variatie in deze twee parameters. Omdat zij ook goed correleren met de voor het meetprogramma relevante parameters, op basis daarvan een inschatting gemaakt worden van de noodzakelijke dichtheid aan monsterpunten. Hoe geringer de variatie, des te minder locaties nodig zijn. Bovendien zou dit kunnen leiden tot het inzicht dat resultaten over de habitattypen heen niet of nauwelijks verschillen.

Gezien de tijdschaal van de KRW-monitoring, de tijdschaal waarop trends in bodem- en hydrochemische processen merkbaar zijn en het streven naar een sober en efficiënt monitoringsprogramma ligt een cyclus van de 6 jaar voor de hand.

Zoals KWR (2014) ook al aangeeft, verdient het echter de voorkeur om binnen deze 6-jarlijkse periode twee meetrondes uit te voeren (om de drie jaar), omdat bij deze frequentie trends beter te onderscheiden zijn en daardoor met behulp van maatregelen eerder bijgestuurd kan worden. Deze pilot heeft laten zien dat volstaan kan worden met het monitoren van een beperkte set aan parameters om de relatie tussen de hier bemonsterde habitattypen in "Voornes Duin" en "Duinen Goeree & Kwade Hoek" en de parameters relevant voor verzuring en die voor vermisting. Dit is samengevat in tabel 5. Uit de hier (voor duinsystemen) verzamelde gegevens volgt dat vooral het ondiepe bodemporiewater bepalend is voor de vegetatiekwaliteit van een habitatype. De relatie tussen de vegetatiekwaliteit en de basentoestand komt dan ook duidelijk naar voren. De voedselrijkdom van de bodem komt in de analyses minder naar voren. Kennelijk is die hier minder bepalend voor de hier bemonsterde habitattypen, waar de aanvulling van de basenvoorraad vanuit het grondwater nog functioneert. Chemische analyse van plantenweefsel is minder zinvol als onderdeel van het meetprogramma; hieraan gerelateerde parameters spelen in de analyse geen rol. Omdat chemische processen in de wortelzone, en de invloed van grondwater daarin, juist wel van belang blijken te zijn, is het van belang om bij analyses van oppervlakkige bodemmonsters in ieder geval parameters te betrekken die in verband staan met buffering door grondwater.

Toch is het van groot belang om de vegetatie ter plaatse van de meetpunten (bijvoorbeeld rond de peilbuis) met enige regelmaat te blijven monitoren. Dat is noodzakelijk om een betrouwbare relatie te kunnen blijven leggen tussen de gemeten abiotische bodem- en grondwatervariabelen en de veronderstelde vegetatie ter plaatse (Possen & Paas - van Oort, 2017; van Rosmalen, van Tooren, & van der Molen, 2014). Er kunnen uiteraard veranderingen in de vegetatie optreden. De onderhavige monitoringmethode is er feitelijk op gericht om mogelijke veranderingen in de abiotische factoren/parameters op de veronderstelde vegetatietypen tijdig te kunnen waarnemen, maar ook andere factoren dan de van bodem- of grondwaterkwaliteit kunnen uiteraard van invloed zijn op het voorkomen van bepaalde vegetatietypen in betreffende gebieden. Vanuit het Subsidiestelsel Natuur en Landschap en daarmee ook ten behoeve van de monitoring voor Natura 2000-doelen gebeurt monitoring van de vegetatie in principe elke 12 jaar gebiedsdekkend (van Rosmalen et al., 2014). Echter, ten behoeve van eerder genoemde relatie tussen vegetatie en abiotiek, wordt een hogere frequentie aanbevolen, namelijk een keer per zes jaar (Smits, Mucher, Ozinga, de Waal, & Wamelink, 2016), zeker om eventueel getroffen maatregelen in de tijd te volgen. <

tom.van.den.broek@rhdhv.com

## Referenties

- Gauch, H. (1982). *Multivariate analysis in community ecology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Hill, M. (1979). *Twinspan - A Fortran program for arranging multivariate data in an ordered two-way table by classification of the individuals and attributes*. Ithaca, New York: Cornell University.
- Hommel, P., Spek, T., & de Waal, R. (2002). *Booms-oort, strooiselkwaliteit en ondergroei in loofbossen op verzuringsvoelige bodem. Een verkennend literatuur- en veldonderzoek*. (No. Alterra-rapport 509). Wageningen: Alterra.
- Koerselman, W., Meuleman, AFM. (1996) *The vegetation N:P Ratio: a new tool to detect the nature of nutrient limitation*. *Journal of Applied Ecology*. 33(6). 1441-1450.
- KWR. (2014). *Ontwerp monitoringsprogramma verdroging - een pilot voor Voornes Duin en de Duinen op Goeree*. Nieuwegein: KWR Watercycle Research Institute.
- Legendre, P., & Gallagher, E. (2001). *Ecologically meaningful transformations for ordination of species data*. *Oecologia*, 129, 271-280. <https://doi.org/10.1007/s004420100716>
- Oksanen, J., Blanchet, F., Friendly, M., Kindt, R., Legendre, P., McGlenn, D., ... Wagner, H. (2018). *Package 'vegan'*. Retrieved from <https://cran.r-project.org/web/packages/vegan/vegan.pdf>
- Possen, B., & Paas - van Oort, M. (2017). *Evaluatie Referentiemetnet Terreincondities - Het meetnet naar een nieuwe tijd* (No. WAT-BE9431R001Fo.2). Amersfoort: Royal HaskoningDHV.
- Schaminée, J., Sýkora, K., Smits, N., & Horsthuis, M. (2010). *Veldgids plantengemeenschappen van Nederland*. Zeist: KNNV Uitgeverij.
- Schaminée, Joop, Haveman, R., Hommel, P. W. F., Janssen, J. A., Ronde, I. de, Schipper, P. C., ... *Plantensociologische Kring Nederland*. (2017). *Revisie vegetatie van Nederland*.
- Smits, N., Mucher, C., Ozinga, W., de Waal, R., & Wamelink, G. (2016). *Procesindicatoren PAS - Rapportage 2016* (No. Rapport 2771) (p. 62). Wageningen: Wageningen Environmental Research.
- van Beek, J., van Rosmalen, R., van Tooren, B., & van der Molen, P. (2014). *Werkwijze Natuurmonitoring en -Beoordeling Natuurnetwerk en Natura 2000/PAS (+ 2 bijlagedocumenten)*. Utrecht: BLJ12.
- van Katwijk, M., & ter Braak, C. (2008). *Handleiding voor het gebruik van multivariate analysemethoden in de ecologie*. Nijmegen: Universiteit Nijmegen. Retrieved from [www.ecoscience.nl](http://www.ecoscience.nl)
- van Rosmalen, R., van Tooren, B., & van der Molen, P. (2014). *Werkwijze monitoring en beoordeling natuurnetwerk en Natura 2000/PAS* (No. Versie 05032014). Utrecht: BLJ12.
- Verdonschot, P., & Janssen, S. (2000). *Natuurlijke levensgemeenschappen van Nederlandse binnenwateren deel 12: Zoete duinwateren* (Natuurlijke levensgemeenschappen van de Nederlandse binnenwateren No. Rapport EC-LNV nr. AS-12). Den Haag: Expertisecentrum LNV, Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Voedselkwaliteit.
- Zuur, A. F. (Ed.). (2009). *Mixed effects models and extensions in ecology with R*. New York, NY: Springer.