



PROBE: een model voor vegetatiedoelen

Duinen
Model
Natuurbeheer
Vegetatie
Vernatting

PROBE – een ruimtelijk model dat de ecologische effecten bepaalt van veranderingen in waterhuishouding, atmosferische depositie en vegetatiebeheer – is ontwikkeld voor beheerders en beleidsmakers van de duinen. Het model houdt rekening met onzekerheden in de invoer en genereert uitvoer in de vorm van kansen op het voorkomen van vegetatietypen. Met PROBE kan bijvoorbeeld onderzocht worden welke natuurwinst het verhogen van de grondwaterstand oplevert en waar potenties liggen voor nieuwe natuur.

Voor beheerders en eigenaren van natuurgebieden is instandhouding en eventueel vergroting van de biodiversiteit in hun terreinen een belangrijke doelstelling. Om te komen tot realistische natuurdoelen en het juiste beleid en beheer, kunnen computermodellen ondersteuning bieden. De bestaande modellen vragen echter een grote expertise van de gebruiker, zijn door hun vergaande detaillering en gegevensbehoefte dikwijls traag in gebruik en bestrijken elk slechts een deel van de te modelleren werkelijkheid. De modellen worden, meestal door verschillende deskundigen, in serie gedraaid: een hydrologisch bodemmodel voedt bijvoorbeeld een bodemchemisch model en de uitvoer van beide modellen is weer invoer voor een vegetatiemodel. Door de lange reken tijden en de gebrekkige koppeling ('op afstand') van de modellen, wordt in de praktijk meestal maar een beperkt aantal scenario's met zo'n modellentrein doorerekend en is de kans op fouten aanzienlijk. Bij drie bedrijven die drinkwater produceren in de Nederlandse duinen (DZH, PWN en Waternet) bestond daarom behoefte aan een snel werkend model waarin bodemchemische, bodemhydrologische en vegetatiekundige processen zijn geïntegreerd. Een prototype van zo'n model is nu ontwikkeld voor de duinen. Met dit model PROBE (PRObability Based Ecological target assessment) is het mogelijk de effecten op de duinvegetatie te simuleren van: (1) veranderingen in de grondwaterstand, (2) veranderingen in de atmosferische depositie van stikstof en fosfor, (3) veranderingen in de vegetatiestructuur, (4) maaien en (5) plaggen. Het zuidelijke deel van de Amsterdamse waterleidingduinen

(AWD) diende als proefgebied en is in PROBE gemodelleerd met rastercellen van 10 bij 10 meter (figuur 1). In dit artikel schetsen we allereerst de opzet van PROBE. Omdat het model de veranderingen in de standplaats baseert op bestaande kennis, beschrijven we dit onderdeel summier. We gaan hier vooral in op een nieuwe techniek om veranderingen in de standplaats te vertalen naar veranderingen in de vegetatie. Vervolgens tonen we enkele resultaten voor de AWD. We besluiten met onze plannen voor verdere modelontwikkeling. We streven naar een model dat overal in Nederland toepasbaar is en dat ook de effecten van klimaatverandering kan berekenen.

Modelbeschrijving

Ecologische effecten worden in PROBE berekend via de keten: verandering in standplaatsvariabelen → verandering in indicatiewaarden → verandering in de vegetatie. Indicatiewaarden vormen dus een schakel tussen stand-



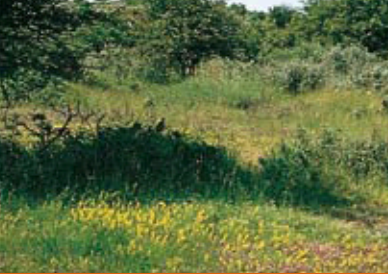
FLIP WITTE, MARTIN
DE HAAN & MICHEL
HOOTSMANS

Prof. Dr. Ir. J.P.M. Witte
Kiwa Water Research, Postbus
1072, 3430BB Nieuwegein
Flip.Witte@Kiwa.nl
Drs. M.W.A. de Haan
Kiwa Water Research
Dr. Ir. M.J.M. Hootsmans
Waternet

Foto Aat Barendregt
[www.geo.uu.nl/pictures/
barendregt](http://www.geo.uu.nl/pictures/barendregt)

Figuur 1 Luchtfoto van het modelgebied, het zuidelijk deel van de Amsterdamse Waterleidingduinen. Het vierkant verwijst naar figuur 7 en figuur 8.

Figure 1 Aerial photograph of the model area, the southern part of the Amsterdam Water Supply Dunes. The square refers to figures 7 and 8.



plaats en vegetatie. Voor het prototype is gebruik gemaakt van de indicatiewaarden voor vochttoestand, voedselrijkdom en zuurgraad volgens het ecotopensysteem (Runhaar *et al.*, 2004), maar het model is zo opgezet dat eenvoudig een ander indicatiewaardesysteem kan worden gebruikt of meerdere systemen door elkaar, bijvoorbeeld Ellenberg voor de zuurgraad en het ecotopensysteem voor voedselrijkdom en vochttoestand. Indicatiewaarden zijn gebruikt omdat er onvoldoende veldmetingen zijn om voor alle vegetatietypen afzonderlijk, betrouwbare relaties met de standplaats te kunnen leggen. Uit een relatief beperkte hoeveelheid veldmetingen zijn daarom eerst ijkrelaties tussen standplaatsvariabelen en indicatiewaarden afgeleid. Figuur 2 toont twee van deze ijkrelaties, namelijk die tussen gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand (GVG) en vochtindicatie (gegevens Runhaar *et al.*, 1997) en die tussen bodem-pH en zuurindicatie (gegevens Wamelink *et al.*, 2005). Aangenomen wordt dat de ijkrelaties voor alle vegetatietypen geldig zijn. De met deze relaties berekende indicatiewaarden worden gekoppeld aan vegetatietypen. We laten straks zien hoe dat gebeurt.

De voorspelling door PROBE bestaat uit drie stappen waarin achtereenvolgens worden bepaald: (1) de abiotische uitgangssituatie, (2) de effecten (van ingrepen) op de vegetatiestructuur en op indicatiewaarden voor vochttoestand, voedselrijkdom en zuurgraad, (3) de kans op voorkomen van vegetatietypen.

1. Uitgangssituatie

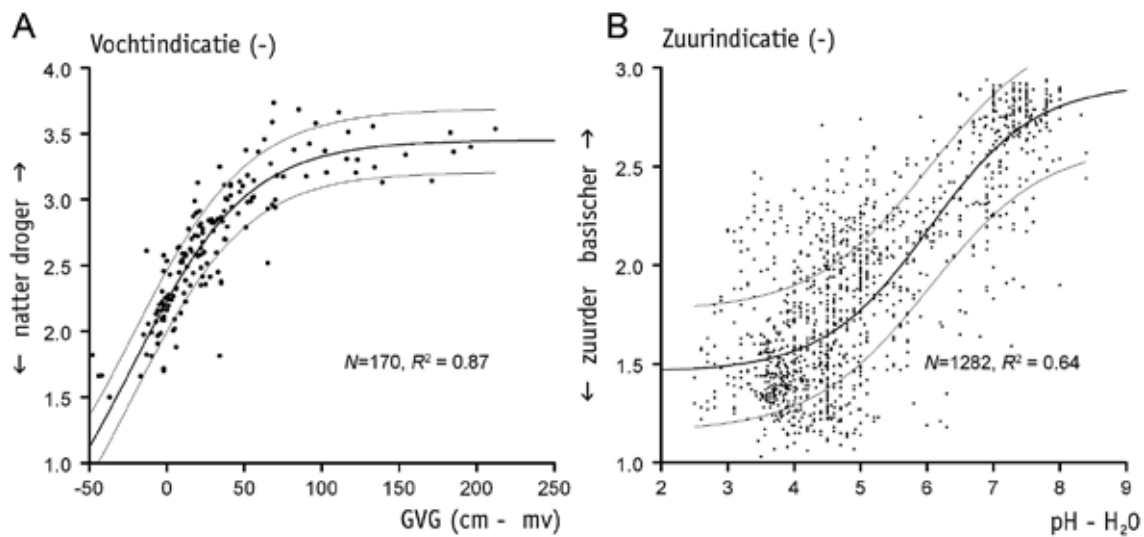
Bodemkaart en grondwatermodel geven informatie over de standplaats. Datzelfde doet ook de vegetatiekaart. Soms verwerpt een goede vegetatie-ecoloog de uitkomsten van een grondwatermodel, omdat hij immers 'weet' dat de grondwaterstand ondieper moet liggen daar waar veenmosrijke dopheidevegetatie voor komt, of juist lager waar muizenootje domineert. Dat die verschillen er zijn,

is te begrijpen. Het vegetatiedek weerspiegelt immers de daadwerkelijke standplaatscondities, terwijl lokale bodemopbouw en waterhuishouding niet tot op detailniveau kunnen worden gemodelleerd. Daarom baseert PROBE de uitgangssituatie zowel op abiotische informatie van de bodemkaart en een grondwatermodel, als op de indicatieve informatie die de vegetatiekaart verschaft over het uitgangsmilieu. Beide bronnen (abiotisch en vegetatie) kunnen zowel apart als door elkaar worden gebruikt, naar gelang de aanwezigheid en betrouwbaarheid van de gegevens. Met een grondwatermodel van de AWD (Kamps & Olstoorn, 2001) is bijvoorbeeld voor een bepaalde locatie een grondwaterstand van 60 cm ten opzichte van maaiveld berekend, met een standaardafwijking van 21 cm. De vegetatiekaart van de AWD (Van Til & Mourik, 1999) geeft voor deze locatie als vegetatietype aan: associatie van strandduizendguldenkruid en kriel-parnassia, subassociatie met viltige bastaardwederik. Voor dit type is een gemiddelde vochtindicatie van 2.9 berekend. Volgens figuur 3, die de inverse is van figuur 2A, correspondeert dit met een GVG van 37 cm –m.v., met een standaardafwijking van 17 cm. De grondwaterstand voor deze locatie wordt nu het naar variantie gewogen gemiddelde van beide schattingen:

$$60 \times \frac{17^2}{(17^2 + 21^2)} + 37 \times \frac{21^2}{(17^2 + 21^2)} = 46 \text{ cm}$$

Ontbreekt de vegetatiekaart of indiceert de vegetatie zeer droge omstandigheden (figuur 3: indicatiewaarde meer dan ca. 3.2 en dus onzekerheid over diepte grondwaterstand oneindig groot), dan wordt de grondwaterstand in de uitgangssituatie volledig gebaseerd op het grondwatermodel.

Het gebruik van de vegetatiekaart bij het afleiden van standplaatscondities stelt wel hogere eisen aan de modeltoetsing, maar onverantwoord is het niet. Net zoals



Figuur 2 Relaties in PROBE tussen (A) gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand en vochtindicatie en (B) bodem pH-H₂O en zuurindicatie. Ieder punt in de grafiek correspondeert met een vegetatieopname, waarvoor indicatiewaarden en GVG (A) of pH (B) bekend zijn. De GVG (figuur A) is een maat voor de beschikbaarheid van zuurstof in het wortelmilieu; bij lage grondwaterstanden is de beschikbaarheid van bodemvocht – die ook wordt bepaald door de bodemtextuur – van belang voor de vegetatie (Runhaar *et al.*, 1997).

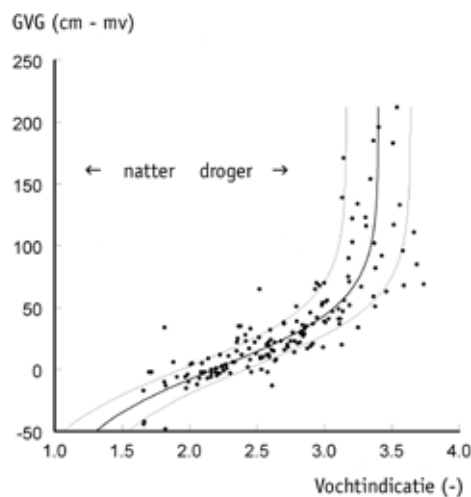
Figure 2 Relationships in PROBE between (A) mean spring groundwater level GVG and moisture indicator value (1 = water till 4 = very dry) and (B) soil pH-H₂O and acidity indicator value of the vegetation (1 = very acid till 3 = very alkaline). Each point corresponds to one vegetation relevé with known indicator value and GVG (A) or pH (B). The GVG (figure A) is a measure of oxygen availability in the root zone; at deep groundwater levels the availability of soil moisture is decisive to plants (Runhaar *et al.*, 1997), which in turn also depends on soil texture.

hydrologen grondwaterstandsmetingen gebruiken voor de ijking van een grondwatermodel, waarmee ze daarna grondwaterstanden voorspellen, zo gebruiken wij de vegetatiekaart voor het ijken van PROBE, waarmee we vervolgens de vegetatie voorspellen.

2. Effecten op indicatiewaarden

Met eenvoudige glijdende functies wordt berekend hoe ingrepen in het gebied via bodemprocessen doorwerken op de indicatiewaarden. Deze functies zijn gebaseerd op meetgegevens en proceskennis uit de literatuur en het model NICHE-duinen (Koerselman *et al.*, 1999; Koerselman & Meuleman, 1995).

Figuur 4 toont bijvoorbeeld de functie die gebruikt is

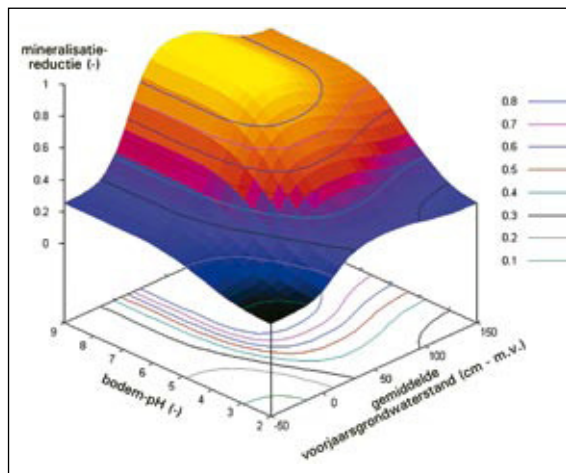


Figuur 3 Voor de AWD gebruikte relatie tussen vochtindicatie van de vegetatie en de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand GVG, plus standaardafwijking van de voorspelling. Deze figuur is de inverse van figuur 2A.

Figure 3 Relationship, plus standard deviation of the prediction, between the moisture indicator value of the vegetation and the mean spring groundwater level GVG. This graph is the inverse of figure 2A.

Figuur 4 Mineralisatie-reductie als functie van bodem-pH en gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand, geldig voor duinbodems (0 = volledig reductie, 1 = géén reductie van de mineralisatie). Deze functie wordt in PROBE gebruikt om de voedselrijkdom van duinbodems te berekenen. In zowel landbouwkundig als ecologisch onderzoek wordt de GVG gebruikt om de mineralisatiereductie te bepalen.

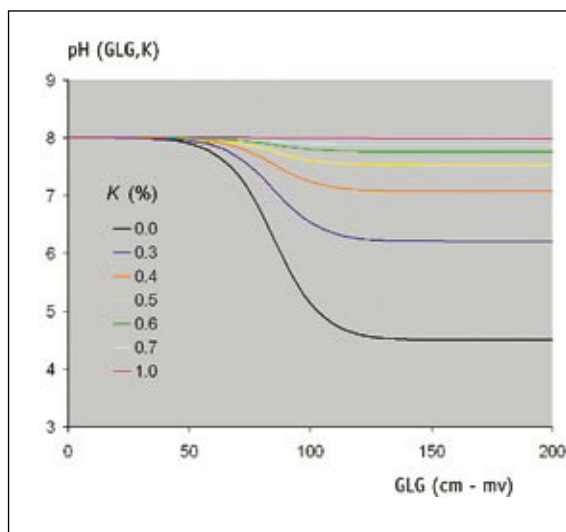
Figure 4 Reduction of mineralization as a function, for dune soils, of both soil pH and mean spring groundwater level (0 = complete reduction, 1 = zero reduction). PROBE uses this function to assess the nutrient richness of dune soils. Both in agricultural and ecological research, the GVG is used to determine the reduction of mineralization.



om de reductie te bepalen van de mineralisatie van organische stof in afhankelijkheid van zowel de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand (GVG) als de zuurgraad (pH) van de duinbodem. De mineralisatiesnelheid, de atmosferische depositie van stikstof (N) en fosfor (P) en de precipitatie van P (die weer afhangt van de pH) bepalen

Figuur 5 Relatie tussen de gemiddeld laagste grondwaterstand GLG, kalkgehalte K en de bodem-pH voor duinbodems met een laag organisch stofgehalte (<1%). De GLG bepaalt of de zuurgraad duurzaam kan worden gebufferd via capillaire nalevering van basenrijk grondwater (Kemmers, 1990).

Figure 5 Relationship for dune soils low in organic matter content (<1%) between the mean lowest groundwater level GLG, lime content K and soil pH. The GLG determines whether or not the acidity of the root zone is permanently buffered by capillary rise of alkaline groundwater (Kemmers, 1990).



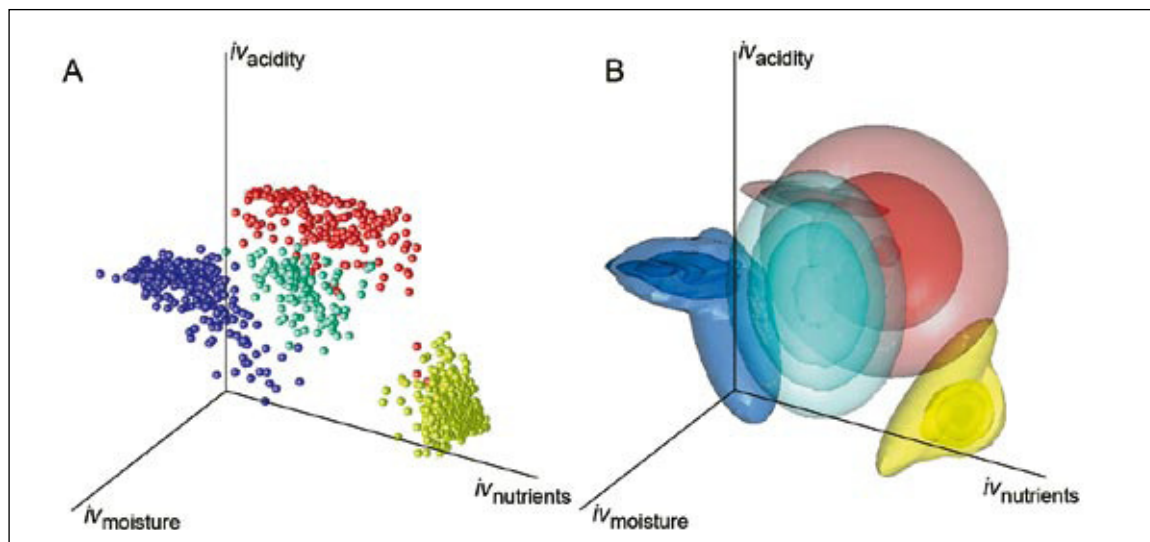
samen hoeveel N en P beschikbaar is voor de vegetatie. Verondersteld is dat een van deze elementen limiterend is voor de biomassaproductie: bij een N/P-ratio groter dan 15 is dat P, anders is het N. De beschikbaarheid van het limiterende element wordt vervolgens via een ijkrelatie omgezet in een indicatiewaarde voor voedselrijkdom.

Vergelijkbare eenvoudige procesfuncties zijn in PROBE opgenomen voor de bodem-pH (figuur 5; functie van gemiddeld laagste grondwaterstand, GLG, en gehalten aan kalk en organische stof) en de vochttoestand (functie van GVG en bodemtextuur). Via beslisketens wordt bepaald hoe een ingreep doorwerkt op de indicatiewaarden van de vegetatie. Daling van de grondwaterstand leidt bijvoorbeeld via GVG en bodemtextuur tot een andere indicatiewaarde voor vocht, via GLG, kalk- en organisch stofgehalte tot een andere indicatiewaarde voor de zuurgraad, en via bodem-pH, GVG en maaibeheer tot een andere indicatiewaarde voor voedselrijkdom. Voor een uitgebreide technische en inhoudelijke beschrijving van PROBE verwijzen we naar ons achterliggende rapport (Witte et al., 2006).

3. Kans op voorkomen vegetatietypen

In totaal zijn 46 associaties en rompgemeenschappen gemodelleerd voor de AWD. Via een nieuwe methode (Witte et al., 2007) zijn voor deze vegetatietypen functies afgeleid die hun kans op voorkomen beschrijven in afhankelijkheid van indicatiewaarden.

De kalibratieset bestaat uit een bestand met bijna veertigduizend tot associaties en rompgemeenschappen geclassificeerde vegetatieopnamen volgens “De Vegetatie van Nederland” (Schaminée et al., 1995; 1996; 1998 Stortelder et al. 1999. Iedere opname wordt geassocieerd naar een vegetatietype, voor PROBE zijn dat associaties en rompgemeenschappen) uit “De vegetatie van Nederland”. Van iedere opname worden ook gemiddelde indicatiewaarden



berekend waarbij in navolging van Käfer en Witte (2004) geen rekening wordt gehouden met de bedekking van de soorten. In een diagram worden vervolgens de geclasificeerde opnamen uitgezet tegen de indicatiewaarden. Ter illustratie toont figuur 6A een driedimensionaal diagram van vier van de 46 vegetatietypen. De assen zijn de rekenkundig gemiddelde indicatiewaarden volgens het ecotopensysteem (Runhaar *et al.*, 2004). De positie van ieder opname is in de figuur weergegeven als een bolletje; opnamen van een zelfde associatie hebben dezelfde kleur gekregen. Op de puntenwolk van iedere associatie wordt ten slotte een dichtheidsfunctie los gelaten. Dat gebeurt met een techniek (Gaussian Mixture Density Modelling) die dichtheden fit op waarnemingspunten via een stapeling van verschillende Gauss-krommen (Figueiredo & Jain, 2002). Figuur 6B toont enkele dichtheidsvlakken van dergelijke functies voor de waarnemingen uit figuur 6A. Met behulp van de dichtheidsfuncties worden vervolgens de (Bayesiaanse) kansen op het voorkomen van 46 associaties voorspeld bij een gegeven combinatie van indicatie-

waarden (afkomstig uit stap 2 van de voorspelling). De berekening doet een uitspraak over de *voorwaardelijke kans op voorkomen*: de kans bij van te voren aan het modelgebied opgelegde vegetatietypen.

De meeste ecologische voorspellingsmethoden gebruiken responscurves van individuele plantensoorten die zijn berekend via bijvoorbeeld logistische regressie of een splines-techniek. Voordelen van onze nieuwe methode zijn: (1) hij voldoet aan het tweede Kolmogorov axioma, wat betekent dat de som van alle kansen altijd 100% is (logistische regressie op soorten voldoet niet aan dit axioma: de som kan nul zijn of veel meer dan 100%, en hoe moeten dergelijke uitkomsten worden geïnterpreteerd?), (2) de uitkomsten zijn geldig voor vegetatietypen, die in kaartvlakken kunnen worden weergegeven en getoetst aan een vegetatiekaart, (3) de methode is tamelijk ongevoelig voor de selectieve manier waarop vegetatieopnamen zijn gemaakt (Witte *et al.*, 2004). De methode heeft bovendien als gunstige eigenschap dat hij niet gebonden is aan het associatieniveau dat nu voor PROBE is gebruikt:

Figuur 6 (A) 3D-plot van vegetatieopnamen (bollen) in relatie tot hun gemiddelde indicatiewaarden (iv). Kleuren corresponderen met verschillende associaties: donker blauw = riet-associatie, licht blauw = knopbies-associatie, groen = associatie van struikhei en stekelbrem, rood = associatie van zandhaver en helm. (B) voor iedere associatie is een dichtheidsfunctie gefit door de waarnemingspunten uit A. Deze functies worden in PROBE gebruikt om voor een combinatie van indicatiewaarden, de kansen op het voorkomen van vegetatietypen te voorspellen.

Figure 6 (A) 3D scatter plot of observed vegetation relevés (balls) plotted in relation to their average indicator values (iv) for four associations. Colours correspond to different associations: dark blue = 08BB04 Typho-Phragmitetum, light blue = 09BA04 Junco baltici-Schoenetum nigricantis, green = 20AA01 Genisto anglica-Callunetum, red = 23AB01 Elymo-Ammophiletum. (B) For each association, a density function is fitted through the corresponding cloud of observations of A. The functions are applied in PROBE to compute the occurrence probabilities of vegetation types at known indicator values.

Tabel 1 Kruisvalidatie met percentage gridcellen volgens de vegetatiekaart (rijen) tegen percentage gridcellen geclassificeerd op grond van de hoogste kans van voorkomen volgens PROBE (kolommen). Alleen typen die zowel op de vegetatiekaart, als in PROBE voorkomen. Voor vegetatiecodes zie Schaminée *et al.* (1995; 1996; 1998) en Stortelder *et al.* (1999).

Table 1 Cross-validation showing the percentage of grid cells according to the vegetation map (rows) against the percentage of grid cells classified on the basis of the highest occurrence probability according to PROBE (columns). Only vegetation types that occur both on the vegetation map and in PROBE are shown. For the vegetation codes see Schaminée *et al.* (1995; 1996; 1998) and Stortelder *et al.* (1999).

Kaart	PROBE																			
	08RG03	09BA04	14AA02	14BB02	14CA01	14CB01	14RG09	14RG10	18RG01	20AA01	23RG01	37AC01	37AC02	37AC03	37RG02	37RG03	37RG04	41DG03	42AA02	43AA03
08RG03	93	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
09BA04	0	98	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14AA02	0	0	96	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14BB02	0	0	1	91	0	0	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14CA01	0	0	0	0	96	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14CB01	0	0	1	7	0	2	0	91	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14RG09	0	0	1	1	0	0	0	97	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14RG10	0	14	8	19	0	0	3	56	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18RG01	0	0	0	2	0	0	0	3	95	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20AA01	0	0	0	3	0	0	0	2	0	95	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23RG01	0	0	0	0	33	0	0	0	0	0	67	0	0	0	0	0	0	0	0	0
37AC01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	83	0	0	3	12	2	0	0	0
37AC02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	1	4	91	0	0	0
37AC03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	88	2	2	2	0	0	0
37RG02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	94	2	2	0	0	0
37RG03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	1	1	94	0	0	0
37RG04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	95	2	0	0	0
41DG03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99	0	1
42AA02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	79	19	3
43AA03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	93

het is eenvoudig om kansfuncties af te leiden voor verbonden of plantengemeenschappen volgens de typologie van Staatsbosbeheer, natuurdoeltypen, ecologische groepen, enzovoorts.

Toetsing aan de vegetatiekaart

PROBE is getoetst aan de vegetatiekaart van de AWD (Van

Til & Mourik, 1999). Dit laat vooral zien of het model goed is afgeregeld, maar is geen toetsing in strikte zin.

Deze toetsing kent bij voorbaat een aantal moeilijkheden: (1) bij vegetatiekartering worden harde grenzen getrokken om kaartvlakken af te scheiden, maar in werkelijkheid kent de natuur geleidelijke overgangen, (2) het kleinste kaartvlak op de vegetatiekaart meet 500 m² terwijl PROBE in deze



studie een resolutie heeft van 100 m², (3) de vegetatiekaart toont per kaartvlak één vegetatietype, terwijl PROBE per kaartvlak kansen op meerdere vegetatietypen genereert, (4) op de vegetatiekaart staan lokale typen die voor de toetsing moeten worden omgezet in typen volgens “De vegetatie van Nederland”, (5) voor PROBE zijn meer vegetatietypen onderscheiden dan er op de vegetatiekaart staan.

Voor de toetsing zijn kruistabellen gemaakt met het vegetatietype volgens de vegetatiekaart (rijen) tegen het vegetatietype volgens PROBE (kolommen), en per tabel-element het aantal gridcellen dat bij de combinatie van vegetatiekaart en PROBE voorkomt (tabel 1). Hieruit blijkt dat, ondanks alle beperkingen, PROBE de vegetatiekaart goed nabootst. Foute voorspellingen blijken bij nadere beschouwing bijna altijd verklaarbaar en acceptabel te zijn. Bestudering van concrete kaartvlakken laat bovendien zien dat een zogenaamd foute voorspelling met PROBE de werkelijke situatie vaak beter beschrijft dan de gegeneraliseerde vegetatiekaart. De hogere resolutie en het spectrum aan mogelijke vegetatietypen dat met PROBE wordt berekend, geeft dan een beter beeld van de vegetatie dan het enkele vegetatietype in het relatief grote vlak op de vegetatiekaart (op p. 78-81 in Witte *et al.*, 2006, wordt hiervan een treffend voorbeeld gegeven).

Vooral rompgemeenschappen veroorzaken echter fouten: associaties worden door PROBE verwisseld met hun rompgemeenschappen (en andersom), en rompgemeenschappen worden onderling verwisseld. Of een vegetatie zich tot rompgemeenschap ontwikkelt hangt vooral af van andere standplaatsfactoren dan die waar PROBE mee rekent; in de AWD speelt met name begrazing door konijnen hierbij een grote rol.

Toetsing aan vernattingsmaatregel

In een echte toets wordt de vegetatie voor geheel nieuwe gebiedsomstandigheden voorspeld. Pas als die voorspel-

ling overeenkomt met de waargenomen nieuwe vegetatie, kan men concluderen dat het model goed presteert.

In de AWD bestaat in principe de mogelijkheid voor zo’n harde toets. In 1995 zijn er namelijk twee vernattingsmaatregelen uitgevoerd: het dempen van het Van Limburg Stirum Kanaal én het opzetten van het peil van het Oosterkanaal met 50 cm. Deze toets kent een aantal problemen. Allereerst ijlt het systeem na: het heeft tot ongeveer het jaar 2000 geduurd voordat het grondwater een nieuw evenwicht bereikte, en het zal nog vele jaren duren voordat de vegetatie daarop weer is ingesteld. En een minstens zo grote beperking is dat een recente vegetatiekaart ontbreekt, zodat de resultaten alleen door kenners van het terrein visueel en kwalitatief kunnen worden beoordeeld.

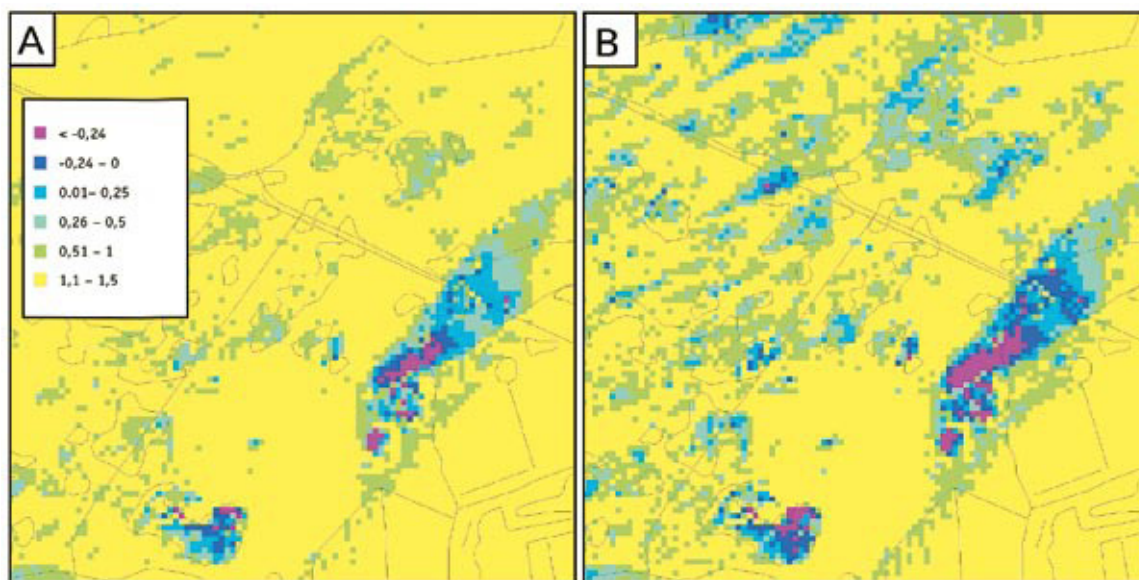
Voor de toets werd PROBE gevoed met de door een hydrologisch model (Kamps & Olsthoorn, 2001) berekende grondwaterstanden na vernatting. Voor vijf associaties van natte duinvalleien werden verspreidingskaarten gemaakt op basis van de voorspellingen. Drie ecologen met een gedegen kennis van het gebied beoordeelden deze kaarten. Hun conclusie was dat PROBE het herstel van natte duinvalleien iets te positief had geschat. Bij nader onderzoek bleek dat voor de voorspelling was uitgegaan van meteorologische gegevens uit een periode (1998-2004) met een aantal zeer natte jaren. Het was daarom niet verwonderlijk dat PROBE een te positief effect berekende. Het model toonde het resultaat van zowel de vernattingsmaatregelen als een structurele vernatting van het weer.

Simulaties

Om de werking van PROBE te illustreren tonen we hier enkele vegetatiekaarten die zijn gemaakt voor een milieueffectrapportage ten behoeve van het optimaliseren van natuur en waterwinning in de AWD (De Haan *et al.*, 2006). In het zogenaamde voorkeursalternatief worden verschil-

Figuur 7 Berekende GVG (cm -m.v.) in: (A) de huidige situatie, (B) na het uitvoeren van vernattingmaatregelen. Locatie: zie figuur 1.

Figure 7 Computed mean spring groundwater level GVG (cm -s.s.) in: (A) the current situation, (B) the situation after re-wetting. Location: see figure 1.



Figuur 8 Berekende verspreiding van plantengemeenschappen van natte duinvalleien in: (A) de huidige situatie, (B) na vernatting én aanvullend beheer (maaïen en plaggen) op voedselrijke bodems. Locatie: zie figuur 1.

Figure 8 Computed distribution of plant communities characteristic of wet dune valleys in: (A) the current situation, (B) the situation after re-wetting and supplementary vegetation management (mowing and sod-cutting) on nutrient-rich soils. Location: see figure 1.

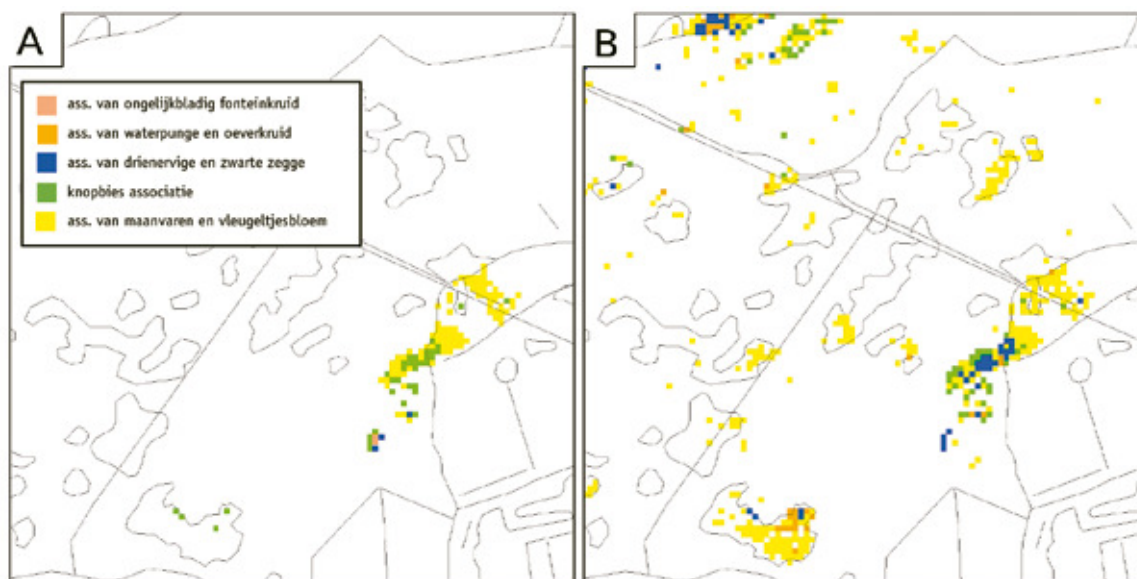




Foto **Bernard Oosterbaan**
Kalkrijke duinvegetatie
met grote tijm, geel wals-
to en wilde liguster.

lende maatregelen genomen om de grondwaterstand in het gebied te verhogen, zoals het verhogen van peilen in enkele kanaalpanden. Figuur 7A toont de GVG in de referentiesituatie, de situatie zonder ingrepen, en figuur 7B geeft de berekende GVG in het voorkeursalternatief.

Met PROBE is het verspreidingspatroon berekend van vijf vegetatietypen die kenmerkend zijn voor natte duinvalleien. In figuur 8A zijn deze vijf typen samengevat in één kaart voor de referentiesituatie; per gridcel is telkens één type ingekleurd (die met de hoogste kans). Figuur 8B geeft de samengestelde vegetatiekaart na uitvoering van het voorkeursalternatief, aangevuld met maaien en plaggen op voedselrijke locaties. Volgens de berekeningen nemen de voor basenrijke duinvalleien kenmerkende vegetaties beperkt toe door de vernatting. Mede op basis van deze simulaties worden momenteel maatregelen in de AWD uitgevoerd ter bevordering van de vegetatie van natte duinvalleien.

Toekomst

PROBE heeft een generieke en flexibele modelopzet en kan daardoor eenvoudig worden toegesneden op een

bepaald natuurgebied en aangepast aan nieuwe kennis. Het model is niet gebonden aan een bepaalde vegetatietypologie. Door het gebruik van simpele functies voor bodemprocessen kan PROBE snel en integraal de effecten van verschillende maatregelen tegelijk doorrekenen. Ten slotte heeft PROBE als gunstige eigenschappen dat het rekening houdt met onzekerheid in de invoergegevens en het uitkomsten berekent in termen van kansen op voorkomen van vegetatietypen. Hiermee sluit het aan bij de eis van Europese regelgeving (Habitatrichtlijn en Kaderrichtlijn Water) om significante ecologische effecten van geplande ingrepen aan te geven.

PROBE is onlangs uitgezet op de computers van de duinwaterbedrijven, waarbij ook andere duingebieden dan de AWD worden gemodelleerd. Op basis van ervaringen van de gebruikers zullen op korte termijn vast technische en inhoudelijke tekortkomingen aan het licht komen die moeten worden opgelost.

Dit jaar gaan we het model geschikt maken voor andere delen van Nederland. De grootste moeilijkheid daarbij is het accuraat voorspellen van veranderingen in de standplaats met eenvoudige en dus snelle functies voor

Foto **Luc Geelen**
Vallei, geplagd op basis
van de modelsimulaties
met PROBE



bodemprocessen. Voor het prototype hebben we alleen procesfuncties hoeven af te leiden voor duinbodems waaraan veel onderzoek is gedaan. Als we echter andere delen van Nederland willen modelleren, hebben we ook procesfuncties nodig voor een veelheid aan andere bodemtypen. Mogelijk dat rekenintensieve mechanistische bodemhydrologische en bodemchemisch modellen zoals SWAP en SMART gebruikt kunnen worden om eenmalig zulke eenvoudige procesfuncties voor een aantal functionele bodemeenheden te berekenen.

Dit jaar gaan we ook de mogelijkheid onderzoeken of *remote sensing* beelden in combinatie met andere ruimtelijke gegevens, zoals een digitale hoogtekartaart, te gebruiken zijn voor het vlakdekkend afleiden van indicatiewaarden. Ons model wordt dan niet meer afhankelijk van een vegetatiekaart voor de vaststelling van de uitgangssituatie. Het afleiden van indicatiewaarden uit *remote sensing* beelden lijkt misschien een brug te ver, maar recent onderzoek van Schmidtlein (2005) laat zien dat dit misschien mogelijk is.

Ten slotte willen we op termijn PROBE uitbreiden met modules voor de successie van bodem en vegetatie en willen we de relaties in het model 'climate-proof' maken. Om dit te kunnen doen werken we samen met onderzoekers van de groep Systeemecologie van de Vrije Universiteit en de sectie Waterhuishouding aan de universiteit van Wageningen. We zijn benieuwd hoever we met PROBE komen. Hierbij nodigen we geïnteresseerden uit om hun opvattingen over onze benadering met ons te delen.

Dank

Het onderzoek werd gefinancierd door Duinwaterbedrijf Zuid-Holland, PWN Waterleidingbedrijf Noord-Holland, Waternet (voorheen Waterleidingbedrijf Amsterdam), het college van opdrachtgevers van Kiwa WR en Delft Cluster. Leo van Breukelen en Mark van Til (beiden Waternet), Harrie van der Hagen (DZH) en Hubert Kivit en Rienk Slings (beiden PWN) begeleidden het onderzoek en leverden de benodigde gegevens aan.

Summary

PROBE: a model for vegetation targets

Flip Witte, Martin de Haan & Michiel Hootsmans

Dunes, model, nature management, re-wetting, vegetation

The PROBE model is able to predict a spatial picture of vegetation types as a result of water and vegetation management. Predictions are carried out in three steps. In the first step the initial site conditions are established. In the second step, simple process-based relationships are used to compute how changes in e.g. water management affect soil factors that are important to plant life. In the third step it is statistically computed how these

soil factors, in their turn, influence the species composition of the vegetation. To this end a Gaussian mixture density modelling technique is used to estimate the Bayesian occurrence probabilities of vegetation types. The model was validated on known vegetation patterns in a dune area that was ecologically restored by raising groundwater levels.

PROBE has a strong integrative character, attuning results and new questions from scientific disciplines such as hydrology, soil chemistry, mathematics and vegetation science. Thus, the model serves as a framework for a number of PhD-students who will try to incorporate succession and effects of climate change.

Literatuur

Figueiredo, A.T. & A.K. Jain, 2002. Unsupervised Learning of Finite Mixture Models. *IEEE Transactions of pattern analysis and machine intelligence* 24: 381-396.

Haan, M.W.A. de, A. Doomen, C. Schellingen & M. Stark, 2006. Optimalisatie natuur en waterwinning in de Amsterdamse Waterleidingduinen. Milieueffectrapport 'Korte termijn'. Deelrapport 'Natuur en Landschap'. Nieuwegein, Kiwa Water Research.

Käfer, J. & J.P.M. Witte, 2004. Cover-weighted averaging of indicator values in vegetation analyses. *Journal of Vegetation Science* 15: 647-652.

Kamps, P.T.W.J. & T.N. Olsthoorn, 2001. Verdroging en vernatting van de AWD. *Landschap* 18/3: 147-160.

Kemmers, R.H., 1990. De stikstof- en fosforhuishouding van mesotrofe standplaatsen in relatie tot mogelijkheden van aanvoer van gebiedsvreemd water. In: B. Beltman, A.M. Kooijman, W. Koerselman & A.F.M. Meuleman (red.). Workshop Interne eutrofiëring. The Utrecht Plant Ecology News Report 10:7-22.

Koerselman, W. & A.F.M. Meuleman, 1995. Ecohydrologische Effectvoorspelling Duinen. Werkdocument 'Trofie'. Nieuwegein. Kiwa.

Koerselman, W., M.W.A. de Haan & A.F.M. Meuleman, 1999. Ecohydrologische Effectvoorspelling Duinen; Standplaatsmodellering in NICHE® duinen. Nieuwegein. Kiwa.

Runhaar, J., J.P.M. Witte & P. Verburg, 1997. Ground-water level, moisture supply, and vegetation in the Netherlands. *Wetlands* 17: 528-538.

Runhaar, J., W. van Landuyt, C.L.G. Groen, E.J. Weeda & F. Verloove, 2004. Herziening van de indeling in ecologische soortengroepen voor Nederland en Vlaanderen. *Gorteria* 30: 12-26.

Schaminée, J.H.J., A.H.F. Stortelder & V. Westhoff, 1995. De vegetatie van Nederland. Deel 2. Upsala. Opulus press.

Schaminée, J.H.J., A.H.F. Stortelder & E.J. Weeda, 1996. De vegetatie van Nederland. Deel 3. Upsala. Opulus press.

Schaminée, J.H.J., E.J. Weeda & V. Westhoff, 1998. De vegetatie van Nederland. Deel 4. Upsala. Opulus press.

Schmidtlein, S., 2005. Imaging spectroscopy as a tool for mapping Ellenberg indicator values. *Journal of Applied ecology* 42: 966-974.

Stortelder, A.H.F., J.H.J. Schaminée & P.W.F.M. Hommel, 1999. De vegetatie van Nederland. Deel 5. Upsala. Opulus press.

Til, M. van & J. Mourik, 1999. Hieroglyfen van het zand: vegetatie en landschap van de Amsterdamse waterleidingduinen. Amsterdam, Gemeentewaterleidingen Amsterdam.

Wamelink, G.W.W., P.W. Goedhart, H.F. van Dobben & F. Berendse, 2005. Plant species as predictors of soil pH: Replacing expert judgement with measurements. *Journal of Vegetation Science* 16: 461-470.

Witte, J.P.M., J.A.M. Meuleman & B. Raterman, 2004. Eco-hydrology and Bio-diversity. In: R.A. Feddes, J. van Dam & G. de Rooij (eds), *Unsaturated Zone Modelling: Progress, Challenges and Applications*. Dordrecht. Kluwer.

Witte, J.P.M., M. de Haan, B. Raterman & C.S.A. Aggenbach, 2006. PROBE — Versie 1: effecten van grondwaterbeheer, atmosferische depositie, maaien en plaggen. Nieuwegein. Kiwa Water Research.

Witte, J.P.M., R. Wójcik, P.J.J.F. Torfs, M.W.H. de Haan & S. Hennekens, 2007. Bayesian classification of vegetation types with Gaussian mixture density fitting to indicator values. *Journal of Vegetation Science* 18(3): 605-612.