Vitaliteit van natuurbodems in Noord-Brabant

KWR 2018.105 | 9 november 2018

Auteurs

Prof. dr. ir. J.P.M. Witte (KWR)

Dr. ir. G. van den Eertwegh (KnowH2O)

Ir. P. Hoefsloot (HSS)

Dr. M. van Huijgevoort (KWR)

Opdrachtgever

Provincie Noord-Brabant

Projectmanager

E. Dorland

Kwaliteitsborger

Dr. E. Dorland (KWR)

Opdrachtnummer

401903

Meer informatie

Prof. dr. ir. J.P.M. Witte

T 06-15239215

E flip.witte@kwrwater.nl

Samenvatting

Op basis van de bodemkaart en de uitkomsten van een hydrologisch model is de vitaliteit van natuurbodem in de provincie Noord-Brabant in kaart gebracht (resolutie 25 m). De methode beoordeelt in hoeverre de vitaliteit is aangetast door de milieuthema's verdroging, vermesting en verzuring. Volgens de resultaten is het met de bodemvitaliteit niet goed gesteld: 7% van de natuurbodems (inclusief bossen met een productiedoelstelling) valt in de vitaliteitsklasse 'goed', 32% in de klasse 'matig' en 61% in de klasse 'slecht'. Deze bevindingen stemmen overeen met de conclusies van het Compendium voor de Leefomgeving en met recent OBN-onderzoek. Bovendien hebben we laten zien, zij het gebrekkig, dat de aantasting van de vitaliteit niet alleen via de atmosfeer komt en door verdroging, maar ook door aanvoer van meststoffen via het grondwater.

Inhoud

1 Inleiding 2

2 Bodemvitaliteit op basis van Verdroging 4

3 Bodemvitaliteit op basis van het Bufferend vermogen 7

4 Bodemvitaliteit op basis van Kwelwater 13

5 Discussie 17

Referenties 18

1 Inleiding

1.1 Aanleiding studie

De provincie Noord-Brabant wil de bodemvitaliteit van haar grondgebied in kaart brengen. Daartoe heeft ze november 2017 een opdracht verstrekt aan een consortium bestaande uit KnowH2O, Hoefsloot Spatial Solutions (HSS), KWR Watercycle Research Institute (KWR), het Nutriënten Management Instituut (NMI), Wageningen Environmental Research (WENR) en Eurofins. KWR zou zich volgens deze opdracht vooral bezig gaan houden met het in kaart brengen van de vitaliteit van natuurbodems. In deze notitie presenten we de methoden die daarvoor zijn gebruikt en de resultaten die die methoden opleverden.

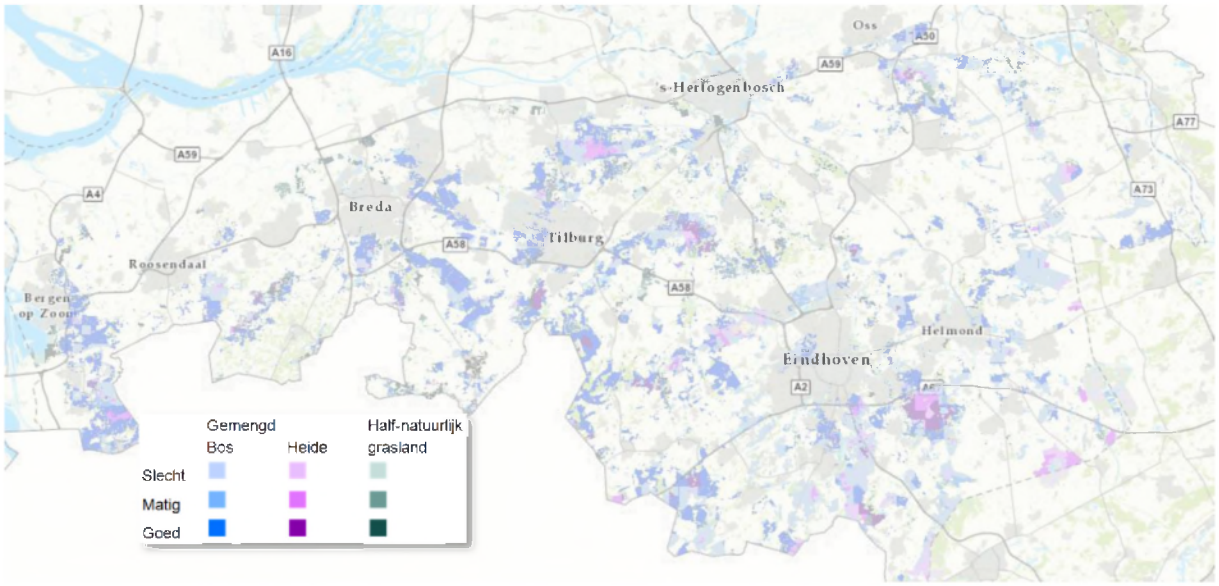
1.2 Definitie vitaliteit natuurbodems

Vitaliteit betekent zowel 'levenskrachtig' als 'van levensbelang'. In deze studie gebruiken we beide betekenissen. Een vitale natuurbodem bestaat uit bodem, water, lucht en bijbehorend bodemleven en organisch stof dat in een dynamisch evenwicht de daarbij kenmerkende biodiversiteit heeft. Die kan variëren van weinig (stuifzandduin) tot veel (vochtig oerbos). Een vitale natuurbodem is een bodem met de juiste vochtvoorziening, mineralenhuishouding, en bodembiodiversiteit. Wat 'juist' is hangt af van de functies die de bodem moet vervullen, en dus van het landgebruik. Een arme droge zandgrond in een natuurgebied waar het beheertype N07.01 *Droge heide* is beoogd, is gebaat bij een zure bodem die weinig vocht en voedingsstoffen ter beschikking heeft voor de vegetatie. Die bodem is dus volgens het normale spraakgebruik niet echt levenskrachtig, maar wel van levensbelang voor het beheertype. Vitaliteit is dus altijd in relatie tot een functie: de arme droge zandgrond is van levensbelang voor het beheertype N07.01 *Droge heide*; een voedselrijke en goed ontwaterde bodem is van levensbelang voor de agrarische productie. Door menselijke handelingen raken vitale natuurbodems uit het dynamische evenwicht, waarna de samenstelling van het bodemleven en de fysische en chemische kenmerken van de bodem veranderen.

1.3 Vitaliteit natuurbodems volgens het NMI

Enkele jaren geleden heeft het NMI al een poging gewaagd de vitaliteit van natuurbodems in kaart te brengen (Hanegraaf *et al.*, 2013). De bodemvitaliteit werd daarbij beoordeeld aan de hand van het relatieve aantal soorten, aangetroffen in vegetatieopnamen. De auteurs onderscheidden binnen de natuur drie ecosysteemtypen: Gemengd bos op zand, Heide op zand en Half-natuurlijk grasland op zand. Van ieder van deze typen werd het aantal waargenomen plantensoorten bepaald (gemiddeld was dat respectievelijk 23, 28 en 39). Vervolgens werden op basis van het soortenaantal de opnamen toebedeeld aan drie kwalificatieklassen (laag, gemiddeld, hoog) van gelijke omvang (33%). Ten slotte werden deze 'metingen' ruimtelijke geëxtrapoleerd (Figuur 1). De auteurs beamen dat het voor de natuur moeilijk was om de bodemvitaliteit in kaart te brengen en dat de indeling in drie gelijke kwaliteitsklassen tamelijk arbitrair was. Hier kunnen we het volgende aan toevoegen:

- De methode is ongevoelig voor de atmosferische belasting en leidt er altijd toe dat 33% van de vegetatieopnamen in de categorie 'laag' terecht komt, 33% in 'gemiddeld' en 33% in 'hoog'.
- De locatie van de vegetatieopnamen is zelden 'random' gekozen en in de praktijk sterk afhankelijk van de voorkeur en het doel van de vegetatiekundige die de opname maakt; het is aannemelijk dat daardoor regionaal artificiële verschillen in de uitkomsten ontstaan.
- Het (relatieve) aantal soorten wordt niet alleen bepaald door de bodemvitaliteit, maar ook door het uitgevoerde vegetatiebeheer, de voorgeschiedenis, en door toeval.



Figuur 1. Bodemvitaliteit van natuurgebieden volgens het NMI (Hanegraaf *et al.*, 2013). Bron: https://kaartbank.brabant.nl.

1.4 Aanpak in deze studie

Anders dan bij de beoordeling van landbouwbodems, ontbrak het bij aanvang van de studie aan een geschikte beoordelingsmethode voor natuurbodems. Die hebben we daarom zelf moeten ontwikkelen. Bovendien hebben we geen gebruik kunnen maken van bodemmonsters in natuurgebieden, om de simpele reden dat die er nauwelijks zijn; we hebben de beoordeling daarom moeten baseren op bestaand kaartmateriaal (opgeslagen in GIS), hoe belangrijk allerlei bodemeigenschappen (zoals de samenstelling van het bodemleven), ook mogen zijn. Verder is de studie beperkt tot landbodems; onderwaterbodems vallen buiten de opdracht.

Tussentijdse methoden en resultaten hebben wij gepresenteerd en bediscussieerd in vier workshops (dd. 26 maart, 29 mei, 25 juni en 3 september 2018) met belanghebbenden zoals Natuurmonumenten, Brabants Landschap, Staatsbosbeheer, ZLTO, waterschap Aa & Maas en drinkwaterbedrijf Brabant Water. Bovendien hebben we meerdere overleggen over de aanpak gehad met de opdrachtgever. Naar aanleiding van alle binnengekomen commentaar is de werkwijze ontstaan die in deze notitie wordt beschreven.

In de uiteindelijke werkwijze is de vitaliteit van natuurbodems op een pragmatische wijze in kaart gebracht op grond van de volgende twee eigenschappen:

1. De 'verdrogingstoestand' van de bodem. Dit gaat om een complex van factoren (Runhaar *et al.*, 1996): niet alleen om de hoeveelheid bodemvocht, en de variaties daarin, maar ook om alle bodemfactoren die door de hoeveelheid bodemvocht worden beïnvloed, zoals de zuurstofvoorziening, de voedselrijkdom en de zuurgraad van de bodem. Ook de kwaliteit van kwelwater of van oppervlaktewater speelt een rol in de beoordeling van de verdrogingstoestand, in zoverre dat water in staat is de wortelzone te bereiken.
2. Het vermogen van de bodem atmosferische depositie met verzurende stoffen (NO_x, SO_x) te bufferen.

Deze twee eigenschappen hebben te maken met enkele milieuproblemen die verantwoordelijk zijn voor de teloorgang van de natuur: verdroging, vermesting en verzuring. De vitaliteit van natuurbodems wordt bepaald door de mate waarin ze gevrijwaard zijn gebleven van deze problemen, dan wel de mate waarin ze in staat waren die het hoofd te bieden.

Een bodem kan meerdere functies vervullen en die hoeven niet per se op dezelfde plek te liggen. Een bodem in een inzijggebied kan grondwater genereren dat uiteindelijk toestroomt naar een natuurgebied. Eén van de vitale functies van zo'n bodem is dan het in standhouden van kwelafhankelijk natuur. Daarom onderzochten we ook:

3. Het vermogen van de bodem om schoon grondwater te leveren aan kwelafhankelijke natuur.

Bij het in kaart brengen van de bodemvitaliteit op basis van deze drie eigenschappen zijn wij uitgegaan van de huidige grondwaterstanden en kwelfluxen, en van de huidige landgebruiksfuncties. We hebben dus bijvoorbeeld niet de vitaliteit voor de functie natuur bepaald van bodems die nu een landbouwbestemming hebben.

De kaarten van bodemvitaliteit hebben wij geprobeerd te maken in een uniforme resolutie van 25 m en de vitaliteit, conform de afspraken met de opdrachtgever, weer te geven in drie klassen: slecht, matig, goed.

2 Bodemvitaliteit op basis van Verdroging

2.1 Afleiding kaart

De vochtconditie van de natuurbodem is van invloed op de vegetatiesamenstelling; direct vanwege de vocht- en zuurstofvoorziening voor de plant, en indirect, via de effecten van bodemvocht en kwelwater op standplaatsfactoren als de voedselrijkdom en de zuurgraad. Om goed inzicht te krijgen in de vochtconditie van natuurbodems dienen per natuurgebied analyses te worden uitgevoerd op basis van o.a. peilbuiswaarnemingen, vegetatieopnamen en vegetatiekarteringen (Runhaar *et al.*, 2010). Omdat zo'n uitgebreide analyse buiten het bestek van deze opdracht valt, is gebruik gemaakt van een provinciale kaart waarin op basis van de expertise van de terreinbeheerders de mate van verdrogingsherstel is aangegeven (Runhaar *et al.*, 2017). Een gebied wordt als 'hersteld' beschouwd wanneer vegetatietypen voorkomen die indicatief zijn voor natte en vochtige natuurbeheertypen. Daarbij is als referentie de door de provincie opgestelde natuurambitiekaart aangehouden. Figuur 2 toont het resultaat, waarbij het areaal 'hersteld gebied' procentueel is aangeduid. Op aanwijzing van de provincie is de waardering voor twee gebieden (Groote Peel en De Hilver), waar recent vernattingsmaatregelen zijn uitgevoerd, geactualiseerd. Om deze kaart te kunnen vergelijken met andere kaarten van natuurbodems, is het aantal klassen van 'hersteld areaal' teruggebracht tot vier: 0-10%, 10-50%, 50-90% en 90-100%.

Om deze kaart te kunnen vergelijken met andere vitaliteitskaarten, is hij eerst gerasterd naar 25 m en vervolgens teruggebracht tot drie klassen: slecht tot matig (0-50% herstel), matig (50-90% herstel) en goed (90-100% herstel). Het resultaat is opgenomen in Figuur 3.

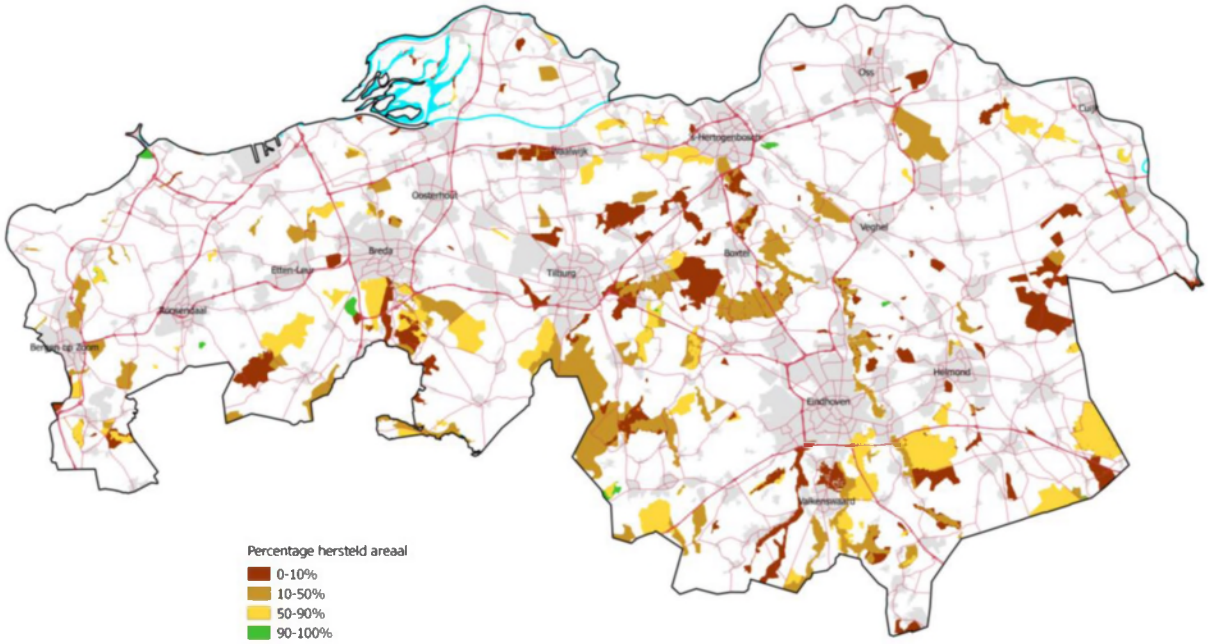
2.2 Toelichting op de kaartbeelden

Figuur 2 en Figuur 3 is alleen gebaseerd op natuurgebieden met natuurbeheertypen die gevoelig zijn voor verdroging; dit zijn de grondwaterafhankelijke en regenwaterafhankelijke natuurtypen. Als referentie voor verdroging wordt meestal 1950 aangehouden. De verdroging van Noord-Brabant is echter veel langer aan de gang (Figuur 4), maar een deel daarvan is inmiddels geaccepteerd. Daarmee is rekening gehouden in het oordeel van de terreinbeheerders.

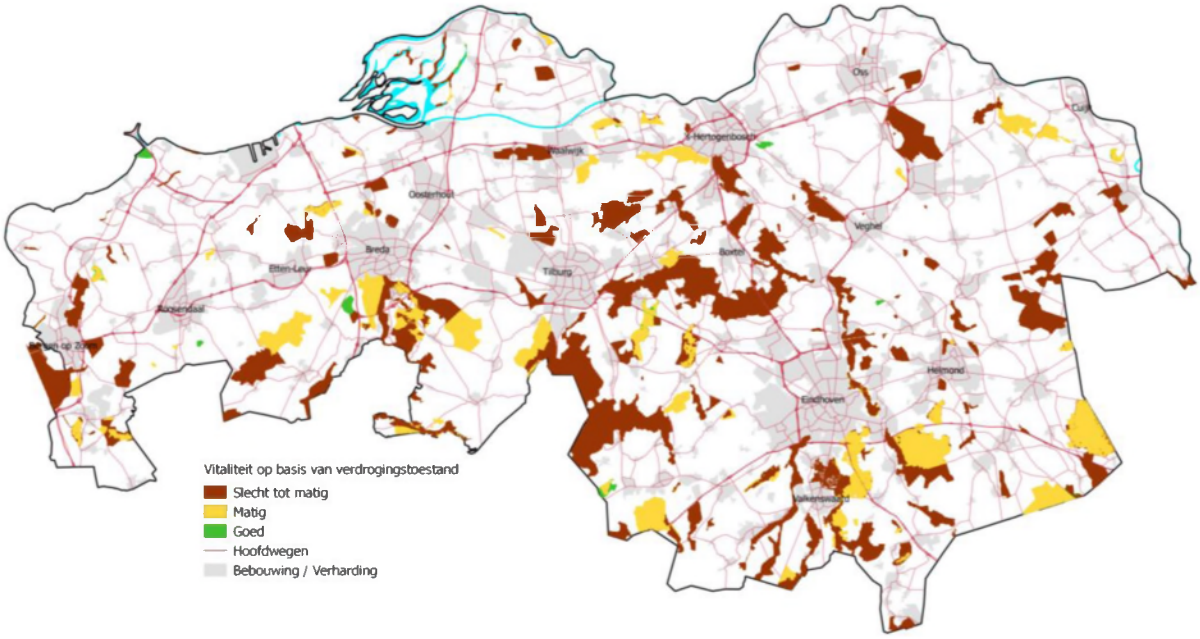
In de afgelopen decennia is het areaal met een 'ecologisch herstel van meer dan 50%' gestegen van 0 naar circa 30 %. Een 'ecologisch herstel' op meer dan 90% van het areaal blijkt in de praktijk moeilijk realiseerbaar. Hiervoor bestaan meerdere oorzaken:

- Het vertraagd reageren van de vegetatie op hydrologische herstelmaatregelen;
- De doorwerking van vermesting en verzuring;

- In de praktijk wordt vanuit landgebruiksfuncties met gewenste grond- en oppervlakte regimes gewerkt, terwijl voor ecologisch herstel realisatie van een optimaal grond- en oppervlaktewater regime vereist is (dit is veelal een hoger niveau dan het gewenste regime).
- Herstelmaatregelen zijn geconcentreerd in de kernen van natuurgebieden (veelal natte natuurparels). Dit leidt ertoe dat het ecologisch herstel in de randen niet of onvoldoende wordt bereikt.

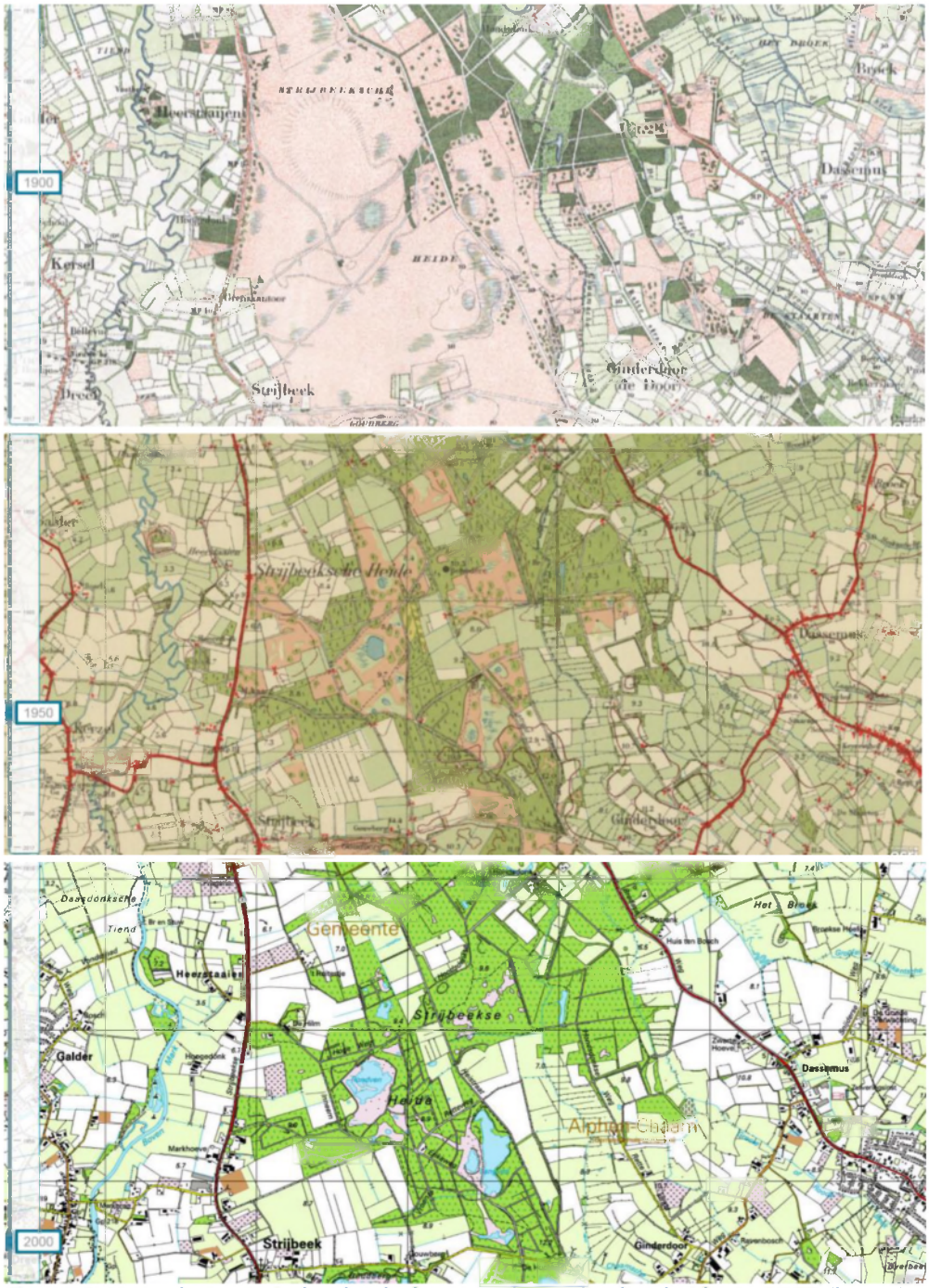


Figuur 2. Mate van herstel van verdroogde natuurgebieden volgens de Toestandsrapportage Verdroging Noord-Brabant 2017, geactualiseerd september 2018.



Figuur 3. Vitaliteit bodem binnen natuurgebieden op basis van de mate van verdroging, uitgaande van de natuurbeheertypen op de provinciale ambitiekaart.

In relatief veel natuurgebieden is het percentage aan hersteld areaal (nog) laag, omdat in deze gebieden nog geen of weinig herstelmaatregelen zijn uitgevoerd. Er zijn ook gebieden waar wel (alle) maatregelen zijn uitgevoerd, maar waar dit nog niet tot hydrologisch herstel heeft kunnen leiden. Bijvoorbeeld omdat aan inliggende agrarische percelen ontwateringsvereisten zijn verbonden en de functieverandering in het Natuurnetwerk Brabant nog niet is gerealiseerd.

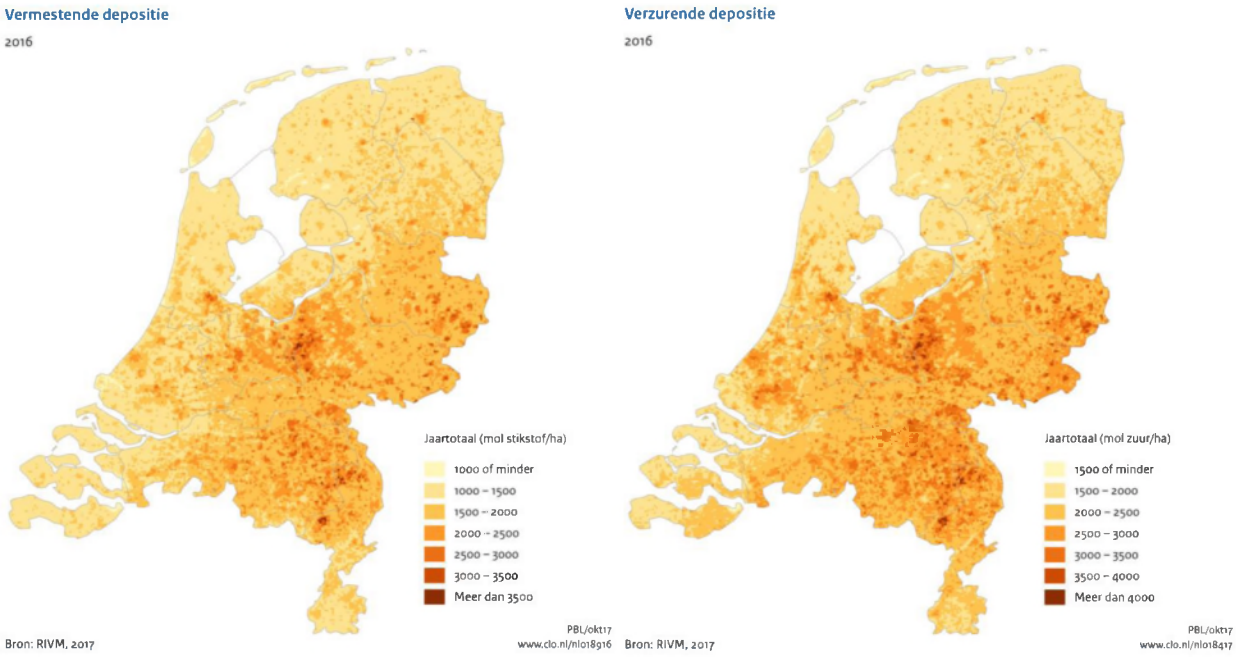


Figuur 4. Veranderingen in het landschap van de Strijbeekse heide. In 1900 (boven) is er sprake van een groot heideterrein, omgeven door kleine landbouwpercelen; in 1950 (midden) zijn enkele percelen samengevoegd en is een groot deel van de heide ontwaterd, bebost (op rabatten) en omgezet in landbouwgrond; in 2000 (onder) is vooral de vergroting van percelen doorgezet en is de Boven Mark 'genormaliseerd'. Bron: https://www.topotijdreis.nl.

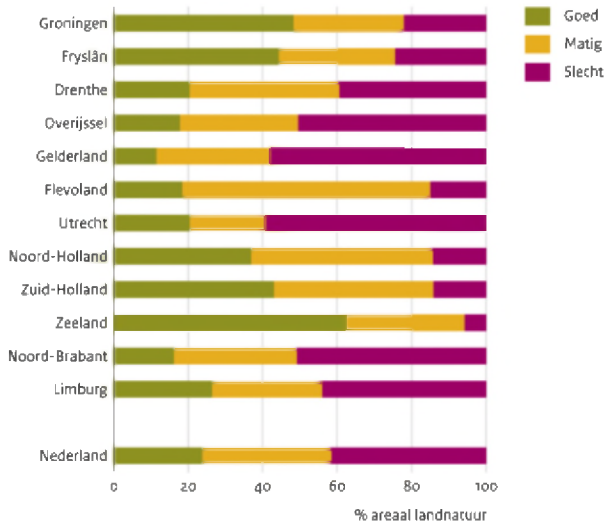
3 Bodemvitaliteit op basis van het Bufferend vermogen

3.1 Inleiding

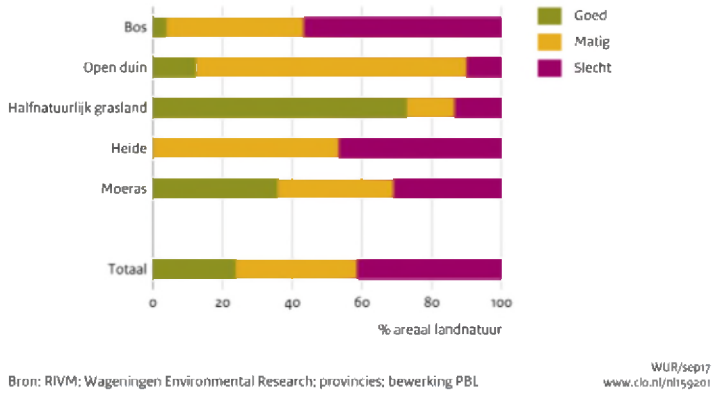
Verzuring ontstaat als gevolg van verontreiniging van de lucht met zwaveldioxide, ammoniak en stikstofoxiden. Deze gassen reageren met elkaar en worden omgezet in onder andere salpeterzuur en zwavelzuur, die kunnen leiden tot verzuring van de bodem en vervolgens aantasting van planten. Landbouw, verkeer en de industrie zijn de belangrijkste bronnen van verzurende stoffen. In het Compendium voor de Leefomgeving is de vermestende en verzurende depositie (2016) vanuit de atmosfeer in kaart gebracht (Figuur 5). Daaruit blijkt dat het oosten van de provincie Noord-Brabant zwaarder is belast dan het westen. Dat heeft vooral te maken met de hoge ammoniakuitstoot (NH_3) uit de intensieve veehouderij, die met name in het oosten aanwezig is. In het stedelijk gebied is er verhoging als gevolg van lokale verkeersemissies van stikstofoxiden (NO_x). Volgens het Compendium wordt in de Brabantse natuur vrijwel overal de kritische stikstofdepositiewaarde (KDW's; Van Dobben *et al.* (2012)) overschreden. Samen met Gelderland en Limburg behoort Brabant tot de drie zwaarst belaste provincies (Figuur 6). Met name in meer stikstofgevoelige ecosysteemtypen als bos, open duin en heide zijn de condities door stikstofdepositie over vrijwel het gehele areaal in Nederland matig of slecht, aldus het Compendium (Figuur 7). Dit zijn ecosysteemtypen van droge zandbodems. Siepel *et al.* (2017) concluderen over het droge zandlandschap van Nederland: "De verzuring van het droog zandlandschap door stikstofdepositie van de afgelopen 70 jaar is equivalent aan wat van nature zou plaatsvinden gedurende 11000 jaar. Behalve verzurend was deze depositie ook bemestend in een stikstof gelimiteerd ecosysteem".



Figuur 5. Atmosferische belasting in 2016 met vermestende en verzurende depositie in Nederland.



Figuur 6. De beoordeling van de milieucondities voor landnatuur in de provincies op basis van de atmosferische stikstofdepositie.



Figuur 7. De beoordeling van de milieucondities voor landnatuur in Nederland op basis van de atmosferische stikstofdepositie.

3.2 Methode

De mate waarin natuurbodems in staat zijn atmosferische depositie met verzurende stoffen en voedingstoffen voldoende op te vangen, hangt af van de voedselrijkdom, vochttoestand en zuurgraad van de bodem. Voedselrijke bodems zijn het minst kwetsbaar, omdat de vegetatie productief is en niet zo gevoelig voor extra aanvoer van nutriënten, en omdat de bodems meestal verzurende stoffen goed kunnen bufferen. Droge en voedselarme systemen, daarentegen, zijn extra kwetsbaar omdat het zuurbufferend vermogen van de bodem gering is en de schrale vegetatie zeer gevoelig is voor aanvoer van stikstof vanuit de lucht (Berendse, 2017; Bobbink *et al.*, 2017; Siepel *et al.*, 2017). Zuurbuffering kan optreden door het moedermateriaal waaruit de bodem bestaat en/of door de aanvoer van basen via het kwelwater. Natte bodems zijn doorgaans minder kwetsbaar dan droge, omdat in natte bodems de atmosferische depositie van stikstof via denitrificatie grotendeels onschadelijk wordt gemaakt.

Om de kwetsbaarheid voor atmosferische depositie in kaart te brengen, moeten we dus een beeld krijgen van de vochttoestand, de voedselrijkdom, en de zuurgraad van de bodem. Daartoe maakten we gebruik van de Waterwijzer Natuur (WWN) (Witte *et al.*, 2018). De WWN is een model dat wordt gevoed met hydrologische gegevens: de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG), gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG), gemiddelde voorjaars grondwaterstand (GVG), gemiddelde grondwaterstand (GG)

en de kwelflux naar het topsysteem. Voor GHG, GLG en GVG gebruikten we de uitkomsten in een resolutie van 25 m van de GD-kartering die in de provincie is uitgevoerd (Finke *et al.*, 2002a, b, c; Finke *et al.*, 2004; Hoogland *et al.*, 2004). De GG berekenden we als gemiddelde van GHG en GLG. Van waterschap De Dommel, echter, gebruikten we de GXG-waarden uit een regionale versie van het Brabant Model, omdat deze voor dit beheersgebied goed is afgeregeld. De kwelflux naar het topsysteem ontleenden we aan het Brabant Model (Verhagen *et al.*, 2014). Deze waarden werden lineair geschaald van 250 naar 25 m.

De WWN berekent de voedselrijkdom en zuurgraad via kennisregels (De Haan *et al.*, 2010) op basis van de 1:50.000 bodemkaart en de hiervoor genoemde hydrologische invoer. Bij het berekenen van de voedselrijkdom van de bodem wordt in de WWN bovendien rekening gehouden met het gevoerde vegetatiebeheer, dat wordt afgeleid van LGN6 (Hazeu *et al.*, 2010). Zo wordt bij hooilanden aangenomen dat de bodem door de afvoer van nutriënten met het hooi wat voedselarmer is. De vochttoestand wordt in het model op een procesmatige wijze berekend uit de zuurstofstress en droogtestress in de bodem (Witte *et al.*, 2018). Ieder van deze drie standplaatsfactoren deelden we voor onze analyse in een aantal klassen in. Op grond van deze klassen bepaalden we via een beslisschema hoe kwetsbaar de natuur is voor atmosferische depositie. Daarvoor hanteerden we het schema van Tabel 1. Voedselarme droge en zure bodems zijn het kwetsbaarst; de kwetsbaarheid van zeer voedselrijke bodems is laag. Overigens komen er in de praktijk in natuurgebieden bepaalde combinaties van standplaatsklassen niet of nauwelijks voor, bijvoorbeeld 'droog en zeer voedselrijk'.

Kwetsbaarheid gecombineerd met historische atmosferische belasting geeft informatie over de vitaliteit waarmee de bodem die belasting kan opvangen. Van bijvoorbeeld een kwetsbare bodem die decennia lang via de lucht belast is met verzurende stoffen, mag gevoeglijk worden aangenomen dat er van het bufferend vermogen, en dus de vitaliteit, weinig meer over is. Omdat over heel de provincie de atmosferische belasting zeer hoog is geweest, en heden ten dage nog steeds vrijwel overal hoger dan de kritische depositiewaarden (KDW's), maakten we geen onderscheid in regionale verschillen in die belasting. Dat betekent dat we de drie kwetsbaarheidsklassen van Tabel 1 (laag, gemiddeld, hoog) direct konden omzetten in vitaliteitsklassen (resp. goed, matig, slecht). Voor de selectie van natuurgebieden gebruikten we de ambitiekaart van de provincie (www.brabant.nl/natuurbeheerplan).

Op advies van de opdrachtgever deden we de beoordeling van bossen met een productiedoelstelling (beheertypen N16.03 en N16.04 op de ambitiekaart) echter anders. Deze bossen zijn weliswaar gevoelig voor atmosferische depositie (De Vries *et al.*, 1995), zodat de opbrengst achteruit kan gaan, maar omdat de natuurfunctie minder in het geding is dan bij de overige beheertypen, volgden we hiervoor het schema van Tabel 2.

Tabel 1. Classificatie van natuurbodems in een aantal kwetsbaarheidsklassen voor atmosferische depositie op basis van de standplaatsfactoren Vochttoestand, Voedselrijkdom en Zuurgraad[1].

	voedsel-rijk	matig-rijk tot voedselarm		
		nat	vochtig	droog
Zuur	1	2	3	3
Zuur-matig zuur	1	2	3	3
Matig zuur	1	2	2	3
Matig zuur-neutraal	1	2	2	3
Zwakzuur-neutraal	1	1	2	2
Zwakzuur-basisch	1	1	2	2
Basisch	1	1	1	2

Legenda	
1	laag
2	gemiddeld
3	hoog

[1] De in deze tabel getoonde klassen voor de eerste twee klassen komen rechtstreeks van De Haan *et al.* (2010), voor de factor Vochttoestand zijn grenswaarden van de Runhaar-indicatiewaarde gehanteerd van mF = 2.6 en mF =3.2 (Witte *et al.*, 2018).

Tabel 2. Als Tabel 1, alleen nu voor de bodems van bossen met een productiedoelstelling.

	voedsel-rijk	matig-rijk tot voedselarm		
		nat	vochtig	droog
Zuur	1	2	2	2
Zuur-matig zuur	1	2	2	2
Matig zuur	1	2	2	2
Matig zuur-neutraal	1	2	2	2
Zwakzuur-neutraal	1	1	2	2
Zwakzuur-basisch	1	1	2	2
Basisch	1	1	1	2

Legenda	
1	laag
2	gemiddeld
3	hoog

3.3 Resultaten, discussie en aanpassing van de methode

De classificaties van Tabel 1 en Tabel 2 leidden uiteindelijk tot een kaart met de vitaliteit op basis van het bufferend vermogen van natuurbodems (beheertypen volgens de ambitiekaart) die is weergegeven in Figuur 8. Deze vitaliteitskaart heeft inhoudelijk raakvlakken met de landelijk erkende kritische depositiewaarden die zijn opgesteld voor habitattypen (Van Dobben *et al.*, 2012). Bij de totstandkoming van de KDW's is uitgegaan van een goed functionerende situatie onder lage N-depositie. Via metingen, modelsimulaties en deskundigenoordeel is door Van Dobben *et al.* (2012) vastgesteld wanneer voor het eerst negatieve effecten in het functioneren van het habitattype waarneembaar zijn wanneer de depositie geleidelijk wordt verhoogd. Dat kan zich uiten in een verlies aan soorten, maar ook in een toename van de nitraatuitspoeling (een teken dat de bodemchemie niet langer op orde is). Van de 75 Nederlandse habitat(sub)typen blijken er 60 gevoelig voor stikstofdepositie te zijn (KDW < 34 kg N/ha/j) en 15 minder tot niet gevoelig. In Nederland zitten veel habitattypen daarmee boven hun KDW. Dan zijn er PAS-herstelmaatregelen nodig. In de meeste gevallen betreffen die als eerste een verbetering van de waterhuishouding. Want locaties waarvan de waterhuishouding op orde is, kunnen meer N-depositie aan: ze zijn vitaler.

Door de provincie werd ons een lijst aangeleverd met de gevoeligheid van beheertypen voor atmosferische depositie op basis van de KDW's van kenmerkende habitattypen (Tabel 3). In die lijst zijn door de provincie drie klassen onderscheiden:

- Minder gevoelig: KDW > 2500 mol/ha/jr (> 35 kg N/ha/jr);
- Gevoelig: KDW 1400-2500 mol/ha/jr (19,6-35 kg N/ha/jr);
- Zeer gevoelig: KDW <1400 mol/ha jr (<19,6 kg N/ha/jr).

Deze lijst hebben we gebruikt om de gevoeligheid van beheertypen voor atmosferische depositie in kaart te brengen (Figuur 9). Omdat de WWN niet bestemd is voor oppervlaktewateren, zijn deze niet zichtbaar in de vitaliteitskaart (Figuur 8), terwijl de KDW-gevoeligheidskaart (Figuur 9) deze wel laten zien.

De overeenkomst tussen beide kaarten is goed. Zo wordt van de beheertypen die op de vitaliteitskaart (Figuur 8) zijn ingedeeld bij de klasse 'slecht', 77% volgens de gevoeligheidskaart (Figuur 9) ingedeeld bij de klasse 'zeer gevoelig' en 22% bij 'gevoelig'. Tabel 4 vat de procentuele overeenkomst tussen de klassen van beide kaarten samen.

Tabel 3. Door de provincie opgegeven gevoeligheid van beheertypen op basis van kritische depositiewaarden. Betekenis van code voor gevoeligheid, G: 1 = zeer gevoelig; 2 = gevoelig; 3 = minder / niet gevoelig; 3a = gevoelig in beekdalen, minder / niet gevoelig voor ooibossen in rivierdalen; 3b = zeer gevoelig op laagveen en zand, minder / niet gevoelig op klei.

Code	G	Code	G	Code	G	Code	G	Code	G	Code	G	Code	G	Code	G
N03.01	2	N08.04	2	N12.04	2	N17.02	2	N01.01	3	N05.01	3	N06.02	1	N10.01	1
N04.01	2	N09.01	2	N12.05	2	N17.03	2	N01.02	3	N05.02	3	N06.03	1	N11.01	1
N06.04	2	N10.02	2	N13.01	2	N17.04	2	N02.01	3	N12.06	3	N06.05	1	N14.02	1
N08.01	2	N12.01	2	N14.03	2	N17.05	2	N04.02	3	N13.02	3	N06.06	1	N15.02	1
N08.02	2	N12.02	2	N16.03	2	N17.06	2	N04.03	3	N01.04	1	N07.01	1	N01.03	3b
N08.03	2	N12.03	2	N16.04	2	N14.01	3a	N04.04	3	N06.01	1	N07.02	1		

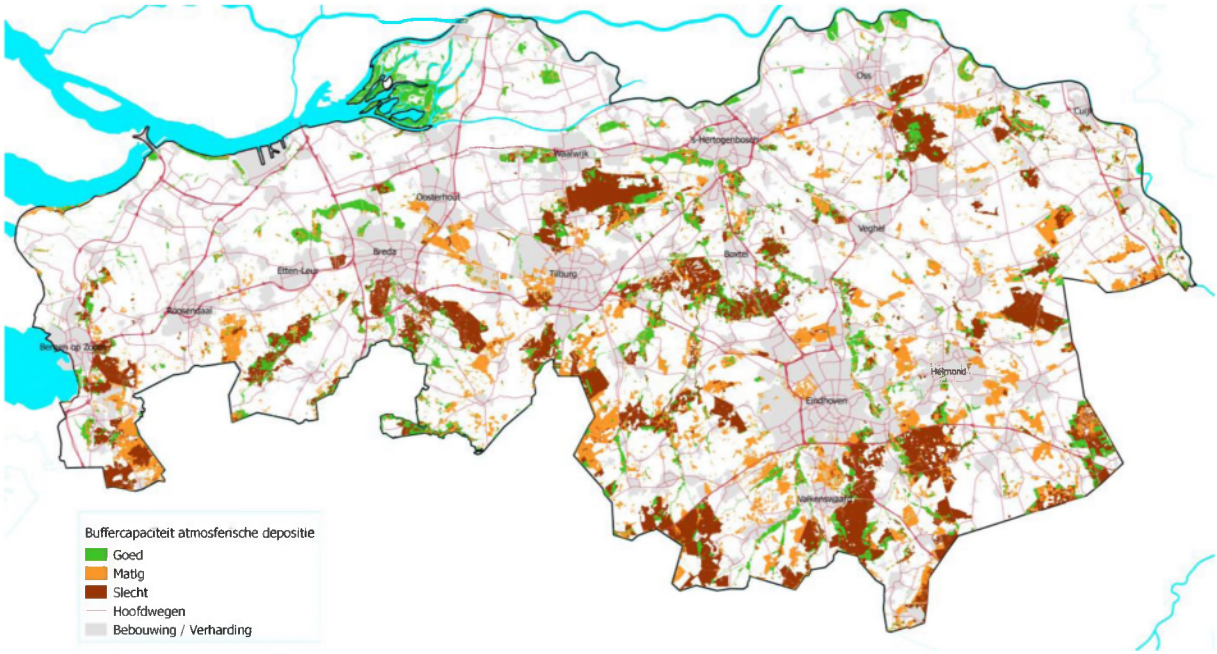
Tabel 4. Procentuele overeenkomst tussen de klassen op de bodemvitaliteitskaart (Figuur 8) en de KDW-gevoeligheidskaart (Figuur 9).

		KDW-gevoeligheid			
		minder gevoelig	gevoelig	zeer gevoelig	som
bodem-vitaliteit	goed	5	11	6	*22*
	matig	1	29	3	*33*
	slecht	1	10	35	*45*
	som	*7*	*49*	*44*	*100*

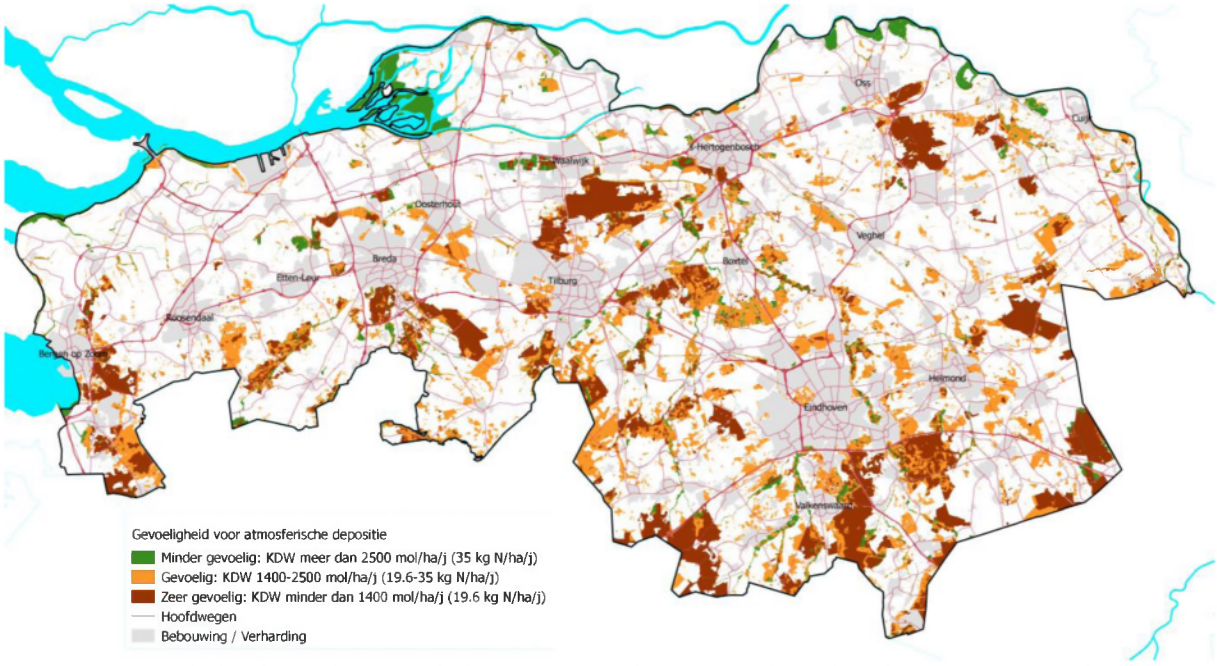
Hoe moeten we deze verschillen nu duiden? KDW's geven aan wanneer voor het eerst negatieve effecten in het functioneren van het habitattype optreden. Daarbij is, anders dan bij de vaststelling van de bodemvitaliteit, terdege rekening gehouden met verschuivingen in soortensamenstelling. KDW's geven echter geen informatie over de ernst van de effecten wanneer ze worden overschreden. Ze zijn gepubliceerd (Van Dobben *et al.*, 2012) zonder onderscheid naar bodemtype, terwijl voor het habitattype de bodemgesteldheid wel degelijk een rol speelt in de gevolgen van KDW-overschrijding. Dat op eenzelfde bodem beheertypen met uiteenlopende KDW's kunnen voorkomen, is dus logisch en acceptabel. Een deel van de verschillen is bovendien het gevolg van verschillen in resolutie: de bodemkaart vertoont waarschijnlijk meer ruimtelijk detail dan de ambitiekaart. De vraag is nu hoe we met deze twee verschillende kaarten om moeten gaan. Samengevat zijn de voor- en nadelen van beide kaarten:

- Vitaliteitskaart
  - Voordeel: Gebaseerd op bodemkaart (en GXG's), meer detail
  - Nadeel: Maakt geen onderscheid in soortensamenstelling beheertypen
- Gevoeligheidskaart
  - Voordeel: Gebaseerd op soortensamenstelling beheertypen
  - Nadeel: Houdt geen rekening met verschillen in bodemtype (en GXG's)

In ieder geval kan de vitaliteitskaart van het bufferend vermogen worden gebruikt als aanvulling op en onderbouwing van de PAS herstelstrategieën.

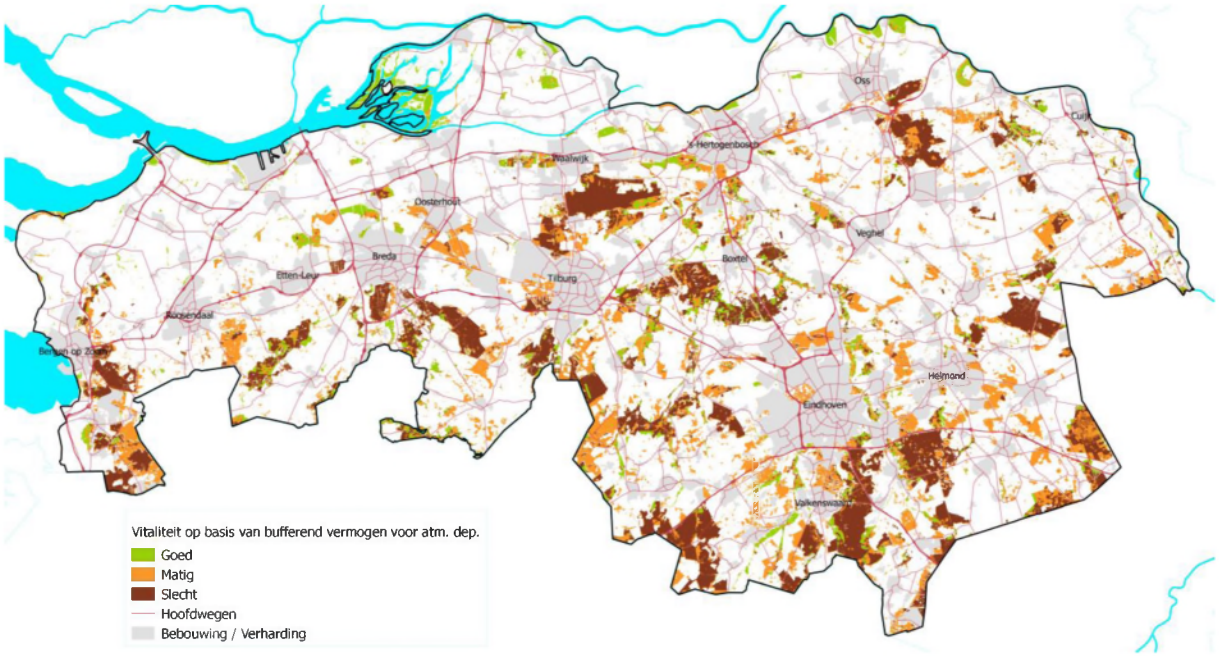


Figuur 8. De vitaliteit van de natuurbodem op basis van het bufferend vermogen voor atmosferische depositie (NO_x , SO_x), uitgaande van de natuurbeheertypen op de provinciale ambitiekaart.



Figuur 9. Gevoeligheid van de natuurbeheertypen op de provinciale ambitiekaart voor atmosferische depositie (NOx , SOx) op basis van hun kritische depositiewaarde (KDW).

Theoretisch lastig te verdedigen, is een 'goede' bodemvitaliteit bij een 'zeer gevoelig' beheertype. Van bodems met zeer gevoelige habitattypen mag immers worden verwacht dat de vitaliteit is aangetast na decennia van overmatige atmosferische depositie. Volgens Tabel 4 komt deze combinatie toch in 6% van de gridcellen voor. Zoals vermeld kan de discrepantie deels worden verklaard door het lagere ruimtelijke detail van de KDW-gevoeligheidskaart. Op advies van de provincie hebben we echter besloten in deze gevallen de vitaliteitsklasse te verlagen naar 'matig'. Het resultaat is opgenomen in Figuur 10.



Figuur 10. Definitieve kaart van de vitaliteit van de natuurbodem op basis van het vermogen de aanvoer van atmosferische depositie (NOx , SOx) te bufferen, uitgaande van de natuurbeheertypen op de provinciale ambitiekaart.

4 Bodemvitaliteit op basis van Kwelwater

4.1 Inleiding

De bodem speelt een belangrijke rol in het zuiveren van alle stoffen die via het neerslagwater en directe toediening (mest, chemicaliën) het aardoppervlak bereiken. In die zin kan een bodem op een bepaalde locatie van vitaal belang zijn voor de instandhouding van kwelafhankelijke natuurwaarden die ergens anders liggen. Dat geldt ook voor bodems in de omgeving van natuurgebieden. Buiten natuurgebieden wordt immers het grondwater gegenereerd dat uiteindelijk in die natuurgebieden terecht kan komen en waarvan de natuur afhankelijk kan zijn.

4.2 Methode

Om de vitaliteit van bodems voor kwelafhankelijke natuur in kaart te brengen, onderzochten we eerst waar die kwelafhankelijke natuur ligt. De locatie van kwelafhankelijke natuur werd afgeleid van de ambitiekaart en een lijst van kwelafhankelijke beheertypen die door de provincie was aangeleverd (Tabel 5). Verder gebruikten we de kwelgegevens uit het Brabant Model (Verhagen *et al.*, 2014), dat een resolutie heeft van 250 m. Kwelcellen van 250 m waarin ten minste één 25 m cel met een kwelafhankelijk beheertype voorkomt, selecteerden we voor de volgende stap in de analyse: de hydrologische stroombaanberekening met het Brabant Model. De uitkomsten van deze berekening verwerkten we in een kaart met een aantal klassen die aangeven hoe weerbaar (vitaal) de bodem is tegen een mogelijke aantasting van de grondwaterkwaliteit die nodig is voor de instandhouding van kwelafhankelijke natuur. Daarvoor gebruikten we het beslisschema voor van Tabel 6. In dit schema hebben we aangenomen dat alle landbouwbodems in het intrekgebied van kwelafhankelijke natuur ten gevolge van decennia lange (over)bemesting, niet vitaal meer is. In natuurgebieden wordt geen mest uitgereden, maar bossen, en dan vooral naaldbossen, vangen relatief veel droge atmosferische depositie in en bovendien verdampen ze meer dan korte natuur, waardoor indikking van opgeloste stoffen optreedt van het water dat uit de

bodem naar het grondwater percoleert. De grens van 50 jaar in Tabel 6 is gekozen in omdat deze twee tijdperken markeert: een met relatief weinig, en een met veel bemesting en atmosferische depositie.

Ter onderbouwing van dit beslisschema tonen we hier nog twee kaarten:

1. Op basis van metingen en kaarten, zoals de bodemkaart, heeft het RIVM een schatting gemaakt van de nitraatconcentratie van het water dat uitspoelt uit landbouwpercelen en natuurgebieden (Anonymous, zonder jaar). Het resultaat is een kaart in een resolutie van 500 m waarvan hier het Brabantse deel is opgenomen (Figuur 11). Kwelafhankelijke natuur komt hoofdzakelijk voor binnen het zandlandschap van de provincie. In het hierbinnen gelegen landbouwgebied zijn de nitraatconcentraties van het uitspoelwater hoog (overschrijding van de drinkwaternorm van 50 mg NO_3/l).
2. Volgens het NMI (dit project) is de landbouwbodem in het zandlandschap van de provincie overal fosfaatverzadigd (>25% verzadiging), dan wel sterk fosfaatverzadigd (>50%) (grenswaarden uit Compendium voor de Leefomgeving): zie Figuur 12.

Tabel 5. Geselecteerde kwelafhankelijke beheertypen

N00.01*	Nog om te vormen naar natuur
N01.03*	Rivier- en moeraslandschap
N01.04*	Zand- en kalklandschap
N03.01	Beek en bron
N04.01	Kranswierwater
N10.01	Nat schraalland
N10.02	Vochtig hooiland
N12.04	Zilt- en overstromingsgrasland
N14.01	Rivier- en beekbegeleidend bos
N14.03	Haagbeuken- en essenbos

*alleen indien GVG < 50 cm – m.v. en kwelflux > 0 mm/d.

Tabel 6. Beslisschema kwetsbaarheid voor aantasting kwelafhankelijke natuur.

	Landgebruik			
	kort	loof	naald	landbouw
Verblijftijd <50 jaar	1	2	2	3
Verblijftijd >= 50 jaar	1	1	2	3

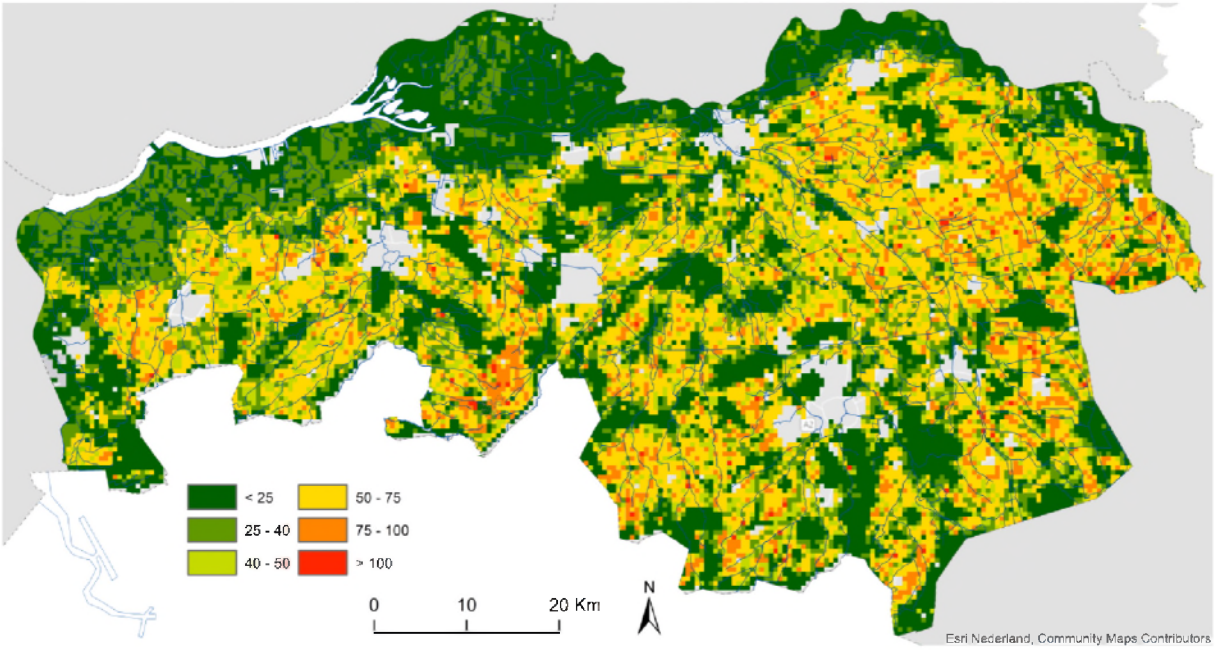
Legenda

kort =korte natuur
loof = loofbos
naald = naaldbos / rest
landbouw = landbouw

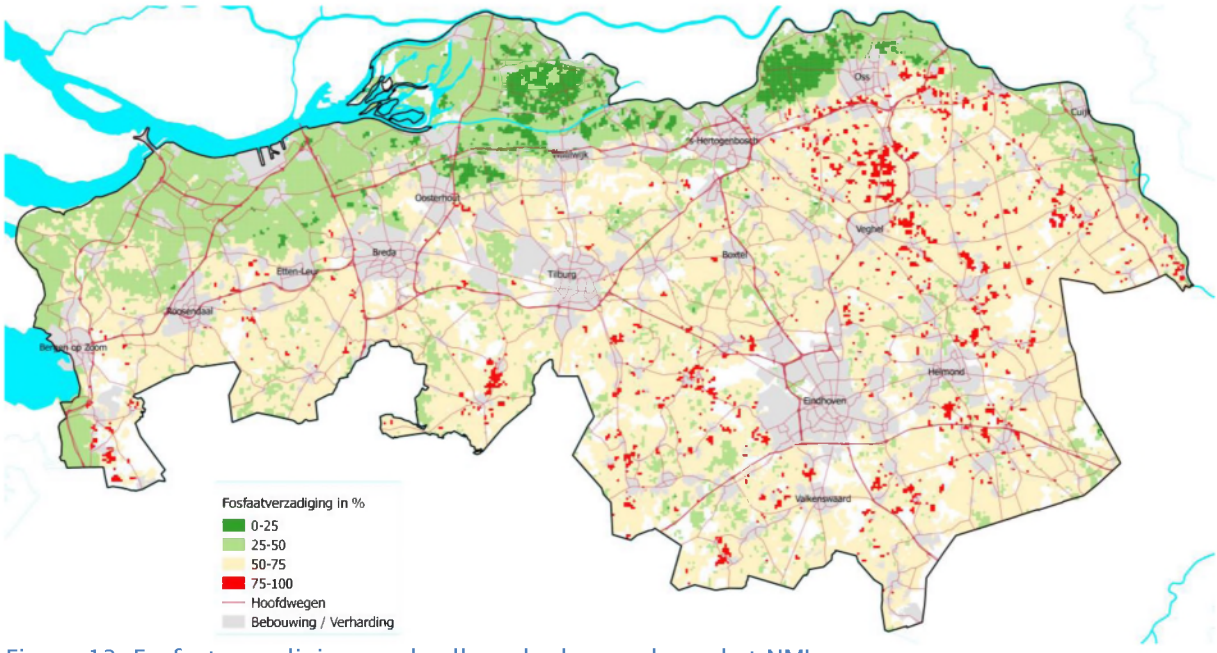
1	laag
2	groot
3	zeer groot

4.3 Resultaten

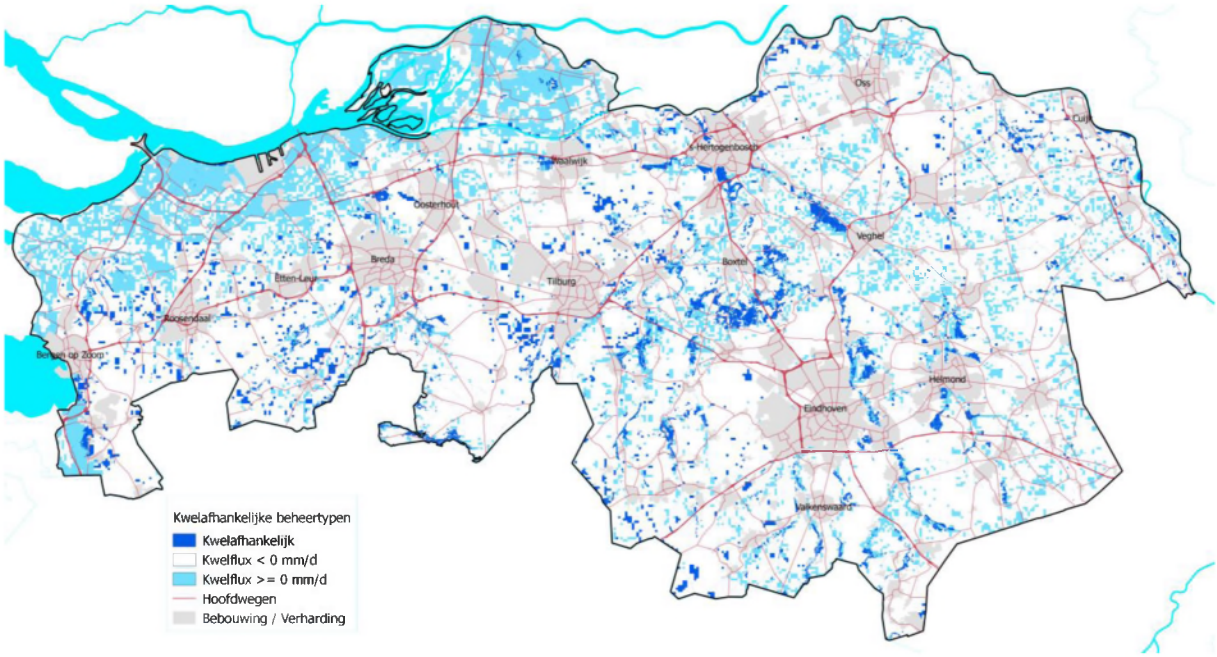
Figuur 13 toont met een donkerblauwe kleur alle kwelafhankelijke beheertypen in een resolutie van 25 m. In deze figuur zijn tevens in lichtblauw alle cellen van 250 m weergegevens waar volgens het Brabant Model (Verhagen *et al.*, 2014) sprake is van een positieve kwelflux naar het topsysteem. Voor de blauwe 250 m cellen waarin ten minste één 25 m cel met een kwelafhankelijk beheertype voorkomt (Figuur 14) is de hydrologische stroombaanberekening met het Brabant Model gedaan. Het resultaat daarvan is te zien in Figuur 15, waarbij onderscheid is gemaakt tussen grondwater dat er maximaal 50 jaar over doet om de kwelafhankelijke natuur te bereiken, en grondwater dat er langer over doet. Combinatie van deze laatste kaart met de grondgebruiksklassen uit LGN6 (Hazeu *et al.*, 2010) en de beslisregels van Tabel 6, resulteert uiteindelijk in de vitaliteitskaart (Figuur 16) die weergeeft in hoeverre de bodem (veelal buiten natuurgebieden) in staat is de invloed van mest (atmosferische depositie, dierlijke mest, kunstmest) op te vangen.



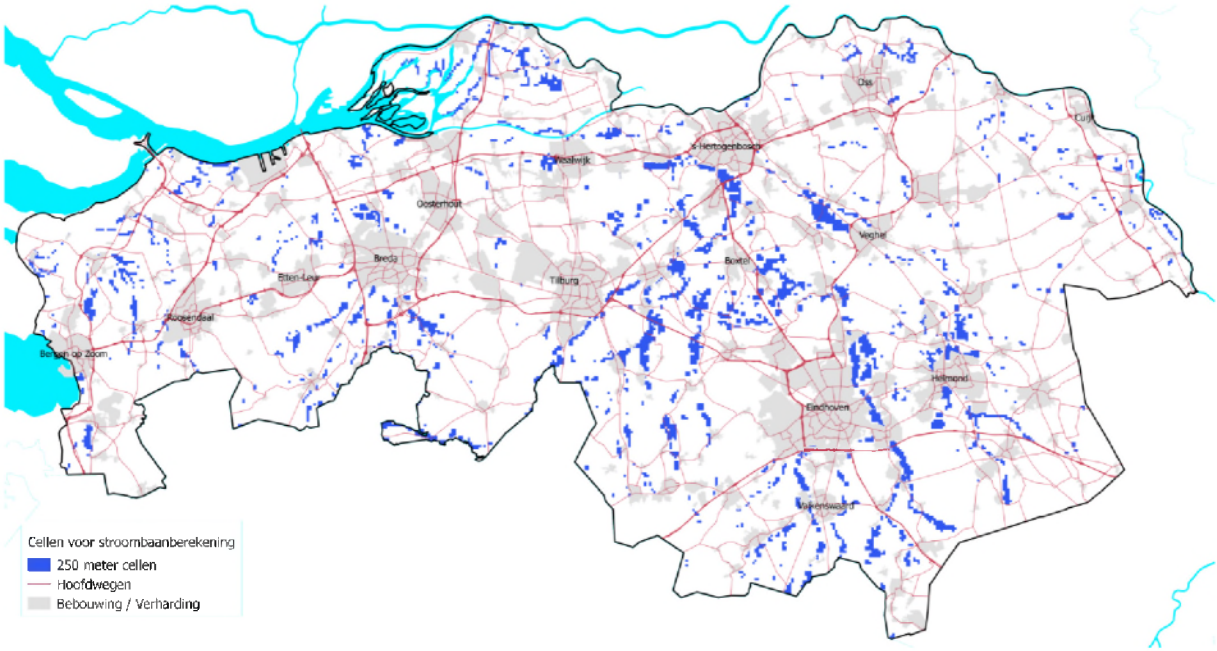
Figuur 11. Geschatte nitraatconcentratie in het water dat uitspoelde uit landbouw- en natuurgebieden in 2012-2015 (Anonymous, zonder jaar).



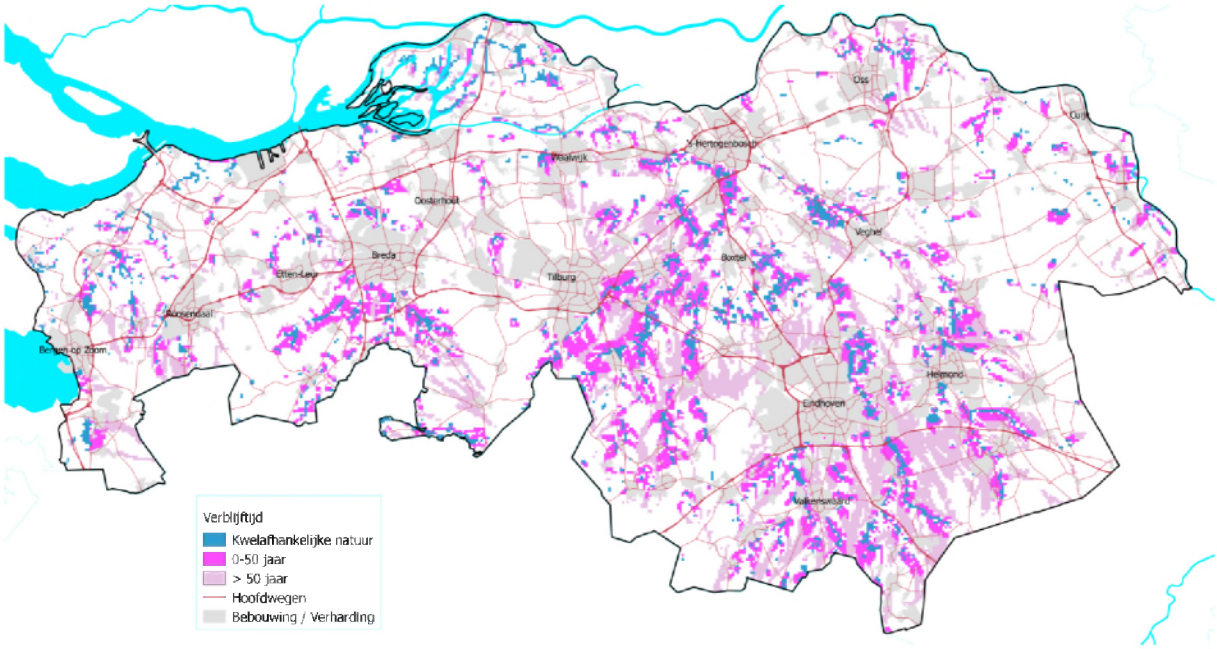
Figuur 12. Fosfaatverzadiging van landbouwbodems volgens het NMI.



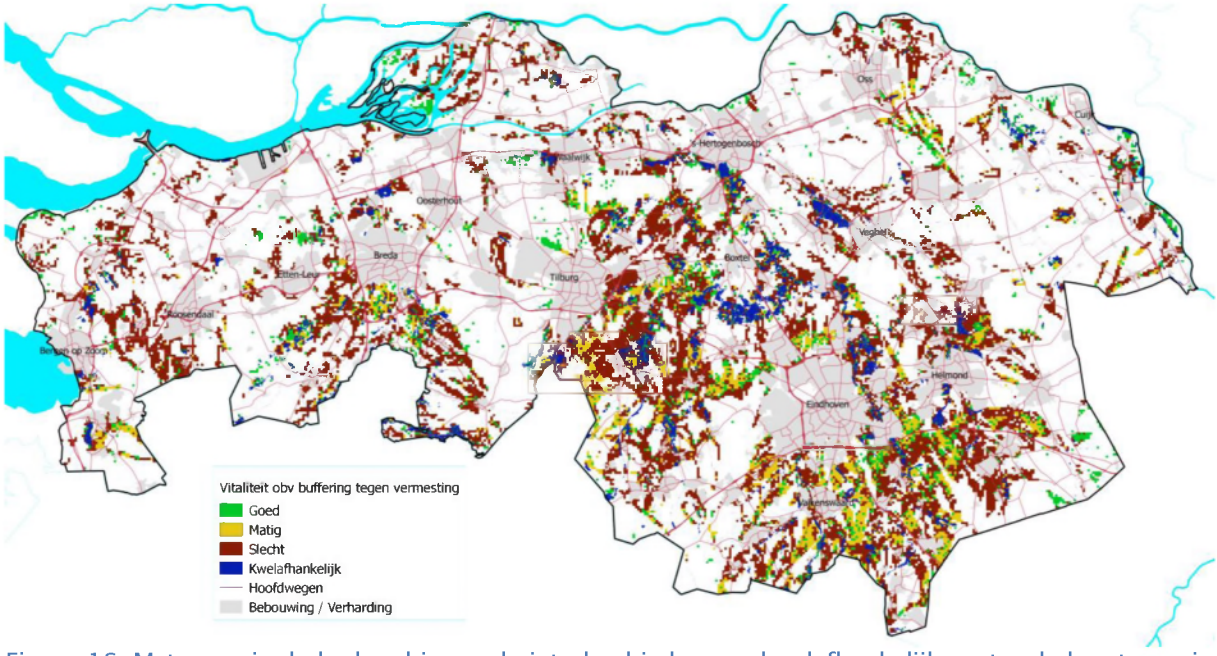
Figuur 13. Volgens Tabel 5 geselecteerde kwelafhankelijke natuurbeheertypen op de provinciale ambitiekaart (donkerblauw) en kwel naar het topsysteem (binnen en buiten natuurgebieden) van ten minste 0 mm/d volgens het Brabant Model (lichtblauw; celgrootte 250 x 250 m).



Figuur 14. Cellen van 250 x 250 m waar volgens het Brabant Model sprake is van een positieve kwelflux naar het topsysteem en waarvoor met dit model de stroombaanberekeningen voor de intrekgebieden zijn uitgevoerd.



Figuur 15. Intrekgebieden met verblijftijden van het grondwater dat afstroomt naar de kwelafhankelijke natuurbeheertypen op de provinciale ambitiekaart.



Figuur 16. Mate waarin de bodem binnen de intrekgebieden van kwelafhankelijke natuurbeheertypen in staat is meststoffen afkomstig van atmosferische depositie en bemesting te bufferen en zo vermesting van het grondwater tegen te gaan. Een belangrijk deel van de bodems met een slecht bufferend vermogen ligt in het agrarische gebied.

5 Discussie

In deze notitie hebben we een nieuwe methode gepresenteerd waarmee wij de vitaliteit van natuurbodems en bodems van bossen met een productiedoelstelling in kaart konden brengen. Nieuw, omdat een bruikbare bestaande methode om dit te kunnen doen niet bestond. Binnen de opdracht was het niet mogelijk zelf veldgegevens te verzamelen, terwijl bodemmetingen in natuurgebieden schaars

zijn. De methode maakt daarom gebruik van bestaande gegevens in GIS (de bodemkaart, landgebruikskaart LGN en de uitkomsten van een hydrologisch model). Met de methode hebben we bodems beoordeeld op basis van zowel hun verdrogingstoestand, als hun vermogen atmosferische depositie met vermestende en verzurende stoffen op te vangen.

Het oordeel over de verdrogingstoestand (Figuur 3) is gebaseerd op uitgebreide rapportages van de natuurbeherende instanties aan de provincie, met kleine aanpassingen door de provincie.

De bodemvitaliteit om atmosferische depositie op te vangen (Figuur 10) is volgens onze analyse in 6% goed, 52% matig en 43% slecht. De bodemvitaliteitskaart vertoont grote overeenkomsten met de gevoeligheidskaart op basis van kritische depositiewaarden (Figuur 9). De drie klassen in deze gevoeligheidskaart zijn zelfs precies hetzelfde: 6% minder gevoelig, 52% gevoelig, 43% zeer gevoelig. De uitkomsten zijn bovendien vergelijkbaar met het oordeel van het Compendium voor de Leefomgeving van de milieucondities voor landnatuur op basis van de atmosferische stikstofdepositie (Figuur 6): 16% goed, 35% matig en 51% slecht. De percentages van het compendium zijn eveneens gebaseerd op het overschrijden van kritische depositiewaarden van SNL-beheertypen (Van Beek *et al.*, 2014), maar wijken wegens een andere systematiek wat af.

We hebben ook onderzocht hoe vitaal bodems zijn in hun vermogen schoon grondwater te produceren ten behoeve van kwelafhankelijke natuur (Figuur 16).

Onze methode is gepresenteerd tijdens workshops en discussies met de provincie. Na verwerking van alle commentaar en suggesties, heeft dat uiteindelijk geresulteerd in de gehanteerde werkwijze. Die werkwijze stoelt op zo goed mogelijk onderbouwd deskundigenoordeel en op gegevens die behept zijn met tekortkomingen. Daardoor zijn de resultaten natuurlijk vatbaar voor commentaar. Zo maakt de methode gebruik van de 1:50000 bodemkaart, die op veel locaties wel erg verouderd is. En zo is het gebruikte grondwatermodel (het Brabant Model) voor de stroombaanberekeningen eigenlijk ruimtelijk te grof (250 m resolutie). Bovendien waarschuwde een van de deelnemers aan de workshops, een ervaren hydroloog, dat het model eigenlijk nog onvoldoende is afgeregeld.

Ondanks deze tekortkomingen hebben we er voldoende vertrouwen in dat de met onze methode geproduceerde kaarten in grote lijnen een realistisch beeld geven van hoe het met de natuurbodems in de provincie is gesteld: hun vitaliteit is overwegend matig tot slecht, vooral op de hogere zandgronden. Deze bevindingen stemmen overeen met de conclusies van het Compendium voor de Leefomgeving en met OBN-onderzoek. Bovendien hebben we laten zien, zij het gebrekkig, dat de aantasting van de vitaliteit niet alleen via de atmosfeer komt en door verdroging, maar ook door aanvoer van meststoffen via het grondwater.

Het is wenselijk de resultaten voor het beleid te abstraheren tot een niveau dat verantwoord is, gegeven de eerder genoemde tekortkomingen. Bij de presentatie voor het beleid zouden ook aanbevelingen voor het gebruik van de kaarten meegegeven moeten worden, en ruimtelijk gedifferentieerde suggesties voor maatregelen om de vitaliteit van natuurbodems te beschermen en te verhogen.

Referenties

Anonymous (zonder jaar) Nitraatkaart van Nederland (2012-2015). (ed. Rivm), Bilthoven.

Berendse, F. (2017) Grenzen natuurherstel in zicht. *Landschap*, **34**, 98-100.

Bobbink, R., Bergsma, H., den Ouden, J. & Weijters, M. (2017) Na het zuur geen zoet? *Landschap: tijdschrift voor Landschapsecologie en Milieukunde*, 60-69.

De Haan, M., Runhaar, H. & Cirkel, G. (2010) Waternood Kansrijkdommodule; Pilotstudie in Noord-Nederland en toepassing voor vervaardiging waterkansenkaarten voor natuur. p. 55. KWR, Nieuwegein.

De Vries, W., Leeters, E.E.J.M. & Hendriks, C.M.A. (1995) Effects of acid deposition on Dutch forest ecosystem. *Water, Air, and Soil Pollution*, **85**, 1063–1068.

Finke, P., Bierkens, M.F.P., Brus, D., van der Gaast, J., Hoogland, T., Knotters, M. & de Vries, F. (2002a) *Klimaatsonafhankelijke grondwaterdynamiek in waterschap Mark en Weerijs*.

Finke, P., Bierkens, M.F.P., Brus, D., van der Gaast, J., Hoogland, T., Knotters, M. & de Vries, F. (2002b) *Klimaatsonafhankelijke grondwaterdynamiek in waterschap De Dongestroom*.

Finke, P., Bierkens, M.F.P., Brus, D., van der Gaast, J., Hoogland, T., Knotters, M. & de Vries, F. (2002c) *Klimaatsonafhankelijke grondwaterdynamiek in waterschap Peel en Maasvallei*.

Finke, P.A., Brus, D.J., Bierkens, M.F.P., Hoogland, T., Knotters, M. & de Vries, F. (2004) Mapping groundwater dynamics using multiple sources of exhaustive high resolution data. *Geoderma*, **123**, 23-39.

Hanegraaf, M.C., Den Ouden, J.B., Termorshuizen, A.J., Visser, A., van Schöll, L. & Guldemond, A. (2013) Bodemvitaliteit in landbouw- en natuurgebieden in de provincie Noord-Brabant. p. 101. Nutriënten Management Instituut NMI BV, Wageningen.

Hazeu, G.W., Schuiling, C., Dorland, Oldengarm, J. & Gijsbertse, H.A. (2010) *Landelijk Grondgebruiksbestand Nederland versie 6 (LGN6) : vervaardiging, nauwkeurigheid en gebruik*.

Hoogland, T., Hoogerwerf, M.R., Kekem & J., A. (2004) *Actualisatie grondwaterdynamiek waterschap De Dommel*.

Runhaar, H., Van Doorn, A., Vermulst, H., Possen, B. & Van Kempen, M. (2017) Toestandsrapportage Verdroging Noord-Brabant 2017. Provincie Noord-Brabant, Den Bosch.

Runhaar, J., Van Gool, C. & Groen, C. (1996) Impact of hydrological changes on nature conservation areas in the Netherlands. *Biological Conservation*, **76**, 269-276.

Runhaar, j., Ertsen, D., Leunk, I. & Vonk, A.W. (2010) Evaluatie beleidsmeetnet verdroging Noord-Brabant. *H2O*, **43**, 50-53.

Siepel, H., Cliquet, A., Vreugdenhil, C. & Bijlsma, R. (2017) Wat kunnen we doen, wat moeten we laten. *Herstel van het droog zandlandschap. Landschap*, **34**, 87-93.

Van Beek, J.G., Van Rosmalen, R.F., Van Tooren, B.F. & Van der Molen, P.C. (2014) Werkwijze Monitoring en Beoordeling Natuurnetwerk en Natura 2000/PAS. BIJ12, Utrecht.

Van Dobben, H., Bobbink, R., Bal, D. & Van Hinsberg, A. (2012) Overzicht van kritische depositiewaarden voor stikstof, toegepast op habitattypen en leefgebieden van Natura 2000. p. 69. Alterra, Wageningen.

Verhagen, F., Van der Wal, B.J., Moorman, J., Westerhof, H., Peerdeman, K. & Van Sijl, J. (2014) Ontwikkeling Brabants grondwatermodel tot kennissysteem ("Development of Brabant groundwater modeling system", in Dutch) *H2O-online*,

Witte, J.P.M., Runhaar, J., Bartholomeus, R.P., Fujita, Y., Hoefsloot, P., Kros, J., Mol, J. & De Vries, W. (2018) De Waterwijzer Natuur. Instrumentarium voor kwantificeren van effecten van waterbeheer en klimaat op terrestrische natuur., p. 176. STOWA, Amersfoort.

Jaar van publicatie

2018

Meer informatie
Prof. dr. ir. J.P.M. Witte
T 06-15239215
E flip.witte@kwrwater.nl

Postbus 1072
3430 BB Nieuwegein
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511
F +31 (0)30 60 61 165
E info@kwrwater.nl
I www.kwrwater.nl

KWR 2018.105 | November 2018 © KWR

Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.