

39. Effecten van stikstofdepositie op de natuur en de rol van de kritische depositiewaarde

HAN VAN DOBBEN

Op 29 mei 2019 werd de *Programmatische Aanpak Stikstof* door de Raad van State naar de prullenbak verwezen. De systematiek van de PAS was er op gericht economische activiteiten die tot een verhoging van de stikstofuitstoot leiden mogelijk te maken, hoewel die stikstofuitstoot kan leiden tot schade aan onder de Europese Vogelrichtlijn en Habitatrichtlijn beschermde natuur. Aan de PAS lagen twee gedachten ten grondslag: de stikstofuitstoot heeft een autonoom dalende trend, die versterkt kan worden met gerichte beleidsmaatregelen; en verdere achteruitgang van onder de VHR beschermde natuur kan – ook bij hoge uitstoot – worden voorkomen met de inzet van herstelmaatregelen in het veld.

Inleiding

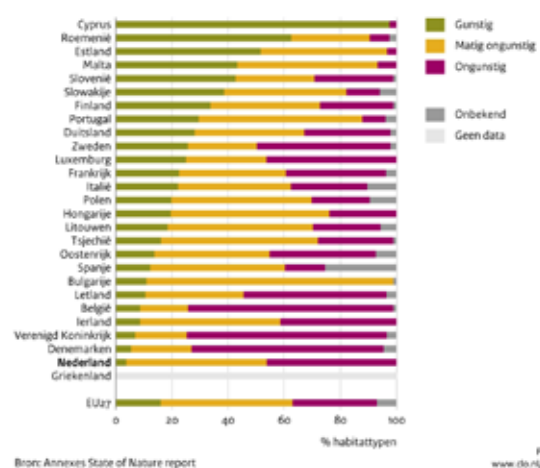
Hierbij zij opgemerkt dat weliswaar uitbreiding of kwaliteitsverbetering van de natuur een belangrijke doelstelling van de VHR is, maar dat niet is gespecificeerd hoe deze te bereiken en hier ook geen tijdslimiet aan gekoppeld is. Het voorkomen van verdere achteruitgang is echter wel een harde eis. Een belangrijke overweging voor de RvS was dat metingen hebben uitgewezen dat de verwachte daling van de stikstofdepositie sinds 2005 is uitgebleven. Uit een grootschalig meetprogramma in natuurgebieden dat sinds 2005 met behulp van vrijwilligers wordt uitgevoerd, blijkt dat de ammoniakconcentratie zelfs een licht stijgende trend heeft.

De VHR

De VHR is de Europese implementatie van de *Convention on Biological Diversity* (CBD, het ‘verdrag van Rio’ uit 1992, www.cbd.int), dat beoogt het wereldwijde verlies aan biodiversiteit te keren. Hiertoe is door de EU een lijst van soorten en een lijst van habitats (het geheel aan soorten en abiotische condities op een bepaalde plek) opgesteld die onder een beschermingsregime vallen. Voor deze soorten (in Nederland: 131) en typen (in Nederland: 52) zijn doelen gesteld, meestal een vergroting van het verspreidingsgebied en een vergroting van de populatie (voor soorten) of een verbetering van de kwaliteit (voor typen). Om het bereiken van die doelen te ondersteunen zijn Natura 2000-gebieden (in Nederland: 161) aangewezen, waar deze soorten en/of typen voorkomen en die een bijzondere (onder andere planologische) bescherming genieten.¹ Maar deze gebieden zijn slechts een middel, wat door Europa (middels een zesjarige rapportagecyclus) wordt beoordeeld is de landelijke

‘staat van instandhouding’ per soort en per type (figuur 1 *Staat van instandhouding van habitattypen in EU27, 2007-2012*). Echter, in Nederland focust de vergunningverlening wel op de gebieden, hier wordt gekeken in hoeverre een plan of project een ongunstige invloed kan hebben op enig (meestal het meest nabije) Natura 2000 gebied.

Staat van instandhouding van habitattypen in EU27, 2007 – 2012



Figuur 1. Staat van instandhouding van habitattypen in EU27, 2007-2012

De KDW

Bij de beoordeling van ecologische effecten van stikstofdepositie speelt het begrip ‘Kritische depositiewaarde’ (KDW) een cruciale rol. De KDW is die depositiewaarde waarboven de kans op schade aan de natuur onacceptabel groot wordt. Dit begrip is ontwikkeld om een concrete norm te hebben die in de vergunningverlening gebruikt kan worden om het effect van een project op de natuur te beoordelen. De KDW verschilt per natuurtype, maar wordt vrij-

¹ Natura 2000, www.synbiosys.alterra.nl/natura2000.

wel overal in Nederland voor de meeste typen overschreden. Zolang deze overschrijding bestaat moet – zonder de PAS-systematiek – ieder project dat leidt tot een verhoging van de uitstoot (en dus van de depositie) als strijdig met de VHR beschouwd worden, omdat dit in potentie zal leiden tot achteruitgang van onder de VHR beschermde natuur (behoudens de zgn. ADC-toets die hier verder buiten beschouwing blijft). Weliswaar is het overgrote deel van de depositie afkomstig uit de landbouw, maar ook verkeer, industrie en huisverwarming hebben belangrijke aandelen. Daarom heeft een stop op de verhoging van de uitstoot zijn weerslag op een groot aantal terreinen – de ‘Nederland op slot-discussie’.

In het onderstaande zal ingegaan worden op: het mechanisme achter de ongunstige effecten van stikstof op de natuur, de wijze waarop de KDW is afgeleid, de effecten van overschrijding van de KDW, de interactie tussen stikstof en andere milieufactoren, en de mogelijkheden om de effecten van stikstof te mitigeren.

Hoe komen de effecten van stikstof op de natuur tot stand?

Stikstof

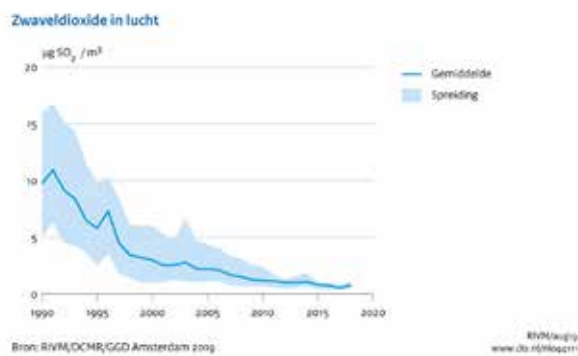
Stikstof is een onmisbaar element voor alle levende organismen; het speelt een cruciale rol in onder andere eiwitten en DNA. Nu bestaat onze atmosfeer voor circa 80% uit stikstof, maar die is voor de meeste organismen onbruikbaar omdat het ‘kraken’ van het stikstofmolecuul (N_2) zeer veel energie kost. Alleen cyanobacteriën kunnen dat, en sommige planten (waaronder een aantal belangrijke voedergewassen) leven in symbiose met zulke bacteriën en hebben hiermee een eigen bron van stikstof. Maar de meeste soorten kunnen alleen iets met ‘reactief’ stikstof, dat wil zeggen stikstof in een andere vorm dan N_2 . Van die vormen zijn er twee: ‘gereduceerd’ en ‘geoxideerd’. Het bekendste voorbeeld van gereduceerd stikstof is ammoniak (NH_3), van geoxideerd stikstof is dat salpeterzuur (HNO_3). In de bodem treden deze op als respectievelijk ammonium (NH_4^+) en nitraat (NO_3^-), en in principe kunnen beide vormen door planten worden opgenomen en verwerkt tot bijvoorbeeld eiwit. Daarom bestaat kunstmest (maar ook springstof!) vaak uit de verbinding van deze twee, ammoniumnitraat.

Menselijke activiteiten kunnen leiden tot de emissie van zowel gereduceerd als geoxideerd stikstof. De landbouw is veruit de grootste bron van gereduceerd stikstof. Urine (gier) bevat hoge concentraties aan ureum, dat buiten het lichaam snel wordt omgezet in ammonium dat vervolgens vervluchtigt tot ammoniak. Bronnen van geoxideerd stik-

stof zijn vooral verbrandingsprocessen, omdat bij hoge temperatuur een klein deel van de luchtstikstof wordt geoxideerd tot stikstofmonoxide (NO). Eenmaal in de atmosfeer wordt dit gemakkelijk verder geoxideerd tot stikstofdioxide (NO_2). Deze stoffen worden met de wind getransporteerd en komen uiteindelijk weer op de bodem. Dit proces wordt depositie genoemd en de drijvende kracht hierachter is het feit dat de bodem een *sink* is voor zowel ammoniak als stikstofdioxide, die gemakkelijk in water oplossen en dan overgaan in respectievelijk ammonium en nitraat. Hierdoor ontstaat een concentratiegradiënt met de hoogte, die resulteert in een netto neerwaartse beweging van beide stoffen. De snelheid van deze neerwaartse beweging wordt depositiesnelheid genoemd en verschilt sterk per verbinding. Ammoniak heeft een hoge depositiesnelheid, waardoor de afstand waarover deze stof wordt getransporteerd relatief kort is, maar nog altijd komt een groot deel van de uitgestoten ammoniak ver van de bron terecht. Voor ammoniak geldt dat ongeveer de helft wordt afgezet binnen een straal van 150 kilometer, voor stikstofdioxide is dit vele honderden kilometers. Momenteel is van alle reactieve stikstof die in Nederland neerkomt ongeveer twee derde gereduceerd en dus uit de landbouw afkomstig, een derde is geoxideerd en van die een derde komt ruim de helft uit het verkeer (incl. zee- en luchtvaart) en de rest grotendeels uit huishoudens.

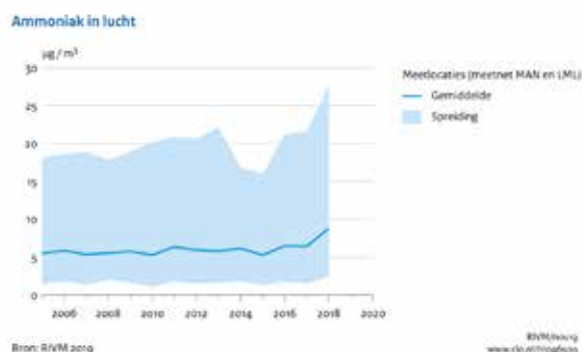
Luchtverontreiniging

Effecten van luchtverontreiniging op ecosystemen zijn geen nieuw verschijnsel. De eerste wetenschappelijke beschrijvingen dateren uit het begin van de industriële revolutie. Zo constateerde de Franse botanicus Nylander al in het midden van de 19de eeuw het vrijwel ontbreken van korstmossen in de *Jardin du Luxembourg* in het centrum van Parijs en hij schreef dit toe aan luchtverontreiniging. Dat was het begin van het onderzoek naar de relatie tussen korstmossen en luchtverontreiniging, dat tot op de dag van vandaag doorgaat. Ook het afsterven van bomen door luchtverontreiniging is al in het begin van de vorige eeuw beschreven. Wel is de aard van de luchtverontreiniging in de loop van de tijd sterk veranderd. Vanaf het begin van de industriële revolutie tot circa 1980 was zwaveldioxide (SO_2) de belangrijkste component, daarna zette een gestage daling in. De oorzaak van deze daling ligt vooral in het gebruik van schonere brandstoffen, van ontzwavelingsinstallaties bijvoorbeeld bij elektrische centrales en de instorting van de communistische economie na 1989. Momenteel is de concentratie van zwaveldioxide zo laag dat deze de natuurlijke achtergrond benadert; alleen zeeschepen zijn nog een belangrijke bron van zwaveldioxide, maar ook daar worden gaandeweg strengere eisen aan gesteld (figuur 2 *Zwaveldioxide in lucht*).



Figuur 2. Zwavel dioxide in lucht

Vanaf de jaren '70 werd de rol van reactief stikstof in de lucht steeds belangrijker en tegenwoordig vormen stikstofverbindingen veruit het grootste probleem. Geoxideerd stikstof volgt ongeveer dezelfde trend als zwavel dioxide: een stijging vanaf het begin van de industriële revolutie tot circa 1970, gevolgd door een daling, langzamer dan van zwavel dioxide maar nog steeds doorgaand. Voor gereduceerd stikstof is dit anders. Hier begon de toename veel later (rond 1950), trad een piek op rond 1990, gevolgd door een daling (met ca. 30%) tot rond 2000, waarna de concentratie vrijwel constant bleef en de laatste jaren zelfs weer lijkt op te lopen (figuur 3 *Ammoniak in lucht*).



Figuur 3. Ammoniak in lucht

Verzuring

Waren vroeger, bij veel hogere concentraties, directe (toxische) effecten van luchtverontreiniging belangrijk, tegenwoordig gaat het vooral om indirecte effecten. Dat zijn effecten die optreden door het neerslaan (depositie) van luchtverontreiniging op de bodem en opname via de wortels. De huidige mix van luchtverontreiniging heeft twee belangrijke gevolgen in de bodem: verzuring en vermisting (eutrofiëring). Zwavel dioxide leidt tot verzuring omdat het in de bodem wordt omgezet in zwavelzuur. Vroeger speelde dit proces een zeer prominente rol en bestond de angst voor grootschalig afsterven van bos (dat meestal geplant is op een bodem die toch al zuur is) door verregaande verzuring van de bodem. Dat dit uiteindelijk bleek mee te vallen komt doordat bomen resistenter bleken dan aanvankelijk verondersteld en door de sterke daling van de SO_2 -concentratie. Stikstofoxiden worden in de bodem omgezet in salpeterzuur en leiden daarom eveneens tot verzuring. Maar ook

ammoniak (van nature een base) leidt in de Nederlandse omstandigheden tot verzuring, omdat het in de bodem door bacteriën wordt omgezet in nitraat (nitrificatie) en dat is een zuurvormend proces. Lang is er een wetenschappelijke discussie gevoerd over de vraag onder welke omstandigheden in de bodem nitrificatie optreedt, maar men kan er van uitgaan dat dit in Nederland meestal wel het geval is.

Ondanks het uitblijven van grootschalig bossterven moet met nadruk gesteld worden dat verzuring nog steeds een belangrijke rol speelt. Dit is deels een erfenis uit het verleden; in de bodem treedt wel neutralisatie van zuur op, maar dit gebeurt door verwerking van mineralen, wat een langzaam proces is. En anderzijds gaat de depositie van zuur ook nu nog steeds door, via ammoniak en stikstofoxiden. En ook al bleken aangeplante bomen resistent tegen verzuring, in gevoeliger ecosystemen als graslanden en heiden leidt verzuring tot een groot verlies aan soorten. Dit komt omdat het voor planten moeilijk is te overleven onder zeer zure omstandigheden, die altijd samengaan met hoge concentraties van toxische stoffen als 'vrij' aluminium en ammonium. Er zijn maar weinig soorten die hier tegen kunnen (de heide zelf, *Calluna* (struikheide), is een goed voorbeeld daarvan en het geldt bijvoorbeeld ook voor veel naaldbomen; maar de meer bijzondere soorten van de heide zoals *Arnica* (valkruid) of *Antennaria* (rozenkransje) kunnen slecht tegen zuur en zijn daarom vrijwel verdwenen in Nederland).

Eutrofiëring

Het tweede gevolg van depositie van luchtverontreiniging, eutrofiëring, is moeilijker uit te leggen. Zoals gezegd is stikstof onmisbaar voor alle vormen van leven. Het moet door planten in anorganische vorm (gereduceerd of geoxideerd) uit de bodem worden opgenomen en in de vorm van organische verbindingen (vooral eiwit) weer aan dieren worden doorgegeven. Voor de invloed van de mens allesoverheersend werd, was onweer de enige bron van reactief stikstof; door de hoge temperatuur in een bliksem wordt een kleine hoeveelheid luchtstikstof geoxideerd. Men schat de depositie die hiervan het gevolg is op circa $1 \text{ kg N ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$, dit is minder dan 10% van de huidige landelijk gemiddelde depositie en minder dan 1% van de huidige stikstofgift op landbouwgrond. Bovendien is het zo dat stikstof die in de bodem aanwezig is in de vorm van nitraat gemakkelijk uitspoelt naar het grondwater en daarmee voor de vegetatie onbereikbaar wordt. Daarom hebben veel soorten zich in de evolutie aangepast aan stikstofarme omstandigheden, onder andere door langzaam te groeien en heel zuinig met stikstof om te gaan. Slechts weinig soorten zijn aangepast aan stikstofrijke omstandigheden, die altijd al zeer lokaal voorkwamen. Thans is de situatie precies omgekeerd, stikstofrijkdom is de regel en stikstofarme situaties komen alleen heel lokaal voor. In de concurrentiestrijd leggen daarom thans de vele, aan stikstofarme omstandigheden aangepaste soorten het af tegen de weinige aan stikstofrijkdom aangepaste soorten, omdat de laatste de vele stikstof veel efficiënter gebruiken en daarom veel sneller groeien. Daar-

mee verschuift concurrentie om voedingsstoffen (ondergronds) naar concurrentie om licht (bovengronds). Er zijn maar enkele soorten die daarin het beste zijn en die zullen de oorspronkelijk aanwezige soorten verdringen. Globaal gesproken leidt verrijking met stikstof er daardoor toe dat de algemene soorten steeds algemener worden en de zeldzame steeds zeldzamer.

Een belangrijk aspect bij het bepalen van het effect van stikstofdepositie is dat de meeste ecosystemen stikstof opslaan en hergebruiken; ook dit is een aanpassing aan stikstofarme omstandigheden. De door de vegetatie opgenomen stikstof wordt of in overjarige plantendelen opgeslagen, of komt in de vorm van strooisel terug in de bodem. Daar wordt het door micro-organismen langzaam verteerd ('gemineeraliseerd') waarbij de stikstof weer vrij komt in een voor planten opneembare vorm. Daarmee ontstaat een gesloten kringloop, waaruit verliezen slechts optreden wanneer er stikstof uitspoelt naar het grondwater en dit is doorgaans alleen het geval bij hoge depositie. De mineralisatie is meestal veel groter dan de depositie (in Nederland een factor van ca 2-5). Bij hoge depositie neemt de groei toe, en daarmee de strooiselproductie, en daarmee de hoeveelheid in de bodem opgeslagen stikstof. Bij afnemende depositie is er dus een grote voorraad stikstof in de bodem die eerst 'weggewerkt' moet worden voordat het effect zichtbaar wordt. Zonder beheer treden verliezen alleen op door uitspoeling naar het grondwater en door denitrificatie (de microbiële omzetting van nitraat in moleculair stikstof, gebeurt alleen in bodems die permanent of tijdelijk met water verzadigd zijn). Het langetermijneffect van depositie is vooral dat de totale hoeveelheid stikstof die in het systeem circuleert steeds groter wordt, waardoor er steeds meer gemakkelijk opneembaar stikstof is, waardoor de concurrentieverhoudingen veranderen.

Hoe kunnen we de effecten van stikstof op de natuur kwantificeren?

Zeer kleine hoeveelheden stikstof of zuur hebben geen waarneembaar effect. Kleine hoeveelheden zuur worden in de bodem geneutraliseerd door verwerking en kleine hoeveelheden stikstof worden in de vegetatie opgenomen zonder dat dit tot veranderingen leidt. Toen men in de jaren '80 begon met het maken van internationale afspraken om te komen tot een reductie van luchtverontreiniging (toen nog vooral SO_2) werd het noodzakelijk het ecologisch effect te kwantificeren, zodat men een *no-effect level* kan afleiden waarnaar men zou moeten streven. In 1988 introduceerden de Zweedse onderzoekers Nilsson en Grennfelt het begrip *critical load* (Nederlands: Kritische Depositie Waarde, KDW) als '*a quantitative estimate of an exposure to one or more pollutants below which significant harmful effects on specified sensitive elements of the environment do not occur according to present knowledge*'. Als toelichting wordt gezegd dat '*in this context, "significant harmful effects" may be (a) chemical changes in soils and waters which might cause direct or indirect effects on orga-*

nisms, or (b) changes in individual organisms, populations or ecosystems.'²

Deze definitie is zeer ruimhartig en in de huidige Nederlandse (en feitelijk ook Europese) praktijk wordt het begrip vooral opgehangen aan veranderingen van de soortensamenstelling van (half)natuurlijke vegetatie. Het effect van overschrijding van de KDW is daarom in de eerste plaats een verlies aan soorten. Dit verlies treedt – zoals hierboven uiteengezet – op door enerzijds het zo zuur worden van de bodem dat deze ongeschikt wordt voor veel soorten, en anderzijds groeistimulatie van snelgroeiende soorten die de oorspronkelijk aanwezige, aan stikstofarme omstandigheden aangepaste en langzaam groeiende soorten verdringen. Welke van deze twee processen het belangrijkste is, is in de praktijk niet altijd te zeggen, juist omdat zij samen optreden. Ook zijn effecten van gereduceerd en geoxideerd stikstof moeilijk te scheiden. Beide vormen kunnen door planten worden opgenomen en gebruikt voor groei, en bovendien worden de twee vormen door micro-organismen in de bodem gemakkelijk in elkaar omgezet. Daarom worden voor het kwantificeren van de effecten van stikstof in de KDW beide vormen bij elkaar opgeteld en uitgedrukt in kilogrammen zuivere stikstof per hectare per jaar (kortweg $\text{kg N ha}^{-1}\text{.j}^{-1}$) of ook wel in $\text{Mol N ha}^{-1}\text{.j}^{-1}$; voor N geldt dat $1 \text{ Mol} = 0,014 \text{ kg}$.

Kritische depositiewaarden spelen een belangrijke rol bij het bepalen van effecten van stikstofdepositie op de natuur

Vaak gaat overschrijding van de KDW – naast verlies aan soorten – ook gepaard met een toename van de groei (zichtbaar aan een hogere of dichtere vegetatie) of een versnelling van de successie (de opeenvolging van vegetatietypen; bijvoorbeeld grasland raakt begroeid met boompjes en wordt uiteindelijk bos). Verder kan overschrijding van de KDW gepaard gaan met bodemkundige veranderingen en hiervan is vooral uitspoeling van nitraat belangrijk. Nitraat kan in het grondwater tot problemen leiden (in extreme gevallen tot overschrijding van de norm voor drinkwater) en uitspoeling is een symptoom van stikstofverzadiging, dat wil zeggen de aanwezigheid van meer stikstof in het systeem dan door de vegetatie gebruikt kan worden.

Hoe wordt de KDW bepaald?

Empirische KDW = 'Empirical Critical Load'

Globaal gesproken zijn er twee manieren om de KDW te bepalen: empirisch of door simulatie. De empirische methode gaat uit van experimenten, waarbij aan een bestaande vegetatie stikstof wordt toegevoegd (bijvoorbeeld in de vorm van kunstmest of van ammoniumnitraatoplossing), waarna gekeken wordt bij welke hoeveelheid een verandering in

2 S.I. Nilsson en P. Grennfelt (eds.), 1988, 'Critical Loads for Sulphur and Nitrogen', *NORD* 1988:97, Kopenhagen: Nordic council of ministers.

de soortensamenstelling optreedt. Dit kan gebeuren in het veld of in een kas, vaak in de vorm van 'trappenproeven' waarbij aan de vegetatie oplopende, discrete hoeveelheden stikstof worden aangeboden, bijvoorbeeld 10, 20, 50 kg per hectare. Bij veldexperimenten moet natuurlijk rekening gehouden worden met de lokale depositie, die op sommige plaatsen al aanzienlijk is. Dergelijke studies zijn in Europa op veel plaatsen en met veel vegetatietypen uitgevoerd. In 2003 verscheen een compilatie van de resultaten van al deze experimenten, met de daaruit afgeleide ranges van de KDW, en een indicatie voor de betrouwbaarheid, voor een groot aantal vegetatietypen. Voor enkele vegetatietypen is hierbij ook gebruik gemaakt van 'observationele' gegevens (verkregen door vergelijking van natuurlijke voorkomens van hetzelfde vegetatietype bij hoge en lage depositie) maar in het algemeen wordt deze methode minder betrouwbaar geacht. In 2010 is in een internationale workshop gewerkt aan een herziening van bovengenoemde compilatie, die voor een aantal typen heeft geleid tot een verlaging van de KDW.³

Simulatie

Simulatie van de KDW is gebaseerd op enerzijds een bodemmodel en anderzijds op kritische limieten van elk vegetatietype voor zuur en beschikbaarheid van stikstof. Die limieten zijn meestal in het veld empirisch vastgesteld door het combineren van vegetatiegegevens met op dezelfde plaats uitgevoerde bodemanalyses. Het bodemmodel bevat kwantitatieve beschrijvingen van alle relevante bodemprocessen (verwerking, kationenuitwisseling, nitrificatie, immobilisatie, mineralisatie enz.). Het model kan daarmee de verwachte zuurgraad en stikstofbeschikbaarheid berekenen bij elk depositieniveau, gegeven het bodemtype en de hydrologische condities (de waterhuishouding: nat/droog, kwel/wegzijging, zoet/zout enz.). Door het depositieniveau in het model geleidelijk te laten toenemen, kan de KDW worden vastgesteld als dat niveau waarbij een kritische limiet voor een vegetatietype (bij de voor dit type karakteristieke bodem en hydrologie) juist wordt bereikt. Dit kan dus de limiet zijn voor zuurgraad, of voor stikstofbeschikbaarheid.

In het algemeen blijkt er een redelijk goede overeenstemming te zijn tussen de KDW's die met beide methoden zijn afgeleid. Over de empirische KDW's bestaat een brede wetenschappelijke consensus en derhalve een groot draagvlak binnen Europa. Voor normstelling is echter een nadeel dat de benadering tamelijk grof is: de KDW's zijn

altijd vastgesteld als ranges (bijv. 10 – 20 kg N ha⁻¹.j⁻¹, dit is min of meer eigen aan het gebruik van trappenproeven) en ook de vegetatietypologie is tamelijk grof (namelijk gebaseerd op de 'EUNIS-typologie' die door de EU wordt gebruikt). Simulatie op een zo grote schaal als in Nederland is in andere landen (nog) niet gebeurd; deels omdat er geen aan de lokale omstandigheden aangepaste versies van de benodigde modellen zijn, deels omdat de gegevens ontbreken. Voordeel van simulatie is dat het tot unieke waarden leidt en toepasbaar is voor elke vegetatietypologie, mits er voldoende gegevens per type zijn. In Nederland is gebruik gemaakt van de zeer gedetailleerde typologie uit het standaardwerk *De Vegetatie van Nederland*⁴.

De Nederlandse benadering: gericht op normstelling

Voor Nederland is besloten de voordelen van beide methoden te combineren. Hierbij is uitgegaan van de empirische ranges en is gekeken of de gesimuleerde KDW binnen de empirische range ligt. Als dat het geval is, is de gesimuleerde waarde als KDW genomen. Als de gesimuleerde waarde buiten de empirische range ligt, is de uiterste waarde van de empirische range genomen (bijvoorbeeld: empirische range is 15-20, simulatie is 22, KDW wordt dan 20). Dit is gedaan voor de habitattypen uit de Habitatrichtlijn (in een aantal gevallen voor de Nederlandse situatie verfijnd met subtypen). Hiertoe is de typologie van *De Vegetatie van Nederland* omgezet naar de (grovere) habitattypologie door het samennemen van typen en is een vertaaltabel gemaakt van EUNIS-typen naar (sub)habitattypen. Bij het samennemen van typen is de KDW van het samengenomen type bepaald als het gemiddelde van de typen waar het uit bestaat. Voor details (en een lijst van KDW's per habitattype) wordt verwezen naar het rapport van Van Dobben et al.⁵ Op deze wijze wordt bereikt:

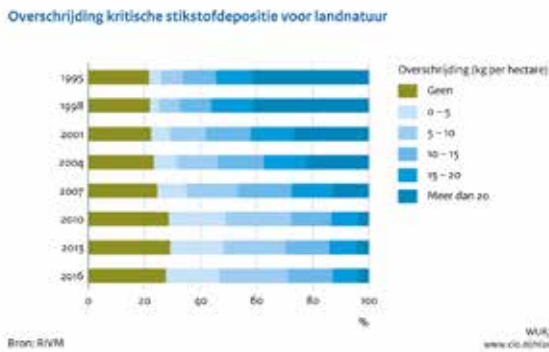
- een unieke waarde voor de KDW van elk habitattype;
- een set KDW's die kan rekenen op een breed draagvlak binnen Europa.

Overschrijding van de KDW vindt nu in Nederland plaats op circa 70% van het oppervlak Natura 2000 (excl. water), maar de mate van overschrijding wisselt sterk per habitattype en per gebied. Zoals gezegd, er zijn ook soorten (en dus typen) die zijn aangepast aan veel N en daar treedt geen overschrijding op (voorbeeld: bossen van rivierdelta's zoals de Biesbosch). Anderzijds is bij typen die aangepast zijn aan extreme N-armoede zoals hoogveen de overschrijding groot (gemiddeld ca. factor 4) (figuur 4 *Overschrijding kritische stikstofdepositie voor landnatuur*).

3 R. Bobbink en J.-P. Hettelingh (eds.), 2011, *Review and revision of empirical critical loads and dose-response relationships. Proceedings of an expert workshop*, Noordwijkerhout, 23-25 June 2010, Coordination Centre for Effects, National Institute for Public Health and the Environment (RIVM), RIVM Report 680359002.

4 J.H.J. Schaminee, A.H.F. Stortelder en V. Westhoff, 1995, *De vegetatie van Nederland, 1. Inleiding tot de plantensociologie: grondslagen, methoden en toepassingen*, Uppsala/Leiden: Opulus Press, (en vervolgdelen 2-5).

5 H.F. van Dobben, R. Bobbink en D. Bal, 2013, *Overview of critical loads for nitrogen deposition of Natura 2000 habitat types occurring in The Netherlands*, Alterra-report 2488.



Figuur 4. Overschrijding kritische stikstofdepositie voor landnatuur

Wetenschappelijke borging en onzekerheid

Om te komen tot gedragen empirische waarden is per type alle beschikbare informatie beoordeeld door een panel van Europese deskundigen die hierover gezamenlijk tot een eindoordeel zijn gekomen (empirische range en geschatte betrouwbaarheid hiervan). Het rapport van Bobbink & Hettelingh (zie noot 3) is de weerslag hiervan. Methode en resultaten van de simulatie zijn gepubliceerd in de internationaal gereviewde wetenschappelijke literatuur.⁶ De in de vorige paragraaf beschreven combinatie van empirie en simulatie is niet in de wetenschappelijke literatuur beschreven, maar heeft wel een eigen review ondergaan van buitenlandse deskundigen.⁷ Dit alles maakt dat de gebruikte methoden wetenschappelijk goed geborgd zijn.

Op de gesimuleerde waarden is een uitgebreide onzekerheidsanalyse uitgevoerd, waarbij voor elke invoervariabele van het model de onzekerheid is gekwantificeerd en vervolgens is gekeken hoe deze doorwerkt in de uiteindelijke KDW. Globaal gesproken is het eindresultaat hiervan dat de onzekerheid in de landelijk gemiddelde KDW's (dat zijn de waarden zoals die gerapporteerd worden) klein is, maar dat lokaal sterke afwijkingen van deze waarden mogelijk zijn. Dat is ook logisch, omdat factoren als bodemtype en hydrologie de lokale KDW beïnvloeden, en deze kunnen sterk verschillen per locatie. Dit maakt dat er lokaal al effecten kunnen optreden onder de KDW, maar dat op andere plaatsen een overschrijding van de KDW niet tot meetbare effecten zal leiden. Dit alles maakt dat men de KDW niet moet zien als een absolute grens, maar eerder als een waarde waarboven het optreden van negatieve effecten van depositie als onacceptabel groot moet worden beschouwd. In de praktijk betekent dit dat iedere verlaging van de depositie tot verbetering zal leiden, zelfs al wordt de KDW niet bereikt.

Voor sommige toepassingen, zoals het compenseren van verloren Natura 2000-waarden, moet een schatting

6 H.F. van Dobben, A. van Hinsberg, E.P.A.G. Schouwenberg, M. Jansen, J.P. Mol-Dijkstra, H.J.J. Wiegiers, J. Kros en W. de Vries, 2006, 'Simulation of Critical Loads for Nitrogen for Terrestrial Plant Communities in The Netherlands', *Ecosystems* 9:32-45.

7 H.F. van Dobben, A. van Hinsberg, 2008, *Overzicht van kritische depositiewaarden voor stikstof, toegepast op habitattypen en Natura 2000-gebieden*, Alterra-rapport 1654, p. 72.

gemaakt worden van het oppervlak aan een bepaald type dat verloren gaat als gevolg van vergrote depositie. Feitelijk voorzien de huidige modellen daar niet in en gegevens om oppervlakteverlies goed te kunnen bepalen ontbreken ook. Momenteel wordt gewerkt aan modellen om dit oppervlakteverlies toch bij benadering te kunnen schatten.

Interactie tussen stikstof en andere milieufactoren

Zoals hierboven reeds gezegd, kan het effect van depositie van stikstof versterkt of verzwakt worden door andere milieufactoren. In het algemeen kan men zeggen dat onder de huidige Nederlandse omstandigheden de kwaliteit van de natuur in hoge mate door de volgende drie factoren wordt bepaald:

- de depositie;
- de hydrologie (hoeveelheid en kwaliteit van het water);
- het beheer.

Als we de kwaliteit van een habitattypen willen verbeteren (of althans, achteruitgang willen voorkomen) zijn er dus naast het verlagen van de depositie nog twee knoppen waar we aan kunnen draaien. Deze zullen hieronder nader besproken worden.

Hydrologie

In de hydrologische condities voor de vegetatie zijn ook weer drie componenten te onderscheiden:

- de laagste grondwaterstand gedurende het seizoen;
- de hoogste grondwaterstand (of: de duur van hoge grondwaterstand) gedurende het seizoen;
- de waterkwaliteit.

Een aantal habitattypen komt voor op droge bodem en staat nooit in direct contact met grond- of oppervlaktewater. Voor die typen zijn bovengenoemde condities niet relevant. Echter, in Nederland is voor ongeveer de helft van de typen de hydrologie wel relevant. In veel gevallen is de huidige hydrologie ongunstig. Dit uit zich in te lage laagste grondwaterstand, te kort durende hoogste grondwaterstand, of een slechte grondwaterkwaliteit, vaak samengevat met de term 'verdroging' (waarmee dus, naast feitelijk te droge omstandigheden, ook een slechte waterkwaliteit wordt bedoeld). Oorzaken zijn vooral onttrekking van drinkwater en, wederom, de landbouw. Op landbouwgrond treedt uitspoeling op van kunst- en stalmest, die uiteindelijk in het grond- en oppervlaktewater terechtkomt en daarmee de bestaande effecten van atmosferische depositie versterkt. Verder leiden onttrekking van drinkwater en peilverlaging voor de landbouw ertoe dat in veel situaties de oorspronkelijke kwel (opwaartse beweging van grondwater) is veranderd in wegzijging (neerwaartse beweging van grondwater). Dit heeft enerzijds tot gevolg dat grondwater 's zomers te diep en te lang wegzakt, anderzijds is kwel die uit de diepere ondergrond komt een belangrijke buffer tegen verzuring. Dit komt doordat de diepe ondergrond meestal kalkhoudend is, waardoor het kwelwater

opgelost calcium bevat dat veel zuur kan neutraliseren. Daarom treedt bij wegvallen van kwel meestal verzuring op, zelfs zonder atmosferische depositie. Het vasthouden van water in natuurgebieden door bijvoorbeeld afdammen van sloten lost dit probleem niet op, omdat het kwelwater dan wordt vervangen door regenwater dat van nature zuur is. Verder is van belang dat het effect van wegvallen van kwel vaak pas op de wat langere termijn (één tot enkele decennia) tot uiting komt. Dit komt doordat met kwel aangevoerde bufferstoffen (vooral calcium) in de bodem worden vastgehouden en een flinke buffervoorraad kunnen vormen. Wanneer deze voorraad is uitgeput treedt alsnog verzuring op.

In dit artikel worden de totstandkoming en het belang van het gebruik van kritische depositiewaarden uitgelegd

In principe zijn depositie en verdroging los van elkaar staande problemen met elk hun eigen effecten, die elk voor zich opgelost moeten worden. Maar er zijn wel interacties, die er vaak op neer komen dat de effecten van depositie versterkt worden door verdroging. Dit kan de volgende oorzaken hebben:

- Kwelwater is meestal rijk aan bufferstoffen en gaat daarom verzuring tegen; bij vervangen van kwelwater door regenwater treedt verzuring op, ook zonder depositie.
- Onder waterversadigde, zuurstofloze omstandigheden treedt omzetting op van nitraat in moleculair stikstof, die daarmee uit het systeem verdwijnt (denitrificatie); bij daling van de grondwaterstand stopt dit proces en komt alle stikstof uit depositie voor de vegetatie beschikbaar.
- Een slechte waterkwaliteit betekent meestal teveel voedingsstoffen en hierdoor worden de effecten van atmosferische depositie van stikstof versterkt; er zijn dan feitelijk twee bronnen van stikstof die bij elkaar opgeteld moeten worden.
- Daling van de grondwaterstand leidt tot toetreden van zuurstof en daarmee oxidatie, wat een zuurvormend proces is waarbij bovendien stikstof vrijkomt uit organische stof; in sommige gevallen ('katteteklei') kan de verzuring extreme vormen aannemen.

Een ander extreem voorbeeld van oxidatie zijn de polders in het veenweidegebied, die door oxidatie van het veen circa één meter per eeuw inklinken. Daardoor is er inmiddels een peilverschil van meters ontstaan tussen natte natuurgebieden (die niet inklinken) en de omringende landbouwpolders, wat weer een sterke wegzijging uit die natuurgebieden tot gevolg heeft. Omdat diepere kwel meestal ontbreekt, is inpompen van boezemwater noodzakelijk om het gewenste waterpeil te handhaven, maar dat water is van slechte kwaliteit. In een aantal natuurgebieden wordt dat deels opgelost door het inlaatwater eerst te defosfateren. Hierbij

zij opgemerkt dat het verwijderen van fosfaat uit inlaatwater technisch eenvoudig is, maar het verwijderen van stikstof lastig.

Uit het bovenstaande blijkt dat de effecten van een overschrijding van de KDW nog versterkt kunnen worden door ongunstige hydrologische condities. Hier komt nog bij dat de KDW's bepaald zijn onder de voor elk type kenmerkende (en dus gunstige) hydrologische condities. Daarom zullen ongunstige hydrologische condities in principe leiden tot een KDW die lager is dan de voor een type opgegeven waarde. Anderzijds kan hydrologisch herstel in principe leiden tot verbetering van de kwaliteit van een habitat-type, zelfs als de depositie te hoog blijft. Maar in principe zijn hoge depositie en verdroging eigenstandige problemen die elk voor zich opgelost moeten worden om aan de VHR-doelstellingen te voldoen.

Beheer

'Wildernis'-natuur komt in Nederland niet voor, met uitzondering van bosreservaten en wellicht een paar stukjes duin en kwelder. Verder wordt alle natuur op één of andere manier door de mens beheerd, en dat beheer brengt bijna altijd afvoer van stikstof met zich mee. Grasland wordt vaak gemaaid en bijvoorbeeld bij een gewasopbrengst van tien ton droge stof per hectare en een stikstofgehalte van 3% wordt al 300 kg stikstof per hectare afgevoerd. Dit is veel meer dan de jaarlijkse depositie, maar men moet wel rekenen dat de stikstof in het gewas voor een groter deel afkomstig is uit mineralisatie van organische stof dan uit depositie. In beweid grasland is de afvoer minder omdat de meeste door de dieren opgenomen stikstof in het systeem terugkeert als mest, maar ook daar treedt netto afvoer van stikstof op als dierlijke producten (bijv. melk) of hele dieren (bijv. kalveren) uit het systeem gehaald worden. De meest effectieve manier om stikstof af te voeren is afplaggen, omdat daarmee de strooisellaag helemaal of grotendeels wordt afgevoerd en daarmee bijna alle in het systeem opgeslagen stikstof. Dat gaat doorgaans om hoeveelheden van tonnen stikstof per hectare, dus vele tientallen jaren depositie. Traditioneel werd afplaggen toegepast in heide. De plaggen werden gebruikt als bodembedekking in schaapskooien en daarna, verrijkt met schapenmest, als meststof voor akkers. In het huidige natuurbeheer wordt afplaggen ook in andere systemen (bijv. grasland of zelfs bos) toegepast omdat het zo'n effectieve manier is om stikstof af te voeren. Het uitbaggeren van vennen is een vergelijkbare maatregel waarbij zeer veel stikstof in één keer wordt afgevoerd. Dergelijke grote ingrepen zijn in de laatste decennia veelvuldig uitgevoerd en aanvankelijk vaak zeer succesvol gebleken.

Het bovenstaande zou tot de conclusie kunnen leiden dat intensivering van het beheer een eenvoudige manier is om de stikstof uit depositie weer af te voeren. Echter, ten eerste is bij het bepalen van de KDW al rekening gehouden met het gebruikelijke beheer. Dat beheer leidt dus niet tot een vermindering van de negatieve effecten van een over-

schrijding van de KDW. Anders gezegd: zou geen rekening worden gehouden met het gewoonlijk doorgevoerde beheer, dan zou de KDW nog lager worden. Ten tweede geldt voor alle beheersmaatregelen dat er een optimale intensiteit is, waarboven de negatieve effecten gaan overheersen over de positieve. Voor maaien geldt bijvoorbeeld dat vroeg in het seizoen maaien weliswaar veel stikstof afvoert, maar laatbloeiende soorten geen kans geeft om zaad te zetten. En bij laat in het seizoen maaien wordt weinig stikstof afgevoerd omdat planten al in de loop van de zomer stikstof beginnen terug te trekken in ondergrondse delen. Meerdere malen per jaar maaien voert weliswaar iets meer stikstof af, maar combineert de nadelen van vroeg en laat maaien. Evenzo wordt bij diep plaggen weliswaar bijna alle opgeslagen stikstof afgevoerd, maar ook andere nutriënten, plus alle in de bodem aanwezig zaden. Voor hervestiging moeten die van elders komen en bij zeldzame soorten is de kans daarop klein. Verder kan, als de ondergrond zuur is, afplaggen leiden tot verzuring. Dat kan wel weer gecompenseerd worden door te bekalken, maar dit kan tot sterke mineralisatie leiden en daarmee opnieuw tot stikstofverrijking. Ook zal bij herhaald afplaggen niet alleen stikstof verwijderd worden maar ook alle andere nutriënten (met name fosfor, dat vrijwel niet via de atmosfeer aangevoerd wordt) en dit kan zeer ongunstige effecten hebben, met name voor de fauna. Daarom is men, na aanvankelijk enthousiasme, thans zeer terughoudend geworden met afplaggen. In principe moet gesteld worden dat in Natura 2000-gebieden het grootschalige beheer goed is en dat intensivering meestal geen oplossing biedt voor de te hoge depositie.

Slotbeschouwing

Effecten van luchtverontreiniging op de natuur zijn al sinds het midden van de 19de eeuw bekend en ook in de eerste helft van de 20ste eeuw werd af en toe het vermoeden uitgesproken dat hun belang groter zou kunnen zijn dan altijd gedacht. Maar pas met de opkomst van de ‘zureregenhype’, begonnen met de zorg om verzuring van oppervlaktewater in Scandinavië eind jaren '60, is men zich het belang hiervan ten volle gaan realiseren. Was de aanvankelijke boosdoener, zwaveldioxide, nog relatief makkelijk te bestrijden, zijn opvolger, reactief stikstof, bleek een uiterst taai probleem. Na aanvankelijke successen in de jaren '90 is de uitstoot van met name gereduceerd stikstof na 2000 vrijwel constant gebleven. Tegelijkertijd heeft de natuurbeschermingswereld zich vanaf de jaren '80 tot het uiterste ingespannen om de effecten hiervan te mitigeren. Onderzoekers hebben grote creativiteit aan de dag gelegd om maatregelen te bedenken die zouden kunnen worden ingezet, en beheerders grote ijver om deze in de praktijk te testen en bij gebleken succes ook toe te passen. De weerslag hiervan vindt men in de handboeken met PAS-maatregelen⁸. De laatste jaren begint echter steeds duidelijker te worden dat de meeste mitigerende maatregelen tegen hun grenzen aanlopen⁹, en dat verlaging van de depositie, dus aanpak bij de bron, de enig optie is om aan onze verplichting tot instandhouding van de onder de VHR beschermde natuur te voldoen. Zoals hierboven uiteengezet, zijn er vele bronnen en het is aan de overheid om te bepalen welke bijdrage elk van deze bronnen zal moeten leveren.

Over de auteur

Dr. H.F. van Dobben

Senior ecoloog aan Wageningen University & Research.

8 Te raadplegen op www.synbiosys.alterra.nl/natura2000/gebiedendatabase.

9 K. Moens, 'Afplaggen van heide werkt averechts', *BioNieuws* 30 november 2019.