

Hoe zijn negatieve effecten van stikstofdepositie op diersoorten te mitigeren?

Hoewel de depositie van stikstof de afgelopen twee decennia fors is gedaald, is deze nog steeds hoger dan de natuurlijke achtergronddepositie. Dit overschot aan stikstof heeft ecologische gevolgen.

Effecten van stikstof op diersoorten werken vooral indirect via bodem en vegetatie en zijn soms lastig waar te nemen in het veld. Daarbij ontbreekt een deel van de kennis over de werkingsmechanismen. In dit artikel zijn de bekende effecten van stikstof op diersoorten beschreven en worden handelingsperspectieven voor beheerders en de belangrijkste kennislacunes aangegeven.

In het natuurbeheer speelt de Programmatische Aanpak Stikstof (PAS) al bijna twee jaar een belangrijke rol op de achtergrond. Volgens planning zal de PAS nog voor het eind van 2014 in werking treden als instrument om zowel economische ontwikkeling als herstel en behoud van belangrijke natuurwaarden mogelijk te maken. De herstelstrategieën die als leidraad voor de beheerders dienen, zijn onderbouwd met de meest recente kennis over de invloed van stikstof in natuurterreinen. Voor de vegetatie is deze invloed vaak goed onderzocht en duidelijk zichtbaar in het veld. Voor fauna is veel minder kennis over de effecten van stikstofdepositie voorhanden.

Bovendien zijn de effecten vooral indirect van aard en (mede daardoor) moeilijker in het veld te duiden. Daar komt nog bij dat kruidachtige planten vaak kunnen profiteren van intensiever uitgevoerd beheer door vegetatief stand te houden (bijvoorbeeld als zaad, wortelstokken of rozetten), terwijl populaties van diersoorten bij een intensiever of frequenter uitgevoerd beheer eerder het risico lopen te verdwijnen. Er moet dus een andere oplossing worden gevonden om het herstelbeheer te optimaliseren.

De tekst van dit artikel is grotendeels gebaseerd op het werk dat de auteurs hebben verricht voor de Basisdocumenten en Herstelstrategieën voor Habitats en Leefgebieden van de PAS (pas.naturazoo.nl; Smits & Bal, 2014). Voor de uitgebreide onderbouwing met literatuur van de beschreven mechanismen wordt dan ook naar deze documenten verwezen.

Fysiologische problemen

Directe effecten van stikstofdepositie op diersoorten treden op als gevolg van veranderingen in chemie van de leefomgeving van het dier. In de praktijk betreft dit vrijwel alleen diersoorten die in water of vochtige bodems leven. Bij deze dieren staan immers grote en/of dunne permeabele huidoppervlaktes (lichaamshuid, kieuwen of tegument) in direct contact met de omgeving. Hoewel hoge concentraties van stikstofverbindingen in het water giftig zijn voor dieren, treden er

eerder effecten op via verzuring en de daaraan gekoppelde veranderingen in waterchemie (Camargo & Alonso, 2006). Door een verlaging van de pH en een veranderde beschikbaarheid van elementen wordt de osmose van dieren verstoord. Dit veroorzaakt verhoogde kans op sterfte en problemen bij ontwikkeling en groei van eieren en onvolwassen dieren. Leuven & Oyen (1987) toonden aan dat verzuring van oppervlaktewateren leidt tot verschuivingen in de Nederlandse visfauna en tot een afname van de visdiversiteit. Eutrofiëring bleek een minder groot effect te hebben, maar een verhoogde primaire productie van algen en waterplanten kan tot tijdelijk zuurstoftekort leiden en daardoor sterfte van vissen en ongewervelden veroorzaken (Camargo & Alonso, 2006). Mogelijkheden van herstel van zwakgebufferde wateren voor de fauna staan in kader 1.

Verruiging

De meest zichtbare verandering als gevolg van een hoge stikstofdepositie is een verhoogde productie van biomassa, waardoor verruiging optreedt. Doordat kale en schaars begroeide bodem bedekt raakt met planten en strooisel, verdwijnt nestgelegenheid voor soorten die op of in de bodem nestelen. Een hoge en dichte vegetatie heeft daarnaast een slecht lichtklimaat tot gevolg voor lage grassen, kruidachtigen en (korst)-mossen. Hierdoor nemen belangrijke voedselplanten voor herbivoren en zowel variatie als hoeveelheid van het bloemaanbod voor bloembezoekers af. Naast deze factoren worden ook veranderingen in het microklimaat en in voedselkwaliteit van de planten als belangrijke knelpunten gezien, bijvoorbeeld voor dagvlinders (Wallis de Vries, 2013). Een hoge, dichte vegetatie weert instraling van de zon en hindert doorstroming van lucht, waardoor minder opwarming van de bodem en verdamping van vocht plaatsvindt. Het gedempte, koele microklimaat is ongunstig voor veel ongewervelde diersoorten die warmte nodig hebben voor hun ontwikkeling, groei en activiteit. In een studie naar de effecten van vermessing op de dichtheden en verspreiding van Nederlandse sprinkhaansoorten, bleken met name soorten die hun eieren in de bodem leggen en een lange ontwikkelingsduur heb-

Kader 1. Herstel fauna van zwakgebufferde wateren

Zwakgebufferde vennen behoren tot de meest gevoelige habitats (KDW 8 kg/ha/jaar). De verzurende invloed van N-depositie in vennen is vaak goed te mitigeren door herstel van hydrologie, bekalking van het inzijgebied, herstel van verstuiving of inlaat van gebufferd grondwater. Verwijdering van slib in combinatie met herstel van de buffercapaciteit leidt tot een duurzaam effect op de waterkwaliteit en daarmee op de vegetatie en fauna (Brouwer et al., 2009). Wel is het verstandig om vennen gefaseerd te schonen, aangezien veel diersoorten het verwijderen van de volledige sliblaag in vennen niet overleven (van Kleef, 2010).

Waar de verzurende werking van de huidige N-depositie sterk kan worden gemitigeerd met het inlaten van gebufferd water, is de vermestende invloed lastiger aan te pakken. Daardoor blijft ook gefaseerd schonen noodzakelijk. Uit recent onderzoek (van Kleef et al., 2014) blijkt dat het laten droogvallen van venoeveren in de zomer een deel van de stikstof kan verwijderen in de vorm van N₂ gas. Dit kan echter alleen efficiënt worden toegepast in vennen met een vlakke oever (waardoor een groot deel droogvalt) en waar dit droogvallen past bij de natuurlijke hydrologie van het ven en het omliggende terrein. De fauna in vennen is goed aangepast aan het droogvallen van oevers, echter volledige droogval is zelfs voor deze soorten te ingrijpend. Een ander probleem is dat ook in toenemende mate de exotische Zonnebaars (*Lepomis gibbosus*) en Watercrassula (*Crassula helmsii*) massaal profiteren van herstelprojecten in vennen.

ben sterk negatief beïnvloed (van Wingerden et al., 1992). Laboratoriumproeven tonen aan dat de ontwikkeling van eieren van de sprinkhaansoorten Knopspretje (*Myrmeleotettix maculata*) en Blauwvleugelsprinkhaan (*Oedipoda caerulea*) 1 tot 2 maanden vertraging oploopt door een lagere bodemtemperatuur in veruigde duingraslanden, waardoor deze soorten de rest van hun levenscyclus niet goed kunnen voltooiën (Wouters & Remke, 2012). Een vochtig microklimaat in de bodem of de vegetatie als gevolg van veruiging verhoogt ook de kans op infecties door schimmels en parasieten, vooral in de winter, wanneer de meeste ongewervelden in een niet of matig mobiele staat verkeren. Soorten die als ei of larve meerdere jaren in de bodem leven zijn extra kwetsbaar, zoals de in Nederland bijna verdwenen Wrattenbijter (*Decticus verrucivorus*) waarvan de eieren twee tot acht jaar in de bodem overwinteren. Overigens hebben veel diersoorten niet alleen lage vegetaties nodig. Zo heeft de Wrattenbijter naast open zandige delen voor de eiafzet en voor het opwarmen van nimfen ook hogere vegetaties nodig om zich te verschuilen tegen predatoren en als zangposten voor de adulte mannetjes. Homogenisering van de vegetatiestructuur als gevolg van veruiging óf door intensieve beheermaatregelen is voor veel soorten dan ook funest. Op de hellingschraallanden in Zuid-Limburg is onderzoek verricht naar deze knelpunten voor de fauna om te komen tot optimalisatie van het beheer (kader 2).

Voedselkwaliteit

Er komen steeds meer bewijzen dat ook de chemische samenstelling van planten zodanig verandert door stikstofdepositie, dat dit gevolgen heeft voor de voedselkwaliteit van planten voor herbivoren. Deze veranderingen treden waarschijnlijk eerder op dan verschuivingen in soortensamenstelling van de vegetatie en zijn bovendien niet of nauwelijks zichtbaar. Onderzoek naar de effecten is nog schaars en over de manier waarop de voedselkwaliteit precies verandert bestaan nog veel kennislacunes. De belangrijkste verandering als gevolg van stikstofdepositie is een toename van het stikstofpercentage in de plant. Hoewel stikstof in planten limiterend is voor herbivoren, betekent een hogere stikstofpercentage in planten niet per definitie dat de voedingswaarde toeneemt. Uit onderzoek op stuifzanden, heiden en bossen van arme zandgronden blijkt dat de extra hoeveelheid stikstof in o.a. Buntgras (*Corynephorus*



De rupsen van de Bruine vuurvinder kennen een lagere groei en hogere sterfte wanneer ze eten van Veldzuring die groeit onder hoge stikstofbeschikbaarheid (foto: Jaap Bouwman).

canescens), Struikheide (*Calluna vulgaris*) en Zomereiken (*Quercus robur*) niet in de vorm van losse aminozuren of eiwitten aanwezig is, maar in nog onbekende andere chemische structuren, samengevat in de term Non Protein Nitrogen (NPN). Deze chemische structuren zijn door dieren niet goed te verteren, waardoor de totale voedselkwaliteit van de plant juist verslechtert. De hoeveelheid vraat aan planten met een hoog NPN-gehalte is vaak lager en dieren die er van eten groeien langzamer dan van planten die bij lage stikstofdepositie leven. Dit is o.a. aangetoond met veldmetingen en met kweekexperimenten voor Knopspretjes die leven van Buntgras uit stuifzandgebieden met hoge (50 kg/ha/jaar) en relatief lage (22 kg/ha/jaar) stikstofdepositie (Nijssen & Siepel, 2010).

Ook in trendanalyses van dagvlinders komen aanwijzingen naar voren dat veranderingen in plantkwaliteit als gevolg van stikstofdepositie een rol spelen. Het areaal van de Bruine vuurvinder (*Lycaena tityrus*) is de afgelopen decennia fors ingekrompen, waarbij de soort delen van Nederland met een hoge stikstofdepositie – voornamelijk in Noord-Brabant, Limburg en Zuid-Holland – heeft verlaten, maar het in delen met een lagere stikstofdepositie – m.n. Drenthe en Overijssel – nog redelijk goed doet. Duits onderzoek heeft laten zien dat rupsen van de Bruine vuurvinder die eten van Veldzuring (*Rumex acetosa*) die met extra NH_4/NO_3 oplossing is bemest weliswaar sneller groeien en een kortere ontwikkelingstijd hebben, maar dat er een tweemaal zo grote sterfte optrad in het rupsstadium

Kader 2. Herstel fauna van kalkgraslanden

Voedselarme, soortenrijke hellingschraallanden in Zuid-Limburg veruigen sterk met Gevinde Kortsteel (*Brachypodium pinnatum*) als gevolg van verhoogde stikstofdepositie. Decennia lang werden met intensief begrazings- en maaibeheer de hellingen 'kaal' de winter in gestuurd om in voorjaar en zomer de plantengroei toe te laten. Hoewel dit beheer zeer succesvol was voor het behoud van plantdiversiteit, leidde dit beheer niet tot een herstel van de karakteristieke diergemeenschappen van hellingschraallanden.

Voor een groot deel bleek dit te maken te hebben met de timing van het intensieve beheer. Door de sterke vegetatiegroei in de loop van het seizoen ondervinden karakteristieke mierensoorten die in de zomer warmte nodig hebben voor de ontwikkeling van hun eieren en poppen problemen door het koele microklimaat. Mierensoorten waarvan de kolonies in het voorjaar ontwikkelen, ondervinden veel minder problemen van de ruige vegetatie (van Noordwijk et al., 2012). Daarnaast bleek intensief begrazingsbeheer in het najaar funest voor overwinterende rupsen van de Veldparelmoervlinder (*Melitaea cinxia*). In buitenlandse referentiegebieden waar jaarrond met een lagere druk werd begraaasd, werden zowel de Veldparelmoervlinder als veel karakteristieke mierensoorten aangetroffen.

Op basis van dit onderzoek is een alternatief begrazingsbeheer voorgesteld (van Noordwijk & Nijssen, 2012), dat vanaf 2013 experimenteel wordt getoetst. Op vier kalkgraslanden wordt gedurende de zomer met een schaapskudde telkens een ander deel van het terrein begraaasd. De komende drie jaren vindt een effectmeting plaats om te onderzoeken of dit alternatieve begrazingsbeheer leidt tot herstel van karakteristieke diergemeenschappen, zonder daarbij de huidige floristische waarden kwijt te raken.

en in de popfase. Ook waren de vlinders die op een stikstofrijk dieet leefden kleiner van formaat dan de vlinders die als rups gegeten hadden van niet bemeste planten (Fischer & Fiedler, 2000).

Het is zeer aannemelijk dat een aantasting van de voedselkwaliteit van waardplanten vooral optreedt op voedselarme en verzuringgevoelige bodemtypen. Hier wordt de stikstofbalans in de bodem immers het snelste verstoord en is de kans groot dat de sterke verzuring die de afgelopen decennia heeft plaatsgevonden (vooral door zwaveldepositie) tot een versnelde uitspoeling van mineralen en essentiële sporenelementen heeft geleid. Een belangrijke aanwijzing dat bodemtype inderdaad een belangrijke rol speelt, komt voort uit het onderzoek naar effecten van stikstofdepositie in droge bossen (van den Burg et al., 2014). Bladeren van Zomereik op voedselarme delen van de Veluwe bleken een hoger NPN gehalte te bevatten en minder rupsenvraat te vertonen dan bladeren van Zomereik in voedselrijkere delen van de Veluwe.

In kader 3 worden oplossingsrichtingen voor maatregelen omtrent de voedselkwaliteit van planten in diverse gebieden gegeven.

Doorwerking in voedselweb

De hiervoor beschreven wegen waarlangs een overmaat van stikstof negatieve effecten op diersoorten kan hebben, zijn samengevat in een schema (fig. 1). In dit schema zijn zowel de directe fysiologische effecten weergegeven als de effecten die via de

Kader 3. Herstel van voedselkwaliteit waardplanten

Onderzoek naar de relatie tussen veranderingen in de voedselkwaliteit van planten als gevolg van stikstofdepositie en de gevolgen voor diersoorten is nog schaars, maar levert al wel belangrijke inzichten op voor de oplossingsrichtingen voor beheerders. Uit onderzoek op heideterreinen blijkt dat Struikhei (*Calluna vulgaris*) onder invloed van hoge stikstofdepositie een hoog gehalte aan Non Protein Nitrogen (NPN) bevat wat voor herbivoren niet opneembaar is. Bovendien is de N:P-ratio zeer hoog, waardoor er fosfaatgebrek optreedt voor herbivoren.

Rupsen van de Kleine nachtpauwoog (*Saturnia pavonia*) vertonen vertraagde groei en hogere sterfte wanneer ze van deze Struikheide eten (Vogels et al., 2011). Plaggen wordt veel toegepast om een overschot aan stikstof te verwijderen uit het systeem. Met deze maatregel wordt echter ook fosfaat en (een groot deel van) de buffercapaciteit van de organische bodemlaag verwijderd, zodat de voedselkwaliteit van Struikheide verder afneemt. Maatregelen als branden, maaien, chopperen en begrazen (en combinaties van deze maatregelen) verbeteren de voedselkwaliteit van planten juist doordat ze de hoeveelheid N in het systeem verlagen, maar een groot deel van de P-voorraad en van andere belangrijke elementen behouden blijft.

In stuifzandterreinen blijkt dat het reactiveren van dynamiek de voedselkwaliteit van Buntgras kan verhogen, ook wanneer deze groeit onder hoge stikstofdepositie (Nijssen & Siepel, 2010). Buntgraspollen die worden overstoven, zijn gedwongen om in groei te investeren. Deze groeipunten bevatten veel eiwitten en aminozuren en zijn dan ook veel rijker aan voor herbivoren opneembaar stikstof dan bladeren van Buntgras die op stabiele delen van stuifzanden groeien. Omgevingsomstandigheden kunnen de kwaliteit van voedselplanten mee sturen. Onder de huidige hoge stikstofdepositie groeien rupsen van Veenbesparelmoervlinders (*Boloria aquilonaris*) beter op scheuten van Kleine veenbes (*Vaccinium oxycoccos*) op een Vlaamse locatie die onder invloed staat van zwak gebufferd grondwater dan van dezelfde plantensoort die in Nederland in een zure veenkern groeit. De populaties passen zich echter aan de voedselkwaliteit aan.

Nederlandse rupsen groeien weliswaar langzamer op planten uit de veenkern, maar kunnen hier wel van leven. Worden rupsen uit een Belgische populatie echter met veenbes uit Nederland gevoerd, dan sterven alle rupsen (Turlure et al., 2013).

bodem en vegetatie verlopen. Een aspect wat tot nu toe buiten beeld is gebleven, zijn de interacties tussen diersoorten, zoals predator-prooi en parasiet-gastheer relaties. Het is zo goed als zeker dat alle genoemde effecten op populatiedichtheid, ontwikkelingsnelheid en lichaamsgrootte van diersoorten samen doorwerken in het voedselweb. Voor predatoren en parasieten worden de gevolgen van een lagere dichtheid aan prooien en gastheren versterkt wanneer

deze dieren minder zichtbaar of bereikbaar zijn als gevolg van een ruige vegetatie. Deze mechanismen zijn al beschreven voor broedvogels van agrarische gebieden, zoals voor kuikens van Grutto's (*Limosa limosa*) (Schekkerman, 2008). Deze kuikens hebben bovendien een hogere voedselbehoefte in ruige vegetaties, omdat ze sneller afkoelen in het vaak natte, hoge gras en het koelere microklimaat. Voor Sperwers (*Accipiter nisus*) in droge voedselarme bossen op de Veluwe is bovendien aangetoond dat mineralengebrek in de bodem als gevolg van verzuring doorspeelt via eikenblad, rupsen en mezen, met een toename van embryonale afwijkingen in sperwieren tot gevolg (van den Burg et al., 2014).

Vraagstukken voor beleid en beheer

De directe en indirecte effecten van een hoge stikstofdepositie hebben grote gevolgen voor de faunadiversiteit in Nederland en Vlaanderen. In de PAS is deze problematiek geanalyseerd en uitgewerkt in het kader van Natura2000 doelstellingen, zowel voor diersoorten in beschermde habitattypen als voor diersoorten van de Vogel- en Habitatrichtlijn in leefgebieden buiten deze habitattypen. Beheerders worden in de PAS handvatten geboden om zowel voor vegetatie als voor diersoorten maatregelen te nemen die de effecten van hoge stikstofdepositie zoveel mogelijk mitigeren. Dit artikel geeft een sterk vereenvoudigd beeld van de doorwerking van stikstofdepo-



De Wrattenbijter is afhankelijk van een gevarieerde vegetatiestructuur, met open bodem voor het afzetten van eitjes en de ontwikkeling van nimfen en hogere vegetatie als zangpost en om in te schuilen. Door verzuuring als gevolg van hoge stikstofdepositie verdwijnt deze afwisselende vegetatiestructuur (foto: Jaap Bouman).

sitie op fauna. Het betreft in de praktijk een behoorlijk complex vraagstuk waar nog veel kennislacunes over bestaan. Deze lacunes vallen mee voor aquatische systemen, waar de meeste causale mechanismen goed zijn onderzocht en beschreven. Op locaties waar de hydrologie goed kan worden hersteld en de invloed van (zwak)gebufferd water kan worden vergroot, zijn er veel kansen om de effecten van stikstof op de vegetatie én fauna effectief te mitigeren. De belangrijkste kennislacunes liggen daar op het gebied van invasieve soorten: hoe kan voorkomen worden dat soorten als Zonnebaars (*Lepomis gibbosus*) en Watercrassula (*Crassula helmsii*) gaan domineren in (herstelde) vensystemen en de gewenste diersoorten onderdrukken?

Veranderingen in compositie en structuur van de vegetatie – zowel in terrestrische als aquatische systemen – als gevolg van stikstofdepositie zijn grotendeels bekend. De doorwerking op de fauna in relatie tot bijvoorbeeld microklimaat en beschikbaarheid van voedselplanten zijn voor een aantal diersoorten onderzocht en voor veel soorten op zijn minst aannemelijk te maken. Verruiging en de daaruit voortvloeiende problemen kunnen relatief eenvoudig worden opgelost door het verwijderen van nutriënten en biomassa, door middel van baggeren, maaien en afvoeren en begrazing. In de PAS wordt dan ook voor veel systemen voorgesteld om dit beheer te intensiveren of frequenter uit te voeren. Hoewel dit inderdaad een groter mitigerend effect heeft op de gevolgen van stikstofdepositie, kan een intensiever beheer tevens direct negatieve effecten op diersoorten hebben. De belangrijkste kennislacune op dit punt ligt dan ook voornamelijk in de manier waarop dit intensievere beheer of een alternatief daarvoor het best kan worden uitgevoerd.

De manier waarop bij het uitvoeren van deze maatregelen wordt omgegaan met timing, frequentie, intensiteit en fasering in tijd en ruimte zal allesbepalend zijn voor het behalen van faunadoelen. Hoe dit per terrein het meest optimaal kan plaats vinden, betreft maatwerk. Goed opgezette beheerexperimenten met een meting aan bodem, vegetatie én fauna – zoals de komende jaren wordt uitgevoerd in de Limburgse hellingschraallanden – leveren de benodigde kennis op om dit maatwerk in te vullen op een kostenefficiënte manier. De grootste kennislacunes met betrekking tot de effecten van stikstofdepositie en fauna liggen op het gebied van de verschui-

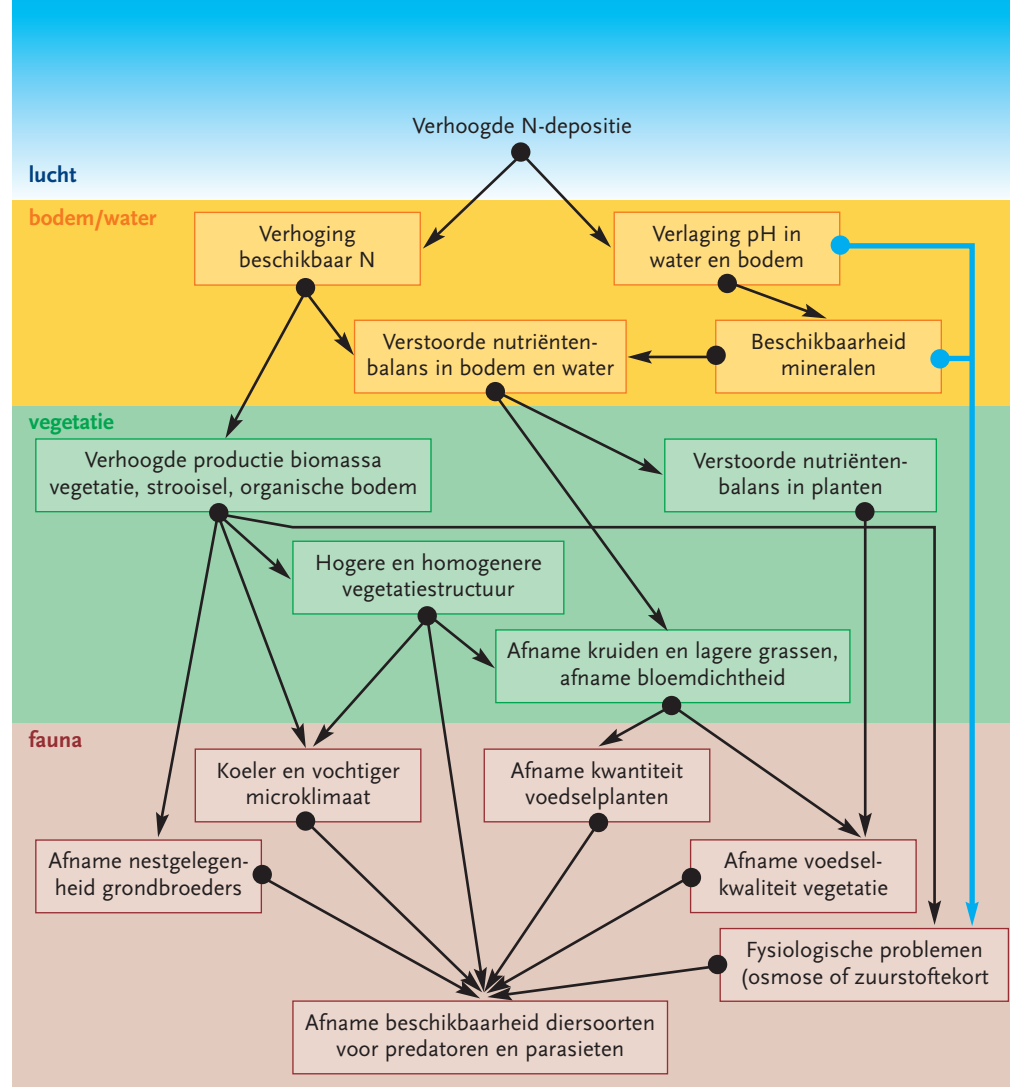


Fig. 1. Schema van de negatieve effecten van verhoogde stikstofdepositie op fauna. De zwarte pijlen geven de indirecte effecten weer van stikstofdepositie via de vegetatie op diersoorten. De blauwe pijl betreft een direct effect van chemische verandering van water- en bodemkwaliteit op de fysiologie van diersoorten. Voor het overzicht zijn in dit artikel positieve effecten van stikstofdepositie en feedbackmechanismen bewust weggelaten.

vende balans in nutriënten in de vegetatie. Enkele onderzoeken in het kader van het programma Ontwikkeling en Beheer van Natuurkwaliteit (OBN) en een paar buitenlandse studies hebben een belangrijke tip van de sluier opgelicht. Echter, zowel de exacte werkingsmechanismen als de impact van deze verschuivende nutriëntenbalansen op het functioneren van het voedselweb zijn nog verre van duidelijk. Het ontwikkelen van deze kennis zal een belangrijke stap vormen om de effecten van stikstofdepositie op diersoorten effectief te kunnen mitigeren.

Literatuur

Brouwer, E., H. van Kleef, H. van Dam, J. Loermans, G. Arts & D. Belgers, 2009. Effectiviteit van herstelbeheer in vennen en duinplassen op de middellange termijn. Rapport DK1 nr. 2009/dki 126-O.

Burg, A. van den, A. Dees, T. Huigens, R.J. Bijlsma & R. de Waal, 2014. Voedselkwaliteit en biodiversiteit in bossen van de hoge zandgronden. OBN Rapport nr. 2014/OBN186-DZ, Den Haag.

Camargo, J.A. & A. Alonso, 2006. Ecological and toxicological effects of inorganic nitrogen pollution in aquatic ecosystems: A global assessment. *Environment International* 32: 831–849.

Fischer, K. & K. Fiedler, 2000. Response of the copper butterfly *Lycaena tityrus* to increased leaf nitrogen in natural food plants: evidence against the nitrogen limitation hypothesis. *Oecologia* 124 (2): 235-241.

Kleef, H. van, 2010. Identifying and crossing thresholds in managing moorland pool macro-invertebrates. Proefschrift Radboud Universiteit Nijmegen.

Kleef, H. van, H. Tomassen, E. Brouwer & A. Dees, 2014. Vennen in een veranderend klimaat. Effecten van watertemperatuur, afgenomen verzuring en waterpeilfluctuaties op bodemchemie en fauna. OBN Rapport nr. 2014/OBN188-NZ, Den Haag.

Leuven, R.S.E.W. & F.G.F. Oyen, 1987. Impact of acidification and eutrophication on the distribution of fish species in shallow and lentic soft waters of The Netherlands: an historical perspective. *Journal of Fish Biology* 31 (6): 753-774.

Noordwijk, T. van & M. Nijssen, 2012. Gras-

landbeheer bekeken door insectenogen: stikstof en versnippering vragen om een nieuwe aanpak in kalkgraslanden. Vakblad Natuur, Bos, Landschap 9 (9): 24-27.

Noordwijk, T. van, P. Boer, A. Mabelis, W. Verberk & H. Siepel, 2012. Life-history strategies as a tool to identify conservation constraints: a case-study on ants in chalk grasslands. *Ecological Indicators*, 13(1): 303-313.

Nijssen, M. & H. Siepel, 2010. The characteristic fauna of inland drift sands. In: Fanta, J. & H. Siepel (red.). *Inland drift sand landscapes*. KNNV-Uitgeverij, Driebergen: 255-278.

Schekkerman, H., 2008. Precocial problems. Shorebird chick performance in relation to weather, farming and predation. Thesis RU Groningen/ Alterra Scientific Contributions 24.

Smits, N.A.C. & D. Bal (red.), 2014. Herstelstrategieën stikstofgevoelige habitats. Ecologische onderbouwing van de Programmatische Aanpak Stikstof (PAS). Alterra Wageningen UR, Wageningen/ Ministerie van Economische Zaken, Den Haag.

Turlure, C., V. Radchuk, M. Baguette, M. Meijrink, A. den Burg, M.W. de Vries & G.J. van Duinen, 2013. Plant quality and local adaptation undermine relocation in a bog specialist butterfly. *Ecology and Evolution* 3 (2): 244-254.

Vogels, J., A. van den Burg, E. Remke & H. Siepel, 2011. Effectgerichte maatregelen voor

het herstel en beheer van faunagemeenschappen van heideterreinen. Evaluatie en ontwerp van bestaande en nieuwe herstelmaatregelen (2006-2010). 2011/OBN152-DZ.

Wallis de Vries, M.F., 2013. Hoe stikstof de vlinanders laat stikken. *Entomologische berichten* 73 (4): 158-163.

Wingerden, W.K.R.E. van, A.R. van Kreveld & W. Bongers, 1992. Analysis of species composition and abundance of grasshoppers (Orth., Acrididae) in natural and fertilized grasslands. *Journal of Applied Entomology* 113(15): 138-152.

Wouters, B. & E. Remke, 2012. Onderzoekprogramma Levende Duinen. Project uitgevoerd in opdracht van Dunea, Provinciaal waterleidingbedrijf Noord-Holland (PWN) en Waternet, onder begeleiding van Bosgroep Midden Nederland.

Summary

How can negative effects of nitrogen deposition on fauna be mitigated?

Nitrogen deposition levels decreased strongly during the last two decades but still exceed Critical Deposition Levels. Ecological effects of excessive nitrogen on soil and water quality and subsequent effects on vegetation composition and structure are well known and clearly visible in nature areas. Effects on animal species often have an indirect nature and are less visible.

Literature shows several mechanisms by which

fauna is affected by nitrogen deposition. Direct effects concern physiological problems that mainly occur in open water and wet soils by means of acidification or low oxygen levels when algae or plant biomass strongly increases. Indirect effects concern loss of food and nectar plant species and open soil for nesting, due to encroachment by tall grasses and shrubs. Microclimate becomes cool and moist when vegetation structure becomes denser which leads to higher mortality and unfavourable conditions for reproduction and development of poikilothermic species. Evidence grows that also quality of food plants for herbivores is decreasing due to nitrogen deposition. Important changes concern disturbed nutrient balances (like N:P-ratio) and high levels of nitrogen which are not incorporated in amino acids or proteins, so called Non Protein Nitrogen (NPN). Negative effects in aquatic habitats are relatively easy to mitigate when local or regional hydrology can be restored. In terrestrial systems high plant biomass production can be altered (by mowing, grazing, etc.) but since the measure itself can be harmful for fauna, the intensity, timing, scale and phasing of the measures strongly influence the effect on animal communities. More knowledge on the effects and underlying mechanisms of changes in plant chemistry is necessary to define measures that effectively mitigate these effects of nitrogen deposition on fauna.

Dankwoord

Het analyseren van de verschillende effecten van verhoogde stikstofdepositie op diersoorten vond grotendeels plaats in het kader van de Programmatische Aanpak Stikstof. Dick Bal (Ministerie van Economische Zaken), Nina Smits (Alterra) en Wim Wiersinga (OBN/VBNE - Vereniging van Bos- en Natuurterreineigenaren) hebben in discussies en in commentaar op eerdere versies een belangrijke bijdrage geleverd aan de totstandkoming van dit artikel.

Drs. M. Nijssen
Stichting Bargerveen
Postbus 9010, 6500 GL Nijmegen
M.Nijssen@science.ru.nl

Ing. J. Bouwman
Unie van Bosgroepen
Postbus 8187, 6710 AD Ede
J.Bouwman@bosgroepen.nl

Prof. dr. H. Siepel
Radboud Universiteit Nijmegen,
Afdeling Dierecologie
Postbus 9010, 6500 GL Nijmegen
H.Siepel@science.ru.nl

Op de Sint Pietersberg vindt een experiment plaats waarin wordt gekeken of gefaseerd begrazingsbeheer de negatieve effecten van stikstofdepositie voor karakteristieke diersoorten kan opheffen, zonder dat dit ten koste gaat van de floristische rijkdom (foto: Marijn Nijssen).

