

Effecten van het verzurings- en ammoniakbeleid

In dit artikel wordt een samenvattend overzicht gegeven van een reeks van drie artikelen die in aansluitende uitgaven van V-focus verschijnen. Hierbij is over de periode 1990-2015 gekeken naar de trends in emissie en depositie van ammoniak (te verschijnen in juli), de bijbehorende trends van ammonium en nitraat in bodemvocht en grondwater in natuurgebieden (te verschijnen in september) en trends in korstmossen (te verschijnen in november)

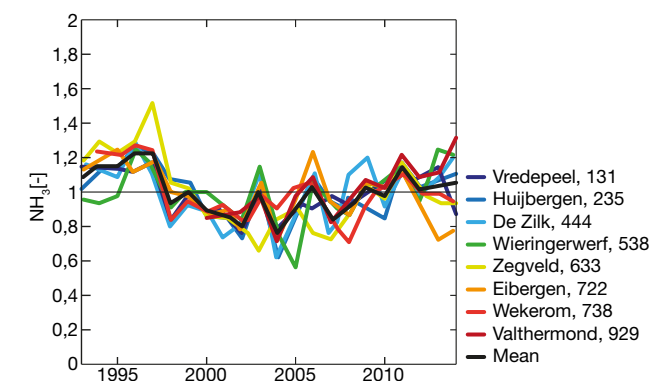
Hans Kros, Wim de Vries,
Wageningen Environmental Research
Addo van Pul, Esther Wattel-Koekoek, Roy
Wichink Kruit
Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
Kok van Herk,
Lichenologisch Onderzoeksbureau Nederland
Arnoud Frumau
Nederlandse organisatie voor Toegepast Natuur-
wetenschappelijk Onderzoek

De afgelopen dertig jaar is beleid gevoerd om de ammoniakemissies en depositie te verminderen. Zowel als onderdeel van het internationale verzuringsbeleid (UN-ECE Gotenborg-protocol, EU emissieplafond richtlijn, zie kader pag. 28) als in specifiek ammoniakemissie en depositiebeleid (Interim Wet Ammoniak en Veehouderij). Door emissiebeperkende maatregelen

(zoals emissiearme aanwending van dierlijke mest, afdekken van mestopslag, opkoopregelingen, emissiearme huisvesting) en maatregelen uit het mestbeleid (implementatie Nitraatrichtlijn) die hebben geleid tot minder bemesting, zijn de emissies van ammoniak, zoals gerapporteerd door de Emissieregistratie, over de afgelopen 25 jaar gedaald met circa 60 procent. De grootste daling heeft zich voorgedaan in de jaren

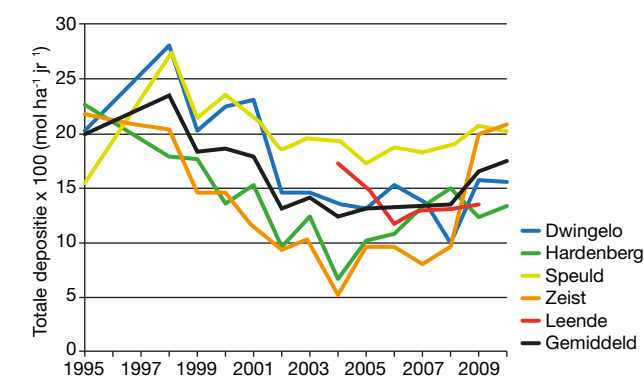
FIGUUR 1A JAARGEMIDDELDE

Trend in de jaargemiddelde ammoniakconcentraties voor de acht LML-stations van 1993 t/m 2014 en het gemiddelde van de stations, waarbij het concentratieverloop is genormaliseerd op het gemiddelde (voor 1993-2014) per station. Bron: Van Zanten et al., 2017.



FIGUUR 1B TEMPORELE VARIATIE

Temporele variatie in de totale depositie van NH_x (in mol ha⁻¹ jr⁻¹) op vijf locaties (en de gemiddelden), zoals berekend op basis van doorval- en bulkmetingen. Bron: naar Oldenburger et al., 2011.



Korstmossen

Korstmossen laten het volgende beeld zien: er is een toename van de ammoniakminnaars tot 1998 en daarna is er een afname. Omdat korstmossen vier tot zes jaar vertraagd reageren op veranderingen in de concentratie ammoniak in de lucht, betekent dit dat een daling van de concentraties vanaf 1992-1994 op gang is gekomen.

Natuurlijke trendmeter

Eiken bij Ruinerwold (Dr) met ammoniakminnende korstmossen, zoals Groot dooiermos. Foto: Kok van Herk

negentig. In evaluaties is geconcludeerd dat het beleid geleid heeft tot een verbetering van bodem en -grondwaterkwaliteit. Zo laat een analyse van bosbodems over 1990-2000 zien dat de gemiddelde stikstofconcentratie in het bodemvocht in die periode met bijna 40 procent is gedaald (De Vries et al., 2002) en de stikstofconcentratie in het bovenste grondwater onder bossen en natuurgebieden is in 2010 met 56 procent gedaald ten opzichte van 1988 (Boumans et al., 2013). Een evaluatie van het verzuringsbeleid, inclusief ammoniak, over de periode 1980-2010 laat zien dat het gevoerde beleid de verdere verzuring van bodem en oppervlaktewater heeft tegengegaan (Buijsman et al., 2010). Vanaf de eeuwwisseling hebben de maatregelen min-

der effect gehad en hebben die tot een veel lagere afname van de ammoniakemissies geleid. Dat is terug te zien in de niveaus van ammoniak en ammonium in het milieu. Wij geven hier de laatste stand van zaken aan de hand van een analyse van metingen in lucht, bodem en grondwater en trends in korstmossen over de periode 1990-2015. We beschrijven de resultaten van deze belangrijkste meetreeksen gerelateerd aan ammoniak en vervolgens geven we aan welk algemeen beeld hier uit af te leiden valt.

Resultaten

De resultaten zijn gebaseerd op metingen in lucht, bodem en grondwater en het voorkomen van korstmossen. De trends laten zien dat in

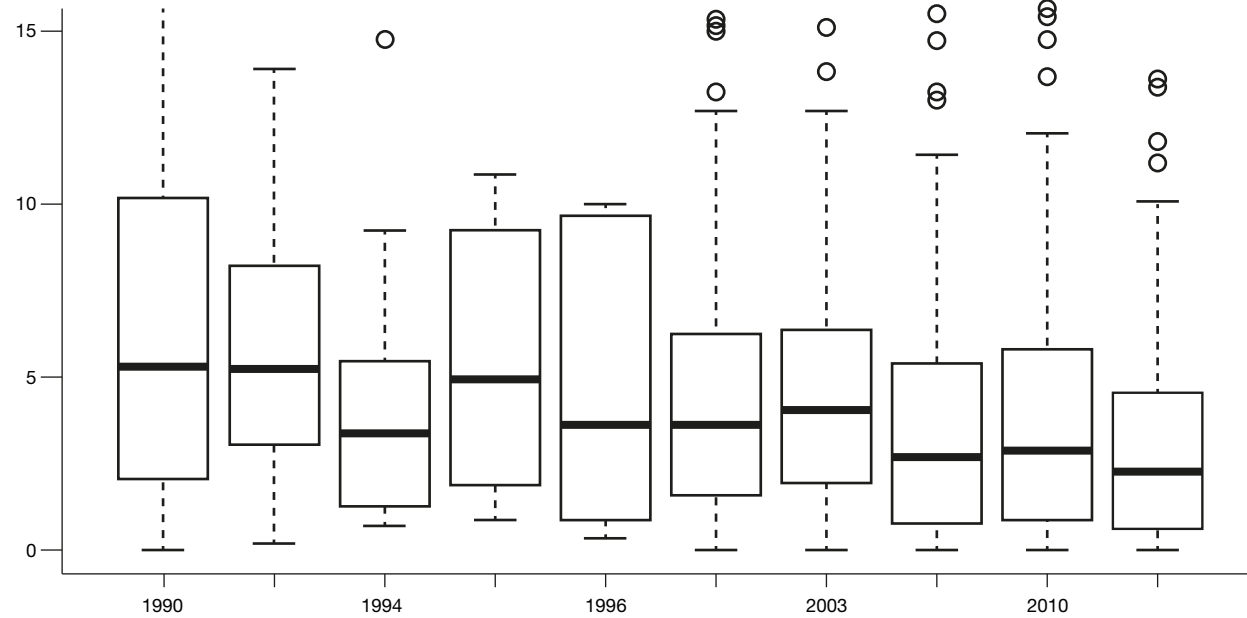
de periode tussen 1990 en 2004 een daling is opgetreden van: (i) de ammoniumconcentratie in regenwater en de bijbehorende natte depositie van ammonium (Figuur 1A), (ii) de totale ammoniakdepositie (Figuur 1B), en de nitraatconcentratie in ondiep grondwater (Figuur 2).

Figuur 1 laat zien dat de concentraties van ammoniak in de buitenlucht over de periode 1993-2014 zijn gedaald. De daling in de concentraties heeft voornamelijk in de eerste tien jaar plaatsgevonden (circa 35 procent over 1993-2004). Daarna zijn de concentraties weer toegenomen.

Het verloop van de NO₃-concentratie in het grondwater op de TMV-locaties laat over de periode 1990-2013 een statistisch significan-

FIGUUR 2 NITRAAT BOVENSTE GRONDWATER

Nitratconcentraties (in mg NO₃-N l⁻¹) in het bovenste grondwater voor de monitoringsperiode tussen 1990–2013 op basis van 145-155 waarnemingen per meetronde, m.u.v. de jaren 1992, 1994, 1995, 1996 waarvoor slechts 9 waarnemingen per meetronde beschikbaar waren. Bron: de RIVM database 'Base' en Boumans et al., 2013.



Internationaal beleid

- Verdrag van de Economische Commissie voor Europa van de Verenigde Naties (VN/ECE) betreffende grensoverschrijdende luchtverontreiniging over lange afstand van 1979 (Long-Range Transboundary Air Pollution – het LRTAP-verdrag), waaronder het Protocol inzake vermindering van verzuring, eutrofiëring en ozon op leefniveau van 1999, dat herzien werd in 2012 (herziene Protocol van Göteborg).
- Richtlijn (EU) 2016/2284 van het Europees Parlement en de Raad van 14 december 2016 betreffende de vermindering van de nationale emissies van bepaalde luchtverontreinigende stoffen, tot wijziging van Richtlijn 2003/35/EG en tot intrekking van Richtlijn 2001/81/EG.

te afname van de NO₃-concentratie zien van circa 60 procent (Figuur 2). De mediane NO₃-concentratie was 23 mg l⁻¹ (5 mg NO₃-N l⁻¹) in 1989 en 10 mg l⁻¹ (2,3 mg NO₃-N l⁻¹) in 2013.

Korstmosse laten een iets ander beeld zien (Figuur 3). Tot 1998 is er een toename van de ammoniakminnende soorten en daarna is er een geleidelijke afname over de periode 1999-2015. Er wordt geconcludeerd dat de daling in de ammoniakemissie in de jaren negentig zichtbaar is in de metingen, in lucht, bodem en grondwater en het voorkomen van korstmossen, maar dat geldt niet voor de geringere emissieafname vanaf 2005. Voor het detecteren van een trend is het cruciaal om voldoende monitoringsgegevens te behouden. Vanuit dat oogpunt is het sterk aan te bevelen om gestopte metingen met name in de doorval, bodem en grondwater in bossen en natuurgebieden weer voort te zetten.

Algemeen beeld

Van alle metingen die gekoppeld zijn aan ammoniak geldt dat zij in de periode tussen 1990 en 2004 zijn gedaald. Dit geldt voor: (i) de ammoniumconcentratie in regenwater en

de bijbehorende natte depositie van ammonium, (ii) de ammoniakconcentratie in de lucht en de bijbehorende droge depositie, (iii) de ammonium- en nitraatconcentratie in bodemvocht en de nitraatconcentratie in ondiep grondwater. Voor de ammoniumconcentratie in regenwater (indicator voor natte depositie) van ammonium zet de daling verder door na 2004, maar voor de ammoniakconcentratie in de lucht (indicator voor droge depositie) wordt weinig verandering of zelfs een stijging waargenomen na 2004. Korstmossen laten ook een iets ander beeld zien: Er is een toename van de ammoniakminnaars tot 1998 en daarna is er een afname. Omdat korstmossen vier tot zes jaar vertraagd reageren op veranderingen in de luchtconcentratie, betekent dit dat een daling van de concentraties vanaf 1992-1994 op gang is gekomen.

In de jaren negentig heeft ook de grootste daling van de ammoniakemissie plaatsgevonden die voornamelijk een gevolg is van de maatregelen op emissiearm aanwenden van mest. De gerapporteerde ammoniakemissies zijn over de periode 1993-2004 met circa 50 procent gedaald en over de periode 2004-2014 met circa 20 procent. De daling

in de emissies in de jaren negentig wordt dus teruggevonden in de metingen. De verdere daling in de ammoniakemissies in de periode daarna wordt voor een aantal componenten niet teruggevonden in de metingen. De daling in de emissies in die periode is aanzienlijk kleiner dan in de jaren negentig, dus zijn verschillen minder eenvoudig te detecteren. Verder leidt een daling in de emissies niet altijd tot een een-op-eendaling in de metingen. Zowel in de atmosfeer als bodem spelen processen een rol die maken dat er een afvlakking of vertraging van het verloop in de metingen plaatsvindt. Daarnaast laten de gerapporteerde emissies zien dat er in de periode 2005-2013 een beperktere (circa 20 procent) daling is dan ervoor, terwijl er vanaf 2014 weer sprake is van een geringe toename. De verwachte emissiedalingen in de prognoses liggen in de orde van 10 procent. Het detecteren van een trend van die grootte vereist een gedetailleerde analyse van de processen die een rol spelen in de trend. Daarnaast blijft het cruciaal om voldoende monitoringsgegevens te behouden om trends te kunnen vaststellen. Dit geldt voor metingen in alle milieucompartimenten. Vanuit dat oogpunt is het sterk aan te bevelen om

gestopte metingen met name in de doorval, bodem en grondwater weer voort te zetten.

Referenties

Bleeker, A., A. Frumau en A. Hensen, 2015. Datarapport Ammoniakmetingen 2007-2014. ECN-E-15-019, Petten.
 Bleeker, A. en Hensen, A., 2015. Hotspot op de Europese stikstofkaart; Waarom meten we zo weinig onze stikstofdepositie? Toets, 02 15, 12-16.
 Boumans, L.J.M., E.J.W. Wattel-Koekkoek, E. van der Swaluw, 2013. Veranderingen in regen- en grondwaterkwaliteit als gevolg van atmosferische emissiereducties. Vermesting en verzuring 1989-2010. RIVM rapport 680720005, Bilthoven.
 Buijsman, E., J. Aben, J-P. Hettelingh, A. van Hinsberg, R. Koelemeijer en R. Maas, 2010. Zure regen: een analyse van dertig jaar verzuringsproblematiek in Nederland. PBL-publicatie 500093007, Den Haag.
 De Vries, W., J.W. Erisman, A. Van Pul, J. Duyzer, L.J.M. Boumans, E.E.J.M. Leeters, J. Roelofs en A. van Hinsberg, 2002. Effecten van emissie beleid voor verzuring op depositie en de kwaliteit van bodem en grondwater. Arena nr 6, Het dossier: 82-85.
 Herk, C.M. van, 2017. Monitoring van korst-

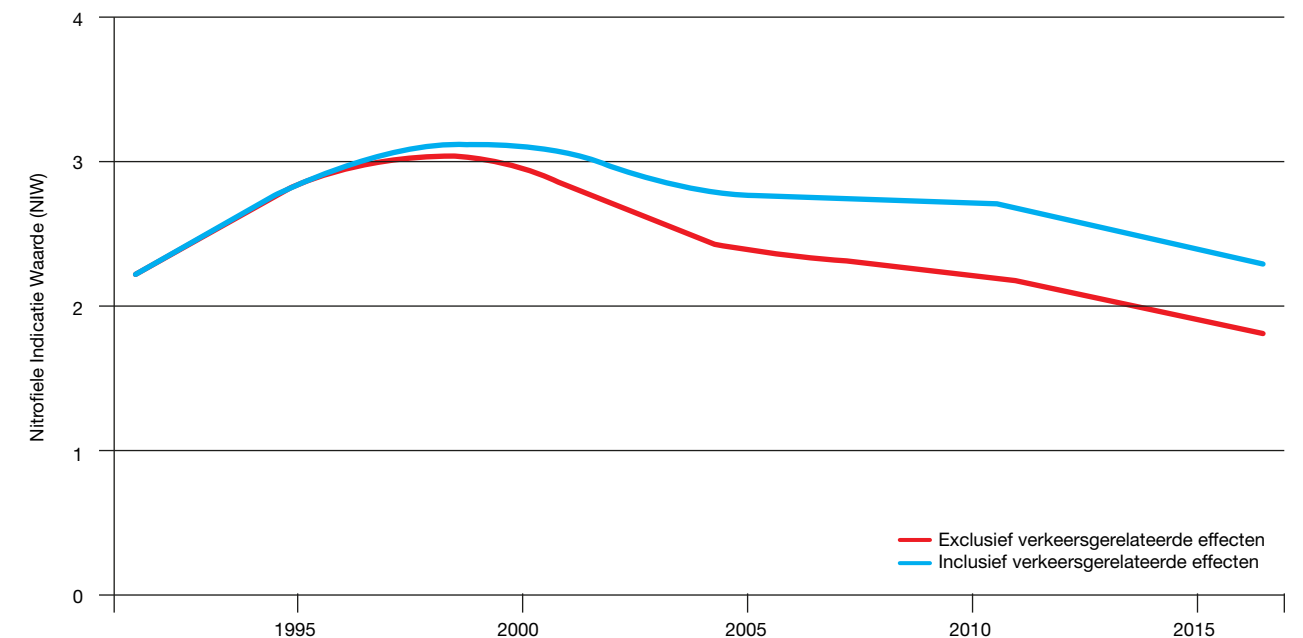
mossen in de provincie Drenthe 1991-2016, LON in opdracht van provincie Drenthe, Soest. Oldenburger, J., J. van den Briel, A. Bleeker & R.P.J.J. Rietra, 2011. FutMon activiteiten in Nederland in 2009 en 2010. Wageningen, Stichting Probos. <http://edepot.wur.nl/215267>
 Van Zanten, M.C., Wichink Kruit, R.J., Hoogerbrugge, R., Van der Swaluw, E. and van Pul, W.A.J., 2017. Trends in ammonia measurements in the Netherlands over the period 1993–2014. Atmospheric Environment, 148: 352-360.

SAMENVATTEND

- De daling in de ammoniakemissie in de jaren negentig is zichtbaar in de metingen, in lucht, bodem en grondwater en het voorkomen van korstmossen, maar dat geldt niet voor de geringere emissieafname vanaf 2005.

FIGUUR 3 AMMONIAKMINNENDE KORSTMOSSEN

Het verloop van de hoeveelheid ammoniakminnende korstmossen (uitgedrukt als NIW) tussen 1991 en 2016 op basis van trends in zes provincies (Friesland, Drenthe, Overijssel, Gelderland, Utrecht en Zeeland). Effecten die aan verkeer worden toegeschreven zijn apart weergegeven. Bron: C.M. van Herk, 2017.



TRENDS IN AMMONIAK- EN AMMONIUM

Concentraties en depositie

Dit artikel geeft de laatste stand van zaken aan de hand van een analyse van metingen in regenwater en lucht in de periode 1990-2015. We beschrijven de resultaten van deze belangrijkste meetreeksen gerelateerd aan ammoniak en vervolgens geven we aan welk algemeen beeld hieruit af te leiden valt.

Addo van Pul en Roy Wichink Kruit
Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu

Arnoud Frumau
Nederlandse organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek

Hans Kros en Wim de Vries
Wageningen Environmental Research

Ammoniak (NH_3) dat naar de lucht wordt uitgestoten wordt getransporteerd door de lucht en deponert weer op het aardoppervlak als droge en natte depositie (zie Figuur 1). Gedurende het transport in de lucht wordt NH_3 , in reactie met zwavel- en stikstofoxiden, omgezet naar ammonium (NH_4^+) zouten: ammoniumsulfaat en -nitraat. Deze zouten zijn ook een onderdeel van fijnstof. Doordat de emissies van zwavel- en stikstofoxiden de afgelopen dertig jaar gedaald zijn, is ook de omzetting van NH_3

naar NH_4^+ in de lucht afgenomen en blijft er dus meer NH_3 in de lucht aanwezig.

Droge en natte depositie

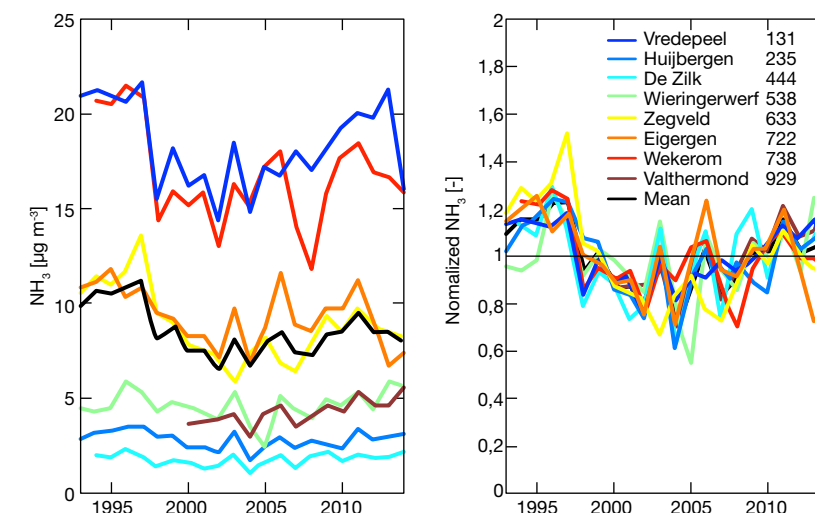
De droge depositie van NH_3 en NH_4^+ (tezamen in het vervolg aangeduid als NH_x) bestaat uit de som van a) de opname van NH_3 door het blad van de vegetatie vanuit de lucht, b) het oplossen van NH_3 in waterlaagjes op de vegetatie en de bodem en c) het deponeren van de ammoniumdeeltjes (aerosolen) die uit ammoniak gevormd zijn op vegetatie en bodem. Daarbij zijn de eerste

Emissies ammoniak

De afgelopen 30 jaar is er beleid gevoerd om de ammoniakemissies en depositie te verminderen. Zowel als onderdeel van het internationale verzuringsbeleid als in specifiek ammoniakemissie- en depositiebeleid. Door emissiebeperkende maatregelen (zoals emissiearme aanwending van dierlijke mest, afdekken van mestopslag, opkoopregelingen, emissiearme huisvesting) en maatregelen uit het mestbeleid die hebben geleid tot minder bemesting, zijn de emissies van ammoniak over de afgelopen 25 jaar gedaald met zo'n 60 procent. De grootste daling heeft zich voorgedaan in de jaren negentig.

FIGUUR 2 AMMONIAKCONCENTRATIES ACHT LML-MEETSTATIONS

Trend in de jaargemiddelde ammoniakconcentraties voor de acht LML-stations van 1993 t/m 2014 en het gemiddelde van de stations, zowel absoluut (links) als relatief (rechts), waarbij het concentratieverloop is genormaliseerd op het gemiddelde (voor 1993-2014) per station. Bron: Van Zanten et al., 2017.



twee processen het belangrijkste; de droge depositie van ammoniumdeeltjes vormt maar circa 5 procent van de droge NH_x -depositie. De natte depositie van ammoniak en ammonium is het gevolg van het uitrekenen van het gasvormig ammoniak en ammoniumdeeltjes. De droge depositie van ammoniak is ongeveer twee keer zo groot als de natte depositie. Natte depositie is relatief eenvoudig te meten met regenvangers. Dit wordt maandelijks in het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit (LML) gemeten. Droge depositie is veel lastiger te meten en er zijn daarom maar een beperkt aantal meetcampagnes beschikbaar. Deze meetcampagnes waren vooral gericht op het in beeld brengen en beter begrijpen van het depositieproces en het afleiden van modelbeschrijvingen. Via micro-meteorologische methoden is alleen de droge depositie boven het Speulderbos meerdere malen (met grote tussenpozen, verdeeld over een periode van twintig jaar) gemeten, terwijl op een aantal andere locaties in Nederland slechts kortere perioden (twee tot drie jaar) is gemeten. Vanaf 2011 worden er in het kader van het programma aanpak stikstof (PAS) droge depositiemetingen uitgevoerd met de micro-meteorologische methode op vier locaties (Natura 2000-gebieden). Deze meetreeksen zijn echter nog te kort om te gebruiken in een trendanalyse.

Droge depositie kan afgeleid worden via doorvalmetingen onder bossen. Doorval is regenwater dat onder het kronendak wordt opgevangen en is hierdoor een resultante van natte depositie, droog gedeponeerd NH_x en de uitwisseling met het bladerdek. Door het doorvalwater te vergelijken met regenwater dat buiten het bos opgevangen wordt en te corrigeren voor de uitwisseling van kationen door het bladerdek (Draaijers & Erisman, 1995; Erisman et al., 2001) wordt de droge depositie afgeleid. Het blijkt dat de berekende droge depositie goed overeenkomt met micro-meteorologische metingen en inverse modellering (Draaijers et al., 1994). In de periode 1982 tot 2010 zijn in Nederland veel doorvalmetingen uitgevoerd. Momenteel vinden geen doorvalmetingen meer plaats. De hoeveelheid droge depositie is gekoppeld aan de ammoniakconcentratie in de lucht. Dit betekent in principe dat hoe meer ammoniak er in de lucht is, hoe meer ammoniak er zal deponeren. Wel is het zo dat afhankelijk van de stikstofhuishouding, vegetatie ammoniak terug kan leveren aan de atmosfeer en er verdamping van ammoniak uit waterlaagjes plaats kan vinden. Deze processen zijn ook gekoppeld aan de hoeveelheid ammoniak in de lucht en hebben een reducerend effect op de depositie. Des-

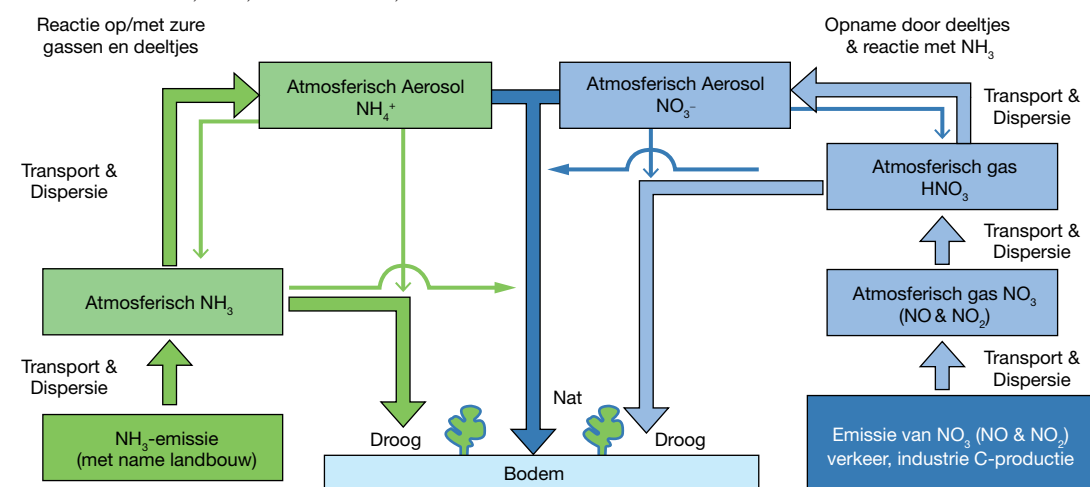
ondanks is de ammoniakconcentratie in de lucht een goede indicator voor de grootte en de trend in de droge depositie (Wichink Kruit et al., 2017).

Trends concentraties en droge depositie

In het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit (LML) worden concentraties van ammoniak in de buitenlucht op uurbasis gemeten; vanaf 1993 op acht locaties, vanaf 2014 op zes locaties (Figuur 2, links). De metingen van ammoniakconcentraties laten grote verschillen tussen locaties zien en de variatie over de jaren is ook aanzienlijk. De concentratieverschillen tussen de stations worden grotendeels verklaard door het verschil in ammoniakemissies in de omgeving van de locatie. Door de concentraties per station te normeren op het gemiddelde van het station voor de periode 1993-2014 kan een meer uniform beeld van het concentratieverloop waargenomen worden (Figuur 2, rechts). We zien dan dat ondanks de verschillen in de hoogte van de concentraties, als gevolg van lokale invloeden, het verloop in de tijd voor de stations redelijk gelijk is. Dit geeft aan dat de trend voor een groot deel bepaald wordt door bronnen die verder weg liggen (op regionale schaal). Variaties van jaar tot jaar zijn mede afhankelijk van de meteorologische omstandigheden. Warme jaren (zoals 2003) leiden vaak

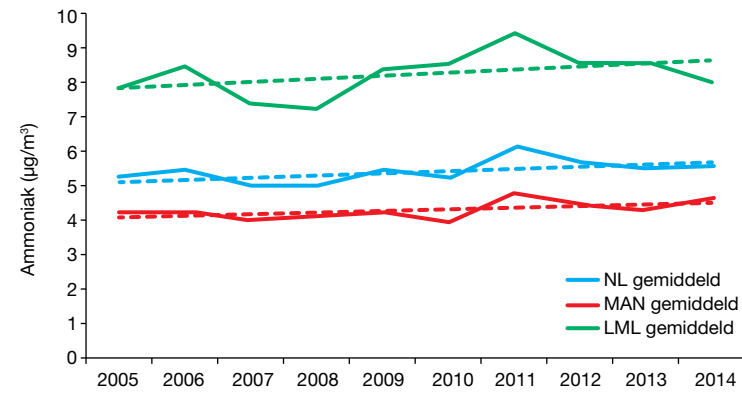
FIGUUR 1 ROUTES VAN STIKSTOF IN DE ATMOSFEER

Bron: Bleeker en Hensen, 2015; naar Hertel et al., 2006.



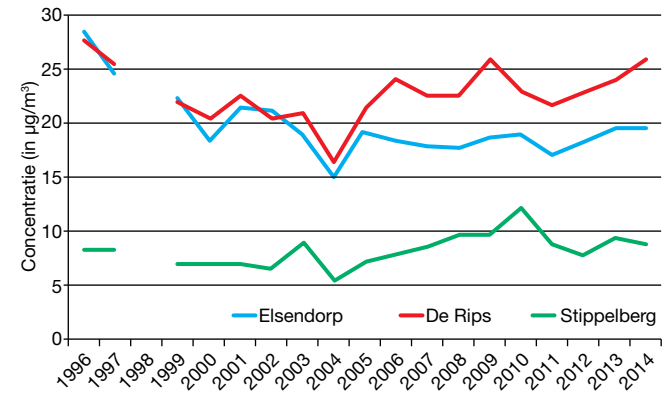
FIGUUR 3 AMMONIAKTREND NEDERLAND

Het verloop van de ammoniakconcentratie (in $\mu\text{g NH}_3 \text{ m}^{-3}$) over de periode 2005-2014. Bron: RIVM.



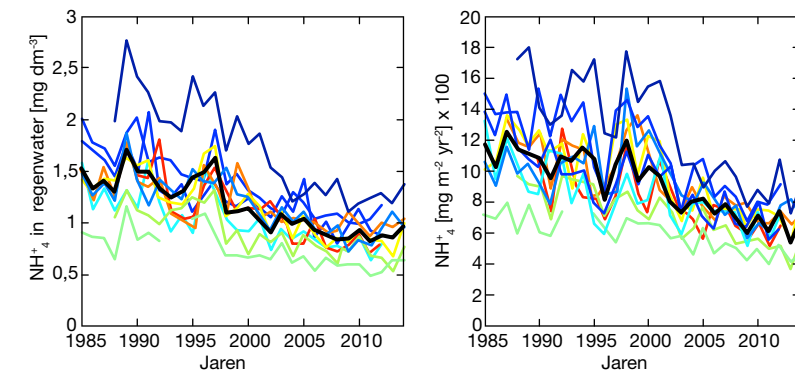
FIGUUR 4 CONCENTRATIES OOST-BRABANT

Ammoniakconcentratie (in $\mu\text{g NH}_3 \text{ m}^{-3}$) op een aantal locaties in het oosten van Noord-Brabant van 1996-2014. Bron: TNO/ECN, Bleeker et al., 2015.



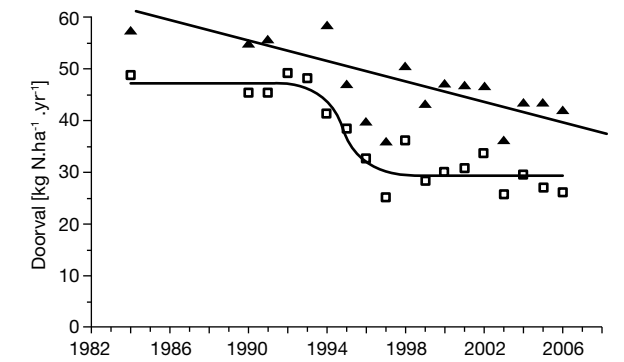
FIGUUR 5 REGENWATER EN NATTE DEPOSITIE

Verloop van ammoniumconcentraties in regenwater (links, in $\mu\text{g NH}_4^+ \text{ l}^{-1}$) en natte depositie (rechts, in $\text{mg NH}_4^+ \text{ m}^{-2} \text{ jr}^{-1}$; $1000 \text{ mg NH}_4^+ \text{ m}^{-2} \text{ jr}^{-1} = 7.8 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$) van ammonium op 10 LML-stations van 1985 tot en met 2014. Bron: RIVM.



FIGUUR 6 TOTAAL STIKSTOF YSSELSTEYN

Trends in totaal stikstof (nitraat + ammonium) (▲) en ammonium (◻) (in $\text{kg N ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$) in de periode 1984-2006 van Ysselsteyn. Bron: Boxman et al., 2008.



Trends regenwater

In het LML worden ammoniumconcentraties in neerslag gemeten samen met neerslaghoeveelheden. Op basis daarvan wordt de natte depositie van ammonium bepaald (Figuur 5). Over de periode van 1985-2014 is de natte depositie van ammonium met ca. 50 procent gedaald. Hier is geen duidelijk verschil in trend te vinden zoals bij ammoniakconcentratie tussen 1993-2004 en de periode daarna. De daling vindt vrijwel over de gehele periode plaats echter met een zekere afvlakking in de laatste jaren.

van ammoniak naar ammoniumzouten (ammoniumsulfaat en -nitraat) in de lucht ook gedaald. Dat betekent dat er gaandeweg over de periode 1993-2014 meer ammoniak in de lucht aanwezig is gebleven. Zonder de verminderende atmosferisch-chemische omzetting van ammoniak zou er een grotere daling zijn geweest in de periode 1993-2004 en een geringere stijging van de concentratie in de periode daarna (zie Wichink Kruit et al., 2017).

Ammoniak in natuurgebieden

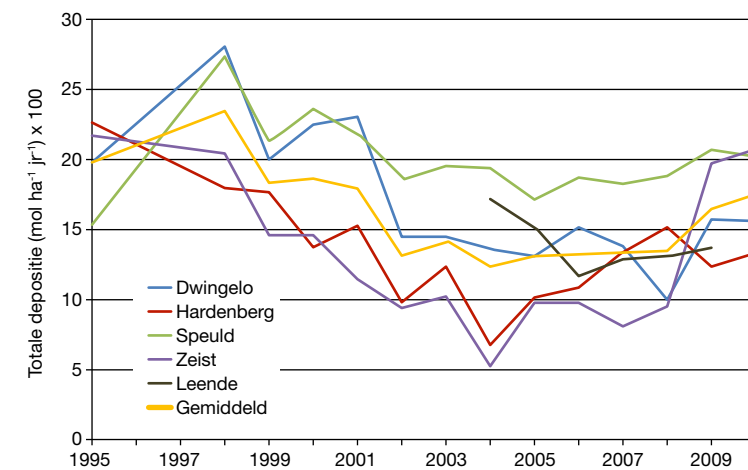
Sinds 2005 worden ook maandgemiddelde ammoniakconcentraties met passieve samplers gemeten in een aantal Natura 2000-gebieden die onder de PAS vallen in het Meetnet Ammoniak in Natuurgebieden (MAN). De metingen van het MAN bevestigen het beeld dat met het LML gevonden wordt. Gemiddeld wordt sinds 2005 een stijging van de ammoniakconcentratie gevonden (Figuur 3). Door TNO/ECN is in de jaren 1996-2014 ook met passieve samplers de ammoniakconcentratie gemeten in Noord-Brabant, zowel in natuurgebieden als agrarische gebieden (Figuur 4). Ook daar wordt gevonden dat er tot 2004 sprake is van een daling van de ammoniakconcentraties en vanaf 2004 een toename van de concentraties. Hier spelen wel duidelijk ook lokale ontwikkelingen een rol. De stijging van de ammoniakconcentratie in oostelijk Noord-Brabant komt voor een groot deel overeen met de toename van de emissies in deze regio (Bleeker et al., 2015).

Trends doorval, indicatie totale depositie

Met name in de jaren tachtig zijn veel doorvalmetingen uitgevoerd onder tientallen bosopstanden (Houdijk, 1990). Momenteel wordt doorval in Nederland nauwelijks meer systematisch in de tijd gevolgd. Wel is in Ysselsteyn in Noord-Brabant vanaf 1986 tot 2006 doorval van regenwater onder een grove denbos gemeten. De resultaten daarvan zijn gegeven in Figuur 6 (Boxman et al., 2008). Uit deze figuur blijkt dat er tussen 1990 en 2000 sprake is van een zeer sterke afname van de ammoniumdoorval (circa 50 procent). Sinds 2000 is er geen daling meer in ammoniumdoorval. In het kader van ICP Forest is in Nederland doorval en bulkdepositie (gemeten met open vangers) gemeten op zes locaties in de periode 1995-2010, zij het met een onderbreking in 1996 en 1997 (Leeters et al., 2007; Oldenburger et al., 2011). Op basis van de doorval- en bulkmetingen, in combinatie met een zogenaamd 'canopy exchange model' is de droge, natte en totale depositie van de verschillende componenten berekend. Figuur 7 laat de trend voor de berekende totale NH_x depositie zien. De depositieresultaten laten in de periode 1995 tot 2004 een gemiddelde daling in de NH_x depositie zien van circa $45 \text{ mol NH}_3 \text{ ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ (circa 40 procent). Conform de metingen van de ammoniakconcentratie (Figuur 2, 4 en 5) lijkt er, na een daling in de periode 1995-2004, weer sprake te zijn van een stijging in de NH_x depositie. De nitraatdepositie vertoont een vergelijkbare trend, maar deze is minder sterk (niet getoond).

FIGUUR 7 DOORVAL METINGEN OP VIJF LOCATIES

Temporele variatie in de totale depositie van NH_x (in $\text{mol ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$) op vijf locaties (en de gemiddelden), zoals berekend op basis van doorval- en bulkmetingen. Bron: naar Oldenburger et al., 2007.



Trends totale depositie Nederland

De metingen van zowel concentraties als deposities zijn op verschillende locaties uitgevoerd. Om een landsdekkend beeld te verkrijgen van de totale depositie van ammoniak en ammonium, de som van de droge en natte depositie, zijn modelberekeningen uitgevoerd met het OPS-model. De berekende droge en natte depositie van ammoniak en ammonium zijn geschaald aan de metingen uit het LML en MAN: de droge depositie met de ammoniakconcentratie in de lucht en de natte depositie met de metingen van ammonium in neer-

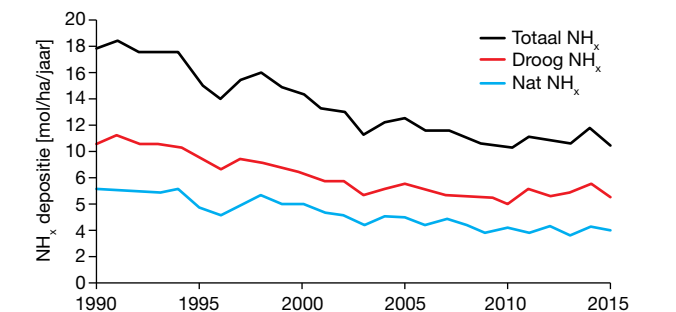
slag. De totale depositie van ammoniak en ammonium vertoont ook een duidelijke dalende trend in de jaren negentig tot circa 2004 en daarna vlakt dit af (Figuur 8).

Referenties

De lijst met referenties is op aanvraag beschikbaar (stuur een e-mail naar: redactie@v-focus.nl).

FIGUUR 8 DEPOSITIE OVER NEDERLAND

Depositie van ammoniak en ammonium (NH_x); totale, droge en natte depositie 1990-2015; gemiddeld over Nederland in $\text{mol ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$. De deposities zijn berekend met het OPS-model om een landsdekkend beeld te verkrijgen. De berekeningen zijn geschaald op de metingen, dat betekent dat de trend in de figuur bepaald wordt door de trend in de metingen (droge depositie geschaald op concentratie ammoniak in lucht; natte depositie op de natte depositiemetingen (neerslagmetingen). Bron: www.clo.nl/indicatoren/nl018915-vermestende-depositie.



CONCLUSIES

- Trends in ammoniakconcentraties in de buitenlucht laten in de periode 1993-2004 een daling zien, daarna zijn de concentraties weer toegenomen.
- Trends in natte en droge depositie van ammoniak laten in de periode 1990-2004 een duidelijke daling zien, daarna vlakt de daling af. Vanaf 2008 is er sprake van een toename van de ammoniakdepositie in bossen. ✓



TRENDS IN AMMONIUM EN NITRAAT

Concentraties in bodemvocht en grondwater

De afgelopen dertig jaar is er beleid gevoerd om de ammoniakemissies en depositie te verminderen. Door emissiebeperkende maatregelen (zoals emissiearme aanwending van dierlijke mest, afdekken van mestopslag, opkoopregelingen, emissiearme huisvesting) en maatregelen uit het mestbeleid (implementatie Nitraatrichtlijn) die hebben geleid tot minder bemesting, zijn de emissies van ammoniak, zoals gerapporteerd door de Emissieregistratie, over de afgelopen 25 jaar gedaald met circa 60 procent. De grootste daling heeft zich voorgedaan in de jaren negentig. De vraag is in hoeverre dit beleid geleid heeft tot een verbetering van bodem en –grondwaterkwaliteit. Wij geven hier de laatste stand van zaken aan de hand van een analyse van metingen in bodem en grondwater over de periode 1990-2015.

Wim de Vries en Hans Kros
Wageningen Environmental Research

Esther Wattel-Koekoek en Addo van Pul
Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu

De ammoniak en ammonium (NH_4^+) die door droge en natte depositie in de bodem komt, wordt onder aerobe omstandigheden in enkele weken tot maanden omgezet in nitraat (NO_3^-) door het biologische proces nitrificatie. Verder kan ammonium deels worden vastgelegd in organische stof (immobilisatie), maar ook worden vrijgemaakt (mineralisatie). Het gevormde nitraat wordt eveneens deels opgenomen door planten en deels vastgelegd in organische stof. Verder kan nitraat ook deels worden omgezet naar luchtstikstof en lachgas via het biologische proces denitrificatie. Het deel nitraat dat overblijft spoelt uit naar het grond- en oppervlaktewater. Het nitraat dat aanwezig is in de bodem en het grondwater is de resultante van het nitraat dat omgezet is uit ammonium en het gedeponeerde nitraat dat gevormd is door opname van stikstofoxiden uit de lucht. Als het gaat om effecten van verlaagde ammoniakdepositie op bodemvocht moet dus zowel naar NH_4^+ als NO_3^- worden gekeken vanwege het optreden van nitrificatie.

Chemische samenstelling bodem(vocht)

In zo'n honderd bosopstanden zijn metingen uit 1990 herhaald in 1995 en deels in 2000 (De Vries et al., 2002). Verder zijn tussen 1990 en 2001 bodemvochtconcentraties gemeten in een twaalfstal bosopstanden in het kader van ICP Forest (Leeters et al., 2007), waarna in twee opstanden nog verder is gemeten van 2003-2010 (Oldenburger et al., 2007). Deze opstanden overlappen met de eerder genoemde zes locaties waar in de periode 1995-2010 doorval en bulkdepositie is gemeten. De effecten van een afname in de depositie komen tot uiting in een verlaging van de stikstofconcentraties (ammonium en nitraat) in het bodemvocht. In Tabel 1 zijn de gemiddelde concentraties gegeven van ammonium en nitraat in het bodemvocht in de bovengrond (0-30 cm) van 98 locaties die in 1990, 1995 en 2000 zijn bemonsterd (Leeters en De Vries, 2001; De Vries et al., 2002). De belangrijkste conclusie uit Tabel 1 is dat in de periode 1990-2000 er gemiddeld sprake is van een sterke afname in de con-

centratie van ammonium en in mindere mate van nitraat, waardoor de afname in de concentratie van totaal stikstof ($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$) bijna 40 procent is. De sterke afname in NH_4 is naast een daling in de NH_4 -depositie waarschijnlijk ook het gevolg van een verhoogde nitrificatie (omzetting van NH_4 naar NO_3) als gevolg van de gunstigere bodemkwaliteit (voornamelijk minder zuur). Dit resultaat wijst er echter wel op dat een depositiedaling van stikstof tussen 1990 en 2000, zoals vastgesteld in de metingen van NH_3 en NO_x concentraties in de atmosfeer, zich weerspiegelt in lagere NH_4 en NO_3 concentraties in het bodemvocht. De effecten van een afname in de depositie komen ook tot uiting in een verlaging van de stikstofvoorraad in de humuslaag die het meest direct reageert op depositieveranderingen. Dit is geïllustreerd in Tabel 2, waarin gemiddelde gehalten en voorraden zijn gegeven van N in de humuslaag van 124

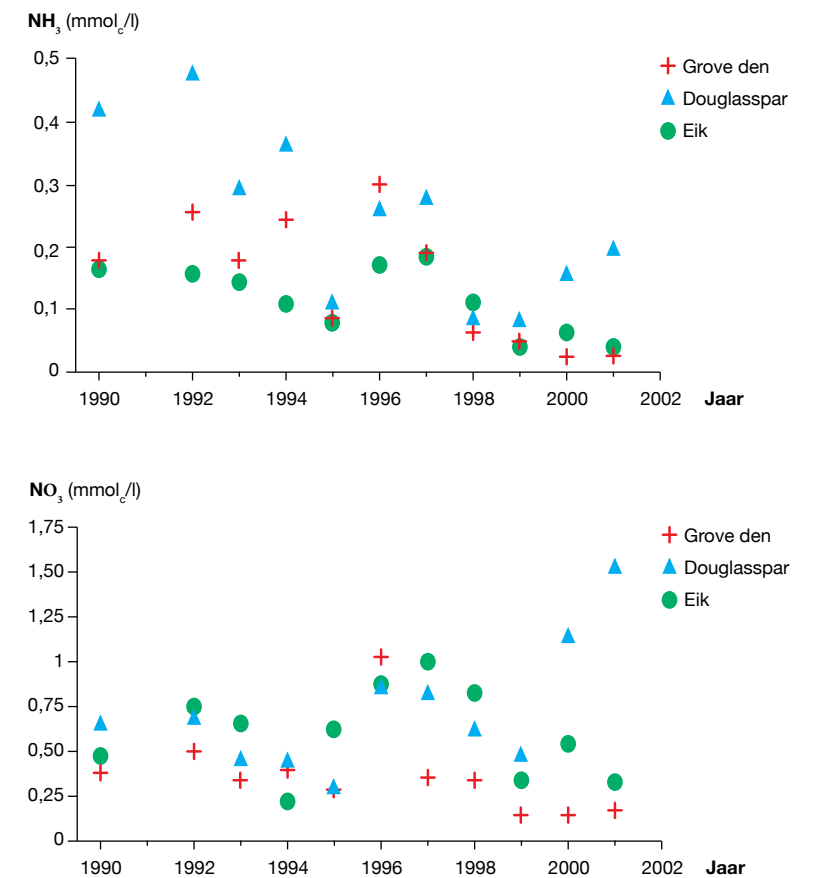
bosopstanden in 1990 en 1995. De resultaten wijzen op een significante afname in het N-gehalte van circa 0,7 g kg^{-1} (significants) en in de N-voorraad (niet significant) van 53 kg N ha^{-1} jr^{-1} in vijf jaar. Dit wijst op het vrijkomen van stikstof uit de humuslaag in reactie op de daling in stikstofdepositie in de periode 1990-1995 (Leeters en De Vries, 2001; De Vries et al., 2002).

Monitoring tussen 1990 en 2010 in twaalf opstanden

Evenals in de herhaalde meting van circa honderd opstanden blijkt dat er sprake is geweest van een sterke daling in de NH_4 concentratie in de bovengrond van twaalf bosopstanden tussen 1990 en 2001, terwijl de NO_3 concentraties niet significant zijn gedaald (Figuur 1). Vanaf 2003 tot 2010 is op twee locaties, een eik- en douglasopstand, verder gemeten. Daarbij is echter de meetmethode veranderd. In de metingen tussen

FIGUUR 1 GEMIDDELTE CONCENTRATIES VAN AMMONIUM EN NITRAAT

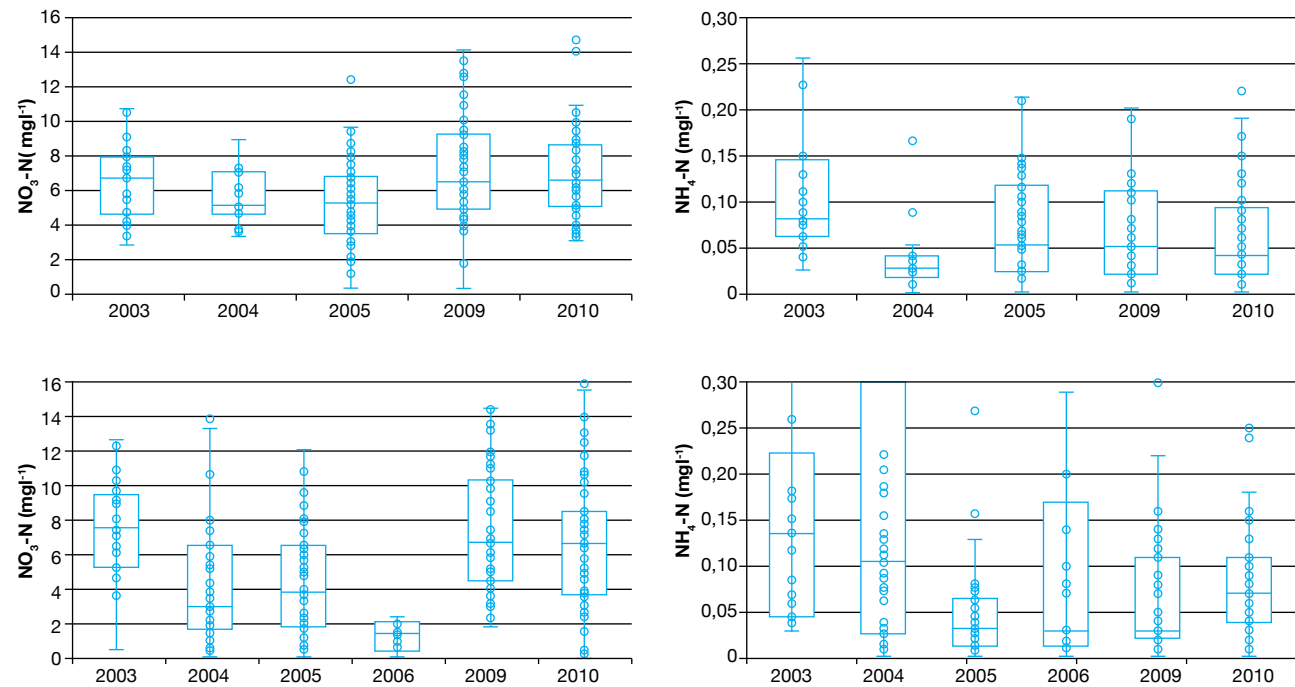
Gemiddelde concentraties van ammonium (boven) en nitraat (onder) in de bovengrond (0-30 cm) van vier locaties per boomsoort, te weten douglas, eik en grove den in 1990-2001. Bron: Leeters et al., 2007



FIGUUR 2 NITRAAT- EN AMMONIUMCONCENTRATIES 2003 - 2010

Nitrat- (*links*) en ammonium (*rechts*) concentraties in de monitoringsperiode tussen januari 2003 en december 2010 op locatie Zeist (eik, *boven*) en Hardenberg (Douglas, *onder*) in de bovengrond (nitraatnorm 50 mg l-1 = 11,6 mg NO₃-N l-1)

Bron: naar Oldenburger et al., 2011



Metten

Ammonium en nitraat zijn relatief eenvoudig te meten in bodem en grondwater. In verscheidene meetnetten en meetcampagnes zijn vanaf de jaren negentig metingen tot 2013 uitgevoerd van ammonium en nitraat in het bovenste grondwater en de bodem. Tussen 2000 en 2010 is het meten in bodemvocht echter heel beperkt geweest en momenteel vinden er helemaal geen metingen meer plaats. Dat geldt voor zowel bodemvocht als voor grondwater, beide gestopt in 2013.

1990 en 2001 is gebruik gemaakt van bodemvocht dat in het laboratorium via centrifuge uit de bodemmonsters komt. Vanaf 2003 is gebruik gemaakt van bodemvochtbemonstering in het veld met poreuze cups, zoals dat in de meeste andere landen plaatsheeft. De resultaten van de nieuwe analyse tussen 2003 en 2005 zijn gerapporteerd door De

Vries et al. (2010), terwijl resultaten tot 2010 zijn gegeven in Oldenburger et al. (2011) (Figuur 2). Resultaten laten zien dat de gemiddelde NO₃ concentraties in de jaren 2009-2010 hoger zijn dan in de jaren 2004-2006, met een duidelijke markering rond 2005 en 2006 vergelijkbaar aan de eerder gegeven resultaten over de depositie. Voor NH₄⁺ is dit minder duidelijk, maar deze concentraties zijn verwaarloosbaar klein ten opzichte van NO₃- (circa vijftig keer lager). Concluderend: Trends in bodemvochtconcentraties laten in de periode 1990-2000 een sterke afname zien in de concentratie van ammonium en in mindere mate van nitraat. In de periode 2005-2010 is er sprake van een toename van de nitraatconcentratie.

Chemische samenstelling bovenste grondwater

De ammoniak en het ammonium dat door droge en natte depositie in de bodem komt, wordt zoals eerder aangegeven in enkele weken tot maanden omgezet in NO₃-. De stikstofverbindingen worden opgenomen door de vegetatie of gebonden in de bodem (met name ammonium), of gaan als gasvor-

mige stikstofverbindingen verloren via denitrificatie. Van alle gedeponeerde N spoelt 25 tot 30 procent uit naar het grondwater (Boumans et al., 2013). Verreweg de meeste stikstof zit in de vorm van nitraat in het grondwater. In het grondwater in natuurgebieden op zand (*gegevens Trend Meetnet Verzuring (TMV)*, Boumans et al., 2013) is de concentratie gemiddeld circa 5 mg N l-1 als NO₃- en circa 0,05 mg N l-1 als NH₄⁺. Hieruit kan worden afgeleid dat verreweg het grootste deel van NH_x uit atmosferische depositie via nitrificatie wordt omgezet in NO₃-. Het verloop van de NO₃- concentratie in het grondwater op de TMV-locaties laat over de periode 1990-2013 een statistisch significante afname van de NO₃- concentratie zien van circa 60 procent (Figuur 3). De mediane NO₃- concentratie was 23 mg l-1 (5 mg NO₃-N l-1) in 1989 en 10 mg l-1 (2,3 mg NO₃-N l-1) in 2013. Concluderend: trends in de nitraatconcentratie in het bovenste grondwater laten in de periode 1990-2013 een sterke afname in de concentratie zien.

Referenties

- Boumans, L.J.M., E.J.W. Wattel-Koekoek, E. van der Swaluw, 2013. *Veranderingen in regen- en grondwaterkwaliteit als gevolg van atmosferische emissiereducties. Vermesting en verzuring 1989-2010. RIVM rapport 680720005, Bilthoven.*
- Buijsman, E., J. Aben, J-P. Hettelingh, A. van Hinsberg, R. Koelemeijer en R. Maas, 2010. *Zure regen: een analyse van dertig jaar verzuringsproblematiek in Nederland. PBL-publicatie 500093007, Den Haag.*
- De Vries, W., J.W. Erisman, A. Van Pul, J. Duyzer, L.J.M. Boumans, E.E.J.M. Leeters, J. Roelofs en A. van Hinsberg, 2002. *Effecten van emissie beleid voor verzuring op depositie en de kwaliteit van bodem en grondwater. Arena nr 6, Het dossier: 82-85.*
- De Vries, W., H.J.J. Wieggers & D.J. Brus, 2010. *Impacts of sampling design and estimation methods on nutrient leaching of intensively monitored forest plots in the Netherlands. J. Environ. Monit. 12 (8), 1515-1523.*
- Leeters, E.E.J.M. & W. de Vries, 2001. *Chemical composition of the humus layer, mineral soil and soil solution of 200 forest stands in the Netherlands in 1995. Wageningen (Netherlands), Alterra rapport 424.2, Wageningen.*
- Leeters, E.E.J.M., W. de Vries, T. Hoogland, B. van Delft, R. Wieggers, D. J. Brus, A.F.M. Olsthoorn, H. van Dobben, A. Bleeker, 2007. *What happened to our forests in the last decades? Results of more than ten years of forest ecosystem monitoring in the Netherlands. Alterra Report 1528, Wageningen.*
- Oldenburger, J., J. van den Briel, A. Bleeker & R.P.J.J. Rietra, 2011. *FutMon activiteiten in Nederland in 2009 en 2010. Wageningen, Stichting Probos. http://edepot.wur.nl/215267*

CONCLUSIE

In evaluaties is geconcludeerd dat het beleid geleid heeft tot een verbetering van bodem en grondwaterkwaliteit. Zo laat een analyse van bosbodems over 1990-2000 zien dat de gemiddelde stikstofconcentratie in het bodemvocht in die periode met bijna 40 procent is gedaald (De Vries et al., 2002) en de stikstofconcentraties in het bovenste grondwater onder bossen en natuurgebieden in 2010 zijn met 56 procent gedaald ten opzichte van 1988 (Boumans et al., 2013). Vanaf de eeuwwisseling hebben de maatregelen minder effect gehad en hebben die tot een veel lagere afname van de ammoniakemissies geleid.

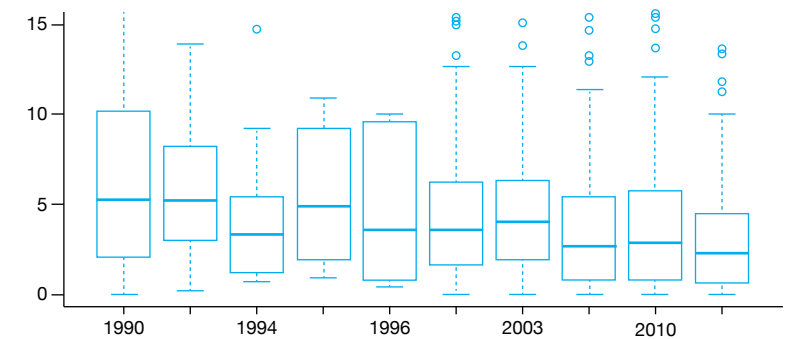
Daling nitraat in grondwater

De totale N-depositie tussen 1989 en 2014 is met circa 40 procent afgenomen, van circa 2.700 naar circa 1.600 mol/ha/jaar. De daling in nitraat in het grondwater is sterker afgenomen (60 procent) dan je op basis van de daling in totale depositie (40 procent) zou verwachten. Mogelijk is er meer nitraat opgenomen door de vegetatie door een toename van de groei door meer neerslag gedurende de zomer. De groeitoename wordt onderschreven door de stijging in de jaarlijkse evapotranspiratie. Ook is het mogelijk dat er meer denitrificatie plaatsvond, waardoor er minder nitraat uitspoelde via het grondwater

Bron: Boumans et al., 2013

FIGUUR 3 NITRAAT- EN AMMONIUMCONCENTRATIES 1990 - 2013

Nitratconcentraties (in mg NO₃-N l-1) in de monitoringsperiode tussen 1990 - 2013 op basis van 145-155 waarnemingen per meetronde, m.u.v. de jaren 1992, 1994, 1995, 1996 waarvoor slechts 9 waarnemingen per meetronde beschikbaar waren. Bron: de RIVM database 'Base' en Boumans et al., 2013



TABEL 1 AMMONIUM EN NITRAAT IN BODEMVOCHT

Gemiddelde concentraties van ammonium en nitraat in bodemvocht (in mmolc.l-1) in de laag 0-30 cm in 98 bosopstanden op zandgrond in de periode 1990-2000.

Element	Gemiddelde concentraties (in mmolc.l)		
	1990	2000	Vershil
NO ₃ ⁻	0,74	0,57	-0,17
NH ₄ ⁺	0,33	0,09	-0,24
N (NH ₄ ⁺ + NO ₃ ⁻)	1,07	0,66	-0,41

TABEL 2 GEMIDDELTE GEHALTEN EN VOORRADEN

Gemiddelde gehalten en voorraden van stikstof in de humuslaag van 124 bosopstanden in 1990 en 1995 en het verschil daartussen.

Grootheid	1990	1995	Vershil
N Gehalten (in g.kg-1)	14,4	13,7	-0,7
N Voorraden (in kg.ha-1)	1.386	1.332	-53



Korstmossen

Het zuurminnende en ammoniakmijdende eikenmos (links) en het ammoniakminnende groot dooiermos (rechts). Bron: C.M. van Herk.

Ammoniak in het milieu: Trends bij korstmossen

Op bomen groeiende korstmossen worden sinds de jaren tachtig door een aantal provincies gebruikt om de effecten van ammoniak in kaart te brengen en te monitoren. Zij blijken goede indicatoren voor ammoniak.

Kok van Herk
Lichenologisch Onderzoeksbureau Nederland

Hans Kros en Wim de Vries
Wageningen Environmental Research

Addo van Pul
Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu

Korstmossen reageren duidelijker en sneller op ammoniak dan welke plantengroep ook. Veel soorten zijn gevoelig voor ammoniak, maar er zijn ook veel soorten die er harder door gaan groeien. Vooral de laatste categorie is geschikt om de effecten van ammoniak te monitoren omdat er dan weinig versturende invloed uitgaat van andere factoren, bijvoorbeeld luchtverontreinigende stoffen als SO₂ of NO_x. Al enkele decennia vindt met enige regelmaat een inventarisatie plaats van de korstmossen. Deze zogeheten biomonitoring wordt gebruikt om uitspraken over de ontwikkeling in de ammoniakconcentraties te doen. Hierbij wordt goed in beeld gehouden welke andere factoren trends bij korstmossen kunnen veroorzaken (temperatuursverandering, andere luchtverontreinigende componenten). In dit artikel wordt ingegaan op trends in korstmossen over de periode 1990-2015 in relatie tot de stikstof (ammoniak) depositie. We beschrijven de resultaten van deze belangrijkste meetreeksen gerelateerd aan ammoniak en vervolgens geven we aan welk algemeen beeld hieruit af te leiden valt.

Relatie NIW en ammoniakconcentratie

In 1989 is ten behoeve van de provincies Friesland, Gelderland en Overijssel de zogenoemde NIW-schaal (Nitrofiële Indicatie Waarde) ontworpen. Deze beschrijft het voorkomen van twintig geselecteerde ammoniakminnaars. De NIW geeft aan hoeveel soorten uit deze groep per boom per meetpunt aanwezig zijn, gebaseerd op rijtjes van tien eiken (Van Herk, 1999). De NIW kan variëren tussen de 0 en de 12. Bij het provinciale onderzoek zijn circa 6.000 meetpunten verspreid over acht provincies één tot vijf maal onderzocht. Figuur 1 laat zien dat er een sterk verband aangetoond kon worden tussen de gemeten luchtconcentratie NH₃ en de NIW in het provinciale onderzoek in 1997. Overigens dient wel bedacht te worden dat de relatie afhankelijk is van de responstijd van korstmossen. De positie van de

regressielijn kan daarom niet gebruikt worden voor normstelling omdat die varieert met de responstijd van korstmossen. Deze ammoniakminnaars komen met name voor in gebieden met veel intensieve veehouderij, met een hoge ammoniak uitstoot (Van Herk, 1999). Dit wordt nader geïllustreerd in figuur 2 met een ruimtelijke interpolatie van de waargenomen NIW tezamen met de ruimtelijke verdeling van de droge ammoniakdepositie, die in zeer sterke mate wordt bepaald door de ammoniakconcentratie in de lucht. Bij hoge luchtconcentraties zijn de boomstammen geheel met deze soorten bedekt. Van een afstand is dit al herkenbaar aan de overheersend felgele kleur (zie foto op vorige pagina, rechts). Ammoniak zorgt niet alleen voor een hoger

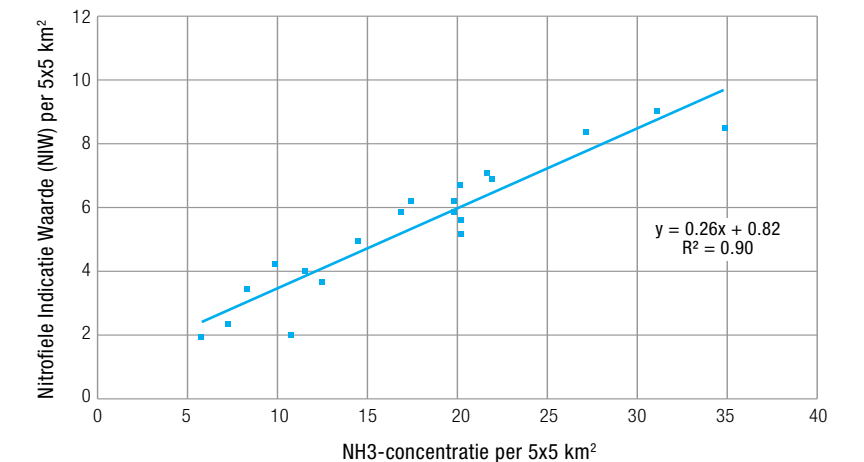
ammoniumgehalte in de boomschors, het leidt tevens tot een sterke ontzuring van boomschors omdat er, in tegenstelling tot de bodem, geen nitrificatie in de boomschors plaatsvindt. Hierdoor verdwijnen zuurminnende soorten op bijvoorbeeld eiken en berken (zie foto op vorige pagina, links); die komen van nature veel op deze bomen voor. Er komen ammoniakminnaars voor in de plaats; die ontbreken van nature op eiken en berken.

Trends in NIW

Figuur 3 laat het verloop van de hoeveelheid ammoniakminnende korstmossen zien. Daaruit blijkt dat de effecten van ammoniak tot 1998 zijn toegenomen; het aantal ammoniakminnende korstmossen neemt in deze periode toe. Daarna heeft zich een, gemid-

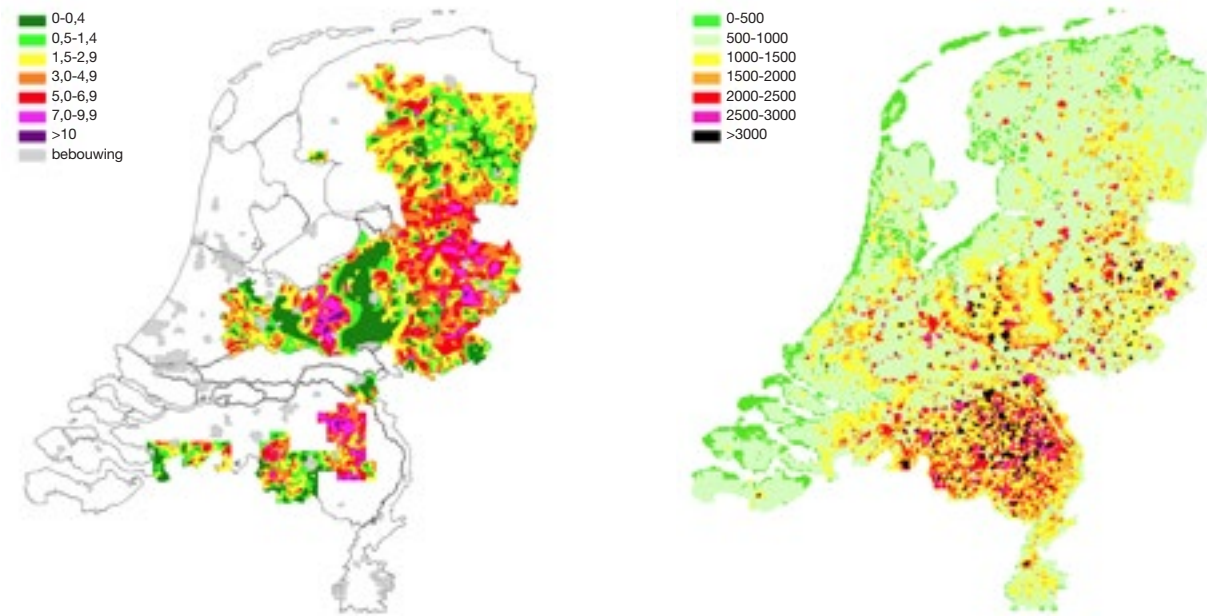
FIGUUR 1 AMMONIAKMINNAARS

Lineaire regressie van de hoeveelheid ammoniakminnaars (NIW) tegen de in situ gemeten NH₃-luchtconcentratie met passieve monsternemers (beide op basis van vier tot zes metingen per 5x5 km). Metingen in 1997 in Friesland, Gelderland en Noord-Brabant. Bron: C.M. van Herk, 2001.



FIGUUR 2 RUIMTELIJK PATROON NIW

Het ruimtelijke patroon van de Nitrofiële Indicatie Waarde (NIW), zoals vastgesteld met karteringen in Friesland, Drenthe, Groningen, Overijssel, Gelderland, Utrecht en Noord-Brabant tussen 1989 en 1997 (links; bron: C.M. van Herk, 1999) en de (gemodelleerde) droge ammoniakdepositie voor het jaar 1993 (rechts). Bron: www.clo.nl/indicatoren/nl018915-vermestende-depositie.



Beleid

De afgelopen dertig jaar is er beleid gevoerd om de ammoniakemissies en depositie te verminderen, zowel als onderdeel van het internationale verzuringsbeleid als in specifiek ammoniak-emissie en depositiebeleid (Interimwet ammoniak en veehouderij). Door emissie-bepalende maatregelen (zoals emissie-arme aanwending van dierlijke mest, afdekken van mestopslag, opkoopregelingen, emissiearme huisvesting) en maatregelen uit het mestbeleid (implementatie Nitraatrichtlijn) die hebben geleid tot minder bemesting, zijn de emissies van ammoniak, zoals gerapporteerd door de Emissieregistratie, over de afgelopen 25 jaar gedaald met circa 60 procent. De grootste daling heeft zich voorgedaan in de jaren negentig.

deld genomen, dalende trend ingezet. Een dergelijke trend valt, voor zover de waarnemingen dat toelaten, in alle onderzochte provincies vast te stellen. Vanaf 1997 is er in toenemende mate sprake van verkeersgerelateerde effecten. In de jaren negentig is de katalysator geïntroduceerd om de NOx-emissies te reduceren. Daar komt ammoniak als bijproduct bij vrij. Zo nam de bijdrage van verkeer aan de totale NH₃-uitstoot in de periode 1990-2013 toe van 0 procent tot 4 procent (emissieregistratie.nl). Aangezien veel meetpunten (boomrijen) dicht langs wegen staan, treedt er een verhoudingsgewijs te groot effect van verkeer op. Bij de inrichting van het meetnet, begin jaren negentig, kon niet worden voorzien dat een additioneel effect van verkeer op zou gaan treden. Ten aanzien van de veehouderij is altijd wel gestreefd naar representativiteit van de meetpunten. De afname van de ammoniakminnaars ten opzicht van 1998 (het jaar met maximale NIW) bedraagt bijna 30 procent inclusief verkeersgerelateerde effecten en bijna 40 procent indien deze effecten buiten beschouwing blijven (Van Herk, 2017).

Korstmosse hebben tijd nodig om op gewijzigde omstandigheden te reageren, bij een stijgende NH_x-depositie duurt dit naar verwachting vier tot vijf jaar voordat dit volledig in de NIW zichtbaar is. Bij een dalende belasting duurt dit langer, vermoedelijk vijf tot acht jaar. Dit is gebaseerd op waarnemingen bij nieuwvestiging respectievelijk beëindiging van veehouderijbedrijven. De genoemde responstijden betreffen het aantal jaren dat nodig is om de verandering volledig zijn beslag te laten krijgen. Al na één tot twee jaar treden evenwel substantiële veranderingen op. Bij een dalende belasting is de totale responstijd langer omdat grotere soorten (bijvoorbeeld groot dooiermos) tijd nodig hebben om af te sterven. In figuur 4 is te zien dat de verandering in Overijssel tussen 1989 en 2015 voor verschillende typen landgebruik niet gelijk is. In de agrarische gebieden komt de trend gemiddeld genomen overeen met die in figuur 3: een stijging van de effecten tot 1999, en daarna weer een afname. In bos- en natuurgebieden is er daarentegen een stijgende lijn die vanaf 1999 afvlakt. In bebouwde gebieden (categorie 'stad & dorp') is dit – op een hoger

niveau – ook het geval. Sinds 1989 is er bij beide categorieën sprake van ongeveer een verdubbeling van de NIW. De trends in Overijssel hebben vermoedelijk een bredere geldigheid in grote delen van Nederland. Het past binnen de te signaleren trend dat ruimtelijke patronen in NIW sinds 1990 steeds diffuser geworden zijn. Aanvankelijk waren er scherpe gradiënten rond boerderijen (Van Herk, 1999), toe te schrijven aan hoge ammoniakconcentraties. Deze zijn vervaagd, scherpe gradiënten zijn verdwenen, en de effecten tenderen nu veel meer richting een sluier over heel Nederland.

Referenties

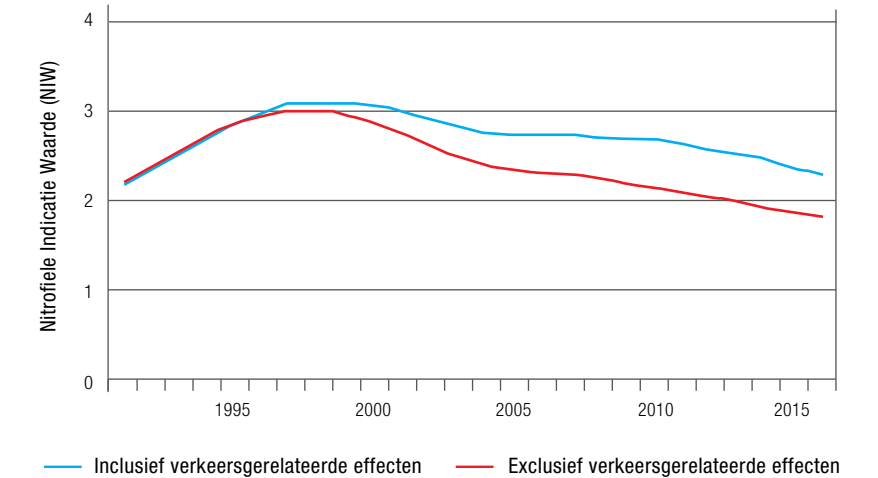
- Herk, C.M. van, 1999. Mapping of ammonia pollution with epiphytic lichens in The Netherlands. *Lichenologist* 31(1): 9-20.
- Herk, C.M. van, 2001. Bark pH and susceptibility to toxic air pollutants as independent causes of changes in epiphytic lichen composition in space and time. *Lichenologist* 33(5): 419-441.
- Herk, C.M. van, 2015. Monitoring van korstmossen in de provincie Overijssel 1989-2015, LON in opdracht van provincie Overijssel, Soest.
- Herk, C.M. van, 2017. Monitoring van korstmossen in de provincie Drenthe 1991-2016, LON in opdracht van provincie Drenthe, Soest.

CONCLUSIE

- Concluderend blijkt dat ammoniakminnende korstmossen tot 1998 een toename vertonen en in de periode 1999-2015 een geleidelijke afname. Deze vertraagde reactie op de depositieveranderingen (na-ijleffecten) komt doordat korstmossen tijd nodig hebben om op de gewijzigde omstandigheden te reageren. Bij een stijgende NH_x-depositie duurt dit naar verwachting vier tot vijf jaar en bij een dalende belasting vermoedelijk vijf tot acht jaar. Hieruit volgt dat het beleid dus wel degelijk effect heeft gehad op ammoniakminnende korstmossen. ✓

FIGUUR 3 VERLOOP HOEEVEELHEID AMMONIAKMINNENDE KORSTMOSSEN

Het verloop van de hoeveelheid ammoniakminnende korstmossen (uitgedrukt als NIW) tussen 1991 en 2016 op basis van trends in zes provincies (Friesland, Drenthe, Overijssel, Gelderland, Utrecht en Zeeland). Effecten die aan verkeer worden toegeschreven zijn apart weergegeven. Bron: C.M. van Herk, 2017.



FIGUUR 4 VERANDERING HOEEVEELHEID AMMONIAKMINNAARS

De verandering van de hoeveelheid ammoniakminnaars (uitgedrukt als NIW) in agrarisch gebied, in stad en dorp, en in bos en natuur tussen 1989 en 2015 in de provincie Overijssel. Bron: C.M. van Herk, 2015.

