

# WAT IS ER KRITISCH AAN STIKSTOFDEPOSITIE?

Op dit moment is er de nodige aandacht voor stikstofdepositie vanuit het perspectief van de Programmatische Aanpak Stikstof (PAS). Dit artikel gaat in op de achtergronden van de stikstofproblematiek, waar de stikstofdepositie een onderdeel van is. Het plaatst het Nederlandse stikstofprobleem in een Europees en mondiaal perspectief en geeft een beknopt overzicht van recente inzichten in de productie, verliezen en milieueffecten van stikstof.

ALBERT BLEEKER & JAN WILLEM ERISMAN\*

## Stikstof algemeen

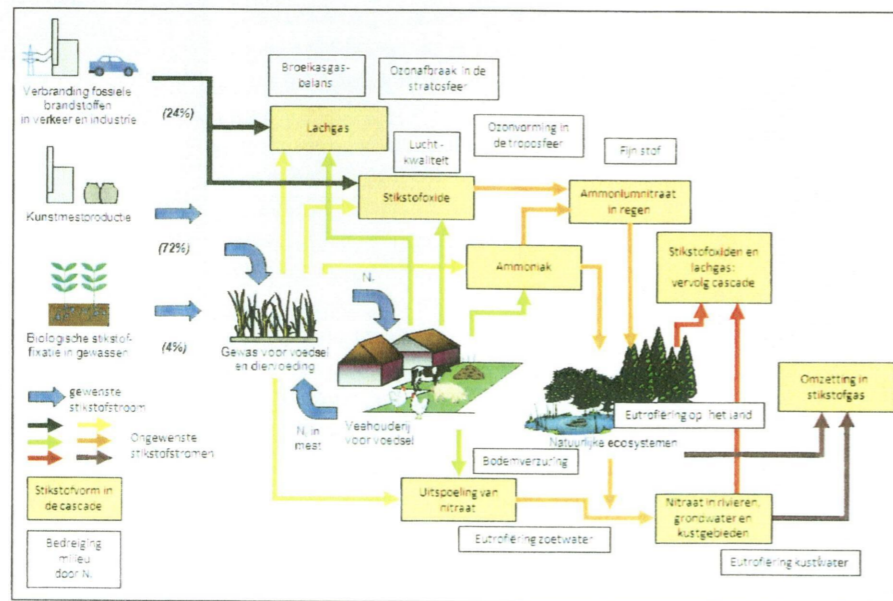
De atmosfeer zoals we die kennen bestaat voor 78% uit niet reactief stikstof ( $N_2$ ). Deze stikstofvorm is 'niet reactief' en is daarmee ook onschadelijk voor het milieu. Stikstof is echter ook essentieel voor het leven op aarde, maar daarvoor dient de stikstof beschikbaar te komen in een reactieve vorm ( $N_r$ ). Zo kan  $N_2$  reactief gemaakt worden voor onze voedselvoorziening via de productie van ammoniak via het Haber-Bosch-proces, dat de basis vormt voor kunstmest. Een andere manier van het produceren van  $N_r$  is via het verbranden van fossiele brandstoffen voor transport en energie, waarbij de  $N_r$  in de vorm van stikstofoxiden ( $NO_x$ ) een bijproduct is. Over het algemeen hebben deze processen een lage efficiëntie en zijn er grote verliezen van  $N_r$  naar het milieu. Op het moment dat een  $N_r$ -molecuul geproduceerd wordt, kan er van alles mee gebeuren. Via een 'cascade' van transport en chemische/biologische omzettingen kan een dergelijke molecuul een bijdrage leveren aan veel verschillende processen.<sup>1</sup> Figuur 1 geeft deze stikstofcascade weer: vanaf het moment dat  $N_r$  gevormd wordt tot en met de verschillende effecten waaraan  $N_r$  een bijdrage kan leveren. Zo kan  $N_r$ ,

in de vorm van stikstof in kunstmest, vrijkomen als nitraat en bijdragen aan de eutrofiëring (vermesting) van het oppervlaktewater of in de vorm van ammoniak dat eenmaal gedeponeerd kan bijdragen aan biodiversiteitsreductie. Vervolgens kan het weer ontsnappen als lachgas en zo een bijdrage leveren aan het klimaatprobleem en de afname van stratosferische ozon.

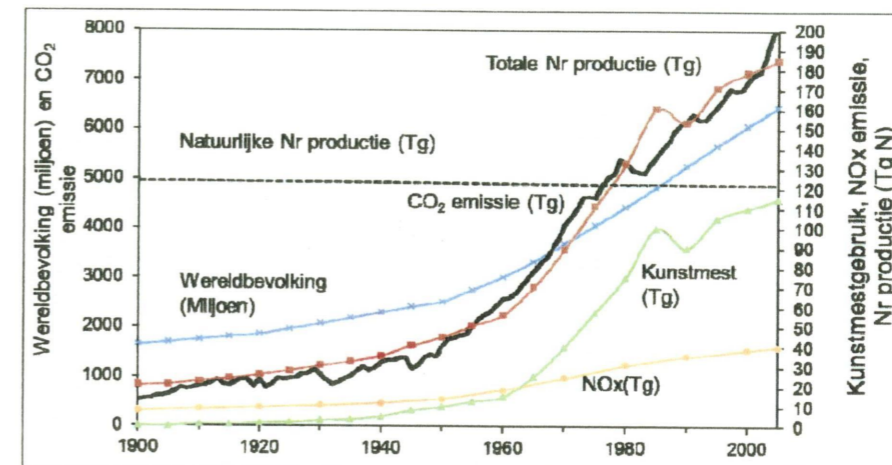
Uit figuur 1 wordt al snel duidelijk dat het omzetten van  $N_2$  naar  $N_r$  aan het begin kan staan van een hele reeks aan verschillende effecten:

- via secundair fijn stof (ammonium- en nitraataerosol) en stikstofoxiden een bijdrage aan het luchtkwaliteitsprobleem;
- via ammoniak en stikstofoxiden een bijdrage aan de afname van biodiversiteit;
- via stikstofoxiden een bijdrage aan de productie van troposferisch ozon;
- via nitraat een bijdrage aan de vermesting van grond- en oppervlaktewater;
- via lachgas een bijdrage aan het klimaatprobleem, maar ook aan de afbraak van het stratosferisch ozon.

Figuur 1: Overzicht van de stikstofcascade: van oorzaak naar effecten.



DE VERWACHTE STERKE STIJGING VAN DE  $N_r$ -PRODUCTIE ZAL EEN TOENAME IN DE STIKSTOFGERELATEERDE PROBLEMEN LATEN ZIEN



Figuur 2: Verloop van de  $N_r$ -productie, het kunstmestgebruik, de  $NO_x$ -emissie en de wereldbevolking in de periode 1900-2000.

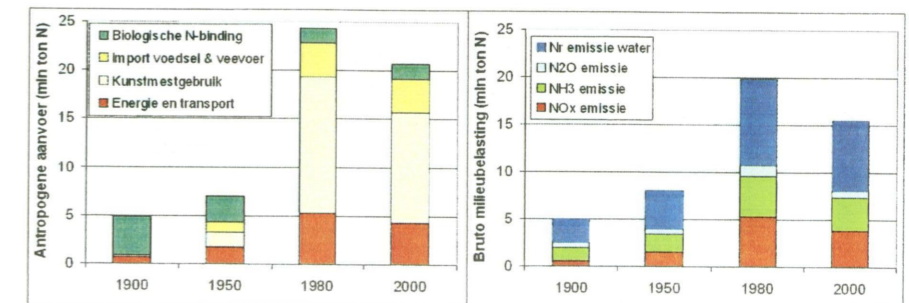
## Stikstof mondiaal

Op wereldschaal is de  $N_r$ -productie de afgelopen decennia sterk toegenomen. Figuur 2 laat het verloop van de  $N_r$ -productie in de periode vanaf 1900 zien, met als bijzonder moment 1975 – het jaar waarop de vorming van  $N_r$  door de mens de natuurlijke  $N_r$ -productie overstijgt. Dit is grotendeels mogelijk gemaakt door de ontdekking van het Haber-Bosch-proces, in het begin van de 20ste eeuw, waarbij de industriële binding van stikstof voor verschillende doeleinden (kunstmest, explosieven) mogelijk werd. Hierdoor kon de steeds verder groeiende wereldbevolking gevoed worden. Op dit moment is het zelfs zo dat circa de helft van de wereldbevolking te eten heeft dankzij dit Haber-Bosch-proces.<sup>2</sup> Vanaf de grootschalige productie van kunstmest volgt de trend in  $N_r$ -productie de trend in de wereldbevolking. Dit geldt trouwens ook voor de trend in  $CO_2$ -emissie. Dit is ook niet zo vreemd, aangezien zowel  $N_r$ -productie als  $CO_2$ -emissie dezelfde oorzaak heeft: het gebruik van fossiele brandstoffen voor het produceren van kunstmest en/of energie.

In de komende eeuw zal de wereldbevolking nog verder toenemen van

7 miljard in 2011 tot 10-14 miljard in 2100. Deze toename, gecombineerd met een sterk wijzigende levensstijl zoals de toename in vleesconsumptie, zal naar verwachting een sterke toename van de productie van  $N_r$  tot gevolg hebben. Schattingen van het gebruik van kunstmest laten een stijging van 50-100% zien in de periode 2000-2100, waarbij de grootste toename in Azië te verwachten is. Ook voor het gebruik van fossiele brandstoffen, en de daarmee samenhangende emissie van  $NO_x$ , wordt een sterke stijging verwacht in met name China en India (100-150% stijging in de periode 2000-2030). De verwachte sterke stijging van de  $N_r$ -productie zal een toename in de stikstofgerelateerde problemen laten zien, tenzij er in de komende decennia een

Figuur 3: Trend in aanvoer van  $N_r$  (links) en belasting van het milieu (rechts) voor de EU 27-landen.<sup>4</sup>



manier gevonden wordt om op een efficiëntere manier voedsel en energie te produceren dan dat we tot nu toe gedaan hebben.

## Stikstof Europees

De Europese onderzoeksweld heeft altijd een grote voortrekkersrol gespeeld in het herkennen en beschrijven van het stikstofprobleem. Een voorbeeld daarvan is de lancering van de eerste European Nitrogen Assessment (ENA) in april 2011 in het Schotse Edinburgh.<sup>3</sup> Ruim tweehonderd Europese wetenschappers uit meer dan twintig landen hebben aan de ENA gewerkt, waarbij het uiteindelijke doel van de ENA was om een overzicht te geven van de huidige kennis over bronnen, effecten en interacties van stikstof in Europa, inclusief de effecten van het huidige en toekomstige beleid.<sup>4</sup> De ENA-analyse maakt duidelijk dat de hoeveelheid  $N_r$  die in Europa in het milieu terecht komt, in de vorige eeuw ruwweg verdrievoudigd is. Een belangrijk positief effect is een verviervoudiging van de voedselproductie in Europa. Figuur 3 laat de trend in  $N_r$ -productie (links) en de milieubelasting (rechts) zien voor de EU 27-landen, met de substantiële toename in de periode 1950-1980.

Eenmaal in het milieu terechtgekomen, kan  $N_r$  een bijdrage leveren aan vele effecten, zoals eerder benoemd (zie



figuur 1). Figuur 4 geeft de vijf effecten weer die in de ENA als meest belangrijk zijn gemarkeerd en nader zijn uitgewerkt. Een aantal algemene conclusies die getrokken konden worden, zijn:

- lachgas (N<sub>2</sub>O) draagt 4% bij aan de totale Europese broeikasgasemissies;
- bemesting of atmosferische depositie leidt tot verzuring en daarmee tot verlies aan gewasopbrengsten;
- meer dan 10 miljoen mensen in West-Europa drinken water met nitraat (NO<sub>3</sub>)-concentraties boven de door de EU gestelde norm;
- 20% van de plantdiversiteit, in het bijzonder de gevoelige soorten, is verdwenen in Europa;
- fijn stof vermindert de levensverwachting met zes maanden in Centraal-Europa.

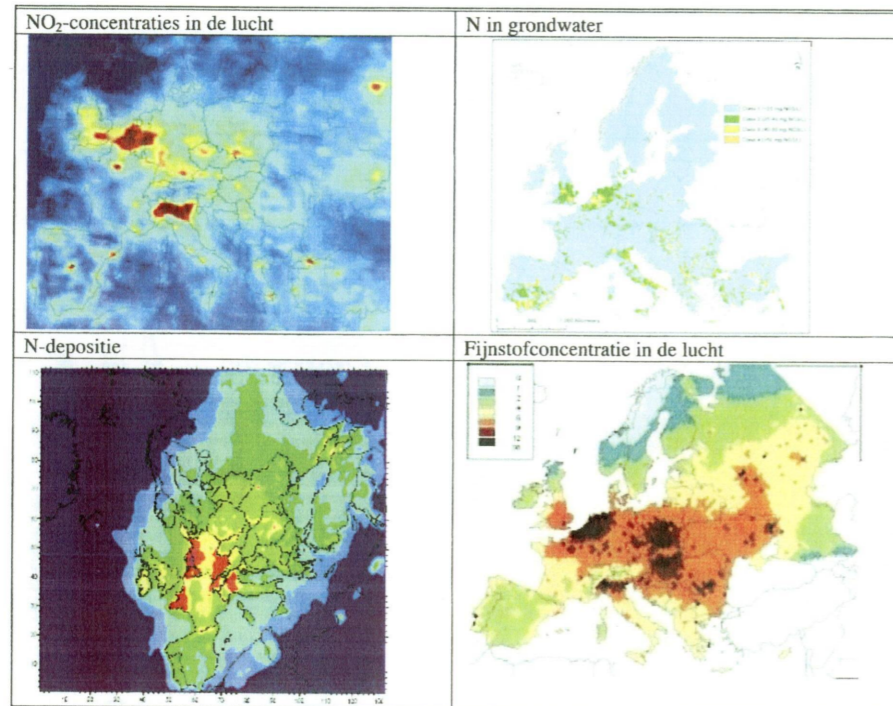
Stikstof Nederland

Nederland is van oudsher een stikstof-hotspot met zijn intensieve landbouw, industrie en transporten. Nederland heeft een lange historie van kennis en beleidsontwikkeling en daarmee een belangrijke internationale positie op dit gebied. De hoge N<sub>i</sub>-productie in Nederland wordt veroorzaakt door een samenloop van omstandigheden:

- Nederland heeft een zeer intensieve landbouw; veel import van veevoer en export van landbouwproducten, maar achterblijven van afvalproducten (met de bijbehorende emissies naar bodem, water en lucht);
- Nederland heeft een zeer dichte bevolking; relatief veel uitstoot van



Figuur 4: De vijf belangrijkste milieuthema's die in de ENA nader onderzocht zijn.<sup>4</sup>



Figuur 5: Nederland als Europese hotspot: NO<sub>2</sub>-concentratie in de lucht, N in grondwater, N-depositie en fijnstofconcentratie in de lucht.

luchtverontreinigende stoffen door verkeer & industrie op een klein oppervlak;

- Nederland heeft een ongunstige ligging ten opzichte van omliggende landen; ligging aan het eind van een aantal grote rivieren en aan de drukbevaren Noordzee.

Deze combinatie heeft er uiteindelijk toe geleid dat Nederland vaak te vinden is in het 'donkere' deel van Europese milieukaarten, zoals de vier kaarten in figuur 5. De betreffende kaarten laten de NO<sub>2</sub>- en fijnstofconcentratie in de buitenlucht, de N-gehalten (in de vorm van nitraat) in het grondwater en de N-depositie zien. Uit deze verschillende kaarten komt Nederland telkens naar voren als één van de intensiefste gebieden in Europa.

De speciale positie van Nederland met betrekking tot stikstof is al een aantal decennia geleden herkend en sinds die tijd is er veel aandacht geweest voor het kwantificeren van het stikstofprobleem. Zo zijn er meerdere meetmethoden ont-

wikkeld en meetprogramma's uitgevoerd en modellen ontworpen, met als doel om de verschillende stikstofstromen in beeld te brengen. Een gedegen inzicht in deze stromen is onontbeerlijk voor het ontwikkelen van effectief beleid om de negatieve gevolgen van de productie van N<sub>i</sub> te verminderen, zonder de positieve kanten (voedsel- en energieproductie) in gevaar te brengen. Een recente studie heeft deze stikstofstromen voor Nederland in kaart gebracht (figuur 6).<sup>5</sup> Deze figuur geeft nog eens weer dat Nederland een grote producent van N<sub>i</sub> is (2420 kton), maar dat een groot deel daarvan wordt geëxporteerd (2140 kton). Landbouw is een belangrijke post in de totale stikstofstroom. Hierbij gaat het dan om het gebruik van kunstmest, dierlijke mest, import van veevoer en uiteindelijk de productie, het gebruik en de export van levensmiddelen. De rode pijlen in figuur 6 geven de verschillende verliezen richting het milieu aan, waarbij er in totaal 265 kton N<sub>i</sub> richting de atmosfeer gaat, 70 kton richting het grond- en

NEDERLAND IS VAN OUDSHER EEN STIKSTOF-HOTSPOT MET ZIJN INTENSIEVE LANDBOUW, INDUSTRIE EN TRANSPORTEN

oppervlaktewater en nog eens 15 en 5 kton naar respectievelijk oogstverliezen en slib.

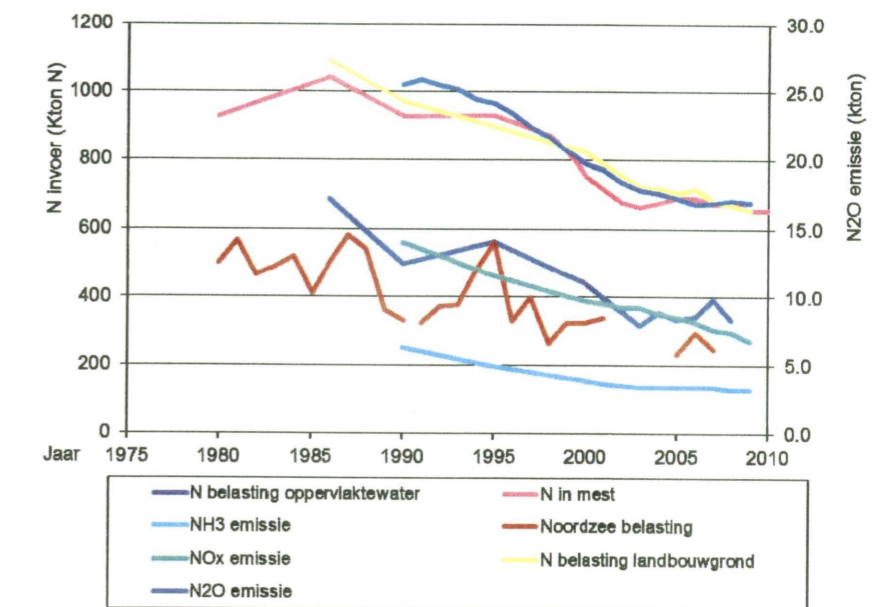
Het kennen van deze stromen is belangrijk voor het definiëren van effectieve maatregelen om het verlies van reactief stikstof te voorkomen.

Deze maatregelen hebben in de loop van de afgelopen decennia positieve gevolgen gehad. Figuur 7 laat de trend in verschillende N<sub>i</sub>-stromen in Nederland zien. Het is duidelijk dat al deze stromen sinds 1980 grote reducties doormaken, ondanks het feit dat een aantal van deze trends in de laatste vijf jaar lijkt af te vlakken. Maatregelen die tot positieve resultaten hebben geleid, zijn onder andere:

- invoering van de mineralenboekhouding in de landbouw;
- gebruik van emissiearme stallen;
- doorvoeren van mestinjectie;
- afdekken mestopslag;
- invoeren van aanwendingsnormen met betrekking tot mest;
- sturen op ureumconcentratie in melk;
- mestverwerking;
- geen mestaanwending in de winter;
- selectieve katalytische reductie voor industrie en transport;
- aanpassing van de brandstofmix ten behoeve van energieproductie.

Conclusies

Reactief stikstof in het milieu heeft een groot aantal effecten, waarvan de belangrijkste zijn: waterverontreiniging met nitraat, luchtverontreiniging met



Figuur 7: Trend in verschillende N-stromen in Nederland in de periode 1980-2010.

NO<sub>x</sub> en fijn stof, bijdrage aan klimaatverandering, vermindering van de biodiversiteit en bodemverontreiniging. Ondanks dat we in Nederland en in Europa met behulp van vele maatregelen in staat geweest zijn om een stijgende lijn in het vrijkomen van N<sub>i</sub> richting het milieu om te buigen naar een duidelijke daling, zijn we in veel gevallen nog niet in staat gebleken om veel van de milieudoelen op het gebied van reactief stikstof te halen. De stikstofefficiëntie moet duidelijk omhoog om de verliezen naar het milieu te beperken. Daarnaast staan we op wereldschaal ook nog eens voor de uitdaging om in de komende eeuw te voorkomen dat in de opkomende economieën reactieve

stikstofproductie en reactief stikstofgebruik een explosieve ontwikkeling doormaken. Reden genoeg om stikstof wereldwijd hoog op de agenda te houden.

Referenties

1. Galloway, J.N., Aber, J.D., Erisman, J.W., Seitzinger, S.P., Howarth, R.W., Cowling, E.B. & Cosby B.J. (2003). The Nitrogen Cascade. *BioScience* 53 (4), pp. 341-356.
2. Erisman, J.W., Sutton, M.A., Galloway, J., Klimont, Z. & Winniwarter, W. (2008). How a century of ammonia synthesis changed the world. *Nature Geoscience* 2008, pp. 636-639.
3. Beschikbaar via [www.nine-esf.org/ENA-Book](http://www.nine-esf.org/ENA-Book).
4. Sutton, M.A., Howard, C.M. et al. (eds.) (2011). *The European Nitrogen Assessment: Sources, Effects and Policy Perspectives*. Cambridge University Press.
5. Roëll, C. & Erisman, J.W. (2011). *Kwantificeren van de stikstofstromen in Nederland*. Milieu Dossier 2011-3, pp. 23-26.

\* Albert Bleeker (a.bleeker@ecm.nl) is werkzaam bij het Energieonderzoek Centrum Nederland in Petten. Jan Willem Erisman is werkzaam bij het Louis Bolk Instituut in Driebergen.

Figuur 6: Nederlandse stikstofstromen in 2005 (in kton).<sup>5</sup>

