
Factsheet 'stikstofbronnen'

Opgesteld door Oene Oenema (Wageningen University & Research; Email: oene.oenema@wur.nl), met bijdragen van: Wim de Vries, Han van Dobben, Hans Kros, Gerard Velthof, Gert Jan Reinds (WUR)

Inleiding

De Vaste Tweede Kamercommissie voor Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit heeft aangegeven behoefte te hebben aan meer wetenschappelijke kennis over het zogenoemde 'stikstofdossier', onder andere in verband met het geplande debat over het Programma Aanpak Stikstof in oktober 2019.

De Commissie heeft twee verzoeken gedaan, namelijk

1. Het opstellen van een factsheet stikstofbronnen; welke bronnen dragen in welke mate bij aan de Nederlandse problemen? In hoeverre is dat beeld regionaal verschillend? Zijn de problemen in Nederland groter dan elders in Europa? En zo ja, waarom? Welke maatregelen zijn (theoretisch) denkbaar om de stikstofuitstoot te reduceren, en hoe groot is het effect daarvan? Hoe interfereren zulke mogelijke maatregelen met maatregelen die al voorgesteld worden in het klimaatakkoord (EZK) of het Schone Lucht Akkoord (IenW)?

2. Het opstellen van een netwerk van stikstofdeskundigen; welke deskundigen in Nederland kunnen worden benaderd voor vragen op het terrein van de stikstofproblematiek, over bijvoorbeeld juridische aspecten, de effecten van stikstof op de natuur, bronnen van stikstof.

Samenvatting en conclusies

- Stikstof (N) is een natuurlijk element dat in niet-reactieve vorm (stikstofgas) en reactieve vorm (ammoniak, stikstofoxide, nitraat, ammonium, lachgas, organisch gebonden stikstof) voorkomt en verschillende eigenschappen heeft. Stikstof is essentieel voor alle leven op aarde en dus voor voedselproductie. Een overmaat aan reactief stikstof is echter schadelijk voor mens en natuur.
- Er zijn twee belangrijke problemen veroorzaakt door een overmaat aan reactief stikstof: (i) hoge emissies van ammoniak en stikstofoxiden naar de lucht die de gezondheid van mensen schaden en die leiden tot een te hoge stikstofdepositie waardoor natuurgebieden en biodiversiteit worden aangetast, en (ii) een hoge stikstofbelasting van grondwater en oppervlaktewater, waardoor de waterkwaliteit en het leven in het water worden bedreigd. Deze problemen worden deels door dezelfde, deels door verschillende stikstofbronnen veroorzaakt. Er zijn diverse EU-regelingen om stikstofemissies te verminderen, maar deze regelingen zijn onvoldoende op elkaar afgestemd, om alle doelen te realiseren. Daarenboven speelt stikstof ook een rol in klimaatverandering.
- De emissies van stikstofoxides (vooral verkeer en industrie) en ammoniak (vooral landbouw) zijn sinds 1990 met ca 60% gedaald door emissie beperkende maatregelen. Nederland importeert en exporteert ook veel stikstofoxides en ammoniak via de lucht.
- De stikstofdepositie in NL was in 2017 gemiddeld 22,5 kg per ha maar varieerde van minder dan 10 kg per ha aan de kust tot 50 kg per ha in gebieden met intensieve veehouderij. De kritische stikstofdepositiewaarden (waaronder geen effect op de natuur te verwachten is) van Natura 2000-gebieden varieert van 6 tot >34 kg per ha per jaar. Voor de meeste natuurdoeltypen liggen ze echter tussen 10 en 20 kg. In 2017 werd op 70% van de Natura 2000-gebieden de kritische stikstofdepositiewaarde overschreden.
- Via diverse technische maatregelen is het mogelijk de emissies van ammoniak en stikstofoxiden verder te verminderen. Daardoor neemt de bescherming van de Natura 2000-gebieden toe, maar het is onduidelijk of daardoor alle Natura 2000-gebieden voldoende worden beschermd.
- Het Klimaatakkoord en het Schone Lucht Akkoord kunnen bijdragen aan het realiseren van de vermindering van de stikstofdepositie op Natura 2000-gebieden. Er zijn dwarsverbanden nodig om alle potentiële synergie te benutten. De potentiële vermindering van de emissies door Klimaatakkoord en het Schone Lucht Akkoord lijkt echter onvoldoende om de stikstofdepositie op alle Natura 2000-gebieden onder de kritische stikstofdepositiewaarden te brengen.
- Door structuur- en volumemaatregelen en verbetering van de ruimtelijke ordening kunnen grotere stappen worden gezet, die echter ook grotere economische consequenties hebben.
- Tabel 7 bevat een lijst met namen van stikstofdeskundigen in Nederland.

Wat is stikstof?

- Stikstof (N) is een element dat overal aanwezig is op aarde. Het komt voor in verschillen vormen. Daarbij worden twee 'hoofdvormen' onderscheiden, namelijk (i) reactieve stikstofverbindingen, zoals ammoniak (NH₃), stikstofoxiden (NO, NO₂, NO_x), nitraat (NO₃-), ammonium (NH₄+), lachgas (N₂O), en organisch-gebonden stikstof in plant, dier, mens en bodem, en (ii) niet-reactieve stikstofverbindingen, zoals stikstofgas (N₂) in de atmosfeer.
- Stikstof is essentieel voor alle leven op aarde; planten, dieren en mensen bevatten gemiddeld genomen 3% reactief stikstof. De grootste gebruiker van reactief stikstof is de landbouw, voor de productie van voedsel. Stikstof wordt ook gebruikt in de chemische industrie voor de productie van onder andere plastics en explosieven, en in de farmaceutische industrie voor de productie van medicijnen.
- Gespecialiseerde bacteriën, kunstmestfabrieken, verbrandingsmotoren en bliksem kunnen niet-reactief stikstofgas (N₂) omzetten in reactieve stikstofverbindingen. Andere gespecialiseerde bacteriën en bepaalde chemische processen kunnen reactieve stikstofverbindingen weer omzetten in stikstofgas. De stikstofkringloop is complex en niet alle stikstofomzettingen en stikstofstromen zijn goed bekend en gemakkelijk te meten.
- Stikstof wordt 'dubbel mobiel' genoemd, omdat verschillende verbindingen in gasvorm voorkomen en andere verbindingen goed oplosbaar zijn in water, en daardoor zeer gemakkelijk verspreid worden. De stikstofkringloop wordt ook wel de 'leaky cycle' genoemd. De meeste stikstof op aarde zit in de atmosfeer, die voor 78% bestaat uit het niet-reactief stikstofgas (N₂).

Waarom staat stikstof in de belangstelling in de wereld?

- Omdat er op sommige plaatsen een tekort is (waardoor de voedselproductie wordt beperkt) en op andere plaatsen een teveel is aan reactief stikstof (dat schadelijk is voor de gezondheid van mensen, dieren, natuur en het milieu).
- Een overmaat aan reactieve stikstofverbindingen in het milieu is schadelijk voor de gezondheid van mensen, voor de natuur (biodiversiteit), en voor het leven op aarde, inclusief dat in oceanen. Bepaalde reactieve stikstofverbindingen (lachgas, stikstofverbindingen in aerosolen) dragen ook bij aan klimaatverandering. Stikstofoxides en ammoniak in de lucht dragen bij aan de vorming van fijnstof en ozon die schadelijk zijn voor mens, dier en plantengroei. Depositie van ammoniak en stikstofoxides uit de lucht leidt tot verzuring en vermisting van natuurlijke ecosystemen. Reactieve stikstofverbindingen in grondwater en oppervlaktewater (vooral nitraat en ammonium) leiden tot vermisting (eutrofiëring) van oppervlaktewater. Hoge concentraties nitraat (en andere reactieve stikstofverbindingen zoals ammonium) in drinkwater zijn schadelijk voor de gezondheid van mensen. De totale uitstoot van reactieve stikstofverbindingen naar het milieu in de wereld is in veel gebieden in de wereld, waaronder Noord West Europa, Amerika en China (veel) groter dan wat toelaatbaar is voor een goede lucht en waterkwaliteit (Steffen et al., 2015). In die gebieden zijn drastische maatregelen nodig om de stikstofverliezen uit landbouw, industrie en huishoudens te verminderen.
- Onder natuurlijke omstandigheden wordt de gewasproductie en voedselproductie in de wereld vaak beperkt door de beschikbaarheid van stikstof (en water; Mueller et al., 2012). Door de uitvinding van het Haber-Bosch proces (omstreeks de 1^{ste} wereldoorlog) en de beschikbaarheid van goedkope fossiele energie is de beschikbaarheid van stikstofkunstmest vooral na de 2^{de} wereldoorlog geweldig toegenomen en voor boeren betaalbaar geworden (dat geldt in veel mindere mate voor Afrika). Ongeveer de helft van alle voedsel op aarde wordt nu geproduceerd dankzij stikstofkunstmest (Smil, 2001). Voorspellingen van FAO en Wereldbank geven aan dat de behoefte aan stikstofkunstmest in de wereld tot 2050 met 50 tot 100% zal toenemen, vooral in Afrika en Azië, vanwege de groeiende wereldbevolking, terwijl die in Europa zal afnemen.

Waarom staat stikstof in de belangstelling in Nederland?

- In mei oordeelde de Raad van State dat het Programma Aanpak Stikstof (PAS) niet voldoet aan de doelstelling om natuurgebieden (Natura 2000-gebieden) in een goede staat te brengen en houden volgens de EU-Habitatrichtlijn. Door dat oordeel liggen nu een groot aantal projecten stil, en staat stikstof in de belangstelling van media en politiek (Remkens et al, 2019). Maar feitelijk staat stikstof al decennia in de belangstelling van wetenschap, praktijk en beleid.
- Nederland is een van de voorlopers geweest in de wereld in de ontwikkeling en toepassing van kennis over (de beheersing van) de stikstofproblematiek; er is daardoor relatief veel kennis over stikstof. Nederland is een relatief grote producent en gebruiker van stikstofkunstmest (geweest). Door de hoge bevolkingsdichtheid, intensieve landbouw, industrie en verkeer zijn de gevolgen van een hoge stikstofuitstoot naar het milieu al vanaf de 2^{de} helft van de 20^e eeuw manifest geworden.
- Door diverse maatregelen in landbouw, industrie, verkeer en rioolwaterzuiveringsinstallaties is de uitstoot van reactieve stikstofverbindingen naar bodem, lucht en water met meer dan de helft verminderd, vanaf de jaren negentig van de vorige eeuw. Maar ondanks de vele maatregelen en de geregelde aanscherping van die maatregelen zijn doelen met betrekking tot de gewenste lucht-, water- en natuurkwaliteit nog lang niet overal gerealiseerd.
- Aanvullende maatregelen en regels hebben een toenemend effect op de economie en beperken het economisch handelen. Er zijn keuzes nodig voor een juiste balans tussen de gewenste lucht-, water- en natuurkwaliteit enerzijds, en beoogde economische doelen en vrijheid van handelen en reizen anderzijds. Het wordt steeds lastiger om de kool en de geit te sparen. Dit bleek al in 2008 toen de Raad van State het toetsingskader ammoniak als niet haalbaar had bestempeld.

Wat zijn de doelstellingen om de gewenste lucht-, water- en natuurkwaliteit te realiseren?

- Er zijn binnen de Europese Unie en UN-ECE doelstellingen (grenswaarden) geformuleerd voor reactieve stikstofverbindingen met betrekking tot (i) de uitstoot (emissies) door landbouw, industrie, verkeer en huishoudens naar bodem, lucht en water, (ii) de concentraties in lucht en water, en (iii) de depositie (en blootstelling) van reactieve stikstofverbindingen op natuur (kritische depositiewaarden). Deze doelstellingen zijn deels ruimtelijk gedifferentieerd (Tabel 1). De kritische depositiewaarden zijn niet door overheid (EU of NL) vastgestelde grenswaarden maar depositieniveaus die maximaal toelaatbaar zijn om Habitattypen in een goede staat van instandhouding te houden¹.
- De doelen voor stikstofemissies, stikstofconcentraties in de lucht en stikstofdepositie op natuur zijn echter niet overal goed op elkaar afgestemd, waardoor het kan zijn dat emissiedoelen worden gerealiseerd maar concentratie- en/of depositiedoelen niet (of veel minder). Dit geldt bijvoorbeeld voor de emissiedoelen van ammoniak (NH₃) en stikstofoxides (NO_x) naar de atmosfeer en de kritische depositiewaarden voor habitattypen en leefgebieden in Natura 2000-gebieden; de emissiedoelen volgens de NEC-richtlijn worden in de meeste jaren gerealiseerd, maar kritische stikstofdepositiewaarden worden voor veel Natura 2000-gebieden overschreden².
- Het mest- en ammoniakbeleid heeft tot doel de uitstoot (emissie) van ammoniak en lachgas (en stank) naar de lucht, en van nitraat en ammonium (en fosfaat) naar grondwater en oppervlaktewater te beperken om de doelstellingen van de EU-Nitraatrichtlijn, EU-NEC-richtlijn en EU-Kaderrichtlijn Water (Tabel 1) te realiseren, wat betreft de landbouw-beïnvloede gebieden. Daarmee wordt beoogd dat de grenswaarden voor ammoniak in lucht, van nitraat en ammonium in grondwater en oppervlaktewater niet worden overschreden, en de totale ammoniakemissie beneden het gestelde emissieplafond blijft. De grenswaarden voor stikstofverbindingen in oppervlaktewater verschillen per watertype. Het gestelde plafond (NEC-plafond) voor ammoniakemissies geldt voor heel Nederland en

¹ De kritische stikstofdepositiewaarden (d.w.z. depositiewaarden waar beneden onder geen effect op de natuur te verwachten is) zijn grotendeels gebaseerd op veldmetingen (zogenoemde 'additie- experimenten' en waarnemingen in het veld met 'tijd-voor-plaats-substitutie').

² Knelpunt is ook dat de depositiesnelheid van NH₃ hoog is en dat het ruimtelijk depositiepatroon zeer sterk wordt beïnvloed door lokale emissiebronnen (vooral intensive veehouderijbedrijven). Dit leidt tot hoge belasting van nabijgelegen natuurgebieden.

leidt niet automatisch tot het realiseren van de gestelde maximale stikstofdepositiewaarden, die per natuurtipe verschillen.

- Voor stikstofoxides, die vooral vrijkomen bij verbrandingsmotoren in verkeer en industrie, zijn ook emissieplafonds vastgesteld (per lidstaat). Ook voor deze plafonds geldt dat deze niet één-op-één overeenkomen met de gestelde maximale stikstofdepositiewaarden voor natuurgebieden.
- Op 70% van het areaal van Natura 2000 worden kritische stikstofdepositiewaarden overschreden. Op 20% van het landbouw areaal is de nitraatconcentratie in het ondiepe grondwater hoger dan 50 mg per liter. Op 40 tot 60% van de meetpunten zijn de stikstofgehalten in het oppervlaktewater hoger dan de gestelde normen.

Tabel 1. Overzicht van de belangrijkste EU-richtlijnen voor de regulering van stikstofverbindingen in het milieu in Nederland.

Richtlijnen	Algemene doelstellingen	Operationele doelstellingen voor NL	Instrumenten en maatregelen in NL
EU-NEC-richtlijn (National Emission Ceilings Directive) UN-ECE-Gothenburg Protocol	Vermindering van de emissies van ammoniak en stikstofoxides naar de atmosfeer	Nationale NH ₃ emissieplafonds: 2010: 128 kton NH ₃ (96 kton voor landbouw) 2020-2029: -13% van emissies in 2005 2030: -21% van emissies in 2005 Nationale NO _x emissieplafonds: 2010: 260 kiloton NO _x 2020-2030: -45% van emissies in 2005	Diverse emissiebeperkende maatregelen voor NH ₃ in vooral de landbouw Diverse emissiebeperkende maatregelen voor NO _x in vooral industrie en verkeer.
EU-Luchtkwaliteitsrichtlijn	Bescherming van mens en natuur voor (potentieel) toxische stoffen in de lucht	Grenswaarden voor NO _x en fijnstof (PM) ³ in lucht (jaargemiddeldes): 40 µg/m ³ voor NO _x , 25 µg/m ³ voor PM _{2.5} 40 µg/m ³ voor PM ₁₀	Emissiebeperkende maatregelen (zie EU-NEC-richtlijn)
EU-Vogel & -Habitatrichtlijnen	Waarborgen van de biologische diversiteit door bescherming van habitats en soorten die van Europees belang zijn.	Aanwijzing en bescherming van vogelrichtlijngebieden en natuurlijke en half-natuurlijke habitats (Natura 2000-gebieden) Kritische stikstofdepositie-waarden ⁴ , variërend van 6 tot >34 kg N per ha per jaar, afhankelijk van gebied.	Beschermen via Verboden & Vergunningverlening, afhankelijk van gebied Terugdringen NO _x - en NH ₃ -emissies Mitigerende, compenserende én herstelmaatregelen.
EU-Nitraatrichtlijn	Vermindering en voorkoming van nitraatuitspoeling uit de landbouw en van de mogelijk resulterende eutrofiëring van oppervlaktewater	<50 mg nitraat per liter in grondwater en oppervlaktewater; Afnemende nitraatconcentraties; Afnemende verschijnselen van eutrofiëring in oppervlaktewater	Gebruiksnormen voor: • dierlijke mest • stikstof, en • fosfaat Gebruiksregels voor dierlijke mest en meststoffen, en diverse aanvullende maatregelen conform Actieprogramma's
EU Kaderrichtlijn Water	Realiseren en waarborgen van de chemische en ecologische kwaliteit van oppervlakte- en	Per KRW watertypen zijn grenswaarden vastgesteld gerelateerd aan Goed Ecologisch	Beheersplannen en monitoringsprogramma's per stroomgebied.

³ Ammoniak draagt bij aan de vorming van fijnstof (PM). Er is geen normstelling voor ammoniakconcentraties in lucht.

⁴ Grens waarboven het risico bestaat dat de kwaliteit van het habitat significant wordt aangetast door de verzurende en/of vermistende invloed van atmosferische stikstofdepositie (Van Dobben et al., 2012)

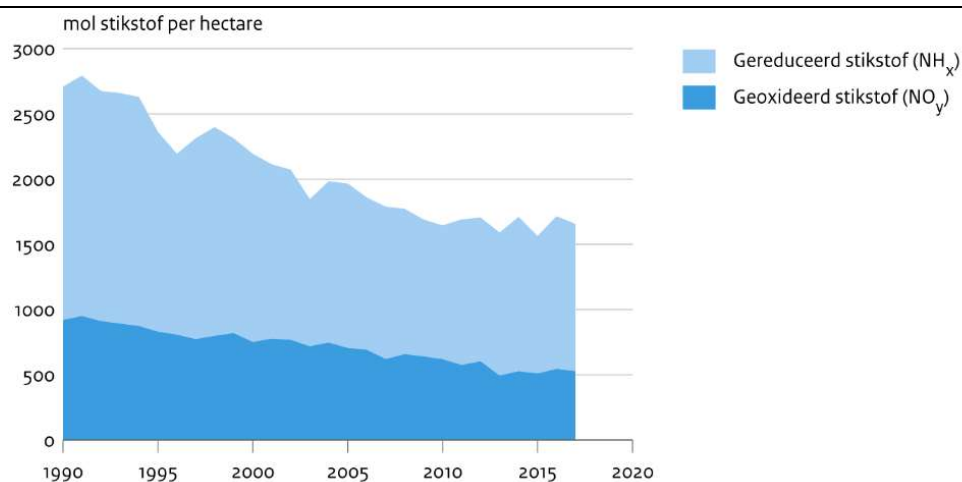
	grondwater, als functie van watertype.	Potentieel (GEP), variërend van 0,12 tot 5 mg N per liter. Zomergemiddelde stikstofconcentraties in zandgebieden <2,3 mg N per liter. Zomergemiddelde stikstofconcentraties in klei- en veengebieden < 2,4 mg N per liter.	Resultaatverplichting, waaraan economische sancties zijn verbonden
--	--	--	--

Wat zijn de stikstof-gerelateerde problemen in Nederland?

- Er zijn twee belangrijke 'stikstof-gerelateerde problemen' in Nederland, die vanaf de laatste decennia van de 20^{ste} eeuw worden bestreden door verschillende (beleids)maatregelen (Tabel 1). Het ene stikstofprobleem wordt veroorzaakt door hoge concentraties van stikstofoxides, ammoniak en fijnstof in de atmosfeer, waardoor de gezondheid van mensen in gevaar is, en waardoor de stikstofdepositie op Natura 2000-gebieden lokaal te hoog is en de biologische diversiteit niet wordt gewaarborgd en zeldzame soorten niet worden beschermd. Het andere stikstofprobleem is gerelateerd aan hoge nitraatgehaltes in grondwater in bepaalde zandgebieden, waardoor de drinkwater voorziening in gevaar komt, en hoge stikstofgehalten in oppervlaktewater in veel delen van Nederland, waardoor eutrofiering optreedt en de waterkwaliteit verslechtert. Bij de eutrofiering van het oppervlaktewater speelt fosfaat ook een rol.
- Stikstof speelt ook een rol in klimaatverandering; lachgas (N₂O) is een zeer krachtig broeikasgas dat voor ca 5% bijdraagt aan de totale emissie van broeikasgassen naar de atmosfeer. De landbouw is een grote bron van lachgas; ca 60% van de totale emissie van lachgas komt uit de landbouw.

Welke bronnen dragen bij aan stikstofdepositie?

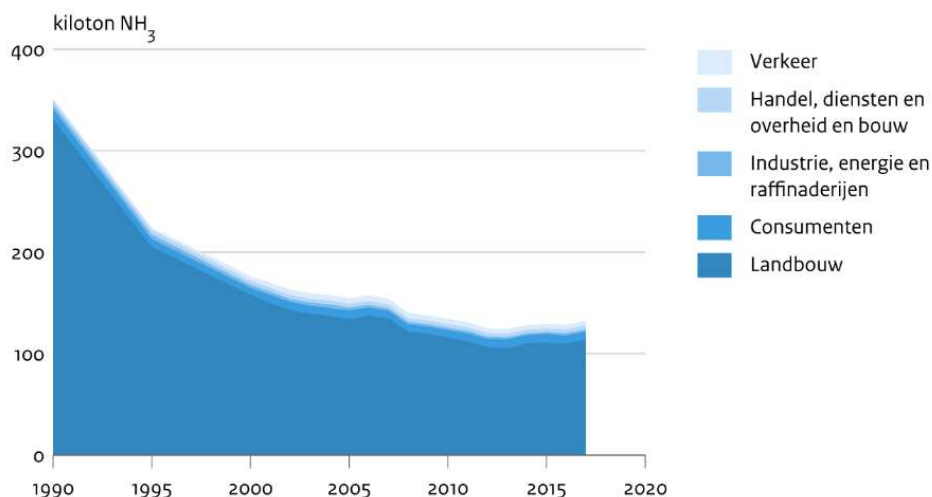
- De stikstof in depositie is een combinatie van ammoniak-stikstof en geoxideerd stikstof (stikstofoxides). De gemiddelde depositie van beide verbindingen is met ca 40% gedaald in de voorbije 25 jaar (Figuur 1), als gevolg van een daling in de emissies van ammoniak (NH₃) met ca 60% (Figuur 2), en door een daling van de emissies van stikstofoxides (NO_x) met circa 60% (Figuur 3). De depositie is minder gedaald dan de emissies vanwege gelijktijdige veranderingen in de samenstelling van de atmosfeer (de concentratie van zwaveldioxide (SO₂) is afgenomen), waardoor de depositiesnelheid van stikstof uit de lucht is verminderd.
- De nationale bijdrage aan de stikstofdepositie op Natura 2000-gebieden komt voor circa 40% door ammoniak vanuit de veehouderij en circa 20% door stikstofoxiden vanuit verkeer, industrie en consumenten. De overige 40% is afkomstig uit het buitenland. Nederland exporteert via de lucht circa vier maal zo veel stikstof naar het buitenland als dat het importeert. De huidige import uit het buitenland komt overeen met gemiddeld circa 8 kg stikstof per ha per jaar.
- Bij een gemiddelde depositiewaarde rond de 1000 mol stikstof (14 kg) per hectare per jaar zou een groot deel van de natuur rond de kritische depositiewaarde liggen. Om dat te halen moet de emissie met meer dan 50% omlaag.
- In de Natura 2000-beheerplannen, die per Natura 2000-gebied zijn opgesteld, is een strategie uitgewerkt om in combinatie met herstelmaatregelen de beoogde stikstofdoelen in een periode van 18 jaar (3 beheerperiodes van 6-jaar) te halen. De provincies hebben de taak om hierop toe te zien.
- Stikstofdepositie is niet de enige oorzaak van de achteruitgang van de natuur. Ook verdroging speelt een belangrijke rol. De PAS beoogt (beoogde) ook deze oorzaken van achteruitgang van Natura 2000-gebieden aan te pakken. Het meest effectief is daarbij hydrologisch herstel.



Bron: RIVM 2019

RIVM/jun19
www.clo.nl/nl018917

Figuur 1. Veranderingen in de berekende depositie van ammoniak (NH_3) en stikstofoxides in Nederland in de periode 1990-2017 (in mol stikstof per ha; 1000 mol stikstof = 14 kg stikstof)

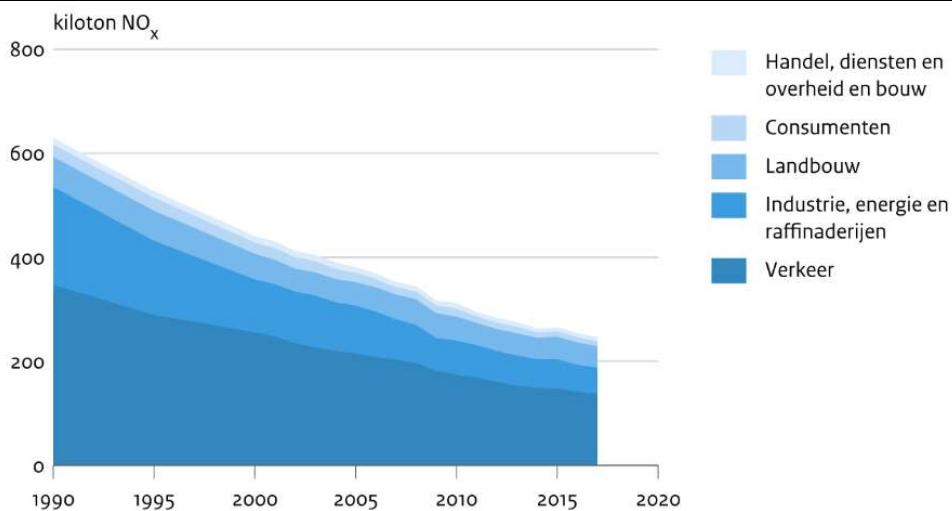


Bron: Emissieregistratie

RIVM/mei19
www.clo.nl/nl018325

Figuur 2. Veranderingen in de berekende emissie van ammoniak (NH_3) in Nederland per bron in de periode 1990-2017 (in kiloton; 1 kiloton = 1 miljoen kg; 1 kiloton ammoniak = 0,82 kiloton stikstof).

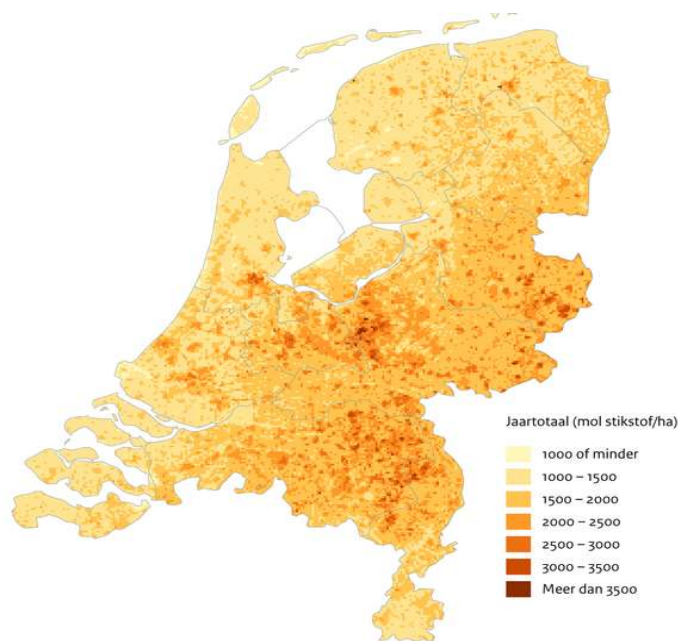
- Gemiddeld was de stikstofdepositie ruim 1600 mol stikstof per ha in 2017 (Tabel 2). Dit komt overeen met ca 22,5 kg stikstof per ha per jaar. Regionaal komen grote verschillen voor (Figuur 4), variërend van minder dan 1000 mol (<14 kg) per ha tot meer dan 3500 mol (>50 kg) per ha. Deze variaties worden veroorzaakt door ruimtelijke variaties in emissiebronnen (veehouderij, verkeer) en de invloed van wind. Gemiddeld genomen was twee-derde van de stikstofdepositie afkomstig van ammoniak en één-derde deel van stikstofoxides in 2017 (Figuur 1). Gemiddeld genomen kwam 43% (Tabel 3) tot 46% (Tabel 2) van de stikstof in de depositie uit de landbouw, circa 20% uit overige bronnen in Nederland (vooral verkeer en industrie), en circa 35% uit het buitenland (inclusief Noordzee) (Tabel 2). De stikstof in stikstofdepositie in Nederland komt deels uit het buitenland (import). Nederland exporteert echter 4 keer zo veel als het van het buitenland importeert; dat geldt zowel voor ammoniak als stikstofoxides.



Bron: Emissieregistratie

RIVM/mei19
www.clo.nl/nl018325

Figuur 3. Veranderingen in de emissie van stikstofoxides (NO_x) in Nederland per bron in de periode 1990-2017 (in kiloton; 1 kiloton = 1 miljoen kg; 1 kiloton stikstofoxides ~ 0,3 kiloton stikstof).



Bron: RIVM, 2019

PBL/apr19
www.clo.nl/nl018917

Figuur 4. Ruimtelijk verspreiding van de stikstofdepositie (kg N per ha) in Nederland in 2017. De onzekerheid in de berekende deposities bedraagt per gridcel 50-100%. (Bron RIVM, 2019).

Tabel 2. Bijdragen van sectoren aan de totale stikstofdepositie in Nederland in 2017, uitgedrukt in mol per ha per jaar, en relatief in %. (Bron: Velders et al., 2018. Grootschalige concentratie- en depositiekaarten Nederland. RIVM DOI 10.21945/RIVM-2018-0104).

Bronnen	Stikstofdepositie in 2017	
	mol per ha per jaar	%
Industrie	20	1
Raffinaderijen	5	<1
Energiesector	5	<1
Afvalverwerking	5	<1
Wegverkeer	105	6
Overig verkeer	40	2
Landbouw	765	46
Huishoudens	110	7
Bouw & Handel, diensten en overheid	10	<1
Internationale scheepvaart	70	4
Buitenland	520	31
Ammoniak uit zee	45	2
Totaal	1655	100

Tabel 3. Relatief aandeel van bronnen van stikstofdioxide en ammoniak in stikstofdepositie, in procent (Bron: RIVM, 2019; www.clo.nl/nl050711).

Bronnen	Stikstofdepositie (%)		
	Stikstofdioxides (%)	Ammoniak (%)	Totaal (%)
Landbouw	1	42	43
Verkeer en industrie	11	9	20
Noordzee	2	3	5
Buitenland	15	15	30
Onverklaard	3	0	3
Totaal	32	68	100

- De belangrijkste bronnen van ammoniak in de landbouw zijn dierlijke mest in stallen (47%) en de toediening van mest op het land (35%; Tabel 4). De totale emissie uit dierlijke mest was 99,3 miljoen kg in 2017 (87% van de totale emissie uit de landbouw in 2017). De bijdrage van kunstmest was 9% in 2017.
- Melkvee + jongvee heeft de grootste bijdrage aan de ammoniakemissie uit dierlijke mest (58%. De bijdrage van varkens was 20% en die van pluimvee 10% (Tabel 5).

Tabel 4. Ammoniakemissie uit de landbouw in 2017 (miljoen kg NH₃ en %). (Bron: Emissieregistratie, 2019).

Bronnen	NH ₃ emissie	
	miljoen kg	%
Stallen	53,9	47
Mestopslagen (buiten de stal)	3,2	3
Beweiding	1,5	1
Mesttoediening	39,6	35
Mestbe- en verwerking	1,1	1
Kunstmest	10,2	9
Compost	0,5	0
Gewasresten	2,3	2
Afrijping gewassen	1,8	2
Totaal landbouw	114,1	100

 Tabel 5. Ammoniakemissie uit dierlijke mest per diercategorie in 2017 (miljoen kg NH₃ en %). (Bron: Emissieregistratie, 2019).

Diercategorieën	NH ₃ emissie	
	miljoen kg	%
Melk- en kalfkoeien	46,0	46,3
Jongvee incl, fokstieren	11,8	11,9
Vleeskalveren	4,9	4,9
Zoog-, mest- en weidekoeien	0,8	0,8
Overig vleesvee	2,0	2,0
Schapen	0,4	0,4
Geiten	2,0	2,0
Paarden en pony's	0,9	0,9
Varkens	20,1	20,2
Pluimvee	10,0	10,1
Totaal dierlijke mest	99,3	100,0

Wat zijn de bronnen van (nitraat)stikstof in grondwater en oppervlaktewater?

- De belangrijkste bronnen van (nitraat)stikstof in grondwater en oppervlaktewater op sectorniveau zijn landbouw, rioolwaterzuiveringsinstallaties en stikstofdepositie (Tabel 6). De landbouw is de belangrijkste bron (58%). Binnen de landbouw zijn dierlijke mest, kunstmest, mineralisatie van organische stof in de bodems (vooral van veengronden) belangrijke bronnen, maar het is onmogelijk om nauwkeurig aan te geven welk deel van de stikstof in het oppervlaktewater afkomstig is van voornoemde bronnen. Dat is vanwege de complexiteit van de stikstofkringloop in de landbouw en de ruimtelijke verscheidenheid in landbouwbedrijven, landbouwpraktijk, grondsoorten en hydrologie.
- Er is ook een grote import van stikstofverbindingen via de grote rivieren, maar veronderstelt wordt dat direct doorgaan naar de Noordzee; deze stromen worden hier niet toegelicht.

Tabel 6. Totale belasting van het oppervlaktewater in Nederland met stikstof uit binnenlandse bronnen in 2017 (miljoen kg en %). (Bron: Emissieregistratie, 2019)

Bronnen	Stikstofbelasting oppervlaktewater	
	miljoen kg	%
Industrie	2,2	3
Huishoudens	0,4	0
Landbouw ⁵	44,6	58
Atmosferische depositie ⁶	12,3	16
Riolering en waterzuivering	16,9	22
Totale belasting	76,4	100

Waar komt de stikstof in de landbouw vandaan?

- De belangrijkste aanvoerposten van stikstof in de landbouw in Nederland in 2017 waren de import van veevoer (434 miljoen kg) en de netto import/productie van stikstofkunstmest (238 miljoen kg). Ook komt stikstof de landbouw binnen via depositie van stikstof uit de atmosfeer (23 miljoen kg) en "overige aanvoer" (zaai- en pootgoed, biologische stikstofbinding; 17 miljoen kg). De belangrijkste afvoerposten van stikstof waren in 2017 de afzet van dierlijke producten (melk, vlees, eieren; 214 miljoen kg), de afzet van plantaardige producten (87 miljoen kg) en de export van dierlijke mest (81 miljoen kg) (Figuur 5).
- De totale aanvoer van stikstof naar de landbouw (712 miljoen kg) in 2017 was 330 miljoen kg groter dan de totale afvoer van stikstof (382 miljoen kg) in producten. De gemiddelde stikstofbenutting in de landbouw was circa 53%. Van het stikstofoverschot (330 miljoen kg) ging 94 miljoen kg stikstof naar de atmosfeer (als ammoniak-stikstof) en 225 miljoen kg ging verloren via de bodem naar het grondwater (als nitraat) en oppervlaktewater, en na denitrificatie naar de atmosfeer (als N₂ en N₂O). Circa 10 miljoen kg stikstof is toegeschreven aan mutaties in de voorraden ruwvoer (Figuur 5). De emissie van ammoniak-stikstof (NH₃-N) is 94 miljoen kg⁷ (Figuur 5).
- De onzekerheden in de aanvoer en afvoer van stikstof in producten is relatief beperkt (orde van grootte 5 tot 10%). De onzekerheid in de grootte van de stikstofverliezen naar lucht en water (en bodem) zijn veel groter, in de orde van grootte van (meer dan) 50%.

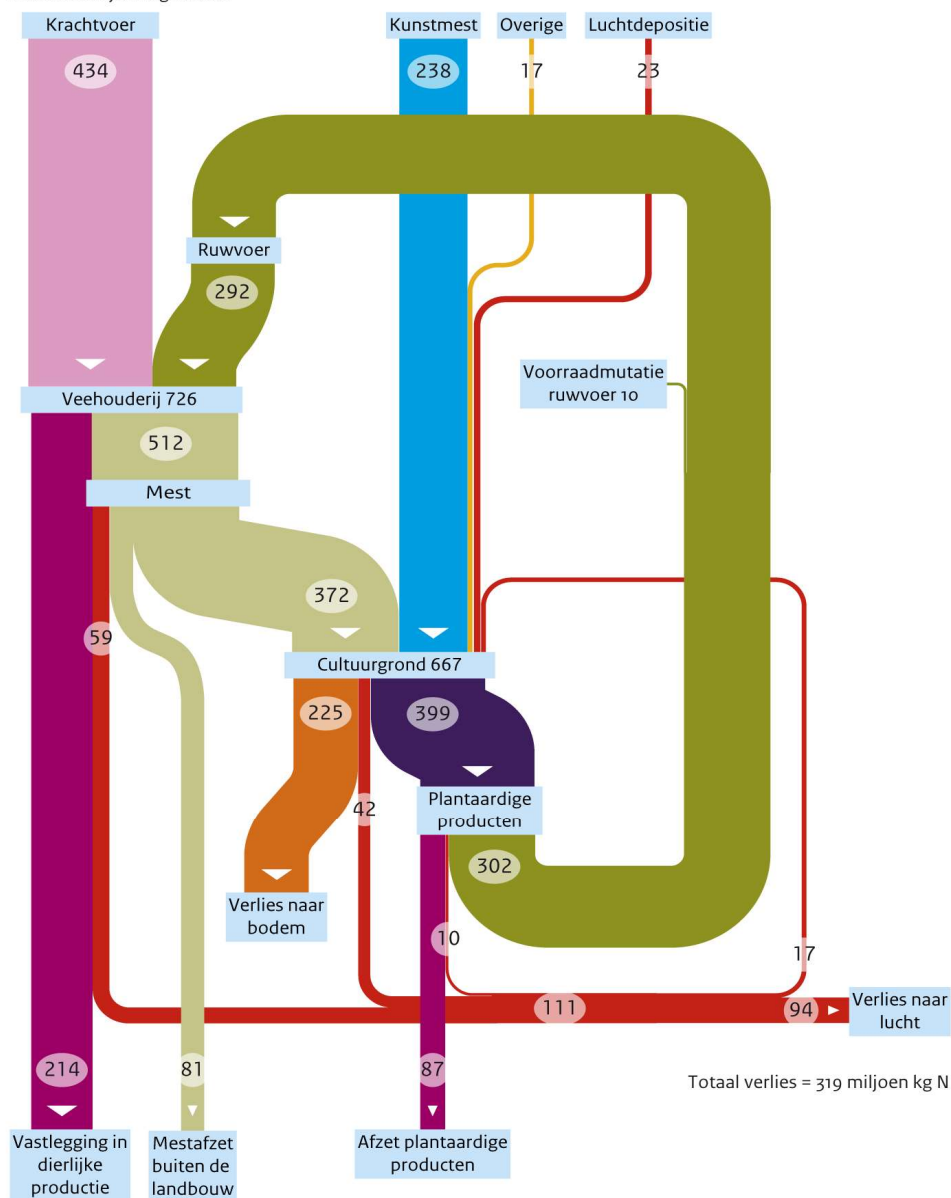
⁵ Inclusief de af- en uitspoeling van stikstof uit natuurgebieden. Er wordt verondersteld dat het nitraat dat uitspoelt naar het grondwater uiteindelijk ook grotendeels in het oppervlaktewater terecht komt.

⁶ Exclusief de depositie op de Noordzee

⁷ Een hoeveelheid van 94 miljoen NH₃-N komt overeen met de hoeveelheid van 114,1 miljoen kg NH₃ die in tabel 4 is genoemd (het mol gewicht van NH₃ = 17 gr, dat van N in NH₃ = 14 g per mol)

Stikstof 2017

Eenheid: miljoen kg stikstof



Bron: CBS

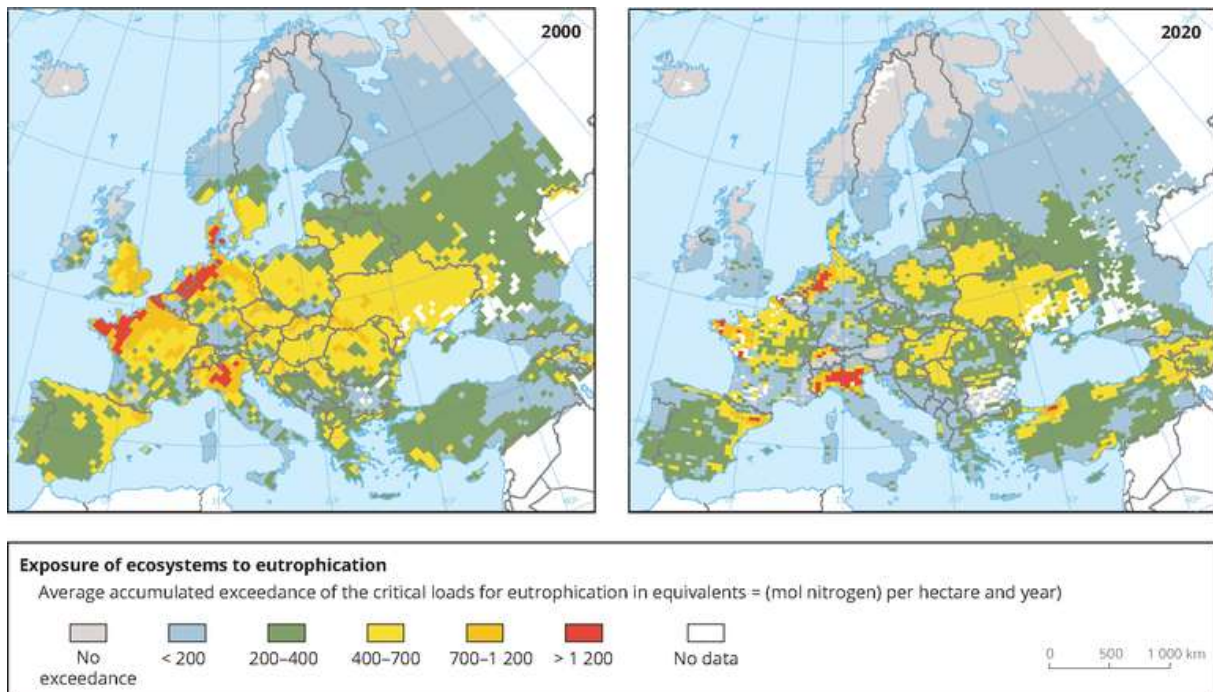
CBS/mrt19
www.clo.nl/nlo09418

Figuur 5. Belangrijkste stikstofstromen in de landbouw in Nederland in 2017. De aanvoer van stikstof is aan de bovenzijde van de figuur weergegeven; de afvoer van stikstof uit de landbouw is aan de onderzijde van de figuur weergegeven. De stroom 'Verlies naar de bodem' (225 miljoen kg) is een combinatie van stikstofverliezen door denitrificatie (als N_2 en N_2O) en uitspoeling naar grondwater en oppervlaktewater. Getallen in de figuur geven de grootte van de stikstofstromen weer, in miljoen kg stikstof per jaar (Bron: CBS en RIVM- Compendium van de Leefomgeving).

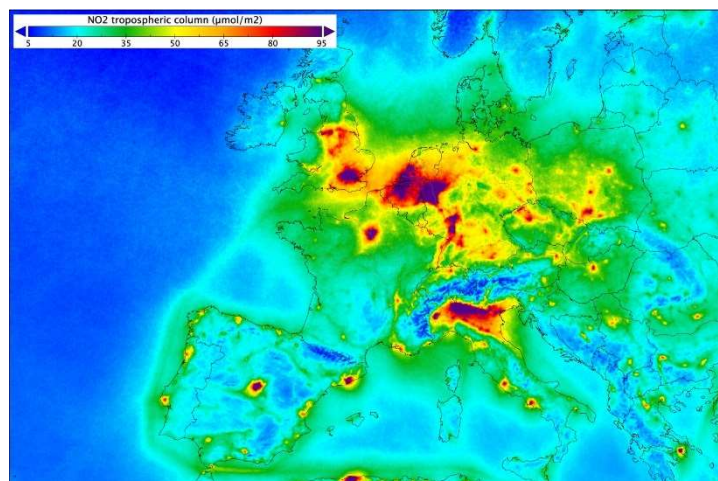
Zijn de stikstof-gerelateerde problemen in Nederland groter dan elders in Europa?

- Vrijwel alle lidstaten van de Europese Unie hebben te kampen met stikstof-gerelateerde problemen als te hoge stikstofdeposities op natuurgebieden en te hoge nitraatgehalten in grondwater en te hoge stikstofgehalten in oppervlaktewater. In grote delen van Europa werden in 2000 de kritische depositiewaarden voor stikstof-gevoelige natuurgebieden overschreden (Figuur 6). De grootste overschrijding was in Nederland, Vlaanderen, Bretagne in Frankrijk, Po-vlakte in Italië, en

Denemarken. Vooral in gebieden met hoge bevolkingsdichtheid en hoge veedichtheid is de overschrijding groot. In stedelijke agglomeraties was de jaargemiddelde stikstofdioxide concentratie in de lucht in 2018 hoog (Figuur 7).

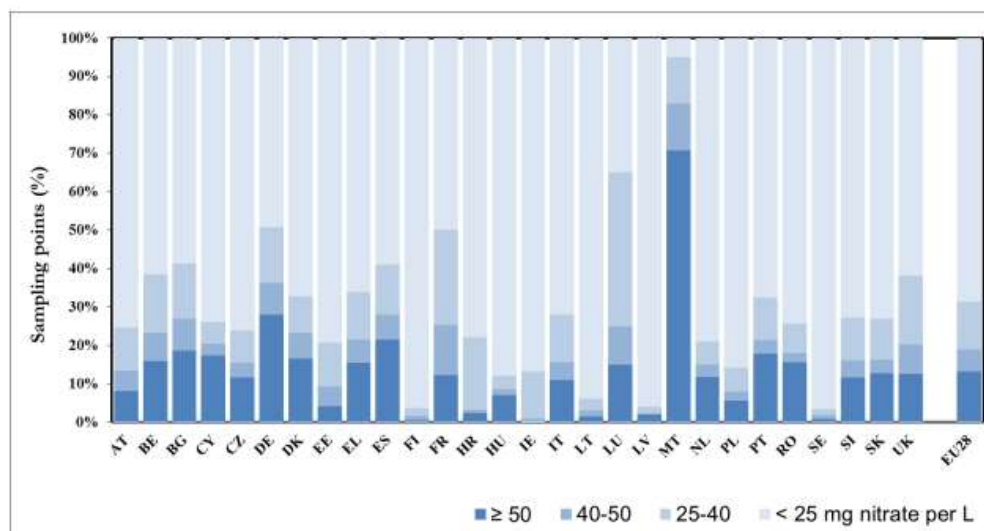


Figuur 6. Kaarten van Europa in 2000 (links) en 2020 (rechts), waarop de berekende overschrijding van de kritische depositiewaarden voor stikstof-gevoelige natuurgebieden is weergegeven. Overschrijding van de kritische depositiewaarden is weergegeven in mol stikstof per ha per jaar (1000 mol stikstof = 14 kg stikstof). (Bron: EMEP/EEA, 2017).



Figuur 7. Jaargemiddelde stikstofdioxide (NO₂) concentraties in de lucht in 2018. In 19 lidstaten van de EU was de gemiddelde concentratie plaatselijk boven de gestelde grenswaarde voor stikstofoxide. Hoge concentraties zijn schadelijk voor de gezondheid van mensen. (Bron: European Environmental Agency & European Space Agency, 2019)

- Nederland valt op binnen de EU-27 door de mate van overschrijding van kritische stikstofdepositiewaarden en het areaal waarop dat plaatsvindt. In Nederland hebben slechts enkele habitattypen van de Habitatrichtlijn een gunstige staat van instandhouding. Nederland scoort daarmee slecht ten opzichte van andere lidstaten. Nederland laat wel de sterkste verbeterende trend zien in de staat van instandhouding over verschillende monitoringperiodes. Vergelijking tussen lidstaten in de beoordeling van de instandhouding en verbetering van habitattypen wordt echter bemoeilijkt door verschillen tussen lidstaten in monitoring- en evaluatiemethoden (Ellwanger et al., 2018).
- Voor nitraat in grondwater en voor stikstof in oppervlaktewater geldt globaal hetzelfde beeld: alle lidstaten in de EU-27 kampen met plaatselijke overschrijding van de grenswaarde voor de nitraatconcentratie in grondwater (Figuur 8) en voor stikstof in oppervlaktewater.



Figuur 8. Verdeling van monitoringsstations naar nitraatconcentratie in grondwater (in %) in de 27 lidstaten van de Europese unie in de periode 2012–2015. Donker blauwe kleuren geeft het percentage stations weer per lidstaat met gemiddeld meer dan 50 mg nitraat per liter. Het aantal monitoringsstations verschilt sterk per lidstaat, van enkele tientallen voor kleine lidstaten tot vele honderden voor grote lidstaten. Bron: European Commission, SWD(2018) 246 final.

Welke maatregelen zijn (theoretisch) denkbaar om de stikstofuitstoot te reduceren?

- Stikstofdepositie op Natura 2000-gebieden kan worden verminderd door de emissies van ammoniak en stikstofoxides naar de atmosfeer te verminderen. De stikstofbelasting van grondwater en oppervlaktewater kan worden verminderd door de stikstofaanvoer naar landbouwgronden (via dierlijke mest en kunstmest) te beperken en de stikstofbenutting door gewassen te verhogen, en de verwijdering van stikstof uit rioolwater op rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI's) te verbeteren. Maatregelen die de stikstofdepositie verminderen beïnvloeden ook de stikstofbelasting van grondwater en oppervlaktewater, en vice versa. Maatregelen die de ammoniakemissie in de landbouw verder verminderen kunnen de stikstofuitspoeling echter doen toenemen als de niet-geëmitteerde ammoniak niet wordt benut in landbouwproducten.
- De stikstofdepositie op Natura 2000-gebieden en de stikstofbelasting van grondwater en oppervlaktewater vertonen een grote ruimtelijk variatie door een grote ruimtelijke variatie in stikstofbronnen. Ook de gevoeligheid van Natura 2000-gebieden voor stikstofdepositie verschilt sterk, door de ruimtelijke variatie in habitattypes. Generieke maatregelen zijn daardoor veel minder effectief dan ruimtelijk-specifieke maatregelen en bron-specifieke maatregelen.
- Ruimtelijke planning en ordening (bijvoorbeeld het 'scheiden' van intensieve veehouderij en stikstofgevoelige natuur) en de bekende emissiebeperkende maatregelen zijn krachtige instrumenten om natuurlijke systemen (inclusief grondwater en oppervlaktewater) beter te beschermen en

economische activiteiten (landbouw, verkeer) te optimaliseren. Sommige combinaties van habitattypen en economisch handelen zijn onverenigbaar en dat betekent dat keuzen gemaakt moeten worden tussen die twee.

- Er bestaan verschillende mogelijkheden en technieken om de uitstoot van stikstofoxides uit verkeersvoertuigen (personenauto's, vrachtauto's, tractoren) verder te beperken. Benzineauto's stoten minder uit dan diesels. Langzamer rijden beperkt zowel de stikstofemissie als de CO₂-emissie per km. Technieken om de productie van stikstofoxides te beperken of om stikstofoxides te reduceren tot stikstofgas (N₂) verminderen de stikstofemissie maar verhogen meestal de CO₂-emissie per km. Elektrische auto's verminderen de stikstofemissie en de CO₂-emissie per km. Nieuwe auto's maken gebruik van emissiebeperkende technieken. Deze technieken vergen goed onderhoud en een goede afstelling, wat niet altijd het geval is en waardoor de emissies in de praktijk vaak hoger zijn dan volgens de fabrieksopgave.
- Er bestaan ook verschillende mogelijkheden om de uitstoot van ammoniak uit dierlijke mest en kunstmest (verder) te beperken (e.g. Bittman et al., 2014). Mogelijke en bekende emissiebeperkende maatregelen in de landbouw zijn: (i) via het zogenoemde voerspoor de samenstelling van het veevoer zo danig beïnvloeden dat er per kg melk, vlees en eieren minder stikstof in mest wordt uitgescheiden, (ii) Het snel afvoeren van de urine en feces uit de stal, eventueel na scheiding. Dat leidt tot minder ammoniakvorming in de stal. Frequent schoonmaken van stalvloeren helpt ook. In Denemarken wordt mest aangezuurd in de stal of vlak voor toediening op het land, waardoor de ammoniakemissie drastisch wordt verminderd. (iii) Chemische luchtwassers vangen gemiddeld 85% van de ammoniak uit stallen weg, waarna deze ammoniak als kunstmestvervanger is te gebruiken op landbouwgronden. Luchtwassers vragen wel (veel) energie en onderhoud, en vergen dat de dieren in de stal zijn. (iv) Emissiearme mesttoediening via injectie en zodebemesting, of door verdunning met water. Al deze maatregelen zijn (deels) ingevoerd in de praktijk via het mest- en ammoniakbeleid, maar de uitvoering van de maatregelen in de praktijk kan beter en ook zijn technische verbeteringen mogelijk, waardoor emissies verder verminderd kunnen worden. Het is nu niet bekend met hoeveel de emissies verder beperkt zouden kunnen; daar zou nader onderzoek naar moeten worden gedaan. Een vermindering van de emissie van 10 a 20 miljoen kg per jaar is waarschijnlijk haalbaar (10 a 20%).
- Door verbetering van emissiebeperkende maatregelen en vooral ook door een verbetering van de uitvoering en naleving van die maatregelen in de praktijk kunnen emissies van stikstofoxides door het verkeer ook fors worden verminderd.
- Deze mogelijke vermindering van de emissies door technische maatregelen lijkt echter onvoldoende om de stikstofdepositie voor alle Natura 2000-gebieden onder de kritische stikstofdepositiewaarden te krijgen.
- Door structuur- en volumemaatregelen en verbetering van de ruimtelijke ordening kunnen grotere stappen worden gezet, die ook grotere economische consequenties hebben.
- Veel van de genoemde maatregelen interacteren met de opgaven van het klimaatakkoord, de circulaire economie, de kringlooplandbouw, het gemeenschappelijk landbouwbeleid en het schone lucht akkoord. Voor een drastische vermindering van de stikstofdepositie op Natura 2000-gebieden en van de stikstofbelasting van grondwater en oppervlaktewater, in combinatie met de realisering van voornoemde opgaven, is een integraal plan nodig.

Hoe interfereren mogelijke maatregelen met maatregelen die al voorgesteld worden in het klimaatakkoord (EZK) of het Schone Lucht Akkoord (IenW)?

- Verschillende maatregelen in het klimaatakkoord 'landbouw en landgebruik (C4)' kunnen een positief effect hebben op de vermindering van de stikstofdepositie op Natura 2000-gebieden de stikstofbelasting van grondwater en oppervlaktewater, vooral als er verbindingen worden gelegd. Circa 35% van de beoogde vermindering van broeikasgassen uit de landbouw moet komen uit de veehouderij, via het opkomen van varkensrechten en door maatregelen m.b.t. veevoeding, stalsystemen, mestopslagen en bemesting. Circa 35% van de beoogde emissiereductie moet komen door aanpassing van het landgebruik, en circa 30% moet komen uit de glastuinbouw door

emissiebesparing. Vooral de inspanningen in de veehouderij en bij landgebruik geven mogelijkheden om de emissies van ammoniak verder te beperken en de stikstofbelasting van grondwater en oppervlaktewater verder te beperken.

- De ambitie voor het Schone Lucht Akkoord is om de emissies van fijnstof (PM_{2,5} en PM₁₀) en stikstofoxides uit Nederlandse bronnen naar de lucht te verminderen, om 50% gezondheidswinst te realiseren in 2030 ten opzichte van 2016. Deze ambitie gaat gepaard met maatregelen om de emissies in de sectoren (weg)verkeer, landbouw, scheepvaart, industrie, huishoudens en luchtvaart af te laten nemen. De grootste bijdrage wordt verwacht van het versterken en borgen van de effectiviteit van bestaand beleid, zoals emissie-eisen aan voertuigen en bedrijven. Daarenboven wordt verwacht dat maatregelen uit het Klimaatakkoord ook een bijdrage leveren. Het gaat om een pakket van veel (technische) maatregelen. Al deze maatregelen dragen direct bij aan de vermindering van de stikstofdepositie op Natura 2000-gebieden. Ook wordt beoogd via afspraken in EU en UN-ECE (Gotenburg Protocol) te komen tot een verdere aanscherping van Europees en internationaal bronbeleid, waardoor de aanvoer van luchtverontreinigende stoffen (inclusief stikstofoxide en ammoniak) uit het buitenland vermindert.
- Samenvattend, Klimaatakkoord en het Schone Lucht Akkoord kunnen bijdragen aan het realiseren van de vermindering van de stikstofdepositie op Natura 2000-gebieden in de periode tot 2030. Er zijn dwarsverbanden nodig om alle potentiële synergie te benutten. De potentiële vermindering van de emissies door Klimaatakkoord en het Schone Lucht Akkoord is echter onvoldoende om de stikstofdepositie voor alle Natura 2000-gebieden onder de kritische stikstofdepositiewaarden te krijgen.

Stikstofdeskundigen in Nederland

Nederland heeft van oudsher relatief veel aandacht gehad voor stikstof-gerelateerde problemen en daardoor ook relatief veel kennis ontwikkeld over 'stikstof'. Die kennis is echter gefragmenteerd en verspreid over verschillende instellingen en personen, en er is weinig coördinatie in de verdere ontwikkeling en onderhoud van die kennis. Er is geen instituut of programma voor integraal stikstofonderzoek in Nederland. Die fragmentatie geldt in zekere mate ook voor het beleid; departementen die zich direct met stikstofbeleid bezig houden zijn vooral het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit en het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, maar de Ministeries van Volksgezondheid, Welzijn en Sport, Economische Zaken, en Buitenlandse Zaken hebben direct en indirect ook met stikstofbeleid te maken.

De zogenoemde stikstofdeskundigen bevinden zich bij diverse universiteiten en instellingen. In Tabel 7 wordt een niet-uitputtende lijst van namen genoemd.

Tabel 7. Lijst met namen van stikstofdeskundigen in Nederland

Naam	Instelling	Expertise	Email
Prof dr Wim de Vries	Wageningen University & Research, Environmental Sciences Group	Integrale analyse stikstofstromen; impact van depositie op bossen en natuur	Wim.deVries@wur.nl
Prof dr Willem Erisman	Vrije Universiteit; Louis Bolk Instituut	Integrale stikstofstudies; duurzame landbouw	j.w.erisman@vu.nl j.erisman@louisbolk.nl
Prof Bert Brunekreef	Universiteit van Utrecht	Epidemiologisch onderzoek naar milieu, stikstof en gezondheid	b.brunekreef@uu.nl
Dr Addo van Pul	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM)	Gasvormige stikstofemissies en stikstofdeposities	Addo.van.Pul@RIVM.nl
Dr Hans van Grinsven	Planbureau voor de Leefomgeving (PBL)	Integrale analyse van stikstof in landbouw; evaluatie mest- en ammoniakbeleid	Hans.vanGrinsven@pbl.nl

Dr Arjan Hensen	TNO	Meting en modelering van stikstofemissies en stikstofdepositie	
Dr. A van Hinsberg	PBL	Ecologische effecten van stikstofdepositie; biodiversiteit	Arjen.vanHinsberg@pbl.nl
Prof mr Willem Bruil	Rijksuniversiteit Groningen	Agrarisch recht	W.Bruil@rug.nl
Mr dr Fred Kistenkas	WUR, Environmental Sciences Group	Omgevingsrecht buitengebied	Fred.Kirstenkas@wur.nl
Dr Han van Dobben	WUR, Environmental Sciences Group	Ecologische effecten van stikstofdepositie; biodiversiteit	Han.vanDobben@wur.nl
Ir Wim van Dijk	WUR, Plant Sciences Group	Stikstofbemesting akkerbouwgewassen	Wim.vanDijk@wur.nl
Prof dr Jan Dijkstra	WUR, Animal Sciences Group	Stikstof en Veevoeding	Jan.Dijkstra@wur.nl
Dr Nico Ogink	WUR, Animal Sciences Group	Ammoniakemissies en stalsystemen	Nico.Ogink@wur.nl
Dr Karin Groenestein	WUR, Animal Sciences Group	Ammoniakemissies en stalsystemen	Nico.Ogink@wur.nl
Dr Gerard Velthof	WUR, Environmental Sciences Group	Stikstof en mest- en ammoniakbeleid; Nitraatrichtlijn, Broeikasgasemissies	Gerard.Velthof@wur.nl
Dr Hans Kros	WUR, Environmental Sciences Group		
Dr Jan Huijsman	WUR, Plant Sciences Group		
Prof dr Jan Willem van Groenigen	WUR, Environmental Sciences Group		
Dr Hein ten Berge,	WUR, Plant Sciences Group		
Dr Wim Bussink	NMI		
Dr Albert Bleeker	PBL		
Dr Wieger Wamelink	WUR, Environmental Sciences Group		
Dr Nina Smits	WUR, Environmental Sciences Group		
Dr Joachim Rozemeijer	Deltares		
Dr Dico Fraters	RIVM		

Referenties.

- Bittman, S., Dedina, M., Howard C.M., Oenema, O., Sutton, M.A., (eds), 2014, Options for Ammonia Mitigation: Guidance from the UNECE Task Force on Reactive Nitrogen, Centre for Ecology and Hydrology, Edinburgh, UK
- Ellwanger G, Runge S, Wagner M, Ackermann W, Neukirchen M, Frederking W, Müller C, Ssymank A, Sukopp U (2018) Current status of habitat monitoring in the European Union according to Article 17 of the Habitats Directive, with an emphasis on habitat structure and functions and on Germany. *Nature Conservation* 29: 57–78. <https://doi.org/10.3897/natureconservation.29.27273>
- European Commission (2018) REPORT FROM THE COMMISSION TO THE COUNCIL AND THE EUROPEAN PARLIAMENT on the implementation of Council Directive 91/676/EEC concerning the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources based on Member State reports for the period 2012–2015 {SWD(2018) 246 final}
- Mueller et al., 2011) Closing yield gaps through nutrient and water management. *Nature*, 490, 254–257
- Remkens et al., 2019. Niet alles kan. Eerste advies van het Adviescollege Stikstofproblematiek. Aanbevelingen voor korte termijn. Adviescollege Stikstofproblematiek, Amersfoort
- Smil, V 2001. Enriching the Earth. Fritz Haber, Carl Bosch and the Transformation of World Food Production. MIT Press.
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M., & Sörlin, S. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347(6223). 10.1126/science.1259855.
- Van Dobben, H.F., R. Bobbink, D. Bal en A. van Hinsberg, 2012. Overzicht van kritische depositiewaarden voor stikstof, toegepast op habitattypen en leefgebieden van Natura 2000. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2397.
- Velders, G.J.M. et al. (2018) Grootschalige concentratie- en depositiekaarten Nederland - Rapportage 2018. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) DOI 10.21945/RIVM-2018-0104