

Gezondheidsraad

De invloed van stikstof op de gezondheid



Aan de staatssecretaris van Infrastructuur en Milieu

Onderwerp : Aanbieding signalement *De invloed van stikstof op de gezondheid*

Uw kenmerk : -

Ons kenmerk : U-7480/EvV/tvdk/789-P

Bijlagen : 1

Datum : 10 december 2012

Geachte staatssecretaris,

Hierbij bied ik u het signalement *De invloed van stikstof op de gezondheid* aan. Het is opgesteld door de Commissie Signalering gezondheid en milieu, die als taak heeft om regering en parlement te attenderen op belangrijke kwesties op het gebied van gezondheid en milieu, en kansen en bedreigingen in kaart te brengen. Het is getoetst door de Beraadsgroep Gezondheid en omgeving.

Het signalement vestigt de aandacht op het belang van een goed stikstofbeleid voor de volksgezondheid. De problemen die het teveel aan stikstof in het milieu in Nederland veroorzaakt, zijn bekend. Daar wordt ook al lang beleid op gemaakt, vooral op het terugdringen van mestoverschotten en luchtverontreiniging. De commissie is echter van mening dat het vraagstuk vanuit het oogpunt van volksgezondheid extra aandacht vraagt.

Dit signalement is ook relevant voor beleidsterreinen waarvoor andere bewindslieden verantwoordelijk zijn. Daarom heb ik dit signalement vandaag tevens toegezonden aan de staatssecretaris van Economische Zaken en de minister van Volksgezondheid, Welzijn en Sport.

Met vriendelijke groet,

prof. dr. H. Obertop,
vicevoorzitter

De invloed van stikstof op de gezondheid

aan:

de staatssecretaris van Infrastructuur en Milieu

de staatssecretaris van Economische Zaken

de minister van Volksgezondheid, Welzijn en Sport

Nr. 2012/28, Den Haag, 10 december 2012

De Gezondheidsraad, ingesteld in 1902, is een adviesorgaan met als taak de regering en het parlement ‘voor te lichten over de stand der wetenschap ten aanzien van vraagstukken op het gebied van de volksgezondheid en het gezondheids(zorg)onderzoek’ (art. 22 Gezondheidswet).

De Gezondheidsraad ontvangt de meeste adviesvragen van de bewindslieden van Volksgezondheid, Welzijn & Sport; Infrastructuur & Milieu; Sociale Zaken & Werkgelegenheid; Economische Zaken en Onderwijs, Cultuur & Wetenschap. De raad kan ook op eigen initiatief adviezen uitbrengen, en ontwikkelingen of trends signaleren die van belang zijn voor het overheidsbeleid.

De adviezen van de Gezondheidsraad zijn openbaar en worden als regel opgesteld door multidisciplinaire commissies van – op persoonlijke titel benoemde – Nederlandse en soms buitenlandse deskundigen.



De Gezondheidsraad is lid van het European Science Advisory Network for Health (EuSANH), een Europees netwerk van wetenschappelijke adviesorganen.



INAHTA

De Gezondheidsraad is lid van het International Network of Agencies for Health Technology Assessment (INAHTA), een internationaal samenwerkingsverband van organisaties die zich bezig houden met *health technology assessment*.

U kunt het advies downloaden van www.gr.nl.

Deze publicatie kan als volgt worden aangehaald:

Gezondheidsraad. De invloed van stikstof op de gezondheid. Den Haag: Gezondheidsraad, 2012; publicatienr. 2012/28.

Preferred citation:

Health Council of the Netherlands. The influence of nitrogen on health. The Hague: Health Council of the Netherlands, 2012; publication no. 2012/28.

auteursrecht voorbehouden

all rights reserved

ISBN: 978-90-5549-921-2

Inhoud

Samenvatting 7

Executive summary 11

1 Inleiding 15

1.1 Stikstof heeft gunstige en ongunstige effecten 15

1.2 De situatie in Nederland 16

1.3 De Nederlandse volksgezondheid 17

1.4 Overzichtsrapport 18

1.5 Commissie en werkwijze 18

1.6 Opbouw van dit signalement 18

2 Kringlopen en ketens 19

3 De ongunstige invloed van stikstof op de volksgezondheid 21

3.1 Onderscheid in directe en indirecte effecten 21

3.2 De wegen waarlangs reactief stikstof op de volksgezondheid inwerkt 22

3.3 Lucht 22

3.4 Drinkwater en voedsel 25

3.5 Grond- en oppervlaktewater 27

3.6 Mondiale milieuveranderingen 27

3.7 Omvang van de gezondheidsschade 28

4 Mogelijkheden om de gezondheidsschade terug te dringen 31

5 Visie van de commissie 36

Literatuur 38

Bijlage 42

A De commissie 43

Samenvatting

Stikstof is noodzakelijk voor alle vormen van leven. Het is bijvoorbeeld een belangrijke bouwsteen van eiwitten. Planten, dieren en mensen nemen het op als reactief stikstof. Dat moet uit stikstof in de buitenlucht worden gevormd. In de natuur wordt reactief stikstof slechts op beperkte schaal gevormd, hoofdzakelijk door micro-organismen. De kunstmatige vorming van reactief stikstof werd een eeuw geleden mogelijk gemaakt door de uitvinding van een proces voor de synthese van ammoniak. Deze uitvinding legde de basis voor de fabricage van kunstmest. Daarmee werd een enorme toename van de voedselproductie per hectare grond mogelijk. Naast ammoniak vallen onder reactief stikstof nog vele stikstof bevattende verbindingen, waaronder ammonium- en nitraatzouten.

Rijke werelddelen en landen, waaronder Europa, en zeker Nederland, hebben te maken met een teveel aan reactief stikstof in het milieu. Dit leidt tot aantasting van dit milieu en van de volksgezondheid. De overmaat aan reactief stikstof heeft twee belangrijke oorzaken: de landbouw en veehouderij, en de verbranding van fossiele brandstoffen.

De Gezondheidsraad heeft zich over de mogelijke effecten van reactief stikstof op de Nederlandse volksgezondheid gebogen. Een commissie van de raad, de Commissie Signalering Gezondheid en milieu, heeft beoordeeld in hoeverre de volksgezondheid gebaat is bij het terugdringen van de hoeveelheid reactief stikstof in ons land.

Effecten op het milieu

Eenmaal in het milieu doorloopt reactief stikstof verschillende chemische vormen en verplaatst het zich door de lucht, de bodem, de vegetatie en het water. Daardoor draagt het bij aan veranderingen, die op diverse plaatsen en op verschillende momenten optreden. Daaronder zijn de beoogde productie van plantaardig en dierlijk voedsel en de onbedoelde verontreiniging van het milieu. Het geheel van reacties heeft het karakter van een complex netwerk: het bestaat uit ketens en kringlopen met dwarsverbanden. Doordat reactief stikstof zich door deze netwerkstructuur beweegt, veroorzaakt het series opeenvolgende effecten.

Een voorbeeld kan dit verduidelijken. Bij de verbranding van fossiele brandstoffen komt stikstofdioxide vrij. Dit kan tot ammoniumzouten reageren en zo aan de vorming van fijn stof bijdragen. De ammoniumverbindingen kunnen door regen op de bodem neerslaan en daar de samenstelling van de natuurlijke vegetatie verstoren. Bij regen is ook uitspoelen naar het grond- en oppervlaktewater mogelijk. In het laatste geval bedreigt het waterplanten en vissen. Uiteindelijk kan reactief stikstof worden omgezet in lachgas (distikstofmonoxide), een broeikasgas.

Effecten op de Nederlandse volksgezondheid

Een teveel aan reactief stikstof heeft directe en indirecte nadelige effecten op de gezondheid van mensen. Bij een direct effect werkt reactief stikstof rechtstreeks in op de gezondheid. Van een indirect effect is sprake wanneer het nadelige veranderingen in het milieu teweegbrengt, die vervolgens een ongunstige invloed hebben op de gezondheid. Dit signalement gaat over de mogelijke nadelige effecten op de gezondheid van gemiddelde concentraties, dus niet van bijvoorbeeld kortdurende extra hoge gehalten als gevolg van calamiteiten.

De complexe samenhang tussen reactief stikstof en zijn effecten wordt slechts ten dele begrepen. In het bijzonder de kennis over de ongunstige invloed van reactief stikstof op de gezondheid vertoont lacunes. Niettemin laat deze kennis de volgende conclusies toe.

Een belangrijk deel van de directe gezondheidsschade door reactief stikstof komt voor rekening van luchtverontreiniging, een ander deel voor rekening van (verontreiniging van) drinkwater en voeding. Luchtverontreiniging, waaraan stikstofoxiden bijdragen, veroorzaakt schade aan de luchtwegen en het hart- en vaatstelsel. Bij drinkwater en voeding gaat het hoofdzakelijk om nitraat en zijn omzettingproduct nitriet, dat in verband wordt gebracht met kanker, vooral van het maag-darmkanaal. Het is echter onduidelijk hoe hoog het extra risico op kan-

ker is dat mensen hierdoor lopen. Er zijn ook claims dat nitraat een gunstige invloed heeft op het hart- en vaatstelsel en op de verdediging tegen infecties. Hoe deze tegengestelde effecten tegen elkaar moeten worden afgewogen is nog volop onderwerp van wetenschappelijke discussie.

Bij de indirecte nadelige invloed van reactief stikstof op de gezondheid gaat het onder meer om een bijdrage van stikstofdioxide aan de vorming van ozon aan het aardoppervlak. Inademing van ozon kan tot schade aan de luchtwegen leiden. Daarnaast kan verontreiniging van lucht, bodem en water met reactief stikstof bijdragen aan mondiale milieuveranderingen als klimaatverandering en aantasting van ecosystemen, en via deze weg wellicht allerlei indirecte gezondheidseffecten veroorzaken. Zo is het broeikasgas lachgas via klimaatverandering gekoppeld aan een mogelijke toename van infectieziekten. Ook tast het de ozonlaag in de stratosfeer aan, waardoor de UV-straling toeneemt, en daarmee de kans op huidkanker en staar. Bij aantasting van ecosystemen kan bijvoorbeeld de voedselvoorziening in het gedrang komen.

Het inzicht in de directe nadelige invloed van reactief stikstof op de gezondheid is groter dan dat in de indirecte. Ook is van luchtverontreiniging duidelijker in hoeverre de volksgezondheid erdoor wordt bedreigd dan via drinkwater en voeding. Vanuit het oogpunt van voorzorg is extra aandacht voor het hele spectrum van effecten wenselijk.

Van de totale omvang van de invloed van reactief stikstof op het milieu en de volksgezondheid bestaat een ruwe indicatie. Voor de EU is dat, in geld uitgedrukt, € 150-750 per inwoner per jaar. Voor Nederland bedraagt de schatting € 200-1.000 per inwoner per jaar.

Verdere analyse in Nederland kan helpen

De situatie in ons land is dus ongunstiger dan gemiddeld in de EU. Dit heeft te maken met onze hoge bevolkingsdichtheid, onze intensieve landbouw, onze forse industrie en ons drukke verkeer. De Nederlandse overheid heeft de afgelopen decennia een beleid gevoerd waarmee de hoeveelheid reactief stikstof in ons land is teruggedrongen. Dit proces lijkt de laatste jaren echter te stagneren. Dat is niet alleen ongunstig voor het milieu, maar ook voor de volksgezondheid. Hoewel de invloed van reactief stikstof op de gezondheid nog veel onzekerheden kent, maken de beschikbare gegevens voldoende aannemelijk dat de Nederlandse volksgezondheid baat heeft bij verdere reductie van de hoeveelheid reactief stikstof in ons land. Uit het oogpunt van volksgezondheid vindt de commissie het niet alleen wenselijk om het lopende stikstofbeleid onverminderd voort te zetten,

maar de hoeveelheid reactief stikstof in Nederland versneld verder terug te dringen en de stagnatie die zich de laatste jaren lijkt af te tekenen, te doorbreken.

Nadere analyse van de schade die reactief stikstof veroorzaakt aan de Nederlandse volksgezondheid kan daarbij behulpzaam zijn. Immers, door het inzicht in deze schade te vergroten, kan beter worden bepaald in hoeverre wijzigingen in het beleid wenselijk zijn. Op die manier kan het beleid doeltreffender en doelmatiger worden.

Dergelijke vervolganalyses kunnen het beste worden gemaakt door een groep deskundigen waarin onder meer de expertisegebieden volksgezondheid, gezondheidseconomie en sociale wetenschappen vertegenwoordigd zijn. Er kan gebruik bij worden gemaakt van de uitkomsten van activiteiten die de komende jaren in ander verband plaatsvinden en waarin ook de schadelijkheid van reactief stikstof wordt beoordeeld, zoals de herziening van de normen voor de luchtkwaliteit van de EU.

Executive summary

Health Council of the Netherlands. The influence of nitrogen on health. The Hague: Health Council of the Netherlands, 2012; publication no. 2012/28

Nitrogen is required for all life forms. For example, it is a key building block for proteins. Plants, animals and humans absorb it as reactive nitrogen. This must be formed from atmospheric nitrogen. In nature, reactive nitrogen is only formed on a limited scale, primarily by microorganisms. The artificial formation of reactive nitrogen was made possible a century ago by the invention of a process for synthesising ammonia. This invention laid the groundwork for the manufacture of artificial fertiliser. This made a huge increase in food production per hectare of land possible. In addition to ammonia, numerous nitrogen-containing compounds are classified as reactive nitrogen, including ammonium and nitrate salts.

Rich regions and countries, including Europe and the Netherlands, have to deal with an excess of reactive nitrogen in the environment. This affects the environment and public health. The excess of reactive nitrogen has two main causes: agriculture and livestock production, and the combustion of fossil fuels.

The Health Council of the Netherlands examined the potential effects of reactive nitrogen on Dutch public health. One of the Health Council's Committees, the Health and Environment Surveillance Committee, evaluated to what degree public health would benefit from a reduction in the amount of reactive nitrogen in our country.

Environmental effects

Once released into the environment, reactive nitrogen is converted into various chemical forms and transitions through the air, soil, vegetation and water. It contributes to the changes that occur in various places and at various moments in time. This includes planned production of vegetable and animal-based foods as well as the unintentional pollution of the environment. The totality of the reactions takes place in a complex network of interconnecting chains and cycles. The movement of reactive nitrogen through this network structure results in series of sequential effects.

An example can clarify this phenomenon. The combustion of fossil fuels releases nitrogen dioxide. This can react to form ammonium salts, contributing to the formation of particulate matter. Rain can cause the ammonium compounds to precipitate to the ground, where they disrupt the composition of natural vegetation. Rain can also flush these compounds into ground or surface water. In the latter case, the compounds may threaten aquatic vegetation and fish. Ultimately, reactive nitrogen may be converted into laughing gas (dinitrogen monoxide), a greenhouse gas.

Effects on Dutch public health

An excess of reactive nitrogen has direct and indirect effects on human health. A direct effect means reactive nitrogen directly affects health. An indirect effect is one caused by harmful effects on the environment which in turn have a negative impact on health. This advisory report examines the possible negative health effects of average concentrations, and thus does not examine the effects of, for example, short-lasting exposure to high levels due to calamities.

The complex relationship between reactive nitrogen and its effects is only partially understood. Knowledge regarding the unfavourable influence of reactive nitrogen on health is particularly incomplete. However, this knowledge does allow the following conclusions to be drawn.

A significant proportion of the direct health damage caused by reactive nitrogen is due to air pollution, another is due to (contamination of) drinking water and food. Air pollution, caused in part by nitrogen oxides, causes respiratory and cardiovascular damage. For drinking water and food this primarily involves nitrate and its transformation product nitrite, which is linked to cancer, particularly of the gastrointestinal tract. However, it remains unclear how high the additional cancer risk is that people are exposed to. There are also claims that nitrate has a positive influence on the cardiovascular system and

protection from infections. How these opposing effects should be weighed against each other remains a topic of active scientific debate.

The indirect negative effects of reactive nitrogen involve, among other things, the contribution of nitrogen dioxide to the formation of ozone at the earth's surface. Inhalation of ozone can lead to airway damage. Additionally, air, soil and water pollution with reactive nitrogen can contribute to global environmental changes such as climate change and damage to ecosystems, thereby potentially causing a multitude of indirect health effects. For example, via climate change, the greenhouse gas laughing gas is linked to a possible rise in infectious diseases. It also affects the ozone layer in the stratosphere, which leads to increased UV radiation, thereby contributing to the risk of skin cancer and cataract. Ecosystem damage can, among other things, threaten food supplies.

Insight into the direct negative influence of reactive nitrogen on health is greater than for indirect effects. The effects of air pollution on public health are also clearer than the threats posed by (contamination of) drinking water and food. From a precautionary standpoint, additional attention for the full spectrum of effects is desirable.

Only a rough indication exists for the full extent of the environmental and public health impact of reactive nitrogen. Expressed in monetary terms, it amounts to € 150-750 per inhabitant per year. The estimate for the Netherlands is € 200-1,000 per inhabitant per year.

Further analysis in the Netherlands may help

The situation in our country is therefore less favourable than average for the EU. This is due to our high population density, intensive agriculture, large industrial capacity and busy traffic. Dutch government policy over the past decades has resulted in a reduction of the amount of reactive nitrogen in our country. However, this process appears to have stagnated in recent years. This is not only unfavourable for the environment, but also for public health. Although the influence of reactive nitrogen on health is still surrounded by uncertainty, available evidence provides sufficient indications that Dutch public health would benefit from further reduction of the amount of reactive nitrogen in our country. From a public health perspective, the Committee is of the opinion that continuation of current nitrogen policy is not only desirable, but that further reduction of the amount of reactive nitrogen in the Netherlands should be accelerated and that the recent stagnation should be addressed.

Further analysis of the damage reactive nitrogen causes to Dutch public health may be helpful in this endeavour. Increasing insight into this damage can

help better determine to what degree policy changes are desirable. This can contribute to more effective and cost-effective policy.

Ideally, such additional analyses should be performed by a group of experts in the fields of public health, health economics and the social sciences, among others. Outcomes of research performed for other reasons in the coming years that also evaluate the harmfulness of reactive nitrogen may be used, such as the review of EU air quality standards.

Inleiding

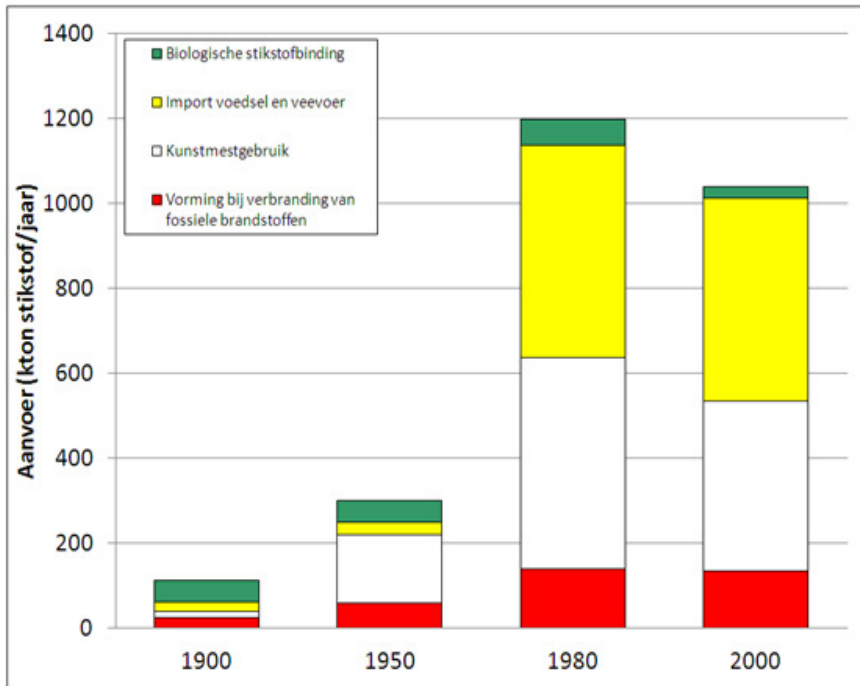
Een overmaat aan reactief stikstof schaadt het milieu. Belangrijke bronnen van verontreiniging van de lucht, het water en de bodem met stikstof zijn de intensieve landbouw en veehouderij, waarbij het mestvraagstuk een centrale rol speelt, en de verbranding van fossiele brandstoffen in het verkeer, de industrie en huishoudens. In dit signalerende advies neemt de Gezondheidsraad de mogelijke nadelige effecten van een teveel aan stikstof op de gezondheid in beschouwing.

1.1 Stikstof heeft gunstige en ongunstige effecten

Planten, dieren en mensen hebben stikstof nodig voor hun functioneren. Het dient bijvoorbeeld als bouwsteen voor eiwitten. De atmosfeer bevat een grote voorraad stikstof, in de vorm van stikstofgas. Om een biologische rol te kunnen vervullen moet dit worden omgezet in een reactieve vorm. Voorbeelden zijn gasen als ammoniak en stikstofoxiden, en zouten als ammonium- en nitraatverbindingen.

In de natuur wordt stikstofgas in beperkte mate omgezet in reactief stikstof. Dat gebeurt hoofdzakelijk bij onweer en door micro-organismen. Een kunstmatige omzetting, de synthese van ammoniak uit atmosferisch stikstof, heeft de fabricage van kunstmest mogelijk gemaakt en daarmee de huidige landbouwpraktijk in rijke landen als het onze.¹

In de landbouw wordt de bemesting met kunstmest en met dierlijke mest uit de veehouderij afgestemd op het gewas en de grondsoort. Desondanks krijgen de



Figuur 1 Trend van de jaarlijkse aanvoer (invoer en productie) van reactief stikstof in Nederland.²⁻⁵

verbouwde gewassen meer reactief stikstof dan ze aankunnen en de bodem meer dan hij kan vasthouden. Daardoor gaat er veel reactief stikstof verloren. Dat belandt in het milieu en richt daar schade aan: vermesting en verzuring van bodem en water, onder meer door vrijkomend ammoniak.

Naast de voedselvoorziening (landbouw en veehouderij) is de tweede grote bron van milieuverontreiniging met stikstof de verbranding van fossiele brandstoffen waarmee verkeer, industrie en huishoudens van energie worden voorzien. Hierbij spelen bijvoorbeeld stikstofoxiden een rol.

1.2 De situatie in Nederland

De huidige overmaat aan reactief stikstof in de westerse wereld is het resultaat van de sterke stijging van de jaarlijkse aanvoer die zich in de afgelopen eeuw op agrarisch gebied en in de energievoorziening heeft voorgedaan. Figuur 1 laat deze trend voor Nederland zien. Ons land behoort tot de landen in de wereld met de grootste hoeveelheden reactief stikstof per inwoner en per oppervlakte-eenheid – en met navenante milieuschade. Debet is onze bevolkingsdichtheid,

samen met een druk verkeer, een forse industrie en een intensieve landbouw en veeteelt.

De Nederlandse overheid voert daarom beleid dat tot doel heeft de overmaat aan reactief stikstof terug te dringen. Dit beleid berust voor een groot deel op regelgeving van de EU. Bestreden worden onder meer luchtverontreiniging, vervuiling van grond- en oppervlaktewater met nitraat en verzuring en vermist van ecosystemen.

In het verleden is op diverse vormen van reactief stikstof apart beleid gemaakt. Dit pakte echter niet altijd even goed uit. Maatregelen gericht tegen een bepaalde vorm van stikstof bleken soms wel het gewenste effect te hebben, maar daarnaast ook een ongewenst neveneffect op een andere vorm van stikstof. Dit staat bekend als afwenteling: een ongewenst effect wordt beperkt, maar een ander wordt juist groter. Zo bleek injectie van dierlijke mest in de bodem de ammoniakuitstoot naar de atmosfeer te verminderen, maar tegelijkertijd de emissie van lachgas (distikstofmonoxide) te bevorderen.⁶ Lachgas is een broeikasgas. Daarnaast vermindert het de ozonconcentratie in de stratosfeer. Een ander voorbeeld van een maatregel met afwenteling is de introductie van de driewegkatalysator in het wegverkeer. Die reduceert weliswaar de uitstoot van stikstofoxiden, maar is tevens verantwoordelijk voor productie van ammoniak.⁷ Ervaringen als deze hebben geleid tot beleid dat vooraf wordt getoetst op dergelijke afwentelingen.

Als gevolg van het gevoerde beleid is de hoeveelheid reactief stikstof in Nederland de laatste decennia gedaald.^{2-5,8} Ondanks deze vooruitgang zijn er nog wel problemen. Zo is Nederland bijvoorbeeld nog niet in staat om te voldoen aan de Europese norm voor stikstofdioxide in de buitenlucht. Van de Europese Commissie heeft ons land enkele jaren respijt gekregen om wel aan deze norm te voldoen.⁹ Meer in het algemeen lijkt de werking van het stikstofbeleid de laatste jaren te stagneren en de voortgang af te vlakken.¹⁰

1.3 De Nederlandse volksgezondheid

Reactief stikstof berokkent schade aan de volksgezondheid. Luchtverontreiniging veroorzaakt en verergert bijvoorbeeld aandoeningen van de luchtwegen. Daarom is een goed stikstofbeleid van belang voor het Nederlandse milieu én voor de Nederlandse volksgezondheid. Een belangrijke vraag is dan ook in hoeverre het verder terugdringen van de hoeveelheid stikstof in ons land (minder aanvoer, minder gebruik en minder verlies van reactief stikstof) winst kan opleveren voor de volksgezondheid.

Ons land heeft binnen de EU de grootste aanvoer en het grootste verlies van reactief stikstof per inwoner per jaar – en dus vermoedelijk ook de meeste door reactief stikstof veroorzaakte schade aan de volksgezondheid. Om zicht op deze schade te krijgen heeft de Gezondheidsraad de invloed van stikstof op de Nederlandse volksgezondheid onder de loep genomen.

1.4 Overzichtsrapport

Voor dit signalement is gebruik gemaakt van een Europees overzichtsrapport: *European Nitrogen Assessment* (ENA).¹¹ Het is opgesteld door een grote groep Europese onderzoekers en geeft een samenvatting van de beschikbare wetenschappelijke kennis over de bronnen en effecten van stikstof (in al zijn chemische vormen) en beschrijft de verbanden tussen beide. Europa staat centraal, maar er wordt rekening gehouden met de situatie elders in de wereld, ten aanzien van aspecten als kunstmestbehoefte, voedselvoorziening, volksgezondheid, klimaatverandering en bescherming van ecosystemen. Het accent ligt op de nadelige effecten van een teveel aan stikstof. Daarmee heeft een groot deel van Europa, en zeker Nederland, te maken.

Het genoemde rapport heeft een Europese invalshoek. Wetenschappers elders in de wereld steunen de bevindingen. De problemen die een teveel aan reactief stikstof in het milieu veroorzaakt worden ook in de VS erkend.^{12,13} De Amerikaanse bevestiging geeft steun aan de ENA als basis voor de voorliggende analyse.

1.5 Commissie en werkwijze

Dit signalement is opgesteld door de Commissie Signalering Gezondheid en milieu. De taak en de samenstelling van de commissie staan in bijlage A.

Het signalement is in conceptvorm beoordeeld door de Beraadsgroep Gezondheid en omgeving, een vast college van deskundigen van de Gezondheidsraad.

1.6 Opbouw van dit signalement

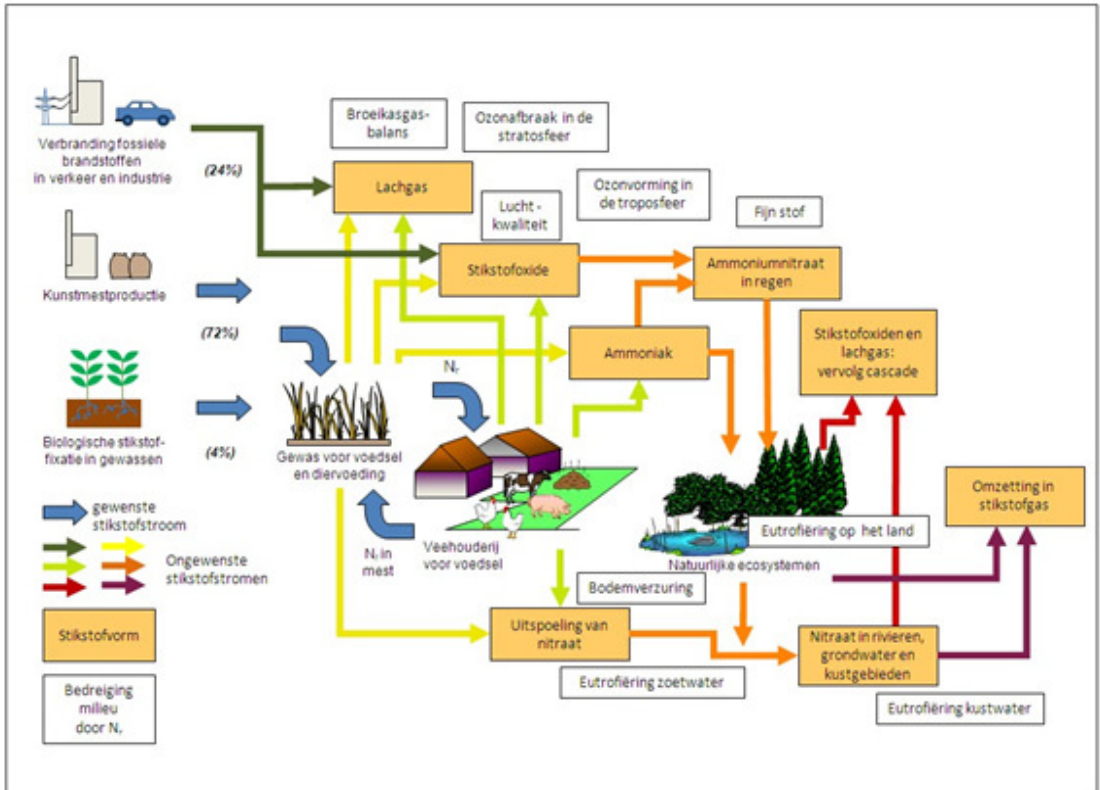
In het vervolg geeft de commissie eerst een beknopte samenvatting van de bronnen van reactief stikstof, de effecten op het milieu en de verbanden tussen beide. Daarna beschrijft zij de invloed van een teveel aan reactief stikstof op de gezondheid en de mogelijkheden om deze invloed terug te dringen. Tot slot trekt zij conclusies over de Nederlandse volksgezondheid en doet zij aanbevelingen voor bescherming daarvan.

Kringlopen en ketens

Bij analyses van het stikstofvraagstuk wordt over het algemeen uitgegaan van de zogeheten stikstofcascade (zie figuur 2). Een atoom reactief stikstof doorloopt achtereenvolgens verschillende chemische vormen en verplaatst zich door de lucht, de bodem, de vegetatie en het water. Daardoor draagt het bij aan verschillende effecten, die doorgaans op verschillende plaatsen en op verschillende momenten optreden. Daaronder zijn de gunstige effecten op de landbouw en de ongunstige effecten op het milieu.

De basis van de cascade wordt gevormd door verscheidene kringlopen. Zo is in figuur 2 aan de linkerkant de omzetting van stikstof in reactief stikstof te zien en aan de rechterkant de terugvorming van stikstof. Voor dit signalement voert het te ver om uitvoerig op de verbanden tussen de verschillende stikstofverbindingen in te gaan, voor zover die überhaupt bekend zijn. In het schema zijn omwille van de helderheid alleen de hoofdlijnen weergegeven.

De stikstofkringloop en de met deze kringloop verbonden oorzaak-gevolgverbanden bestaan vaak uit ketens met meerdere stappen en dwarsverbanden, waardoor ze een complex netwerk vormen. Bovendien vertoont de stikstofkringloop raakvlakken met de kringlopen van water en andere elementen, die ook een centrale rol spelen bij milieuvraagstukken. Tot deze elementen behoren fosfor, dat in belangrijke mate mede verantwoordelijk is voor eutrofiëring van het oppervlaktewater, en koolstof, dat een centrale rol heeft bij klimaatverandering en luchtverontreiniging. De koolstof- en stikstofkringlopen raken elkaar ondermeer bij de groei van planten. Stikstofbemesting stimuleert deze groei en daarbij



Figuur 2 Stikstofcascade. De aanvoerpercentages hebben betrekking op Nederland in het jaar 2000.^{2-5,11} N_r: reactief stikstof; eutrofiëring: vergroting van de voedselrijkdom.

wordt kooldioxide opgenomen uit de atmosfeer. Een ander raakpunt is de vorming van lachgas. Dat ontstaat uit mest en werkt als een broeikasgas.

Zoals figuur 2 laat zien, heeft een overmaat aan reactief stikstof diverse belangrijke ongunstige effecten op het milieu: het bedreigt de kwaliteit van de lucht, het water en de bodem en het vormt een gevaar voor de broeikasgasbalans en het voortbestaan van ecosystemen en biodiversiteit.

De ongunstige invloed van stikstof op de volksgezondheid

Een overmaat aan reactief stikstof heeft diverse ongunstige effecten op de gezondheid van mensen. Ze doen zich voor aan de uiteinden van de verschillende oorzaak-gevolgketens.

3.1 Onderscheid in directe en indirecte effecten

Voor de effecten, ook voor die op de gezondheid, maakt de oorsprong van het reactief stikstof niet uit. Wel doet het ertoe welke omzettingen de stof ondergaat en welke verbindingen daarbij ontstaan. Verschillende stikstofverbindingen hebben namelijk verschillende effecten op de gezondheid. In navolging van eerdere publicaties over mondiale milieu-invloeden op de gezondheid maakt de commissie onderscheid in^{14,15}:

- directe gevolgen van blootstelling aan reactief stikstof (bijvoorbeeld luchtwegaandoeningen als gevolg van de vorming van fijn stof door het vrijkomen van ammoniak en stikstofdioxide)
- indirecte gevolgen (bijvoorbeeld huid- en maagdarmklachten na zwemmen in recreatiewater verontreinigd met cyanobacteriën (bekend als ‘blauw-algen’) ten gevolge van de aanwezigheid van nitraat).*

* Deze indeling kent ook nog zeer indirecte gevolgen, waarin naast het fysieke milieu ook de sociale omgeving een belangrijk aandeel heeft (bijvoorbeeld het uitbreken van infectieziekten door het op gang komen van vluchtelingenstromen na overstromingen ten gevolge van klimaatverandering door het vrijkomen van lachgas). De omvang van en de kans op dit soort effecten zijn buitengewoon lastig te schatten.

3.2 De wegen waarlangs reactief stikstof op de volksgezondheid inwerkt

Reactief stikstof heeft een directe nadelige invloed op de gezondheid via de verontreiniging van de lucht en het grond-, oppervlakte- en drinkwater. Daarnaast bevat ons voedsel veel reactief stikstof, meer dan voor de gezondheid noodzakelijk is, waardoor ook langs die weg directe ongunstige effecten op de gezondheid mogelijk zijn. Tot slot heeft reactief stikstof een indirecte ongewenste invloed op de gezondheid via mondiale processen als klimaatverandering, transport van luchtverontreiniging over lange afstanden en de aantasting van ecosystemen en biodiversiteit.

In het vervolg komen de voornaamste stikstofverbindingen aan bod die ongunstige gezondheidseffecten hebben, of waarvan dergelijke effecten plausibel zijn. Daarbij staan gemiddelde concentraties in het milieu centraal. Het gaat dus niet om de consequenties van blootstelling aan hoge concentraties als die van ammoniak in de nabijheid van veehouderijen. Ook buiten beschouwing blijven de gevolgen van blootstelling aan kortdurende, lokale piekconcentraties, bijvoorbeeld als gevolg van het lekken van een koelinstallatie, waardoor een wolk van ammoniak vrijkomt.

3.3 Lucht

De luchtverontreiniging die reactief stikstof veroorzaakt komt primair voor rekening van ammoniak (afkomstig van de veehouderij) en stikstofoxiden (afkomstig van de verbranding van fossiele brandstoffen in vooral verkeer en industrie). Bij de stikstofoxiden gaat het vooral om stikstofdioxide, omdat stikstofmonoxide in de lucht snel wordt geoxideerd tot stikstofdioxide. De betrokken chemische reacties van deze stikstofverbindingen worden slechts ten dele doorgrond.

Ammoniak

Ammoniak is een bestanddeel van dierlijke mest. Deze mest heeft een sterke geur en veroorzaakt daardoor al bij lage concentraties geurhinder. Pas bij inademing van veel hogere concentraties ammoniak kunnen zich schadelijke effecten als irritatie van ogen en luchtwegen voordoen.¹⁶ Van ammoniak is bij de gemiddelde concentratie in de buitenlucht waarschijnlijk geen effect op de Nederlandse volksgezondheid te verwachten.

Ammoniak kan echter via een tussenstap schade aan de gezondheid toebrengen. Zo kan het reageren tot ammoniumverbindingen, die een bestanddeel van fijn stof vormen*, een belangrijke schadelijke component van luchtverontreiniging.^{17,18} Dit laatste kan bij inademing schade toebrengen aan de luchtwegen en het stelsel van hart en bloedvaten.¹⁹

Hoeveel gezondheidsschade ammoniak op deze wijze veroorzaakt, is tot op heden onduidelijk, omdat luchtverontreiniging een complex mengsel is met een variërende samenstelling en de gezondheidseffecten onvoldoende uit te splitsen zijn naar de verschillende bestanddelen.

Stikstofdioxide

De rol van stikstofdioxide bij het ontstaan van gezondheidsschade door luchtverontreiniging is eveneens lastig te ontrafelen. Ook hier geldt: de gezondheidseffecten van luchtverontreiniging zijn niet simpelweg uit te splitsen naar de verschillende bestanddelen. De wetenschappelijke discussie rondom de schadelijkheid van stikstofdioxide richt zich op drie kernvragen²⁰:

- Veroorzaakt blootstelling aan stikstofdioxide zelf gezondheidsschade?
- Veroorzaakt stikstofdioxide gezondheidsschade doordat het bijdraagt aan de vorming van ozon en nitraatdeeltjes?
- Wordt blootstelling aan stikstofdioxide geassocieerd met gezondheidsschade, omdat het onderdeel is van een mengsel van luchtverontreinigende stoffen en het als indicator voor dit mengsel dient?

Stikstofdioxide zelf

Observationeel onderzoek naar de gezondheidseffecten van verkeersgerelateerde verontreiniging van de buitenlucht heeft geen antwoord kunnen geven op de vraag of blootstelling aan stikstofdioxide zelf schadelijk is voor de gezondheid. Het gehalte van stikstofdioxide correleert met dat van andere bestanddelen van luchtverontreiniging, waaronder fijn stof, omdat ze allemaal van dezelfde bron afkomstig zijn. Dankzij onder meer schonere voertuigen en industrie is de concentratie overigens al jaren dalende.²¹

Observationeel onderzoek in woningen met relatief hoge concentraties stikstofdioxide laat geen nadelig effect op de luchtwegen van de bewoners zien.²²⁻²⁵ Ook traden geen cardiovasculaire effecten op bij vrijwilligers die matige inspan-

* Dit betreft secundair fijn stof, dat in de lucht wordt gevormd uit voorlopers. Primair fijn stof komt rechtstreeks van de bron, bijvoorbeeld roet, of bodemstof.

ning verrichtten terwijl ze zuiver stikstofdioxide inhaleerden in een concentratie die overeenkomt met het gehalte in dieseluitstoot en die ruim honderd maal zo hoog is als in de buitenlucht.²⁶

Uit onderzoek bij vrijwilligers die matige inspanning verrichtten op locaties met luchtverontreiniging van verschillende samenstelling is wel een nadelig effect van stikstofdioxide op de luchtwegen gebleken.^{27,28} Dit gold overigens ook voor andere bestanddelen, waaronder de deeltjesfractie. Deze bevindingen zijn van belang voor een beter begrip van het complexe verband tussen de samenstelling van luchtverontreiniging en de volksgezondheid.

Vorming van ozon

Stikstofdioxide is verantwoordelijk voor gezondheidsschade, doordat het bijdraagt aan de vorming van ozon, een belangrijk schadelijk bestanddeel van luchtverontreiniging. Ozon kan bij inademing schade aan de ademhalingswegen veroorzaken.¹⁹

Vorming van nitraat

Stikstofdioxide kan tot nitraat reageren en via deze route aan de vorming van fijn stof bijdragen. Twee tot voor kort onbekende factoren zijn van invloed op de concentratie en de samenstelling van verkeersgerelateerde luchtverontreiniging.

Allereerst hebben verbeterde katalysatoren in voertuigen de uitstoot van fijn stof door dieselmotoren doen dalen. De uitstoot van stikstofoxiden door dieselmotoren is echter ongewijzigd en hun uitstoot van stikstofdioxide is zelfs gestegen.²⁰ Daardoor zijn de verhoudingen tussen stikstofdioxide en de overige bestanddelen van het mengsel veranderd.

Verder blijken de testcondities waaronder voertuigen op hun uitstoot worden beoordeeld onvoldoende te zijn afgestemd op het rijgedrag van bestuurders. Voordat nieuwe modellen voertuigen in de EU op de markt mogen worden gebracht, moet hun uitstoot worden onderzocht en aan bepaalde normen voldoen. Deze tests vinden plaats onder door de EU voorgeschreven standaardcondities. Ze blijken het rijgedrag in de stad, dat wordt gekenmerkt door veel optrekken en afremmen, onvoldoende te vertegenwoordigen.^{29,30} Daarom is een wijziging van de EU-regelgeving voor testprotocollen en voertuignormen in gang gezet.

Deze nieuwe inzichten kunnen consequenties hebben voor de schatting van de gezondheidsschade die (verkeersgerelateerde) luchtverontreiniging veroorzaakt en voor het oordeel over de rol van verschillende bestanddelen.

Rol als indicator voor verbrandingsgassen

Stikstofdioxide heeft een belangrijke rol als indicator voor de schadelijke stoffen die bij verbrandingsprocessen ontstaan. Uit de voorgaande paragraaf blijkt dat de verhouding tussen de concentratie stikstofdioxide en de toxiciteit van luchtverontreiniging geen statisch gegeven is. Zo zou de uitstoot van stikstofdioxide gelijk kunnen blijven of toenemen, terwijl het mengsel in zijn geheel minder schadelijk wordt. Ook dit inzicht is van belang voor beslissingen over de verdere aanpak van luchtverontreiniging.

3.4 Drinkwater en voedsel

Voor de verontreiniging van grond- en oppervlaktewater met reactief stikstof is vooral nitraat verantwoordelijk. Dat is voor een groot deel afkomstig uit kunstmest en dierlijke mest, hoewel er ook wat afkomstig kan zijn van neerslag uit de lucht. Bij de bereiding van drinkwater wordt het teveel aan nitraat verwijderd, of wordt de concentratie verlaagd door mengen met schoner water. Drinkwater is niet de enige bron van nitraat voor mensen. De andere is voedsel. Bij het vaststellen van de drinkwaternorm is hier rekening mee gehouden.

Bronnen van blootstelling

Nitraat is een normaal bestanddeel van het lichaam en wordt ook in het lichaam gevormd. Daarnaast krijgen mensen het binnen via drinkwater en voedsel. De inname is vele malen groter dan de inwendig gevormde hoeveelheid.³¹

Vooraf groente, in het bijzonder bladgroente, is rijk aan nitraat. Aan sommige voedingsmiddelen wordt het toegevoegd, bijvoorbeeld aan vleeswaren om bederf en kleurverandering tegen te gaan. Over het algemeen is groente de voornaamste bron van nitraat, dan volgt drinkwater en daarna komen andere voedingsmiddelen.

Gezondheidsschade

De bezorgdheid over te hoge blootstelling aan nitraat geldt zijn metabolieten en reactieproducten, in het bijzonder nitriet en nitrosamines. Blootstelling aan te veel nitraat wordt in verband gebracht met kanker, vooral van het maag-darmkanaal.^{31,32}

Nitraat en nitriet worden beide gebruikt om voedsel te conserveren. Nitraat kan in het maag-darmkanaal worden omgezet tot nitriet. De voornaamste bron

van blootstelling aan nitriet is de vorming uit nitraat. In hoeverre inname van nitraat en nitriet kanker kan veroorzaken is controversieel.

Nitriet kan in het spijsverteringskanaal met eiwitten uit voedsel reageren tot kankerverwekkende nitrosamines.^{33,34} Daarnaast bestaat de mogelijkheid dat al bij de bereiding van eiwitheoudend voedsel kankerverwekkende nitrosamines ontstaan.

Het *International Agency for Research on Cancer* van de WHO acht het waarschijnlijk dat nitraat en nitriet carcinogeen zijn voor de mens, wanneer ze worden ingenomen onder omstandigheden die de vorming van nitrosamines mogelijk maken.³² Deze nitrosaminevorming zou voor een deel verantwoordelijk kunnen zijn voor het verband tussen vleesconsumptie en het optreden van kanker, vooral van maag en darm, dat in epidemiologisch onderzoek is waargenomen.

Een voeding met veel eiwit en nitraat- en nitrietrijke groente of groentesappen blijkt echter niet of nauwelijks tot vorming van nitrosamines in het lichaam te leiden.³³ De *European Food Safety Authority* (EFSA) heeft het extra kanker risico dat voor rekening van nitraat en nitriet in groenten komt afgezet tegen de voedingswaarde van groenten.³¹ Volgens de EFSA is het positieve effect van groenteconsumptie op de gezondheid veel groter dan het negatieve effect.

Tijdens de bereiding van eiwitheoudend voedsel kunnen ook andere schadelijke stikstof bevattende verbindingen ontstaan. Bij het bakken en braden van vlees en vis kunnen kankerverwekkende heterocyclische verbindingen worden gevormd.³⁵ Het ontstaan van deze verbindingen zou ook een deel van het verband tussen vleesconsumptie en kanker kunnen verklaren.

Gunstige effecten op de gezondheid

Sommige wetenschappers claimen dat nitraat gezondheidsbevorderende effecten heeft. Zo zijn er aanwijzingen dat nitraat gunstige effecten heeft op het hart en de bloedvaten en op de verdediging tegen infecties.^{31,36}

Drinkwaternorm

Onder de wetenschappers die zich met het nitraatvraagstuk bezighouden bestaan reeds lang grote verschillen van mening over de interpretatie van de beschikbare gegevens en de gezondheidseffecten van nitraatinname. Daarbij spelen ook de zojuist genoemde aanwijzingen voor een gunstige werking van nitraat een rol. Het discours strekt zich uit tot de wenselijke hoogte van de drinkwaternorm.^{11,36} Sommige wetenschappers claimen dat de EU-norm voor drinkwater onvol-

doende recht doet aan de gunstige effecten en dus onnodig laag is. Mede om deze reden ontbreekt aan de nitraatnorm een breed wetenschappelijk draagvlak.

3.5 Grond- en oppervlaktewater

Nitraat in het grond- en oppervlaktewater kan, via tussenstappen, eveneens tot schade aan de gezondheid leiden. Nitraat in het grondwater draagt, via een uitwisselingsproces dat traag verloopt, bij aan toename van de nitraatconcentratie in het oppervlaktewater.¹¹ Te veel nitraat in het oppervlaktewater leidt tot eutrofiëring. Die kan onder meer de visstand en daarmee de voedselvoorziening negatief beïnvloeden. Het lijkt echter niet waarschijnlijk dat hierdoor in Nederland problemen te verwachten zijn. Wellicht is dit wel elders in de wereld relevant. Wanneer de eutrofiëring van het oppervlaktewater zich in verontreiniging met cyanobacteriën uit, kan zwemmen in dit water gezondheidsklachten tot gevolg hebben. Door inslikken van water kan het tot maagdarmklachten komen en via contact met huid of ogen kan lokaal irritatie ontstaan.

3.6 Mondiale milieuveranderingen

Indirect heeft reactief stikstof ook een nadelige invloed op de gezondheid via de verontreiniging van lucht, bodem en water, doordat deze bijdraagt aan mondiale processen als klimaatverandering en de aantasting van ecosystemen en biodiversiteit. Zo is lachgas, dat ontstaat bij verbrandingsprocessen, bij de productie van kunstmest, bij het houden van vee en bij het verbouwen van gewassen, een broeikasgas en dus een factor die bijdraagt aan de verandering van het klimaat. Opwarming van de aarde leidt mogelijk tot gezondheidsbedreigingen, waaronder een toename van infectieziekten. Daarnaast kan lachgas, wanneer het de stratosfeer bereikt, het daar aanwezige ozon afbreken. Hierdoor kan meer UV-straling tot de aarde doordringen, wat de kans op het ontstaan van huidkanker en staar vergroot.

Een ander voorbeeld van indirecte invloed van reactief stikstof op de gezondheid is de reeds genoemde, door stikstofdioxide veroorzaakte vorming van ozon aan het aardoppervlak. Dat kan de groei van gewassen remmen, waardoor de voedselproductie afneemt.¹¹ Meer algemeen kan een teveel aan reactief stikstof een gevaar vormen voor de zogeheten ecosysteemdiensten. Hieronder worden de baten verstaan die ecosystemen voor mensen opleveren.³⁷ Deze baten hangen samen met de vier soorten functies die ecosystemen hebben: 1) leveranciers van onder meer voedsel, water, hout en vezels; 2) regulerende functies met invloed op bijvoorbeeld het klimaat, overstromingen, ziekten, afval en waterkwaliteit;

3) culturele functies die zaken als recreatie mogelijk maken en die voorzien in esthetische en geestelijke baten; 4) ondersteunende functies, zoals bodemvorming, fotosynthese en circulatie van voedingsstoffen. Bescherming van deze functies is indirect van belang voor de gezondheid. Meer details over de invloed van de aantasting van ecosystemen en andere mondiale milieuveranderingen op de gezondheid zijn onder meer te vinden in reeds aangehaalde publicaties.^{14,15}

De betrokken processen zijn ingewikkeld en talrijke stikstofverbindingen spelen er een rol in. De kennis hierover vertoont een groot aantal lacunes, waardoor bijvoorbeeld het inzicht in de onderlinge samenhang gebrekkig is. Daarom zijn de gevolgen van te veel reactief stikstof voor de Nederlandse volksgezondheid via mondiale milieuveranderingen lastig te duiden.

3.7 Omvang van de gezondheidsschade

Een te grote blootstelling aan reactief stikstof kan dus gezondheidsschade veroorzaken via lucht, bodem, water en voeding, en via mondiale milieuveranderingen. Het inzicht in deze nadelige gezondheidseffecten laat te wensen over. Dat geldt voor de directe en de indirecte effecten, het sterkst voor de laatste.

Eerste schatting voor de EU en Nederland

De enige schatting van de schade die reactief stikstof toebrengt aan de volksgezondheid is gemaakt in het kader van de ENA.¹¹ Voor de EU en voor Nederland zijn de ongunstige effecten van stikstof op het milieu en de gezondheid uitgedrukt in geld. De cijfers hebben betrekking op het jaar 2000 en op de directe en indirecte effecten.

Bij de maatschappelijke kosten van de invloeden van stikstof op het milieu en de gezondheid gaat het volgens de opstellers van de ENA in totaal om een bedrag van € 150-750 per EU-ingezetene per jaar. Ongeveer 60 procent hiervan komt voor rekening van de schade aan de gezondheid. De grootste post vormt de directe schade die wordt toegeschreven aan luchtverontreiniging, waaronder aandoeningen van de luchtwegen. Hierna komen – in volgorde van afnemende omvang – de eutrofiëring en teruggang van de biodiversiteit, de vorming van broeikasgassen, de directe gezondheidsschade door waterverontreiniging, de indirecte gezondheidsschade als gevolg van afbraak van de ozonlaag (huidkanker en staar) en de schade aan gewassen als gevolg van vorming van ozon aan het aardoppervlak. De marge in het bedrag laat zien dat er sprake is van forse onzekerheid.

Volgens bij de schatting betrokken Nederlandse onderzoekers is het bedrag voor Nederland € 200-1.000 per inwoner per jaar.³⁸ Ook hier is het Nederlandse cijfer dus hoger dan het EU-getal. Dit spoort met de belasting met reactief stikstof per hectare. In ons land is die binnen de EU het hoogst.

Volgens deze schattingen leveren de stikstofoxiden de grootste bijdrage aan de gezondheidsschade via luchtverontreiniging, zowel in de EU als in Nederland.

Betekenis van de schatting

Voor het kwantificeren van de aan reactief stikstof toegeschreven milieu- en gezondheidsschade is monetaire waardering gebruikt. Men heeft de methode van de *willingness to pay* toegepast, waarmee mensen uitdrukken welk bedrag ze overhebben voor de bestrijding van ongunstige omstandigheden. Het voornaamste voordeel van monetaire waardering is de eenvoud van het eindresultaat: de hierboven genoemde verschillende soorten schade zijn in geldbedragen uitgedrukt, met een zekere spreiding als gevolg van onzekerheden, en zijn vervolgens opgeteld tot één bedrag, eveneens met een spreiding.

De eenvoud van deze uitkomsten is ook meteen het voornaamste nadeel. De achterliggende kennishiaten zijn er slechts gedeeltelijk uit af te lezen. In de eerste plaats komen alleen de effecten in de uitkomsten tot uiting die in getallen te vangen zijn op het moment dat de schatting wordt gemaakt. Die getallen kunnen meer of minder betrouwbaar zijn. De niet-kwantificeerbare effecten blijven noodzakelijkerwijs buiten beschouwing. Een voorbeeld van een dergelijk effect is de invloed die reactief stikstof via klimaatverandering op de volksgezondheid heeft. Alleen van lachgas kon deze met een redelijke mate van betrouwbaarheid worden geschat.

Als gevolg van de beperkte kennis is de schatting te beschouwen een eerste, ruwe benadering van de schade die reactief stikstof toebrengt aan het milieu en de gezondheid.

Behalve op de niet-kwantificeerbare effecten gaat met de gevolgde methode ook het zicht verloren op de aard van de kwantificeerbare effecten. Daardoor raakt informatie buiten beeld als om welk soort gezondheidsschade het gaat en bij welke groep deze gezondheidsschade optreedt: de gehele bevolking, kinderen, stedelingen, mensen die langs snelwegen wonen, enzovoort. Daardoor kan dus gemakkelijk het zicht verdwijnen op bij wie de baten en bij wie de lasten van overwogen maatregelen terechtkomen. Hiervoor bestaan wel oplossingen. Het is bijvoorbeeld mogelijk om het eindbedrag naar deze kenmerken uit te splitsen. Dit zou echter andere onzekerheden met zich meebrengen. Een alternatief is de bewuste gegevens expliciet in de analyse te betrekken, door gebruik te maken

van hulpmiddelen als multicriteria-analyse, waarmee uiteenlopende soorten gegevens gestructureerd beoordeeld en tegen elkaar afgewogen kunnen worden.³⁹

Een voordeel van de gebruikte methode is wel dat de uitkomsten van de monetaire waardering van gezondheidsschade in principe te gebruiken zijn als onderdeel van een bredere, maatschappelijke kosten-batenanalyse, waarbij alle kwantificeerbare negatieve en positieve effecten kunnen worden geschat en vergeleken, en de negatieve eventueel kunnen worden afgetrokken van de positieve.

Mogelijkheden om de gezondheids- schade terug te dringen

Meerwaarde van integraal beleid

Voor het terugdringen van de hoeveelheid reactief stikstof in het milieu is integraal beleid het meest geëigend, waarbij rekening wordt gehouden met de samenhang tussen de verschillende betrokken partijen, bronnen van reactief stikstof en stikstofverbindingen, alsmede met de samenhang met andere milieuvraagstukken als die van het klimaat en de energievoorziening. Voor integraal beleid pleiten ook anderen.^{11,12}

De kracht van een integrale aanpak is dat zo te bepalen valt met welke ingrepen of combinaties van ingrepen de meeste schade aan het milieu en de gezondheid wordt vermeden en welke hiervan het meest kosteneffectief zijn. Dat geldt voor de situatie in Nederland, maar ook voor het maken van internationale afspraken, binnen de EU en wereldwijd. Een goed voorbeeld van succesvol integraal beleid op mondiale schaal is de internationale overeenkomst over de aanpak van grensoverschrijdende luchtverontreiniging.⁴⁰ Daaraan doet een grote groep landen mee; per land is bepaald welke maatregelen het meest doeltreffend en doelmatig zijn om de luchtverontreiniging te beteugelen die hoog in de atmosfeer over lange afstanden kan worden getransporteerd. Overigens biedt het bedoelde verdrag ook aanknopingspunten voor stikstofbeleid. Onder het verdrag is een speciale werkgroep voor reactief stikstof ingesteld.

Integraal beleid kan worden gevoerd door bijvoorbeeld synergie* te benutten en afwenteling te voorkomen. Synergie zou zich bijvoorbeeld voordoen bij de toepassing van duurzame energiebronnen die leiden tot minder uitstoot van stikstofmonoxide, stikstofdioxide en lachgas naar de lucht (dus bijvoorbeeld wel wind, maar geen biomassa). Synergie op een breder terrein dan het stikstofvraagstuk valt onder meer te bereiken met motoren die minder stikstof en kooldioxide uitstoten. Veel maatregelen die tot doel hebben om de hoeveelheid stikstof in de buitenlucht terug te dringen, hebben als bijkomend voordeel dat ze tegelijkertijd het gehalte van andere bestanddelen van luchtverontreiniging verlagen. Daaronder zijn koolmonoxide, fijn stof en vluchtige organische bestanddelen. Dergelijke maatregelen hebben dus ook andere effecten waarbij de volksgezondheid gebaat is.

Scenario's afstemmen

Scenario's, beelden van mogelijke toekomsten, vormen een belangrijk hulpmiddel voor integrale analyse en besluitvorming. Op het terrein van dit signalement bestaan onder meer Nederlandse scenario's voor de ontwikkeling van de luchtkwaliteit in ons land (stikstofdioxide, fijn stof en zwaveldioxide)⁴¹ en scenario's van het IPCC voor de uitstoot van kooldioxide.^{42,43} Sommige combinaties van Nederlandse en IPCC-scenario's zijn mogelijk niet verenigbaar.⁴⁴ Dat zou bijvoorbeeld tot gevolg kunnen hebben dat de luchtkwaliteit in ons land minder verbetert dan wordt aangenomen. Daarnaast bemoeilijkt deze inconsistentie het schatten van de indirecte effecten via mondiale milieuveranderingen en effecten op ecosystemen en landbouw, waarvoor juist gecombineerde scenario's van koolstofdioxide en stikstofdioxide, fijn stof en zwaveldioxide nodig zijn. Mogelijk valt winst te behalen door de Nederlandse scenario's voortaan af te stemmen op de nieuwste IPCC-scenario's.

Aanpak in Nederland

Er zijn diverse oplossingsrichtingen voorgesteld om de hoeveelheid reactief stikstof te reduceren, of op zijn minst te stabiliseren¹¹:

- in transport, energieopwekking en industrie: door toepassing van emissiebeperkende technologie en energiebronnen met een lagere emissie

* samenwerking waarbij het rendement groter is dan de som van de rendementen van de afzonderlijke eenheden

- in de landbouwsector: door bijvoorbeeld ontwikkeling van meer stikstofefficiënte gewassen, emissiearme stallen en verbeterde veevoersamenstelling
- in de afvalrecycling: door bijvoorbeeld terugwinning van de stikstof uit het slib dat ontstaat bij de rioolwaterzuivering
- in beïnvloeding van het publiek: door stimulering van ander consumptiegedrag als aanschaf van schonere auto's, afname van het huishoudelijk energiegebruik en het eten van minder dierlijke producten.

De commissie onderschrijft deze oplossingsrichtingen. Tegelijkertijd realiseert ze zich dat de bestaande regelgeving op het gebied van reactief stikstof en verwante vraagstukken als klimaat en energie, uitgebreid en complex is. Het Nederlandse milieubeleid is ingericht langs verschillende lijnen: sectoren (onder meer landbouw, verkeer en industrie), media (bijvoorbeeld lucht en oppervlaktewater) en vraagstukken (thema's als klimaat, ecosystemen, biodiversiteit, waterkwaliteit en luchtverontreiniging). Het berust voor een groot deel op EU-regelgeving. Daarnaast neemt ons land deel aan internationale onderhandelingen. Dit alles tezamen maakt het voeren van extra stikstofbeleid, integraal of niet, lastig te realiseren in Nederland.

In ieder geval zijn en blijven internationaal onderzoek en internationale onderhandelingen van groot belang voor de Nederlandse volksgezondheid. Dat is echter een weg waarvoor een lange adem nodig is. Vanuit volksgezondheidsoogpunt is het wenselijk de beschikbare nationale beleidsruimte goed te benutten.

De commissie rekent het niet tot haar taak de verschillende oplossingsrichtingen op hun merites en mogelijkheden te beoordelen. Wel heeft ze er één geïdentificeerd die binnen de eigen Nederlandse beleidsruimte valt en kan helpen om het teveel aan reactief stikstof in Nederland versneld terug te dringen. Deze is onafhankelijk van regelgeving en internationale onderhandelingen realiseerbaar, omdat zij redelijk op zichzelf staat en er geen ernstige nadelen aan kleven.

Andere voedselconsumptie stimuleren

De Nederlandse voeding bevat meer dierlijk eiwit dan vanuit gezondheidskundig oogpunt noodzakelijk is. Het is niet bekend of de relatief grote hoeveelheid dierlijk eiwit in de Nederlandse voeding ongezond is.⁴⁵

Bij de productie van dierlijk eiwit treden relatief grote verliezen van reactief stikstof naar het milieu op. Deze verliezen zijn te verkleinen door de consumptie van dierlijk eiwit te verminderen, door dierlijke eiwitbronnen te vervangen door plantaardige en door dierlijke bronnen met relatief lage stikstofefficiëntie (rund-

vlees) te vervangen door bronnen met een hogere efficiëntie (varkensvlees of kip).^{11,45,46}

Uit overwegingen van milieubescherming is er dus reden om het algemene publiek aan te bevelen om minder of andere voedingsmiddelen van dierlijke oorsprong te gebruiken en daarbij de aanbevolen hoeveelheden, die de gezondheid waarborgen, als bovengrens aan te houden.⁴⁷ De stikstofgerelateerde gezondheidskundige argumenten voor een dergelijke verandering van eetpatroon zijn minder sterk. Het is plausibel dat de blootstelling aan schadelijke verbindingen afneemt en daarmee ook de gezondheidsschade. Verder heeft een meer plantaardige voeding het voordeel dat hij verband houdt met een lager risico op hart- en vaatziekten.⁴⁵

In een brief over zijn stikstofbeleid heeft de staatssecretaris van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie aan de Tweede Kamer laten weten dat hij het publiek via voorlichting de gelegenheid wil geven om bewust te beslissen hoeveel en welke dierlijke producten men eet.⁴⁸ Volgens de commissie valt met ander eetgedrag zonder nadelen – zelfs met enig voordeel – voor de Nederlandse volksgezondheid een bijdrage te leveren aan het terugdringen van de hoeveelheid reactief stikstof die in ons land in omloop is. Dit argument om ander consumptiegedrag te stimuleren sluit aan bij een eerder, algemeen signalement over duurzame voeding.⁴⁵ Voor de uitvoering kunnen deskundigen op het gebied van communicatie en gedragsverandering wellicht waardevolle adviezen geven.

Indicatoren ontwikkelen

Om te kunnen bepalen welke combinaties van maatregelen optimaal zijn en om de voortgang van het beleid te kunnen volgen, zijn indicatoren nodig.⁴⁹ Te denken valt aan indicatoren voor de totale hoeveelheid reactief stikstof, eventueel uitgesplitst naar landbouw plus veeteelt en verkeer plus industrie, en voor de invloed van reactief stikstof op de gezondheid. Welke indicatoren geschikt zijn, hangt af van de beleidsvraag. Een palet van indicatoren is zinvol om rekening te kunnen houden met aspecten als de schaal in ruimte (lokaal, Nederland, mondiaal), de schaal in tijd die verloopt tussen het moment waarop reactief stikstof in het milieu wordt gebracht en het ogenblik waarop de gevolgen te zien zijn, de kosten en de baten, en de groepen waarbij deze kosten en baten terechtkomen.

Voor het ontwikkelen van een set indicatoren is geen groot onderzoeksprogramma nodig, omdat reeds voorwerk is verricht met de methode van de ecologische voetafdruk. Dit is een getal dat weergeeft hoeveel biologisch productieve grond- en wateroppervlakte een bepaalde bevolkingsgroep gebruikt om zijn consumptieniveau te handhaven en zijn afval te verwerken.^{50,51} De voetafdruk laat

zich ook berekenen voor een individu, product, bedrijf of beleidsdomein. Wellicht zijn varianten te ontwikkelen die bruikbaar zijn voor het stikstofbeleid. Daarmee kan dan het virtuele stikstofverlies aan het milieu worden berekend. De eerste stappen in de richting van een voetafdruk die specifiek is voor stikstof zijn reeds gezet.⁵² Er bestaat intussen een computerprogramma waarmee mensen hun eigen afdruk kunnen vaststellen.⁵³ Met ander leefgedrag – zoals het eten van minder dierlijke producten, aanschaffen van schonere auto's en verlagen van het huishoudelijk energiegebruik – kunnen ze hun afdruk verkleinen.

Verder onderzoek doen aan de cascade

De verbanden in de cascade worden nog niet allemaal goed begrepen en de kwantitatieve invulling laat ook nog te wensen over. Belangrijke kennisleemtes betreffen de ruimtelijke verdeling van de verschillende stikstofvormen en hun effecten, eventuele onderlinge wisselwerkingen, de snelheden van processen en de termijnen waarop de effecten optreden. Hierdoor verschillen de oorzaak-gevolgverbanden van de stikstofcascade in de mate van onderbouwing (kwalitatief en kwantitatief). Dit bepaalt in belangrijke mate het inzicht in de invloeden van reactief stikstof op de volksgezondheid. Verder fundamenteel onderzoek naar de verbanden in de cascade is nodig om het inzicht in het vraagstuk te vergroten, en daarmee ook dat in de oplossingen.

De commissie acht het zinvol om van tijd tot tijd te evalueren in hoeverre het beleid heeft gewerkt en bijstelling noodzakelijk is. Vanzelfsprekend dienen de nieuwste wetenschappelijke inzichten daarbij het uitgangspunt te zijn. Dat kan op termijn kostenbesparing opleveren. Koerswijziging zou bijvoorbeeld raadzaam kunnen zijn, wanneer uit vervolganalyse met nieuwe gegevens zou blijken dat dezelfde gezondheidsschade voortaan valt te voorkómen met lagere uitgaven.

Visie van de commissie

Gezondheidsschade door stikstof in Nederland verdient meer aandacht

Reactief stikstof is direct en indirect van invloed op de volksgezondheid. Te veel reactief stikstof brengt schade toe aan het milieu en ook via die weg aan de volksgezondheid in ons land.

Een belangrijk deel van de directe gezondheidsschade komt voor rekening van luchtverontreiniging, een ander deel voor rekening van drinkwater en voeding. Dat rechtvaardigt onverminderde aandacht van de overheid voor deze terreinen. Van luchtverontreiniging is duidelijker in hoeverre de volksgezondheid erdoor wordt bedreigd dan via drinkwater en voeding. Vanuit het oogpunt van voorzorg vragen beide om aandacht.

Op de indirecte invloeden van reactief stikstof op de gezondheid bestaat veel minder zicht. Vanuit het oogpunt van voorzorg is echter ook hiervoor extra aandacht wenselijk.

Schade in Nederland bovengemiddeld

Van de omvang van de door reactief stikstof veroorzaakte schade aan het milieu en de volksgezondheid bestaat een ruwe indicatie. Deze schade blijkt aanzienlijk te zijn en in Nederland hoger dan gemiddeld in de EU.

De invloed van reactief stikstof op de gezondheid kent nog veel onzekerheden. De beschikbare gegevens maken echter voldoende aannemelijk dat de

Nederlandse volksgezondheid baat heeft bij verdere reductie van de hoeveelheid reactief stikstof in ons land. Uit het oogpunt van volksgezondheid vindt de commissie het niet alleen wenselijk om het lopende stikstofbeleid onverminderd voort te zetten, maar de hoeveelheid reactief stikstof in Nederland versneld verder terug te dringen en de stagnatie die zich de laatste jaren lijkt af te tekenen, te doorbreken.

Nadere analyse kan helpen

Nadere analyse van de schade die reactief stikstof veroorzaakt aan de Nederlandse volksgezondheid kan daarbij behulpzaam zijn. Immers, door het inzicht in deze schade te vergroten, kan beter worden bepaald in hoeverre wijzigingen in het beleid wenselijk zijn. Op die manier kan het beleid doeltreffender en doelmatiger worden.

De commissie beveelt aan om vervolganalyses van de schade die reactief stikstof veroorzaakt aan de Nederlandse volksgezondheid te laten maken door een groep deskundigen waarin onder meer de expertisegebieden volksgezondheid, gezondheidseconomie en sociale wetenschappen vertegenwoordigd zijn. Bij deze vervolganalyse kan gebruik worden gemaakt van de uitkomsten van activiteiten die de komende jaren in ander verband plaatsvinden en waarin ook de schadelijkheid van reactief stikstof wordt beoordeeld, zoals de herziening van de normen voor de luchtkwaliteit van de EU.

Literatuur

-
- 1 Erisman JW, Sutton MA, Galloway J, Klimont Z, Winiwarter W. How a century of ammonia synthesis changed the world. *Nat Geosci* 2008; 1: 636-639.
 - 2 Eerens HC, van Dam JD, (red.), Beck JP, Dolmans JHJ, van Pul WAJ e.a. Grootschalige luchtverontreiniging en depositie in de Nationale Milieuverkenning 5. Achtergrondinformatie. Bilthoven: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu; 2001: rapport 408129016/2001.
 - 3 Erisman JW, Domburg N, de Vries W, Kros H, de Haan B, Sanders K. The Dutch N-cascade in the European perspective. *Science in China Series C, Life sciences* 2005; 48(S1): 827-842.
 - 4 Erisman JW, Domburg P, de Haan BJ, de Vries W, Kros J, Sanders K. The Dutch nitrogen cascade in the European perspective. Petten: ECN; 2005: report nr. ECN-C--05-007.
 - 5 Röell C, Erisman JW. Kwantificeren van de stikstofstromen in Nederland. *Milieu: Tijdschrift van de Vereniging van Milieuprofessionals* 2011; 17(3): 23-26.
 - 6 Oenema O, Velthof GL. Analysis of international and European policy instruments: pollution swapping. Task 2 Service contract 'Integrated measures in agriculture to reduce ammonia emissions'. Wageningen: Alterra; 2007: report 1663.2.
 - 7 Sutton MA, Dragosits U, Tang YS, Fowler D. Ammonia emissions from non-agricultural sources in the UK. *Atm Environ* 2000; 34(6): 855-869.
 - 8 Planbureau voor de Leefomgeving (PBL). Balans van de leefomgeving 2012. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving; 2012. Internet: <http://themasites.pbl.nl/balansvandeleeftomgeving/2012/>.
 - 9 Europese Commissie. Beschikking van de Commissie van 7 april 2009 betreffende de kennisgeving van Nederland inzake uitstel van het tijdstip waarop aan de grenswaarden voor NO₂ moet worden voldaan en vrijstelling van de verplichting de grenswaarde voor PM₁₀ toe te passen (C(2009) 2560).
-

Brussel: Europese Commissie; 2009. Internet: http://ec.europa.eu/environment/air/quality/legislation/pdf/1_NL_ACT.pdf.

- 10 Willems J, van Schijndel M, van Grinsven H, Kragt F, van Zeijts H, van Dam J e.a. Evaluatie Meststoffenwet 2012: syntheserapport. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving; 2012.
- 11 Sutton MA, Howard CM, (Eds.). The European Nitrogen Assessment: Sources, Effects and Policy Perspectives. Cambridge: Cambridge University Press; 2011.
- 12 Davidson EA, David MB, Galloway JN, Goodale CL, Haeuber R, Harrison JA e.a. Excess nitrogen in the U.S. environment: trends, risks, and solutions. Issues in ecology. Washington D.C.: The Ecological Society of America (ESA); 2012: Report Number 15.
- 13 Holtgrieve GW, Schindler DE, Hobbs WO, Leavitt PR, Ward EJ, Bunting L e.a. A coherent signature of anthropogenic nitrogen deposition to remote watersheds of the Northern Hemisphere. *Science* 2011; 334(6062): 1545-1548.
- 14 Gezondheidsraad. Mondiale milieu-invloed op onze gezondheid. Den Haag: Gezondheidsraad; 2009: publicatienr. 2009/15.
- 15 Huynen MMTE, de Hollander AEM, Martens P, Mackenbach JP. Mondiale milieuveranderingen en volksgezondheid: stand van de kennis. Bilthoven: RIVM; 2008.
- 16 Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. Risico's van stoffen: ammoniak. Internet. http://www.rivm.nl/rvs/Normen/Eindresultaat?groep=normen&waarde=ammoniak&lijst=grenswaarden&veld=substancename_tagged.
- 17 Grahame TJ, Schlesinger RB. Cardiovascular health and particulate vehicular emissions: a critical evaluation of the evidence. *Air Qual Atmos Health* 2010; 3(1): 3-27.
- 18 Knol AB, de Hartog JJ, Boogaard H, Slotje P, van der Sluijs JP, Lebret E e.a. Expert elicitation on ultrafine particles: likelihood of health effects and causal pathways. *Part Fibre Toxicol* 2009; 6: 19-34.
- 19 WHO Air quality guidelines, global update 2005. Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Internet. <http://www.euro.who.int>.
- 20 Workshop convened by the Air Pollution Group, Health Protection Agency and commissioned by the Policy Research Programme of the Department of Health. Report of a Workshop to Identify needs for research on the health effects of nitrogen dioxide - London, 2-3 March 2011. Chilton, Didcot, UK: Health Protection Agency, Centre for Radiation, Chemical and Environmental Hazards; 2011: HPA-CRCE-026. Internet: <http://www.hpa.org.uk/Publications/Radiation/CRCEScientificAndTechnicalReportSeries/HPACRCE026/>.
- 21 Castellanos P, Boersma KF. Reductions in nitrogen oxides over Europe driven by environmental policy and economic recession. *Sci Rep* 2012; 2: 265.
- 22 Fischer P, Remijn B, Brunekreef B, van der LR, Schouten J, Quanjer P. Indoor air pollution and its effect on pulmonary function of adult non-smoking women: II. Associations between nitrogen dioxide and pulmonary function. *Int J Epidemiol* 1985; 14(2): 221-226.
-

- 23 Remijn B, Fischer P, Brunekreef B, Lebret E, Boleij JS, Noij D. Indoor air pollution and its effect on pulmonary function of adult non-smoking women: I. Exposure estimates for nitrogen dioxide and passive smoking. *Int J Epidemiol* 1985; 14(2): 215-220.
- 24 Brunekreef B, Houthuijs D, Dijkstra L, Boleij JS. Indoor nitrogen dioxide exposure and children's pulmonary function. *J Air Waste Manage Assoc* 1990; 40(9): 1252-1256.
- 25 Dijkstra L, Houthuijs D, Brunekreef B, Akkerman I, Boleij JS. Respiratory health effects of the indoor environment in a population of Dutch children. *Am Rev Respir Dis* 1990; 142(5): 1172-1178.
- 26 Langrish JP, Lundback M, Barath S, Soderberg S, Mills NL, Newby DE e.a. Exposure to nitrogen dioxide is not associated with vascular dysfunction in man. *Inhal Toxicol* 2010; 22(3): 192-198.
- 27 Strak M, Steenhof M, Godri KJ, Gosens I, Mudway IS, Cassee FR e.a. Variation in characteristics of ambient particulate matter at eight locations in the Netherlands. The RAPTES project. *Atm Environ* 2011; 45: 4442-4453.
- 28 Strak M, Janssen NA, Godri KJ, Gosens I, Mudway IS, Cassee FR e.a. Respiratory Health Effects of Airborne Particulate Matter: The Role of Particle Size, Composition, and Oxidative Potential-The RAPTES Project. *Environ Health Perspect* 2012; 120(8): 1183-1189.
- 29 Barath S, Mills NL, Lundback M, Tornqvist H, Lucking AJ, Langrish JP e.a. Impaired vascular function after exposure to diesel exhaust generated at urban transient running conditions. *Part Fibre Toxicol* 2010; 7: 19.
- 30 Sehlstedt M, Behndig AF, Boman C, Blomberg A, Sandstrom T, Pourazar J. Airway inflammatory response to diesel exhaust generated at urban cycle running conditions. *Inhal Toxicol* 2010; 22(14): 1144-1150.
- 31 European Food Safety Authority (EFSA). Nitrate in vegetables. Scientific opinion of the Panel on Contaminants in the Food chain (Question No EFSA-Q-2006-071). *The EFSA Journal* 2008; 689: 1-79.
- 32 International Agency for the Research on Cancer (IARC). IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, no 94: Ingested nitrate and nitrite, and cyanobacterial peptide toxins. Lyon: International Agency for the Research on Cancer (IARC); 2010.
- 33 JECFA - Monographs & Evaluations: Nitrite. WHO Food Additives Series 35, 1996, no 844. Geneva: WHO; 2006. Internet: <http://www.inchem.org/documents/jecfa/jecmono/v35je13.htm>.
- 34 U.S. National Library of Medicine HSDB Database. N-nitrosodiethylamine. Internet: <http://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/search/f?/.temp/~LnIZjC:1>.
- 35 Lauber SN, Gooderham NJ. The cooked meat-derived mammary carcinogen 2-amino-1-methyl-6-phenylimidazo[4,5-b]pyridine promotes invasive behaviour of breast cancer cells. *Toxicology* 2011; 279(1-3): 139-145.
- 36 Powlson DS, Addiscott TM, Benjamin N, Cassman KG, de Kok TM, van Grinsven H e.a. When does nitrate become a risk for humans? *J Environ Qual* 2008; 37(2): 291-295.
- 37 Reid WV, Mooney HA, Cropper A, Capistrano D, Carpenter SR, Chopra K e.a. Millennium Ecosystem Assessment. *Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis*. Washington DC: Island Press; 2005.
-

- 38 van Grinsven H, Westhoek H, Bouwman L, Erisman JW, Bleeker A, Oenema O e.a. Bevindingen en
lessen uit eerste Europese stikstofanalyse. Milieu: Tijdschrift van de Vereniging van
Milieuprofessionals 2011; 2011(3): 17-22.
- 39 Mendoza GA, Macoun P. Guidelines for applying multi-criteria analysis to the assessment of criteria
and indicators. Jakarta, Indonesia: Center for International Forestry Research; 1999: The Criteria &
Indicators Toolbox Series No. 9.
- 40 United Nations Economic Commission for Europe (UNECE). The 1979 Geneva Convention on
Long-range Transboundary Air Pollution (CLRTAP). Internet. <http://unece.org/env/lrtap/>.
- 41 Velders GJM, Aben JMM, Dieren HSMA, Drissen E, Geilenkirchen GP, Jimmink BA.
Concentratiekaarten voor grootschalige luchtverontreiniging in Nederland. Rapportage 2010. Den
Haag/Bilthoven: Planbureau voor de Leefomgeving (PBL); 2012: publicatienummer 500088006.
- 42 Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate change 2007. Geneva: World
Meteorological Organization and United Nations Environment Programme; 2007.
- 43 Nakicenovic N, Alcamo J, Davis G, De Vries B, Fenhahn J, Graffin S e.a. Special Report on
Emissions Scenarios: A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on
Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press; 2000.
- 44 van der Sluijs JP, Wardekker JA, Janssen P. Integraal waterbeheer. Van kritische zone tot kritische
onzekerheden. Copernicus Instituut, Universiteit Utrecht, en Planbureau voor de Leefomgeving,
Bilthoven en Den Haag; 2012.
- 45 Gezondheidsraad. Richtlijnen goede voeding ecologisch belicht. Den Haag: Gezondheidsraad; 2011:
publicatienr. 2011/08.
- 46 Taskforce Biodiversiteit en Natuurlijke Hulpbronnen. Groene groei. Investeren in biodiversiteit en
natuurlijke hulpbronnen. Internet. <http://www.taskforcebiodiversiteit.nl/>.
- 47 Gezondheidsraad. Richtlijnen goede voeding 2006. Den Haag: Gezondheidsraad; 2006: publicatie nr.
2006/21.
- 48 Tweede Kamer. Brief van de staatssecretaris van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie aan de
Voorzitter van de Tweede Kamer de Staten-Generaal met de kabinetsreactie op de European Nitrogen
Assessment (ENA). vergaderjaar 2010-2011, 30654 nr. 95.
- 49 Gezondheidsraad. Gezondheid en milieu: mogelijkheden van monitoring. Den Haag:
Gezondheidsraad; 2003: publicatie nr. 2003/13.
- 50 Rees WE. Revisiting carrying capacity: area-based indicators of sustainability. *Popul Environ* 1996;
17(3): 195-215.
- 51 Global Footprint Network. Internet. <http://www.footprintnetwork.org/en/index.php/GFN/>.
- 52 Nitrogen Footprint. Internet. <http://www.n-print.org/>.
- 53 Leach AM, Galloway JN, Bleeker A, Erisman JW, Kohn R, Kitzes J. A nitrogen footprint model to
help consumers understand their role in nitrogen losses to the environment. *Environ Dev* 2012; 1:
40-66.
-

A De commissie

Bijlage

De commissie

De Commissie Signalering gezondheid en milieu heeft als taak om belangrijke onderwerpen op het terrein van gezondheid en milieu onder de aandacht te brengen van regering en parlement, en kansen en bedreigingen in kaart te brengen. Het kan om nieuwe kwesties gaan, maar even goed om oude thema's die opnieuw aandacht verdienen.

De commissie was voor het opstellen van het onderhavige advies als volgt samengesteld:

- prof. dr. W.F. Passchier, *voorzitter*
emeritus hoogleraar risico-analyse, Maastricht University
- prof. dr. M. van den Berg
hoogleraar toxicologie, Institute for Risk Assessment Sciences, Universiteit Utrecht
- prof. dr. ir. J.W. Erisman
bijzonder hoogleraar integrale stikstofproblematiek, Vrije Universiteit, Amsterdam; directeur Louis Bolk Instituut, Driebergen
- drs. P.J. van den Hazel
medisch-milieukundige, Veiligheids- en Gezondheidsregio Gelderland Midden, Arnhem
- prof. dr. ir. E. Lebret
hoogleraar Environmental Health Impact Assessment, Institute for Risk

Assessment Sciences, Universiteit Utrecht / Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven

- prof. dr. R. Leemans
hoogleraar milieusysteemanalyse, Wageningen University and Research Centre
- dr. J.P. van der Sluijs
universitair hoofddocent nieuwe risico's, Copernicus Instituut voor Duurzame Ontwikkeling, Universiteit Utrecht
- prof. dr. D.R.M. Timmermans (*tot 1 januari 2012*)
bijzonder hoogleraar risicocommunicatie en patiëntenbesluitvorming, EMGO Instituut, VU Medisch Centrum, Amsterdam
- dr. ir. P.W. van Vliet, *secretaris*
Gezondheidsraad, Den Haag

In het kader van de totstandkoming van dit advies heeft de commissie dr. ir. H. van Grinsven van het Planbureau voor de Leefomgeving in Bilthoven geraadpleegd.

De Gezondheidsraad en belangen

Leden van Gezondheidsraadcommissies worden benoemd op persoonlijke titel, wegens hun bijzondere expertise inzake de te behandelen adviesvraag. Zij kunnen echter, dikwijls juist vanwege die expertise, ook belangen hebben. Dat behoeft op zich geen bezwaar te zijn voor het lidmaatschap van een Gezondheidsraadcommissie. Openheid over mogelijke belangenconflicten is echter belangrijk, zowel naar de voorzitter en de overige leden van de commissie, als naar de voorzitter van de Gezondheidsraad. Bij de uitnodiging om tot de commissie toe te treden wordt daarom aan commissieleden gevraagd door middel van het invullen van een formulier inzicht te geven in de functies die zij bekleeden, en andere materiële en niet-materiële belangen die relevant kunnen zijn voor het werk van de commissie. Het is aan de voorzitter van de raad te oordelen of gemelde belangen reden zijn iemand niet te benoemen. Soms zal een adviseurschap het dan mogelijk maken van de expertise van de betrokken deskundige gebruik te maken. Tijdens de installatievergadering vindt een bespreking plaats van de verklaringen die zijn verstrekt, opdat alle commissieleden van elkaars eventuele belangen op de hoogte zijn.