

Rapport 500037005/2006

**Zuur- en stikstofdepositie in Nederland
in de periode 1981–2002**

J.F. de Ruiter, W.A.J. van Pul*,
J.A. van Jaarsveld, E. Buijsman

* RIVM

Contact

J.A. van Jaarsveld
Milieu- en Natuurplanbureau
Luchtkwaliteit en Europese Duurzaamheid
hans.van.jaarsveld@mnp.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van DGM in het kader van project 500037,
Evaluatie Nationaal Luchtbeleid

Abstract

Deposition in the Netherlands between 1981 and 2002

The Netherlands Environmental Assessment Agency has recalculated the deposition of potential acid and nitrogen in the Netherlands for the period of 1981 through to 2002. Although the Dutch Empirical Acid Deposition Model (DEADM) was used for many years, several changes in the methodology in the course of time led to calculated depositions that were not always comparable. The new approach, fully based on calculations with the Operational Priority Substances (OPS) model, resulted in a deposition data series consistent for the whole 1981 – 2002 period.

The recalculated acid deposition came to 10-20% lower, a difference which in absolute numbers comes to a maximum of 1550 mol per hectare per year when compared with the old data for the 1981 to 1987 period. The differences for 1988 through 1993 are just the opposite: recalculated depositions are 5 to 10% higher than in the old data. From 1993 onward differences were only minor.

Calculations with OPS showed the acid deposition to decline from 6000 mol per hectare per year in 1981 to 3000 mol per hectare per year in 2002. The deposition of oxidised sulphur (SO_x) showed the sharpest decline: minus 75%, down to 400 mol in 2002. The deposition of oxidised nitrogen (NO_y) declined by 30%, to 700 mol per ha per year, along with that of reduced nitrogen (NH_x), declining from 30% to 1500 mol per ha per year. The resulting nitrogen deposition declined from 3100 mol to 2200 mol, a reduction of 30%.

Key words:

acidification, eutrophication, deposition, potential acid, nitrogen.

Rapport in het kort

Zuur- en stikstofdepositie in Nederland in de periode 1981–2002

Het Milieu- en Natuurplanbureau heeft de deposities van potentieel zuur en stikstof in Nederland voor de periode 1981 tot en met 2002 opnieuw berekend. Jarenlang werd hiervoor DEADM, het Dutch Empirical Acid Deposition Model, gebruikt. In de loop van de tijd waren echter diverse veranderingen in de methodiek aangebracht. De berekende deposities van verschillende jaren waren daardoor niet altijd goed vergelijkbaar. De nieuwe aanpak is geheel gebaseerd op berekeningen met het Operationele Prioritaire Stoffen (OPS) model. De nieuwe berekeningen hebben nu over de gehele periode van 1981 tot en met 2002 een consistente reeks van depositiegetallen opgeleverd.

De herberekende verzurende depositie is voor de jaren tussen 1981 en 1987 10 tot 20% lager dan volgens de eerdere berekeningen. Het verschil bedraagt maximaal 1550 mol per hectare per jaar. Voor de jaren 1988 tot 1993 liggen de verschillen juist andersom: de herberekende depositie is 5 tot 10% hoger dan in de oude berekeningen. Vanaf 1993 zijn de verschillen gering.

Uit de berekeningen blijkt dat de depositie van potentieel zuur in de periode 1981-2002 is gedaald van 6000 naar 3000 mol per ha per jaar. De depositie van geoxideerd zwavel (SO_x) vertoonde de sterkste daling: een daling van 75% tot 400 mol per ha per jaar. De depositie van geoxideerd stikstof (NO_y) nam met 30% af tot 700 mol per ha per jaar. Ook de depositie van gereduceerd stikstof (NH_x) nam met 30% af tot 1500 mol per ha per jaar. Dit betekent voor stikstof een daling van 3100 naar 2200 mol, een afname van 30%.

Trefwoorden:

verzuring, vermesting, depositie, potentieel zuur, stikstof.

Inhoud

Samenvatting 7

1. Inleiding 9

2. Berekeningsmethodiek 11

- 2.1 *Inleiding 11*
- 2.2 *Zure depositie 11*
- 2.3 *OPS 12*
- 2.4 *Emissiegegevens 12*
- 2.5 *Ontwikkeling emissies 1950 - 2000 13*
- 2.6 *Onzekerheden in de emissies 14*
- 2.7 *Het ammoniakgat 15*
- 2.8 *Achtergronddepositie 16*

3. Resultaten 19

- 3.1 *Depositie 19*
- 3.2 *Herkomst depositie 21*
 - 3.2.1 *Herkomst depositie in 2000 21*
 - 3.2.2 *Trend in herkomst potentiëlezuurdepositie 23*
 - 3.2.3 *Trend in herkomst stikstofdepositie 25*
 - 3.2.4 *Trend in herkomst afzonderlijke componenten 26*
- 3.3 *Concentraties 28*
 - 3.3.1 *Trend concentraties 28*
 - 3.3.2 *Herkomst concentraties 28*

4. Discussie 31

- 4.1 *OPS en EMEP Unified Model 31*
- 4.2 *Validatie op basis van metingen 32*
 - 4.2.1 *Geoxideerd zwavel 32*
 - 4.2.2 *Geoxideerd stikstof 34*
 - 4.2.3 *Gereduceerd stikstof 35*
- 4.3 *Depositieschattingen uit doorvalmetingen 36*
- 4.4 *Eerdere berekeningen 36*
 - 4.4.1 *Geoxideerd zwavel 37*
 - 4.4.2 *Geoxideerd stikstof 39*
 - 4.4.3 *Gereduceerd stikstof 39*
- 4.5 *Onzekerheden in de huidige depositieschattingen 40*

5. Conclusies 43

Literatuur 45

Bijlage A Emissies 1980-2000 (2001, 2002) 47

Bijlage B Deposities, 1980-2000 (2001, 2002) 55

Bijlage C Concentraties, 1981-2002 69

Samenvatting

Dit rapport presenteert de resultaten van berekeningen van de depositie van verzurende en vermestende stoffen op Nederland. De berekeningen beslaan de periode 1981-2002 en zijn uitgevoerd met een ruimtelijke resolutie van 5×5 km. De resultaten vervangen de resultaten van eerdere berekeningen. Bij deze eerdere berekeningen is het Dutch Empirical Acid Deposition Model (DEADM) gebruikt. In de loop van de tijd zijn diverse correcties op DEADM aangebracht die echter door de jaren heen niet altijd consequent zijn uitgevoerd. Door deze veranderingen in methodiek waren de gemodelleerde deposities van verschillende jaren niet altijd goed vergelijkbaar. De nieuwe berekeningen zijn uitgevoerd met het Operationele Prioritaire Stoffen model. Als invoer zijn emissiebestanden van ammoniak (NH_3), stikstofoxiden (NO_x) en zwaveldioxide (SO_2) gebruikt. Het model gebruikt meteorologische gegevens op uurbasis. De atmosferische processen die in het model zijn opgenomen zijn dispersie, droge depositie, natte depositie en omzetting.

De depositie van potentieel zuur op Nederland is in de periode 1981-2002 volgens de nieuwe berekeningen gehalveerd: van 6000 naar ruim 3000 mol potentieel zuur per ha per jaar. De doelstelling voor de depositie van verzurende stoffen is 2.300 mol zuur per hectare gemiddeld over de Nederlandse ecosystemen in 2010. De sterkste daling deed zich voor bij de depositie van geoxideerd zwavel (SO_x). Deze daalde tussen 1981 en 2002 met driekwart tot ongeveer 400 mol per ha per jaar. De depositie van geoxideerd stikstof (NO_y) nam met 30% af tot 700 mol per ha per jaar. Ook de depositie van gereduceerd stikstof (NH_x) nam met 30% af en wel tot 1500 mol per ha per jaar. Deze cijfers betekenen voor stikstof een daling van de depositie 3100 naar 2200 mol (- 30%).

De gemiddelde depositie van potentieel zuur op Nederland bedroeg in 2002 ongeveer 3000 mol per hectare. Dit is de gemiddelde waarde voor het landoppervlak van Nederland. Er bestaat echter ruimtelijk een aanzienlijke spreiding. De hoogste waarden - meer dan 5000 mol per hectare per jaar - komen voor in gebieden met intensieve veehouderij, vooral in de Peel en aangrenzende gebieden in Noord-Brabant. Plaatselijk komen deze hoge waarden ook voor in de Randstad. De laagste waarden - iets meer dan 1000 mol - zijn te vinden in het waddengebied. De gemiddelde depositie van stikstof op Nederland in 2002 bedraagt 2200 mol per hectare. Ook de stikstofdeposities vertonen lokaal grote verschillen. In gebieden met intensieve veehouderij (onder andere de Peel en de Gelderse Vallei) komen deposities voor die op kunnen lopen tot meer dan 4000 mol stikstof per hectare per jaar. Deze worden vooral veroorzaakt door de regionaal hoge ammoniakuitstoot.

De depositie van potentieel zuur op Nederland in 2000 is voor ruim 40% afkomstig uit het buitenland en voor bijna 40% van de Nederlandse landbouw. De depositie van stikstof is voor ruim 30% afkomstig uit het buitenland en voor iets meer dan de helft afkomstig uit de Nederlandse landbouw. Bijna 80% van de depositie van gereduceerd stikstof is afkomstig van Nederlandse bronnen. Het leeuwendeel (70%) komt voor rekening van de landbouw. Bij geoxideerd stikstof is verkeer de grootste bron met 30% op een totale Nederlandse bijdrage van 40%. De opnieuw berekende potentieel zuurdepositie is tussen 1980 en 1987 10 tot 20% lager dan volgens eerdere berekeningen. In absolute aantallen is dit een verschil van soms meer dan 1000 mol per hectare per jaar. Voor de jaren 1988 tot 1993 liggen de verschillen juist andersom: de opnieuw berekende potentieel zuurdepositie is 5 tot 10% hoger dan in de oude berekeningen. Vanaf 1993 zijn de verschillen gering.

De geschatte onderzekerheden in de totale depositie bedragen gemiddeld voor Nederland, in termen van het 95% betrouwbaarheidsinterval, 40% voor geoxideerd zwavel (SO_x), 50% voor geoxideerd stikstof (NO_y) en 55% voor gereduceerd stikstof (NH_x).

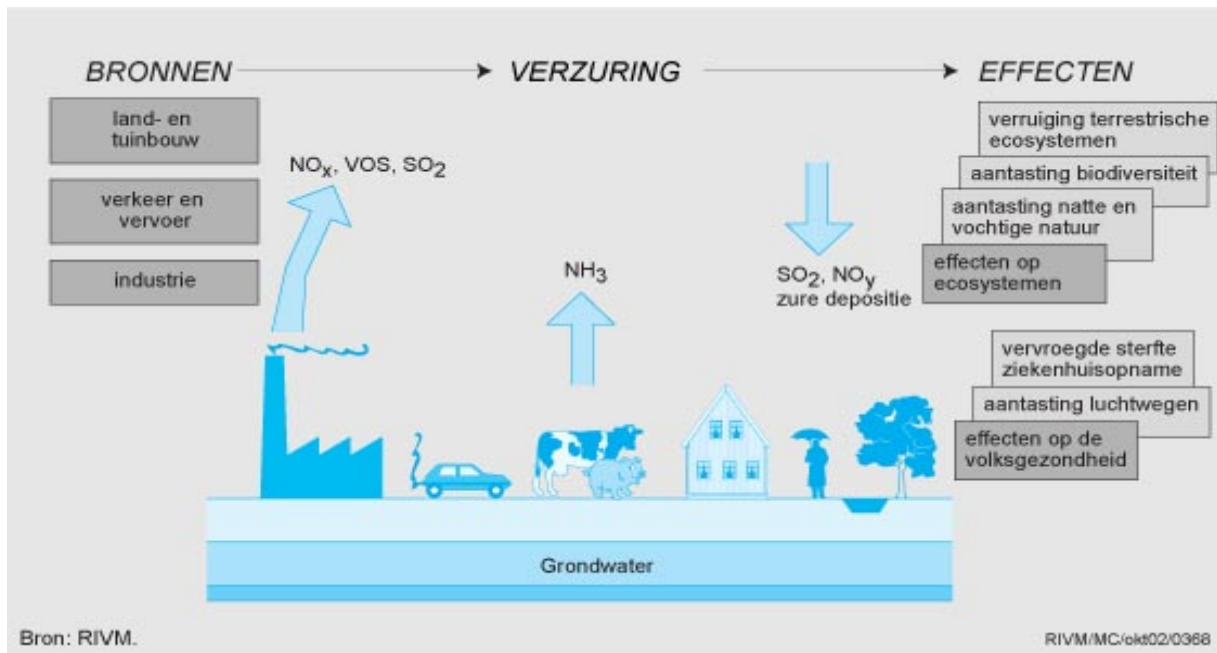
1. Inleiding

De term verzuring - letterlijk het zuurder worden - is afgeleid van de term zure regen. Zure regen is een probleem dat aan het eind van de jaren zestig in Zweden is ontdekt (Odèn, 1968). Snel daarna is duidelijk geworden dat zure regen een continentaal probleem was. Verzuring is al twintig jaar een centraal thema in het milieubeleid. Verzuring van bodem of water is grotendeels een gevolg van de emissie van verzurende stoffen door industrie, verkeer en landbouw (Figuur 1.1). De belangrijkste componenten bij verzuring zijn zwaveldioxide (SO_2), stikstofoxiden (NO_x) en ammoniak (NH_3) en hun atmosferische reactieproducten. Zure depositie betekent letterlijk het neerkomen van verzurende stoffen via lucht of water. De aanwezigheid in de bodem van stoffen als kalk, mineralen, humus, aluminium- en ijzeroxiden vormt een buffer tegen verzuring. Als de buffercapaciteit echter wordt overschreden verzuurt de bodem. Als de bodem verzuurt, komen aluminium en nitraat vrij; deze stoffen spoelen uit naar het grond- en oppervlaktewater. Ook belangrijke voedingsstoffen als kalium, calcium en magnesium spoelen weg.

Verzuring tast grondwater en oppervlaktewater aan door een hogere zuurgraad en verhoogde aluminiumconcentraties. Water raakt overbemest, waardoor onder andere algen sterk kunnen groeien. Bomen en planten op uitgespoelde bodems zijn vatbaar voor ziekten (Figuur 1.2). Zuur tast bovendien de stofwisseling in cellen aan, wat leidt tot groeistoornissen en aanwasverlies. Naast uitspoeling is door depositie van stikstofoxiden en ammoniak sprake van verdringing van voedingsstoffen door stikstof. Bodems die van nature arm zijn, zoals heidegronden en bodems van vennen, zijn gevoelig voor deze overbemesting (eutrofiëring). Plantensoorten die goed op schrale grond gedijen, worden dan verdrongen door grassen, bramen en brandnetels. Zuur tast ook sommige materialen aan. Vooral poreuze kalkzandsteen lost op en metalen gaan roesten. Hierdoor beschadigen cultuurgoederen, zoals beelden, glas-in-loodramen en kerken.

Ammoniak speelt bij de zure depositie een dubbele rol. Ammoniak neutraliseert in de atmosfeer zuren als zwavelzuur en salpeterzuur die in de lucht uit zwaveldioxide respectievelijk stikstofoxiden zijn ontstaan. Daarbij wordt ammoniak omgezet in ammonium. Als ammonium echter is gedeponerd, wordt het opgenomen door planten, gebonden aan organisch stof (immobilisatie) of omgezet in nitraat (nitrificatie). Bij de omzetting van ammonium naar nitraat wordt zuur gevormd. Niet alleen het oorspronkelijk in de atmosfeer gebonden zuur komt weer vrij, maar bovendien wordt extra zuur gevormd. Ammoniak gedraagt zich dan dus per saldo als een verzurende stof.

Verzuring van bodem en water door opname van verzurende componenten is een complex proces dat nog niet volledig gekwantificeerd is. De zure depositie kan worden uitgedrukt als zogenoemd potentieel zuur. Er wordt gesproken van potentieel zuur, omdat de uiteindelijke hoeveelheid zuur afhangt van de mate waarin ammoniak (NH_3) en ammonium (NH_4^+) in de bodem worden omgezet in salpeterzuur en in hoeverre het uitspoelt. Het verschil tussen de potentiële verzuring en de actuele verzuring is voornamelijk het resultaat van de verwijdering van stikstof door opname in planten of het vastleggen van stikstof in organisch bodemmateriaal. De actuele belasting door atmosferische depositie van verzurende componenten zal daarom lager zijn dan de potentiële zuurlast en is afhankelijk van bodemtype en begroeiing. Als in het vervolg wordt gesproken over zure depositie wordt daar de depositie van potentieel zuur mee bedoeld. Wordt de term zure depositie in een andere betekenis gebruikt, dan is dat uitdrukkelijk aangegeven.



Figuur 1.1 Overzicht van bronnen en effecten van verzuring.

Het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) en later het Milieu- en Natuurplanbureau (MNP) maken al sinds de jaren tachtig berekeningen van de zure depositie (zie bijvoorbeeld RIVM, 1986). De berekeningswijze van de zure depositie is in de loop van de jaren diverse malen gewijzigd. Wetenschappelijke ontwikkelingen, maar ook verbeteringen in het instrumentarium lagen hieraan ten grondslag.

Dit rapport presenteert de herberekende deposities van verzurende componenten in Nederland voor de periode 1980 tot en met 2002. Hoofdstuk 2 behandelt de informatiebronnen en de berekeningsmethodiek die bij de herberekening is toegepast. In hoofdstuk 3 worden de belangrijkste resultaten samenvattend gepresenteerd. Hoofdstuk 4 is gewijd aan een discussie van de verkregen resultaten. Hier vindt ook een vergelijking met de resultaten van eerdere berekeningen plaats en worden onzekerheden en validatiemethoden besproken. Hoofdstuk 5 ten slotte presenteert de conclusies. De bijlagen bieden gedetailleerde getalsmatige informatie over de zure depositie.



Figuur 1.2 Een bos dat door zure regen vrijwel volledig is verdwenen. De foto dateert van het eind van de jaren tachtig en is genomen in de destijds beruchte Zwarte Driehoek, het grensgebied van het voormalige Oost-Duitsland, Polen en het voormalige Tsjechoslowakije. Dergelijke opvallende schade is in Nederland nooit opgetreden. De situatie in de Zwarte Driehoek is door emissiebeperkingen inmiddels sterk verbeterd. Foto H.C. Boelhouwer.

2. Berekeningsmethodiek

2.1 Inleiding

DEADM, het Dutch Empirical Acid Deposition Model, is jarenlang gebruikt voor de berekening van verzurende depositie. DEADM was een rekenprocedure waarmee de depositie met een resolutie van 5×5 kilometer werd berekend. DEADM maakte zo veel mogelijk gebruik van meetgegevens. De jaarlijkse natte depositie werd afgeleid uit de concentratie van de betreffende component in regenwater en de hoeveelheid neerslag. De bijdrage van de droge depositie werd afgeleid uit gemeten luchtconcentraties. Voor ammoniak werd aanvullend gebruik gemaakt van een verspreidingsmodel op basis van emissies om tot een ruimtelijke verdeling van de concentraties te komen. Voor een uitvoerige beschrijving van deze methode wordt verwezen naar Erisman (1992).

De DEADM methode heeft een aantal nadelen. Het aantal meetstations is bijna altijd onvoldoende om lokale verschillen in kaart te brengen. Bovendien is er een tendens naar minder meetstations. Sommige stoffen kennen zo'n lokaal karakter (ammoniak, NH_3 ; stikstofdioxide, NO_2) dat de verdeling met een realistisch aantal stations onmogelijk gekarakteriseerd kan worden. De uitkomsten van de DEADM methode zijn ook zeer gevoelig voor de waarden van (zeer onzekere) droge depositiesnelheden. Een alternatieve methode is die waarbij depositie volledig wordt afgeleid uit gerapporteerde emissies met een atmosferisch verspreidingsmodel. Deze methode kent een goede ruimtelijke representatie maar het belangrijkste voordeel is dat de methode aansluit bij de methode waarmee prognoses worden gemaakt. Tegelijkertijd geeft de methode inzicht in hoe emissies zich verhouden tot gemeten concentratieniveaus (zie bijvoorbeeld het 'ammoniakgat'). Deze methode, die is gebaseerd op het OPS verspreidingsmodel, is in definitieve vorm in 2002 ingevoerd.

In het verleden zijn diverse correcties in de DEADM methode toegepast die echter door de jaren heen niet consequent zijn uitgevoerd. Door deze veranderingen in methodiek zijn de deposities van verschillende jaren niet altijd goed met elkaar te vergelijken. Daarom heeft het Milieu- en Natuurplanbureau in 2004 besloten om ook de deposities van de periode 1980 tot en met 2002 met de nieuwe methode opnieuw te berekenen.

2.2 Zure depositie

De depositie bestaat uit een natte en een droge component. De natte depositie kan worden afgeleid uit concentratiemetingen van neerslag. Het direct meten van droge depositie is echter arbeidsintensief en kostbaar. Bovendien ontbreken betrouwbare en operationele methoden om de droge depositie te meten. Droge depositie wordt dan ook meestal geschat uit concentratiemetingen en uit literatuur bekende depositiesnelheden.

De totale zure depositie wordt gedefinieerd als de som van de natte en droge depositie van verzurende componenten. Hierbij wordt aangenomen dat één mol zwaveldioxide resulteert in twee mol zuurequivalenten en dat een mol stikstofoxiden, waterstofchloride en ammoniak elk één equivalent zuur oplevert. De maximale zuurdepositie is de hoeveelheid verzurende componenten die via depositie uit de atmosfeer wordt verwijderd. Dit wordt ook wel de potentieelzuurdepositie genoemd.

Ze wordt berekend als:

$$\text{totaal potentieel zuur} = 2 [\text{SO}_x] + [\text{NO}_y] + [\text{NH}_x] + [\text{HCl}]$$

waarbij:

[SO_x] de totale, dat is de droge plus de natte, depositie van zwavelverbindingen

[NO_y] de totale depositie van geoxideerde stikstofverbindingen

[NH_x] de totale depositie van gereduceerde stikstofverbindingen

[HCl] de totale depositie van waterstofchloride.

De potentieelzuurdepositie wordt uitgedrukt in mol zuurequivalenten (H⁺) per hectare per jaar. De bijdrage van de afzonderlijke componenten aan depositie, SO_x, NO_y, NH_x en HCl, wordt uitgedrukt in mol per hectare per jaar.

2.3 OPS

Het Operationele Prioritaire Stoffen model (OPS) is ontwikkeld om dispersie en depositie van luchtverontreinigende stoffen op verschillende schaalniveaus te berekenen (Van Jaarsveld, 1995, 2004). Het transportmodel OPS is in staat om zowel transport over korte als lange afstand te beschrijven en gemiddelde concentraties en deposities kunnen worden berekend voor tijdschalen van een dag tot meer dan 10 jaar. Er kan uitgegaan worden van puntbronnen met verschillende bronhoogtes en oppervlaktebronnen van verschillende vorm en bronhoogte. De resolutie van de emissies is bepalend voor het oplossend vermogen van het model. Rondom een individuele puntbron kan het oplossend vermogen in de orde van 100 × 100 m zijn, op landelijke schaal is 5 × 5 km een praktische ondergrens. Voor Europese emissies is 50 × 50 km een gebruikelijke resolutie.

De bijdragen aan concentratie en depositie op een bepaalde receptor worden berekend voor alle bronnen afzonderlijk met behulp van terugwaartse trajectorieën. Lokale (verticale) verspreiding wordt geïntroduceerd met behulp van een (gemodificeerde) Gaussische pluimformulering. Het model gebruikt de volgende (landsdekkende) meteorologische gegevens op uurbasis: windrichting en -snelheid, globale straling, temperatuur, neerslaghoeveelheid en -duur en sneeuwbedekking. Uit de meteorologische basisgegevens worden een aantal secundaire parameters afgeleid met behulp van door het KNMI ontwikkelde routines (Beljaars en Holtslag, 1990).

De atmosferische processen die in het model zijn opgenomen zijn: dispersie, droge depositie, natte depositie en omzetting. Het OPS-model wordt hier gebruikt voor het berekenen van luchtconcentraties in Nederland (NH₃, NH₄⁺, NO_x, NO₃⁻, SO₂, SO₄²⁻) en deposities op Nederland (NH_x, NO_y en SO_x). Als invoer voor deze berekeningen zijn emissiebestanden gebruikt van ammoniak (NH₃), stikstofoxiden (NO_x) en zwaveldioxide (SO₂). Deze bestanden bevatten ruimtelijk verdeelde emissies voor Nederland, de Noordzee en vrijwel alle Europese landen. Het OPS model is in de loop der jaren de *de facto* standaard geworden voor berekeningen van concentraties en deposities op lokale en landelijke schaal.

2.4 Emissiegegevens

De berekening van depositie op jaarbasis vereist dat er voor elk jaar ruimtelijk verdeelde emissiebestanden als input voor het OPS-model kunnen worden gebruikt. Bovendien is er de eis om verzurende deposities van de periode 1980 tot en met 2002 op een eenduidige manier te berekenen. Daarom zijn de zogenoemde brn-files herberekend, met als basis de EMEP-emissies en de LAE/LEI leveranties. Hierbij is gerekend met beschikbare ruimtelijke verdelingen afkomstig van RIM+ (Wesselink *et al.*, 1989). De bestanden zijn onderverdeeld in buitenlandse emissiebestanden per stof en in Nederlandse emissiebestanden.

Bij de laatste zijn voor ammoniak afzonderlijke bestanden voor landbouwemissies en overige Nederlandse bronnen gebruikt; daarnaast nog aparte bestanden voor emissies op de Noordzee. Van Jaarsveld en Van Pul (2004) geven emissie-verdelingskaarten en overzichten van fysieke broneigenschappen als uitworphoogte en warmte-inhoud.

Emissieschalingsfactoren in het nieuw te berekenen bronnenbestand zijn bepaald uitgaande van emissietotalen in de basisbronbestanden en de totale emissies (per land en doelgroep). Deze schaalfactoren en de beschikbare ruimtelijke emissiebestanden zijn vervolgens gebruikt om nieuwe ruimtelijke bronbestanden af te leiden. Een overzicht volgt hieronder.

Emissies - buitenland (NH₃, NO_x en SO₂)

Uit beschikbare ruimtelijke bestanden uit 1995 zijn door middel van schaling met emissietotalen voor de afzonderlijke landen (UNECE, 2003) nieuwe ruimtelijke emissiebestanden afgeleid. In de ruimtelijke bestanden zijn emissies van stikstofoxiden (NO_x) en zwaveldioxide (SO₂) in vijf categorieën onderverdeeld: Combustion UT & IND, Refineries, Processes IND, Transport en Domestic. Dit is de zogenaamde EUREM85 LAE – LLO indeling. De emissies van ammoniak (NH₃) zijn niet verder onderverdeeld. De verdeelsleutel van de totale emissie per land is voor vier jaren vastgesteld: 1980, 1985, 1990 en 1995. Deze wordt gekoppeld aan de omliggende jaren: 1981-1984, 1985-1987, 1988-1992 en 1993-1995. Voor de jaren 1996-2000 is eveneens de verdeelsleutel van 1995 toegepast.

Emissies - Nederland (NH₃, landbouw)

Voor de jaren 1995 en 1997 tot en met 2002 zijn gedetailleerde emissiebestanden beschikbaar. Deze zijn afkomstig van het LEI. De bronbestanden voor de overige jaren (1980 - 1994 en 1996) zijn bepaald met behulp van het bestand voor 1995 (ruimtelijke verdeling 1995 en recent gepubliceerde emissietotalen per jaar; Van der Hoek, 2002).

Emissies - Nederland (NH₃, overige bronnen, NO_x en SO₂)

Emissiebestanden zijn gebaseerd op dataleveranties van doelgroeptotalen in het kader van de Milieubalans 2002. De gegevens zijn geactualiseerd met behulp van de definitieve emissiedata MB2002 van de Emissieregistratie. Hiaten zijn lineair geïnterpoleerd. De gebruikte ruimtelijke verdeling is gebaseerd op die van 1995.

Emissies - Noordzee (NO_x en SO₂)

De recente EMEP-data (UNECE, 2003) geeft voor alle jaren (1980 - 2000) dezelfde emissietotalen op de Noordzee. Om deze reden wordt voor alle jaren gerekend met de beschikbare Noordzee-emissiebestanden uit 1999 voor stikstofoxiden en zwaveldioxide.

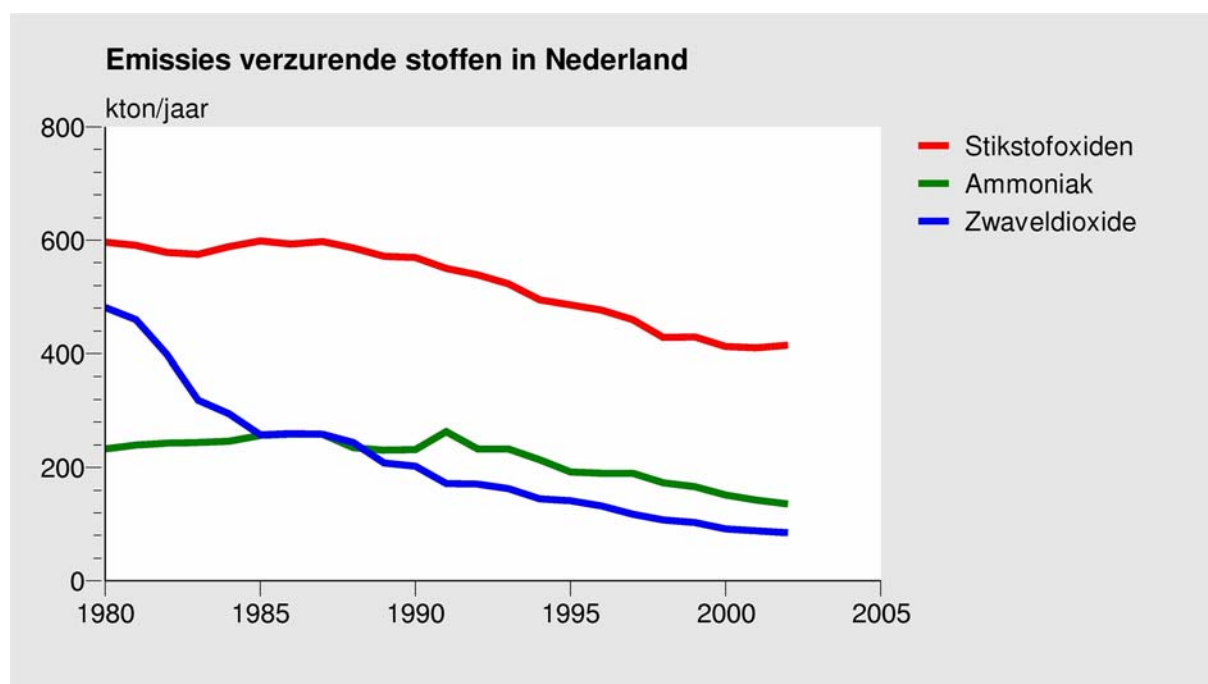
2.5 Ontwikkeling emissies 1950 - 2000

De binnenlandse emissie van ammoniak (NH₃), stikstofoxiden (NO_x), zwaveloxiden (SO₂) is in de periode 1980-2002 afgenomen met respectievelijk 40%, 30% en 80% (Tabel 2.1, Figuur 2.1). De afname van de ammoniakemissie door de landbouw sinds midden van de jaren negentig is voornamelijk het gevolg van de emissiearme aanwending van dierlijke mest (Van der Hoek, 2002). De grootste reductie bij de emissie van stikstofoxiden is bereikt bij verkeer en vervoer door de Euronormering voor wegverkeer. Daarnaast hebben energiebesparing bij bedrijven, het verzuringconvenant met de energiesector en maatregelen bij de industrie geleid tot een afname van de emissie.

De afname van de emissie van zwaveldioxide is vooral het gevolg van strengere emissie-eisen voor stookinstallaties, de overgang van olie- naar gasstook bij raffinaderijen en in de chemiesector en de inzet van kolen met een lager zwavelgehalte in de kolengestookte energiecentrales. Daarnaast is de emissie van verkeer en vervoer afgenomen door de verlaging van het zwavelgehalte in brandstoffen.

Tabel 2.1 Emissies van zwaveldioxide, stikstofoxiden en ammoniak tussen 1980 en 2002. Tevens is de nationale emissiedoelstelling voor 2010, het zogenoemde NEC-plafond, aangegeven.

Jaar	Zwaveldioxide	Stikstofoxiden	Ammoniak
	<i>kton/jaar</i>		
1980	481	596	233
1990	202	570	232
1995	144	486	193
2000	92	413	152
2002	85	414	136
2010	50	260	128



Figuur 2.1 Emissies van zwaveldioxide (SO_2), stikstofoxiden (NO_x) en ammoniak (NH_3) in Nederland, 1980-2002.

In de ons omringende landen is voor zwaveldioxide de emissieafname in dezelfde orde van grootte als in Nederland, namelijk een afname van ongeveer 80%. Voor stikstofoxiden is de afname in Nederland - een afname 30 tot 50% - groter en voor ammoniak kleiner (10% toename tot 25% afname). Meer gedetailleerde informatie over emissies geeft Bijlage 1.

2.6 Onzekerheden in de emissies

De onzekerheden in de Nederlandse emissies van zwaveldioxide, stikstofoxiden en ammoniak zijn in recent onderzoek geschat op respectievelijk 6%, 15% en 17% (Van Gijlswijk *et al.*, 2004). De onzekerheden in buitenlandse emissies lopen per land uiteen en zijn in de gebruikte bron (UNECE, 2003) niet gedocumenteerd. Er is slechts voor enkele jaren een ruimtelijke verdeling van emissies beschikbaar: 1995 en voor de emissie van ammoniak uit de landbouw ook de jaren erna. Hoe verder terug in de tijd des te groter de onzekerheid betreffende de juistheid van de ruimtelijke verdeling van emissies. Voor de landelijk gemiddelde depositie zullen de gevolgen echter klein zijn.

Er zijn echter ook ruimtelijke depositiebestanden op 5×5 km berekend. Bij toepassing van deze ruimtelijke beelden dient daarom de nodige reserve in acht te worden genomen.

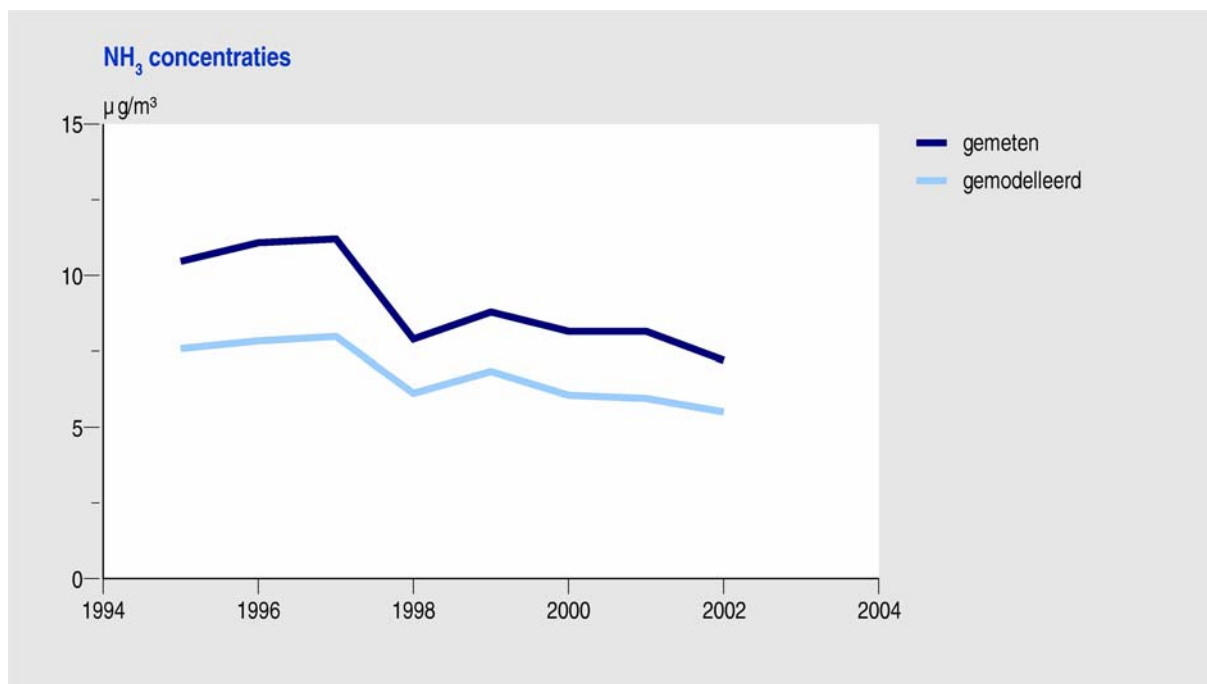
Bij de geschaalde berekeningen van buitenlandse bijdragen per land is uitgegaan van een ruimtelijke verdeling en doelgroepenindeling van de basisbronbestanden. De basisbronbestanden geven de situatie van omstreeks 1995 weer. Het emissieaandeel uit hoge bronnen was aan het begin van de jaren tachtig groter dan in 1995. Daarom wordt de export van emissie in de jaren tachtig, van vooral Frankrijk, enigszins onderschat. In België en het Verenigd Koninkrijk zijn emissieverdelingen over doelgroepen tussen 1980 en 1995 nauwelijks veranderd, waardoor het gebruik van een zelfde verdeling van emissie over de doelgroepen nauwelijks tot verschillen leidt. Dit blijkt uit berekeningen voor Frankrijk, België en het Verenigd Koninkrijk waarvoor depositiebijdragen per doelgroep zijn uitgevoerd. Voor depositiebijdragen van deze landen aan Nederland zullen de aannames waarschijnlijk geen grote verschillen tot gevolg hebben. In Duitsland is de ruimtelijke verdeling van vooral SO₂ emissies sterk veranderd in de periode na 1995. Dit is het gevolg van een drastische sanering van bruinkoolgestookte centrales in het voormalige Oost-Duitsland. Deze veranderingen zijn wel meegenomen in de totaalemissie van Duitsland maar zijn niet aanwezig in de toegepaste ruimtelijke verdeling. Het gevolg hiervan is dat de bijdrage van Duitsland aan Nederland enigszins wordt onderschat.

2.7 Het ammoniakgat

De ammoniakconcentraties zoals die met OPS worden gemodelleerd, zijn lager dan gemeten concentraties (Figuur 2.2). Dit verschil tussen de uitkomsten van metingen en berekeningen bedraagt ongeveer 25 tot 30% en wordt ook wel het ammoniakgat genoemd. De oorzaken van het verschil tussen de gemeten en berekende concentratie worden gezocht in een onderschatting van de emissies of mogelijk onjuist gekwantificeerde parameters in het model waarmee de concentraties en deposities worden berekend (Van Jaarsveld *et al.*, 2000; Van Pul *et al.*, 2004). Nadere onderzoeken naar de oorzaken van het verschil zijn in uitvoering. Om de berekende concentraties weer in overeenstemming te brengen met de gemeten concentraties, zijn de berekende concentraties gecorrigeerd met behulp van meetresultaten van het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit (LML) van het RIVM (Van Jaarsveld en Van Pul, 2004).

De droge depositie is gerelateerd aan de gemeten concentraties van ammoniak (en ammonium) in lucht. De met het model berekende depositieflux wordt vermenigvuldigd met de verhouding tussen gemeten en berekende concentraties. Uit concentratiemetingen van de neerslag kan de natte depositie worden bepaald. De gemiddelde verhouding tussen deze bepalingen en de met OPS berekende natte depositie op de meetlocaties is de vermenigvuldigingsfactor voor de te berekenen natte depositie.

Er zijn geen bruikbare concentratiemetingen van ammoniak uit de beginperiode. Schalingsfactoren voor die periode zijn berekend als de gemiddelde schalingsfactor over de eerste jaren waarin ammoniakconcentratiemetingen gedaan zijn (Tabel 2.2).



Figuur 2.2 Gemeten en berekende ammoniakconcentratie, 1995–2002.

Tabel 2.2 Schalingsfactoren voor de droge en natte depositie van ammoniak

Jaar	Schalingsfactor droge depositie	Schalingsfactor natte depositie
1980-1994 ¹⁾	1,43	1,73
1995	1,41	1,72
1996	1,45	1,79
1997	1,44	1,70
1998	1,33	1,68
1999	1,32	1,66
2000	1,39	1,65
2001	1,41	1,88
2002	1,35	1,67

1) Gemiddelde over 1995-1997.

2.8 Achtergronddepositie

Een deel van de depositie wordt veroorzaakt door emissies van natuurlijke oorsprong of van antropogene emissies van buiten Europa. Het gaat om relatief kleine bijdragen, die moeilijk te kwantificeren zijn. Natuurlijke emissies van zwaveldioxide komen voornamelijk van vulkanen, natuurlijke branden en de zee. Natuurlijke emissies van stikstofoxiden vinden hun oorsprong in bliksem, biologische processen in de bodem en de afbraak van lachgas (N_2O) in de stratosfeer.

Voor ammoniak ligt de oorsprong bij mest van wilde dieren, biologische processen in de bodem en de zee. Slechts een klein deel van de Nederlandse emissies is van natuurlijke oorsprong.

Andere dan de hiervoor genoemde stikstofverbindingen worden niet in de berekeningen meegenomen. Zij worden daarmee impliciet geacht geen substantiële bijdrage aan de stikstofdepositie in Nederland te leveren. Wel is het al lang bekend dat vele andere stikstofverbindingen in de atmosfeer kunnen voorkomen, waaronder amines, peroxyacteylnitraat (PAN), distikstofoxide (N_2O , lachgas), nitroverbindingen, salpeterigzuur, N-nitrosamines, ureum [$CO(NH_2)_2$], methylcyanide (CH_3CN), alkylnitraten ($RONO_2$), aminozuren en eiwitten.

Een onderzoek uit 1993 biedt aanknopingspunten voor de Nederlandse situatie (Rendell *et al.*, 1993). Dit onderzoek leert dat het niveau van opgelost organisch stikstof (DON, Dissolved Organic Nitrogen) in regenwater in het zuidelijke deel van de Noordzee 6,3 $\mu\text{mol/l}$ bedraagt. We kunnen deze hoeveelheid nemen om een eerste orde schatting te maken van de bijdrage tot de totale stikstofdepositie in Nederland. De concentratie van stikstof in de vorm van nitraat in Nederlands regenwater bedraagt (gemiddeld) ongeveer 40 $\mu\text{mol/l}$; ammonium draagt (gemiddeld) zo'n 70 $\mu\text{mol/l}$ bij. De bijdrage van DON - bij een niveau van 6 $\mu\text{mol/l}$ - aan het stikstofgehalte in regenwater bedraagt dan 5-6%. De natte depositie draagt in Nederland voor ongeveer 1/3 bij aan de totale stikstofdepositie. Dit betekent dat de bijdrage van DON aan de totale stikstofdepositie in de orde van 1-2% is. Bij een gemiddelde depositie van 2300 mol N/ha zou dit een aanvullende bijdrage van 25-50 mol N/ha zijn. Dit is echter niet in de achtergronddepositie verdisconteerd.

Een schatting van de natte, droge en totale achtergronddepositie is weergegeven in Tabel 2.3. De depositie voor halogeenzuren en organische zuren wordt niet gemodelleerd. Voor de totale bijdrage worden de in de tabel vermelde hoeveelheden bijgeteld.

Tabel 2.3 Achtergronddepositie natuurlijke bronnen en antropogene bronnen buiten Europa (Erisman en Bleeker, 1997).

Bijdrage	Droog	Nat	Totaal
	<i>mol/(ha.jaar)</i>		
Achtergrond gereduceerd stikstof (NH_x)	48	27	75
Achtergrond geoxideerd stikstof (NO_y)	13	36	49
Achtergrond geoxideerd zwavel (SO_x)	12	42	54
Halogeenzuren ¹⁾	3	3	6
Organische zuren	30	30	60
Totaal stikstof achtergrond	61	63	124
Potentieel zuur achtergrond ²⁾	120	180	300

1) Vooral waterstofchloride (HCl).

2) Afgeronde getallen.

3. Resultaten

Dit hoofdstuk beschrijft de resultaten van de herberekeningen van de potentieelzuur- en stikstofdepositie op Nederland voor de periode 1981-2002. Vervolgens komen ook de berekende concentraties aan bod. Daarna zullen deposities en concentraties verder worden uitgesplitst naar bijdragen per land en per doelgroep, zodat er duidelijkheid is over de herkomst van de verschillende verzurende stoffen. Door de herkomstberekening voor verschillende jaren uit te voeren kan een beeld gevormd worden van de ontwikkeling in de tijd van de herkomst van depositiebijdragen.

3.1 Depositie

De uitkomsten van de modelberekeningen bestaan uit concentratie- en depositievelden voor de afzonderlijke stoffen. Uit deze velden worden vervolgens de depositievelden voor stikstof en potentieel zuur berekend volgens onderstaande formules:

$$\text{Stikstof} = [\text{NO}_y] + [\text{NH}_x]$$
$$\text{Potentieel zuur} = 2 * [\text{SO}_x] + [\text{NO}_y] + [\text{NH}_x] + [\text{HCl}].$$

De verschillende symbolen staan voor:

SO_x de totale, dat is de droge plus de natte, depositie van zwavelverbindingen

NO_y de totale depositie van geoxideerde stikstofverbindingen

NH_x de totale depositie van gereduceerde stikstofverbindingen

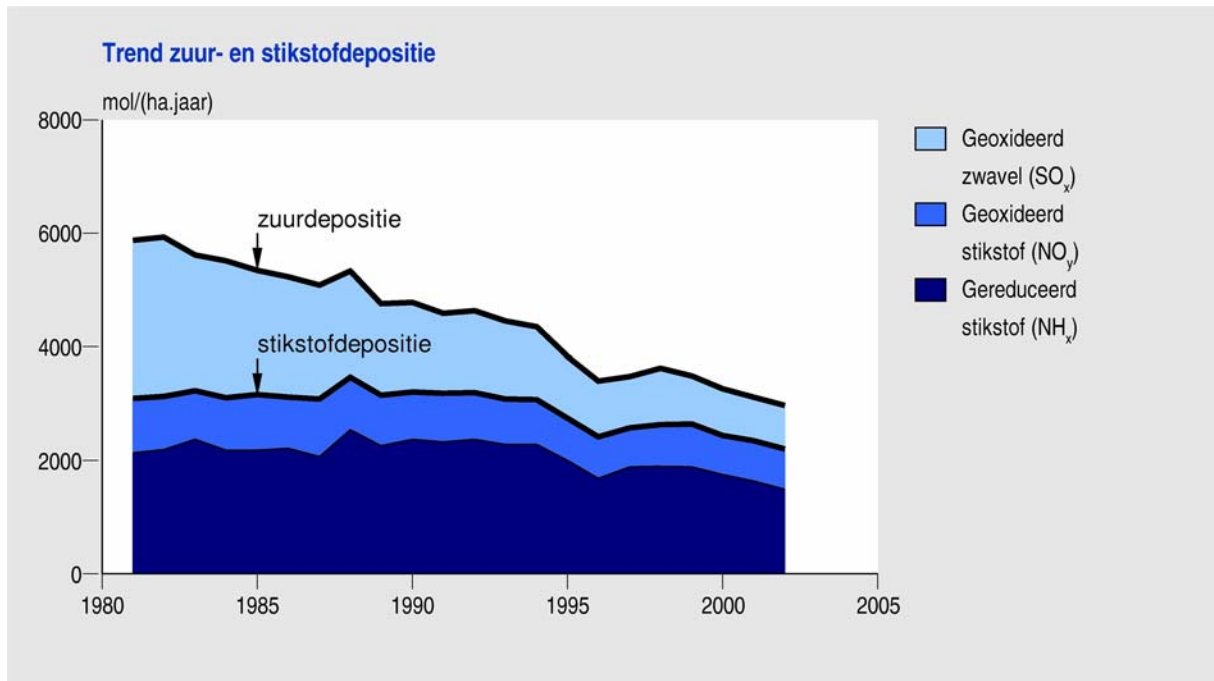
HCl de totale depositie van waterstofchloride.

Op alle resultaten zijn de eerder besproken correcties voor de achtergronddepositie en voor het ammoniakgat toegepast.

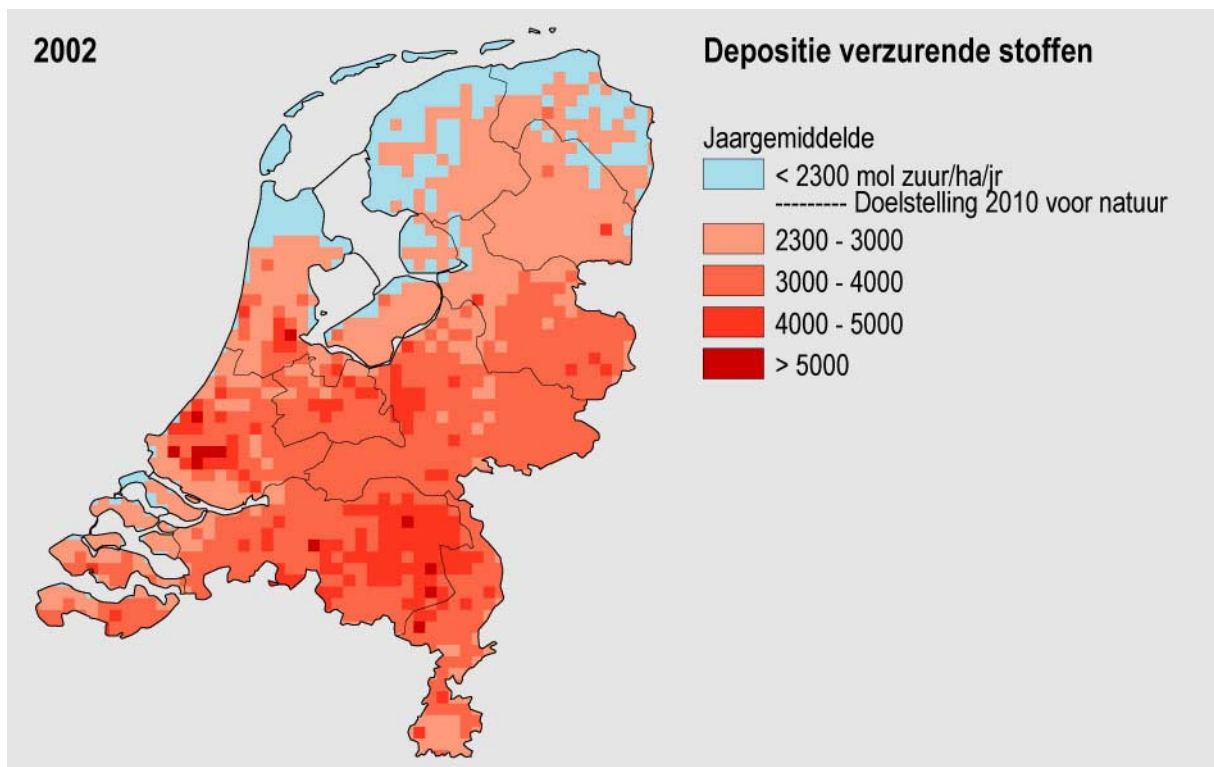
De depositie van potentieel zuur is in de periode 1981-2002 gehalveerd: van 6000 naar ruim 3000 mol per ha per jaar (Figuur 3.1). De sterkste daling deed zich voor bij de depositie van geoxideerd zwavel (SO_x). Deze daalde tussen 1981 en 2002 met driekwart tot ongeveer 400 mol per ha per jaar. De depositie van geoxideerd stikstof (NO_y) nam met 30% af tot 700 mol per ha per jaar. Ook de depositie van gereduceerd stikstof (NH_x) nam met 30% af en wel tot 1500 mol per ha per jaar. Deze cijfers betekenen voor stikstof een daling van 3100 naar 2200 mol (- 30%). Bijlage B geeft meer gedetailleerde informatie.

De gemiddelde depositie van potentieel zuur op Nederland bedroeg in 2002 ongeveer 3000 mol per hectare. Dit is de gemiddelde waarde voor het landoppervlak van Nederland. Er bestaat echter ruimtelijk een aanzienlijke spreiding (Figuur 3.2; zie ook Bijlage B). De hoogste waarden - meer dan 5000 mol per hectare per jaar - komen voor in gebieden met intensieve veehouderij, vooral in de Peel en aangrenzende gebieden in Noord-Brabant. Plaatselijk komen deze hoge waarden ook voor in de Randstad. De laagste waarden - iets meer dan 1000 mol - zijn te vinden in het waddengebied. De gemiddelde depositie van stikstof op Nederland in 2002 bedraagt 2200 mol per hectare. Ook de stikstofdeposities vertonen lokaal grote verschillen (Figuur 3.3; zie ook Bijlage B). In gebieden met intensieve veehouderij (onder andere de Peel en de Gelderse vallei) komen deposities voor die op kunnen lopen tot meer dan 4000 mol N per hectare per jaar. Deze worden vooral veroorzaakt door de regionale hoge ammoniakuitstoot.

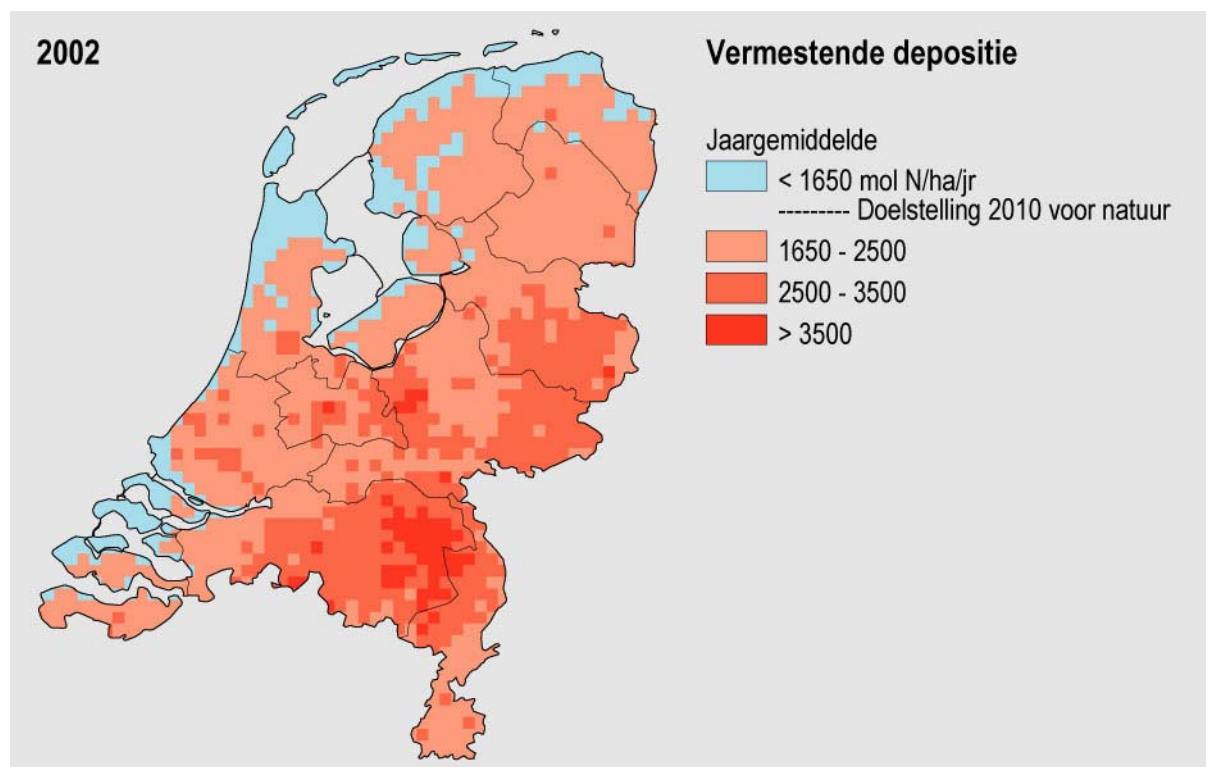
De hier beschreven ruimtelijke variatie in de ammoniakdepositie hoort bij de berekening op een 5×5 km schaal. Berekeningen met een hoger ruimtelijk oplossend vermogen, bijvoorbeeld op een 1×1 km schaal, laten een nog grotere, ruimtelijke variatie zien.



Figuur 3.1 Stikstof- en potentieel zuurdepositie, 1981-2002.



Figuur 3.2 Depositie van potentieel zuur in 2002.



Figuur 3.3 Depositie van stikstof in 2002.

3.2 Herkomst depositie

Voor het jaar 2000 zijn berekeningen uitgevoerd die zijn onderverdeeld in bijdragen per land; voor Nederland is ook een verdeling naar doelgroepen gemaakt. Deze berekeningen zijn uitgevoerd met gemiddelde meteorologie van 10 jaar (1990 - 2000). Door de berekeningen van 2000 te schalen met emissies kon ook voor andere jaren een reconstructie uitgesplitst naar land en doelgroep gemaakt worden. De onderverdeling naar doelgroepen is alleen voor Nederland uitgevoerd. Weliswaar is ook voor het buitenland een verder uitgesplitste emissieonderverdeling mogelijk, maar depositieberekeningen zijn in de berekeningen vaak niet ver genoeg uitgesplitst. Bijvoorbeeld voor Duitsland - dat in het ruimtelijke basisbronnenbestand bestaat uit voormalig Oost- en West-Duitsland - is de depositiebijdrage van heel Duitsland uitgerekend. De ontwikkeling in de verdeling over doelgroepen evenals de ruimtelijke verdeling van bronnen loopt tussen beide Duitse gebieden sterk uiteen. Dit maakt een betrouwbare berekening lastig en op basis van één ruimtelijk basisbestand vrijwel onmogelijk. Ook voor andere landen is het erg lastig te schatten in hoeverre de ruimtelijke verdeling van bronnen in 1995 representatief is voor andere jaren in de periode 1980 – 2000. De vraag of de ruimtelijke verdeling van bronnen uit één basisjaar representatief is voor de gehele periode geldt overigens ook voor de Nederlandse doelgroepbijdragen. Een uitgebreid overzicht met berekeningen is te vinden in de bijlagen.

3.2.1 Herkomst depositie in 2000

De depositie van potentieel zuur op Nederland in 2000 is voor ruim 40% afkomstig uit het buitenland en voor bijna 40% van de Nederlandse landbouw (Tabel 3.1). Van de buitenlandse bijdragen zijn de bijdragen uit België, Duitsland, Engeland, Frankrijk en van de Noordzee van belang (Tabel 3.2). Bijdragen uit verder weg gelegen landen zijn marginaal; totaal minder dan 4%.

De depositie van stikstof is voor ruim 30% afkomstig uit het buitenland en voor iets meer dan de helft afkomstig uit de Nederlandse landbouw. Ook de buitenlandse stikstofbijdrage komt vrijwel geheel uit België, Duitsland, Engeland, Frankrijk en van de Noordzee.

Voor de individuele samenstellende bestanddelen (geoxideerd zwavel [SO_x], geoxideerd stikstof [NO_y] en gereduceerd stikstof [NH_x]) verschilt de bijdrage sterk per doelgroep en/of land (Tabel 3.2, Tabel 3.3). Maar ook hier geldt dat het aandeel van de ons omringende landen aanzienlijk is en het aandeel van de verder weg gelegen landen gering is. Opvallend zijn de relatief grote bijdragen van België en de Noordzee aan de depositie van geoxideerd zwavel. Ook de invloed van het ver weg gelegen Polen is nog aanwezig. Voor gereduceerd stikstof is de geringere reikwijdte duidelijk; bijdragen van België, Duitsland en Frankrijk zijn nog terug te vinden in de totalen, de invloed van Engeland is gering en die van de overige landen vrijwel verwaarloosbaar.

Bijna 80% van de depositie van gereduceerd stikstof is afkomstig van Nederlandse bronnen. Het leeuwendeel (70%) komt voor rekening van de landbouw. Bij geoxideerd stikstof is verkeer de grootste bron met 29% op een totale Nederlandse bijdrage van 39%. Industrie, energie en raffinaderijen leveren de belangrijkste bijdrage aan de depositie van geoxideerd zwavel: 17% op een totale Nederlandse bijdrage van 26%.

Tabel 3.1 Relatieve depositiebijdragen aan stikstof- en potentieel zuurdepositie in 2000.

Herkomst	Potentieel zuurdepositie				Stikstofdepositie		
	NH _x	NO _y	SO _x	Totaal	NH _x	NO _y	Totaal
	%						
Nederland totaal	44	8	6	58	57	11	68
<i>w.v. Nederland landbouw</i>	39	0	0	39	51	0	51
<i>w.v. Nederland overig</i>	5	8	6	19	6	11	17
Buitenland	12	13	17	42	16	17	32
<i>w.v. Noordzee</i>	0	2	4	6	0	3	3
Totaal	56	21	23	100	73	27	100

Tabel 3.2 Relatieve depositiebijdragen per land, 2000.

Land	NH _x	NO _y	SO _x	Stikstof	Potentieel zuur
	%				
België	9	10	23	9	12
Frankrijk	3	10	8	5	5
Duitsland	7	12	10	9	9
<i>Nederland</i>	78	39	26	68	58
Verenigd Koninkrijk	1	12	12	4	6
Noordzee	0	10	16	3	6
Overige landen	2	8	6	3	4
Totaal	100	100	100	100	100

Tabel 3.3 Relatieve depositiebijdragen in per doelgroep, 2000

Bron	NH _x	NO _y	SO _x	Stikstof	Potentieel zuur
%					
<i>Nederland</i>					
Industrie, energie, raffinaderijen en AVI ¹⁾	2	6	17	3	6
Verkeer	2	29	8	9	9
Landbouw	70	1	0	51	39
Consumenten	5	2	0	4	3
HDO en Bouw	0	2	1	1	1
Totaal Nederland	78	39	26	68	58
Totaal buitenland	22	61	74	32	42

1) AVI: afvalverwerkingsinstallaties.

3.2.2 Trend in herkomst potentieelzuurdepositie

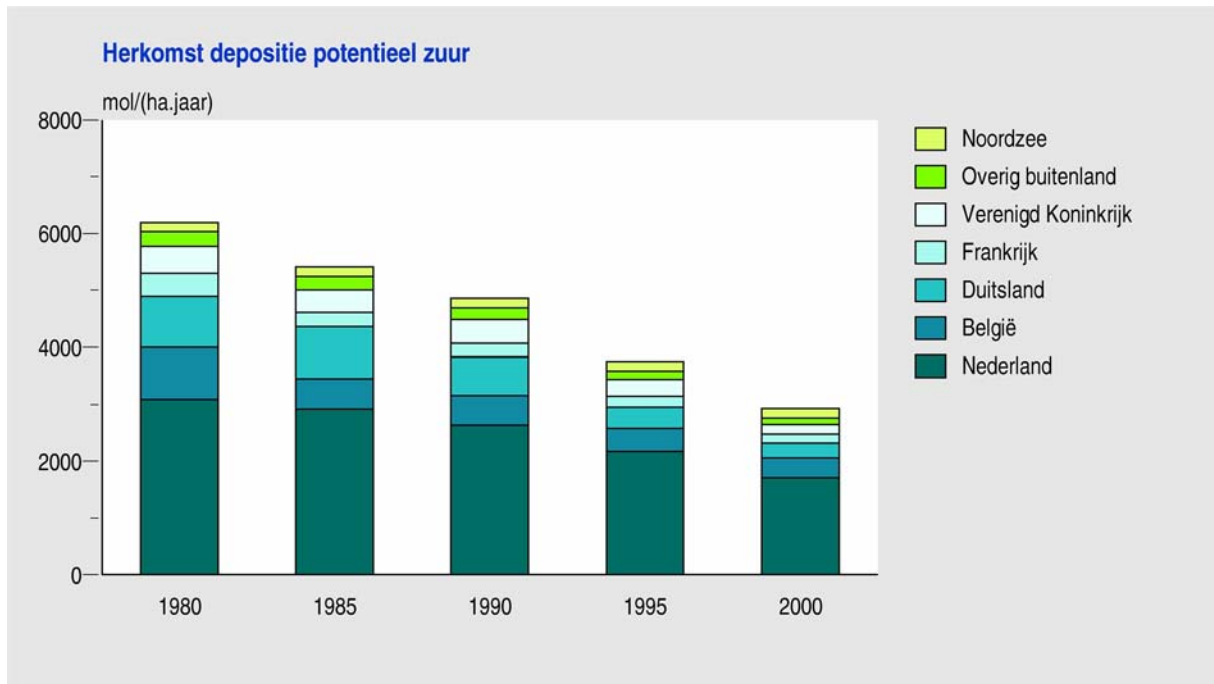
De depositie van potentieel zuur is tussen 1980 en 2000 afgenomen van 6200 naar 2900 mol zuurequivalent per hectare per jaar (Figuur 3.4). De Nederlandse relatieve bijdrage aan potentieel zuurdepositie steeg in deze periode van 50 naar 58%. De toename van de Nederlandse relatieve bijdrage aan potentieel zuurdepositie kan worden toegeschreven aan de sterke afname van depositie van geoxideerd zwavel en, in geringere mate, aan de afname van de depositie van gereduceerd stikstof. Ook een verschil in verspreidingskarakteristieken hebben een rol gespeeld.

De depositie van geoxideerd zwavel is in de zelfde periode sterk gedaald. Dit geldt zowel voor de Nederlandse bijdrage (-79%) als voor de buitenlandse bijdrage (-77%). Het relatieve aandeel van geoxideerd zwavel in de potentieel zuurdepositie daalde van 48 naar 23%. Het gevolg hiervan is dat het relatieve belang van gereduceerd en geoxideerd stikstof dus sterk is toegenomen.

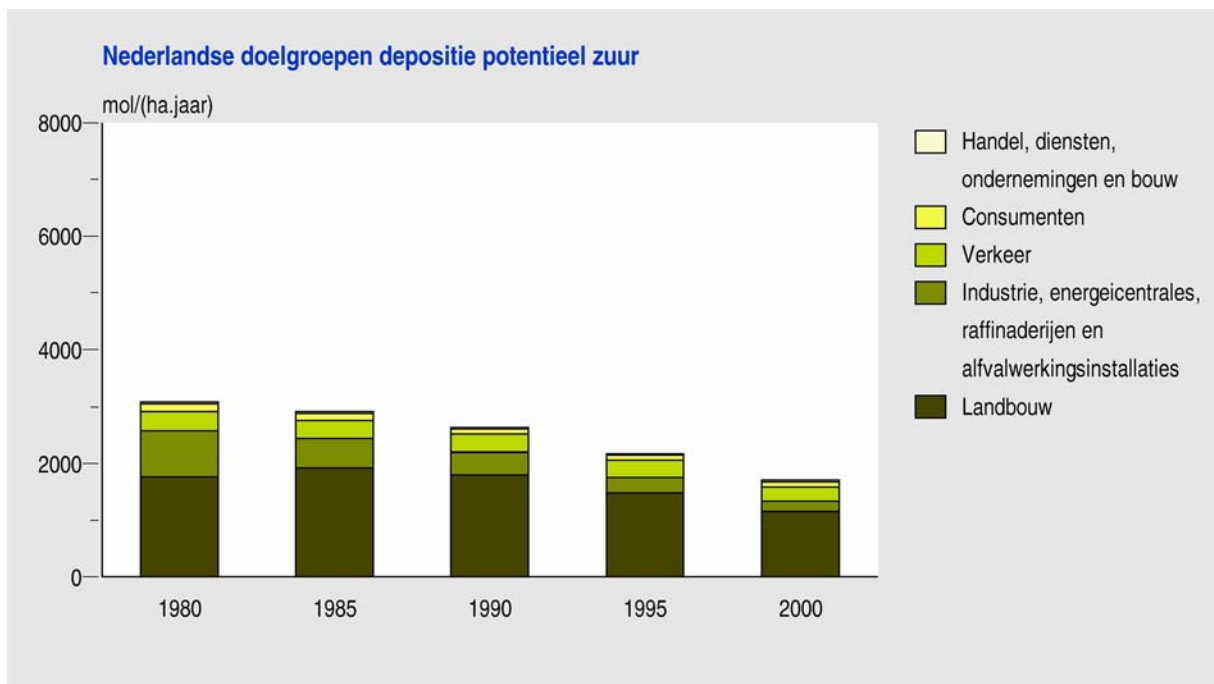
Het relatieve belang van de depositie van geoxideerd stikstof in de potentieel zuurdepositie nam toe van 15 naar 21%. De Nederlandse bijdrage steeg van 6 naar 8%; de buitenlandse van 9 naar 13%. Het relatieve belang van depositie van gereduceerd stikstof in de potentieel zuurdepositie is flink gestegen. Deze steeg van 37 naar 56%, terwijl de depositie van gereduceerd stikstof in absolute zin afnam. De bijdrage van Nederland steeg van 31 naar 44% en bijdrage uit het buitenland van 6 naar 12%.

Nederlandse bronnen

Relatieve verschuivingen in doelgroepbijdragen tussen 1980 en 2000 zijn te verklaren met de sterke afname van zwaveldepositie tengevolge van reducties in vooral de industrie, energiecentrales en raffinaderijen. In 1980 kwam ruim een kwart van de Nederlandse bijdrage uit de industriële hoek, in 2000 nog 10%. De verkeersbijdrage nam toe van 10 naar 15%. De bijdrage uit de landbouw nam tussen 1980 en 1985 toe van 57% naar 66% en bedraagt in 2000 68% (Figuur 3.5).



Figuur 3.4 Potentieel zuur depositie op Nederland, 1980-2000. Deze berekeningen zijn uitgevoerd met langjarige meteorologie. Hierbij is gecorrigeerd voor het ammoniakgat, maar is geen rekening is met de achtergronddepositie; deze bedraagt 300 mol/(ha.jaar) (zie ook paragraaf 2.8).



Figuur 3.5 Bijdrage van Nederlandse doelgroepen aan de depositie van potentieel zuur op Nederland, 1980-2000. De berekeningen zijn uitgevoerd met langjarige meteorologie. Hierbij is gecorrigeerd voor het ammoniakgat, maar is geen rekening is met de achtergronddepositie.

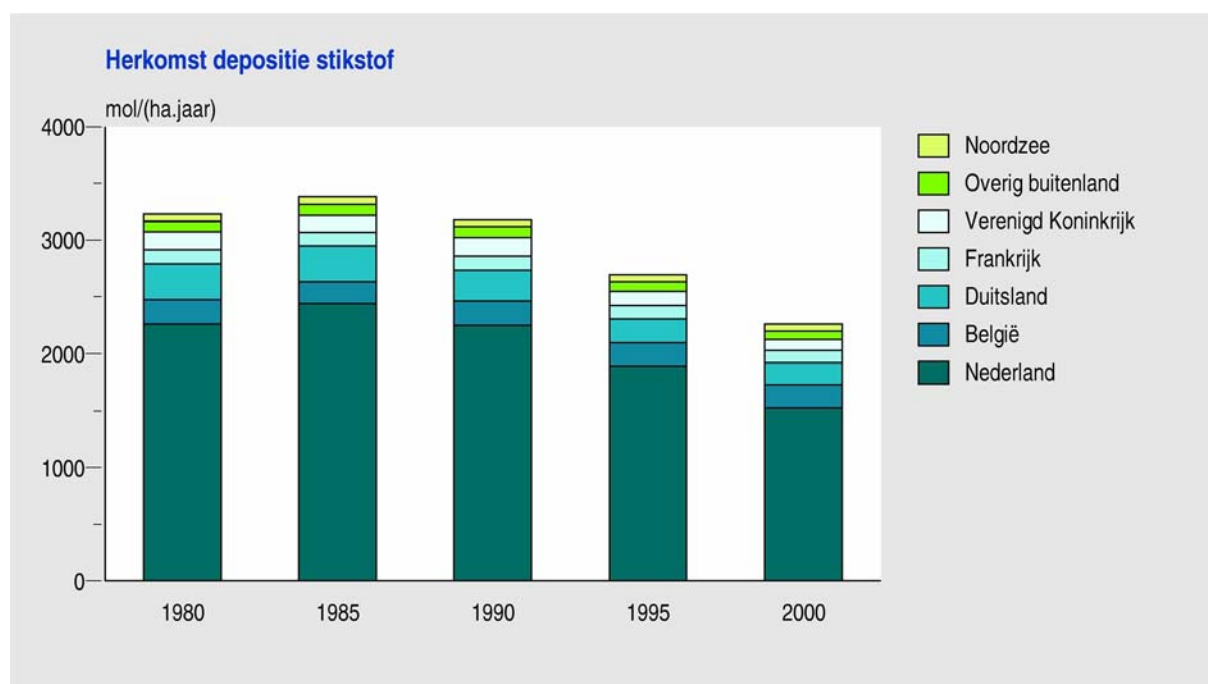
3.2.3 Trend in herkomst stikstofdepositie

De stikstofdepositie nam in periode van 1980 tot 2000 af van ruim 3200 naar 2300 mol per hectare per jaar. De daling in stikstofdepositie is overigens pas vanaf ongeveer 1990 ingezet (Figuur 3.6). De Nederlandse bijdrage is iets sterker afgenomen dan de buitenlandse bijdrage. Dit resulteert in een afname van de Nederlandse relatieve bijdrage van 70% in 1980 naar 68% in 2000.

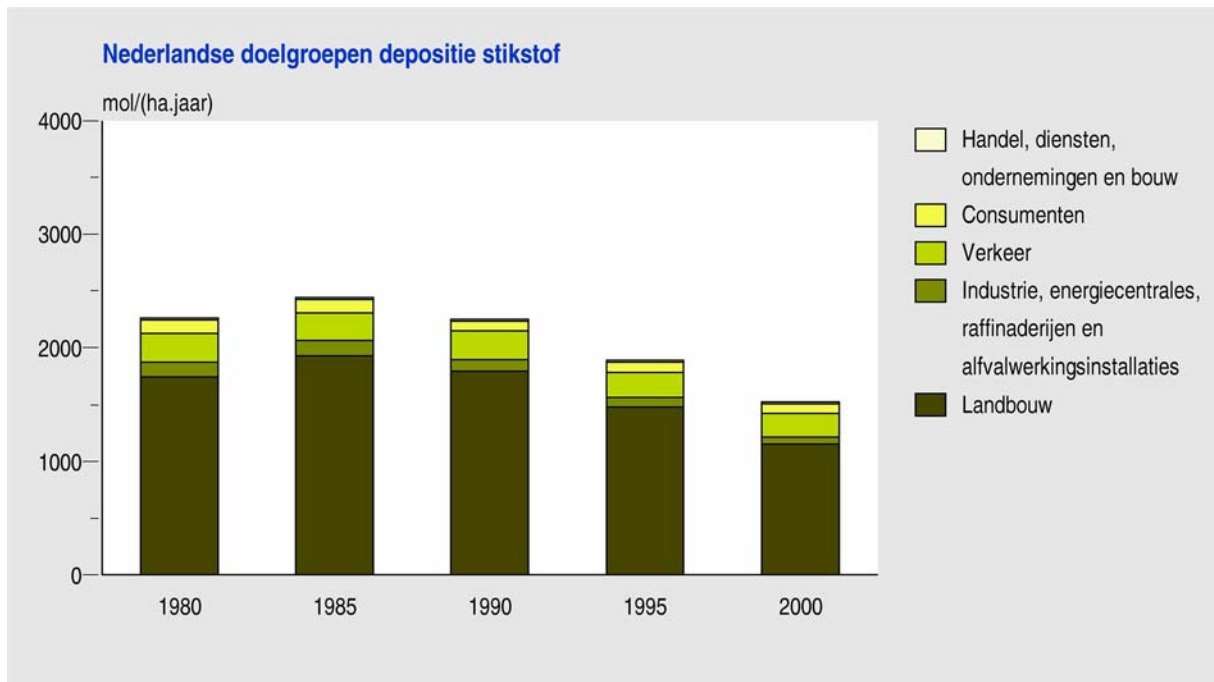
De verschuivingen in stikstofdepositie zijn gering. De relatieve bijdrage van geoxideerd stikstof aan stikstofdepositie is enkele procenten afgenomen (van 29 naar 27%) en zijn onderling vrijwel onveranderd (buitenland 17%, Nederland 27%). De relatieve bijdragen van gereduceerd stikstof is enkele procenten toegenomen (van 71 naar 73%). De NH_x -bijdrage uit het buitenland neemt vooral de laatste jaren wat toe (1980 12%, 2000 16%). De Nederlandse NH_x -bijdrage neemt de laatste jaren juist wat af (1980 59%, 1995 nog 60% en in 2000 57%). Daarmee lijkt het Nederlandse ammoniakbeleid vruchten af te werpen.

Stikstofdepositie Nederlandse bronnen

De stikstofdepositie als gevolg van Nederlandse bronnen is vooral afgenomen door emissiereductiemaatregelen in de landbouw. In deze sector daalde de stikstofdepositie met 600 mol. De daling in stikstofdepositie door overige Nederlandse bronnen bedroeg ruim 100 mol. Dit levert echter nauwelijks verschuivingen in de relatieve bijdragen op. De landbouw leverde in 1980 78% van de binnenlandse bijdrage; in 1990 was dat 80% en in 2000 nog 76%. De verkeersbijdrage is tussen 1980 en 2000 geleidelijk toegenomen van 11 naar 13% (Figuur 3.7).



Figuur 3.6 Stikstofdepositie, 1980-2000.



Figuur 3.7 Bijdragen van Nederlandse doelgroepen aan de stikstofdepositie.

3.2.4 Trend in herkomst afzonderlijke componenten

Geoxideerd zwavel

De totale buitenlandse bijdrage aan de depositie van geoxideerd zwavel in Nederland is tussen 1980 en 2000 afgenomen van 1070 naar 250 mol per hectare per jaar (-77%). De Nederlandse bijdrage nam in dezelfde periode af van 410 naar 90 mol per hectare per jaar (-79%). In 1980 kwam de meeste buitenlandse zwaveldepositie uit België (23%) en Duitsland (20%). Nederland veroorzaakte zelf ruim een kwart van de depositie (28%). Het leeuwendeel hiervan was afkomstig van de industrie. Na 1980 nam het Duitse (lees: Oost-Duitse) aandeel toe tot 30% in 1985, omdat in andere landen reductiemaatregelen al effect hadden.

Later volgde een inhaalslag. In 2000 droeg Duitsland nog maar 10% bij aan de zwaveldepositie op Nederland. De Belgische bijdrage is inmiddels weer 23% en de bijdrage van bronnen op de Noordzee wordt ook steeds belangrijker. In 1980 was deze slechts 3%; in 2000 komt 16% van de zwaveldepositie van schepen op de Noordzee.

De grootste Nederlandse bijdragen kwamen in 1980 van de aardolie-industrie, elektriciteitscentrales (beide 8%) en de chemische industrie (3%). De totale Nederlandse bijdrage aan zwaveldepositie is in 2000 nog steeds een kwart. Er zijn binnen de sectoren echter wel duidelijke verschuivingen. Zo was de bijdrage van verkeer in 1980 nog 3%; in 2000 is dat toegenomen tot 8%. Vooral scheepvaart is verantwoordelijk voor deze toename. De bijdrage van de elektriciteitscentrales is sterk gereduceerd; in 2000 bedroeg deze 3%. Dit kan vooral worden toegeschreven aan een omschakeling van kolen naar gas. Aardolie levert de grootste bijdrage (9% in 2000), de chemische industrie draagt nog slechts 1% bij.

Geoxideerd stikstof

De totale buitenlandse bijdrage is tussen 1980 en 2000 afgenomen van 580 naar 380 mol per hectare per jaar; dit is een afname van -35%. De totale Nederlandse bijdrage nam in dezelfde periode af van 350 naar 240 mol per hectare per jaar; een afname van -31%.

Gedurende de gehele periode is de bijdrage van Nederlandse bronnen aan de depositie van geoxideerd stikstof ongeveer 40%. Bijna 30% - dat is driekwart van de totale Nederlandse

bijdrage - is afkomstig van verkeer. Duitsland en het Verenigd Koninkrijk leverden de belangrijkste buitenlandse bijdragen in 1980 met ieder zo'n 15%. In 2000 ontlopen de bijdragen van de ons omringende landen elkaar niet veel. De bijdragen van België, Frankrijk, Duitsland, Verenigd Koninkrijk, en ook van de Noordzee liggen allemaal op ongeveer 10%.

Gereduceerd stikstof

De buitenlandse bijdrage van de depositie van gereduceerd stikstof in Nederland is tussen 1980 en 2000 afgenomen van 390 naar 360 mol per hectare per jaar; een daling van 9%. De totale Nederlandse bijdrage nam in dezelfde periode af van 2300 naar 1640 mol per hectare per jaar; dat is een daling van 33%.

De Nederlandse landbouw veroorzaakt 70% van de ammoniakdepositie op Nederland. In 1980 was deze 76% en in 1990 nog 77%. Overige Nederlandse bronnen leveren in totaal 7 (1980) tot 9% (2000). Hierbij kan worden opgemerkt dat in 1980 verkeer nog geen bijdrage leverde. De invoering van de katalysator in het wegverkeer zorgt voor een ammoniakuitstoot die in 2000 inmiddels een bijdrage van 2% aan de depositie van gereduceerd stikstof levert.

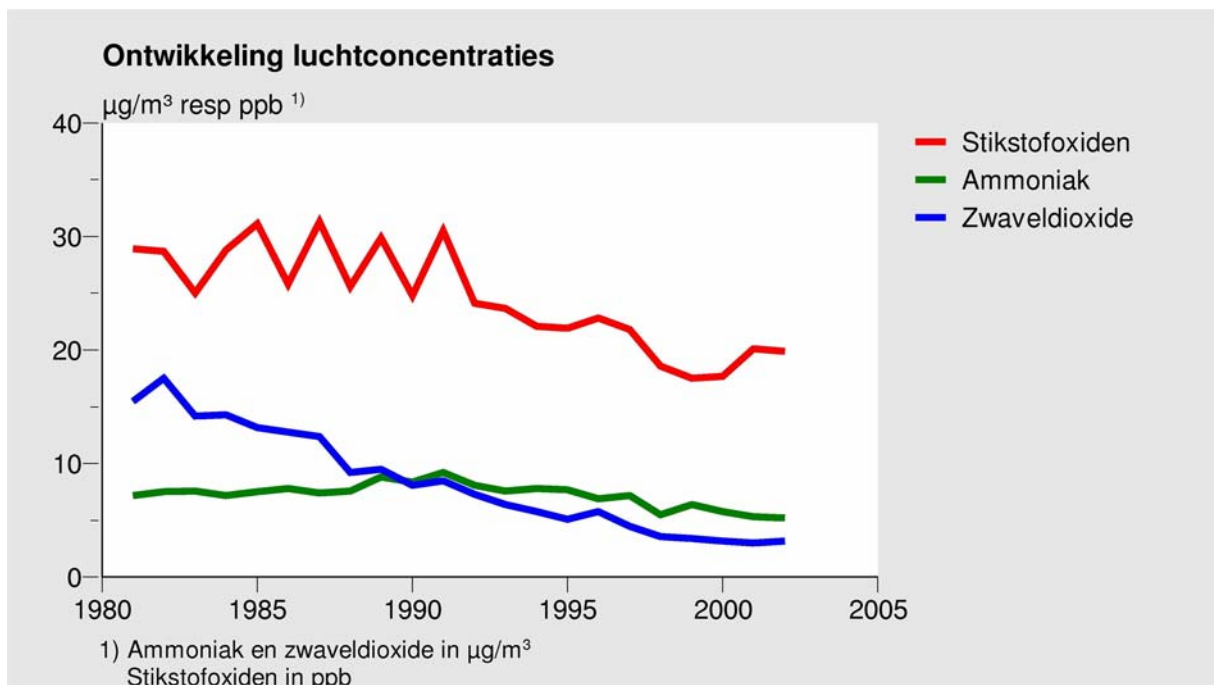
Er was buiten Nederland in de periode 1981-2002 nog nauwelijks een beleid om te komen tot een reductie van de ammoniakemissies. Ondanks het geringe verspreidingsbereik van ammoniak is daarom toch een trend in de buitenlandse bijdragen waarneembaar. De bijdrage uit België is toegenomen van 5% in 1980 tot 9% in 2000. De overige buitenlandse relatieve bijdragen zijn vrijwel gelijk gebleven. De totale buitenlandse bijdrage is gestegen van 17% in 1980 tot 22% in 2000.

3.3 Concentraties

3.3.1 Trend concentraties

De berekeningen van de deposities, waarvan de resultaten in het voorgaande zijn gepresenteerd, leveren als tussenstap ook luchtconcentraties van verzurende componenten op. Net als bij de gepresenteerde depositie zijn emissietrends terug te vinden in de concentratietrends. De invloed van meteorologische omstandigheden leidt ertoe dat de trends in de concentraties overigens minder duidelijk zijn dan de emissietrends.

Vooraf de jaargemiddelde concentratie van zwaveldioxide (SO_2) is in de laatste 20 jaar sterk afgenomen, namelijk met 80%. De jaargemiddelde concentratie van stikstofoxiden (NO_x) is gedaald van ongeveer 30 ppb naar minder dan 20 ppb. De concentratie van ammoniak (NH_3) lag tot 1995 tussen de 7 en 8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en is gedaald tot ruim 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



Figuur 3.6 Jaargemiddelde concentraties van ammoniak (NH_3), zwaveldioxide (SO_2) en stikstofoxiden (NO_x), 1981-2002.

3.3.2 Herkomst concentraties

De concentratie van ammoniak (NH_3) in Nederland is voor 90% toe te schrijven aan Nederlandse bronnen (Tabel 3.5). Dit zijn voornamelijk bronnen uit de doelgroep landbouw (Tabel 3.6). Slechts 8% is afkomstig van niet-landbouwbronnen. De overige 10% komt vrijwel volledig voor rekening van bronnen in Duitsland en België.

De concentratie van stikstofoxiden NO_x in Nederland wordt voor ruim 60% veroorzaakt door Nederlandse bronnen. De grootste bijdrage komt voor rekening van verkeer (48%). Duitsland levert met 14% ook een substantiële bijdrage.

De concentratie van zwaveldioxide (SO_2) in Nederland komt voor 70% uit het buitenland. Bronnen in België, Duitsland en op de Noordzee zijn samen al goed voor ruim 50% van de concentratie. Van de 30% die afkomstig is uit Nederlandse bronnen, neemt Industrie, Energie en Raffinaderijen 16% voor zijn rekening. Het verkeer is goed voor 11%.

Tabel 3.5 Relatieve concentratiebijdragen per land, 2000.

Bron	Ammoniak (NH ₃)	Stikstof- oxiden (NO _x)	Zwavel- dioxide (SO ₂)	Ammonium (NH ₄ ⁺)	Nitraat (NO ₃ ⁻)	Sulfaat (SO ₄ ²⁻)
	%					
België	4	7	21	7	8	10
Frankrijk	0	4	6	7	8	9
Duitsland	5	14	16	29	21	16
<i>Nederland</i>	90	61	30	44	31	5
Verenigd Koninkrijk	0	4	7	4	10	17
Noordzee	0	7	16	0	9	12
Overige landen	0	3	4	9	13	30
Totaal	100	100	100	100	100	100

Tabel 3.6 Relatieve concentratiebijdragen per doelgroep in Nederland, 2000..

Bron	Ammoniak (NH ₃)	Stikstof- oxiden (NO _x)	Zwavel- dioxide (SO ₂)	Ammonium (NH ₄ ⁺)	Nitraat (NO ₃ ⁻)	Sulfaat (SO ₄ ²⁻)
	%					
<i>Nederland</i>						
Industrie, energie, raffinaderijen en AVI ¹⁾	1	5	16	1	3	4
Verkeer	1	48	11	1	23	1
Landbouw	82	1	0	37	1	0
Consumenten	5	3	0	4	2	0
HDO en Bouw	0	4	2	0	2	0
Totaal Nederland	90	61	30	44	31	5
Totaal buitenland	10	39	70	56	69	95

4. Discussie

Bij de berekening van deposities uit emissies zijn diverse aannames gedaan. Zo zijn er aannames nodig om uit de beschikbare gegevens voor elk jaar emissiebestanden te maken. Bovendien zijn er onzekerheden in de emissietotalen. Binnen het model hebben we te maken met onzekerheden in modelparameters, zoals depositiesnelheden en omzettingssnelheden. Ook het verspreidingsproces, berekend met meteorologische gegevens en receptorkarakteristieken, levert de nodige onzekerheden op. De gemodelleerde concentraties kunnen gevalideerd worden op basis van concentratiemetingen, al worden hiermee niet alle onzekerheden weggenomen. De methode van depositiecorrecties op basis van validaties van concentraties bevat onvolkomenheden. Het is verder niet goed mogelijk om een correcte schatting te maken van natuurlijke en intercontinentale achtergronddepositie. Al deze onzekerheden zullen in dit hoofdstuk de revue passeren.

4.1 OPS en EMEP Unified Model

In een evaluatie van het EMEP Unified (Eulerian) Model zijn de resultaten uit deze studie vergeleken met uitkomsten van het EMEP-model (Velders *et al.*, 2003). De concentraties van zwaveldioxide, zoals berekend met het EMEP-model, liggen dicht bij de resultaten van het OPS-model en eveneens dichtbij de meetresultaten. De stikstofoxiden-concentraties volgens het EMEP-model liggen ongeveer 50% lager dan de door het OPS-model berekende concentraties. Ook zijn ze ongeveer 40% lager dan de meetresultaten; dit geldt voor alle jaren. De modellering van stikstofoxiden voor Nederland in het EMEP-model is waarschijnlijk niet correct. Voor ammoniak liggen de resultaten van de berekeningen met het EMEP-model dichtbij die volgens het OPS-model. Wel zijn beide 30 tot 40% lager dan de meetresultaten. Beide modellen bevestigen hiermee overigens het bestaan van het zogenoemde ammoniakgat.

De natte depositie in Nederland die het EMEP-model berekent, is voor alle stoffen ongeveer 20 tot 50% hoger dan berekend met het OPS-model. De gemeten natte deposities van geoxideerd zwavel (in de vorm van sulfaat) en van geoxideerd stikstof (in de vorm van nitraat) ligt over het algemeen tussen de resultaten van de EMEP- en de OPS-berekeningen in. De EMEP-berekeningen leiden tot ongeveer 25% hogere resultaten dan de meetresultaten. De OPS-berekeningen geven echter 5 tot 10% lagere resultaten. De met het EMEP-model berekende natte ammoniumdepositie is ongeveer 20% lager dan blijkt uit de metingen; het OPS-model komt 30 tot 40% lager uit. De droge depositie in Nederland, zoals berekend met het EMEP-model, is lager dan berekend met het OPS-model. Gemiddeld zijn de EMEP resultaten 15% (SO_x), 55% (NO_y) en 35% (NH_x) lager dan het OPS-model. De totale depositie is ongeveer gelijk in beide modellen voor geoxideerd zwavel (SO_x) en gereduceerd stikstof (NH_x). Dit komt door de hogere natte en lagere droge depositie in het EMEP-model ten opzichte van het OPS-model. De totale depositie voor geoxideerd stikstof (NO_y) is ongeveer 20% lager met het EMEP-model dan met OPS.

Over het algemeen kan geconcludeerd worden dat de resultaten van het OPS- en het EMEP-model goed overeenstemmen voor geoxideerd zwavel (SO_2 , SO_x) en redelijk voor gereduceerd stikstof (NH_3 , NH_x). Grote verschillen zijn echter gevonden voor geoxideerd stikstof (NO_x , NO_y). Het vermoeden bestaat dat het EMEP-model de bijdrage van lokale, lage emissiebronnen van stikstofoxiden, zoals verkeer en verwarming, onderschat. Ook is het mogelijk dat het EMEP-model de bijdrage aan de concentratie van stikstofoxiden van verder weg gelegen bronnen overschat.

4.2 Validatie op basis van metingen

Een uitgebreide vergelijking met metingen inclusief een schatting van onzekerheden is te vinden in Van Jaarsveld (2004). Hier worden slechts enkele voorbeelden gegeven.

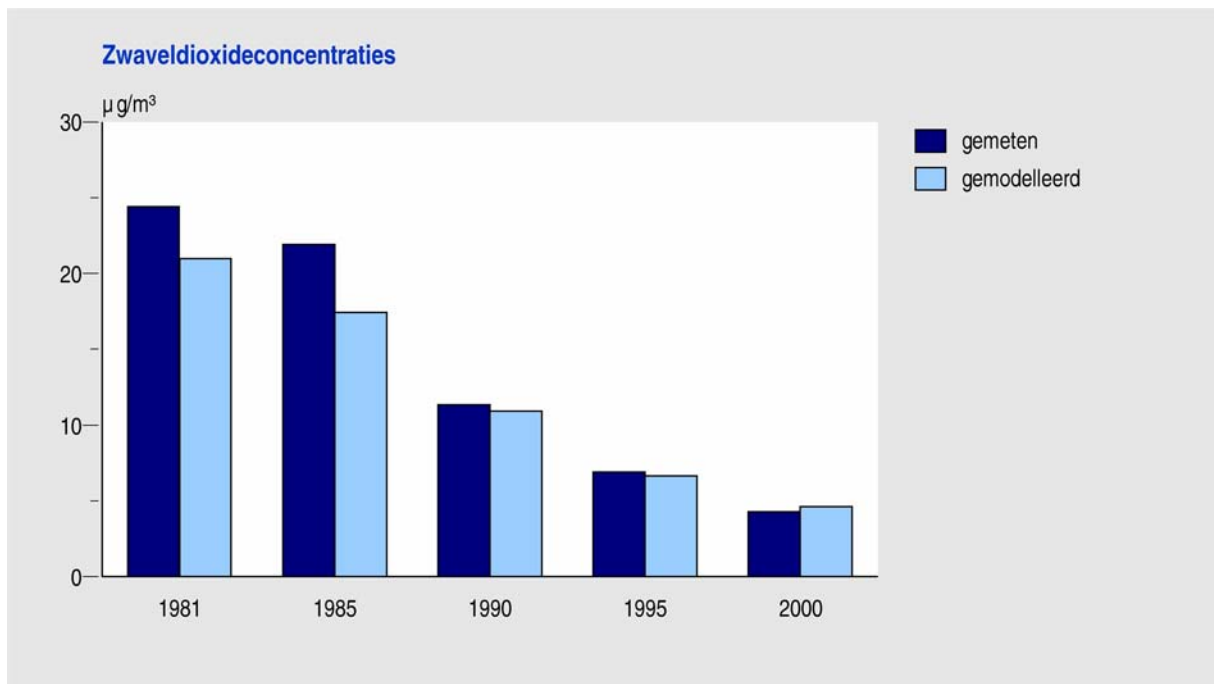
4.2.1 Geoxideerd zwavel

De gemeten en gemodelleerde concentraties en natte deposities van geoxideerd zwavel (SO_x) zijn met elkaar vergeleken (Figuren 4.1 en 4.2). De gemeten waarden zijn afkomstig van het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit (LML) en betreffen het gemiddelde over 30-60 regionale en stadsmeetstations voor de zwaveldioxideconcentraties en 15 meetstations voor de natte depositie. De gemodelleerde concentraties van zwaveldioxide zijn in de jaren tachtig ongeveer 25% lager dan de gemeten concentraties. In de jaren negentig is dit nog maar 10%. Voor de modelberekeningen was slechts één ruimtelijke verdeling van buitenlandse emissies van zwaveldioxide beschikbaar namelijk die van de situatie in 1995. In 1987 trad in Duitsland de zogenoemde ‘Grossfeuerungsanlage Verordnung’ in werking waardoor vooral de emissies in het Roergebied zeer sterk afnamen. Door het gebruik van de 1995 emissieverdeling is de Duitse emissie systematisch te veel naar het oosten en zuiden terecht gekomen met als gevolg een onderschatting van de Duitse bijdrage aan de zwaveldioxideconcentraties in Nederland voor de periode tot 1988.

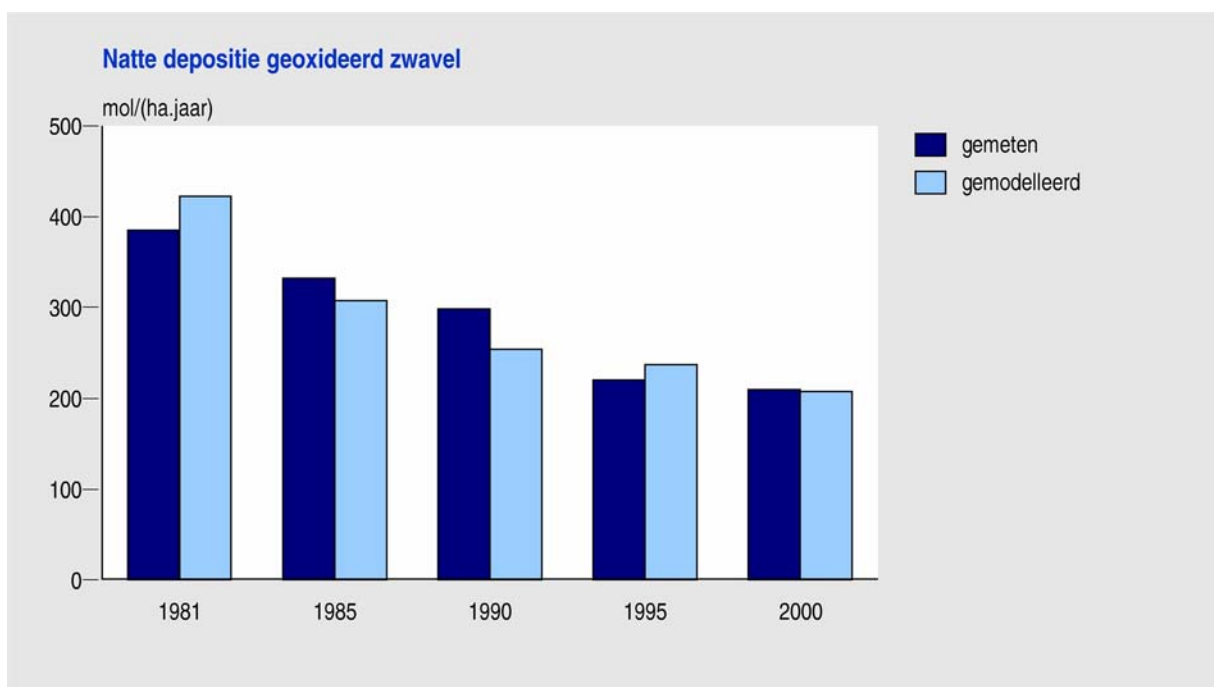
Een andere verklaring voor de verschillen tussen de jaren tachtig en negentig is dat de droge depositiesnelheid van zwaveldioxide is veranderd, bijvoorbeeld onder invloed van zogenoemde co-depositie processen. Een verandering in droge depositie zal zich uiten in een verandering van zwaveldioxideconcentraties in de lucht. Een ervan is de opname van zwaveldioxide in waterlaagjes wat mede bepaald wordt door de zuurgraad van het waterlaagje. Deze zuurgraad wordt sterk bepaald door gelijktijdige depositie van ammoniak. Feit is dat de verhouding ammoniak en zwaveldioxide in de loop der jaren sterk is veranderd. Een en ander zal resulteren in een relatief lagere depositiesnelheid in de jaren tachtig ten opzichte van de jaren negentig en daardoor in een relatief hogere concentratie in de jaren tachtig. Het is echter niet eenvoudig dit proces kwantitatief te beschrijven zonder empirische gegevens. In het huidige model is geen wederzijdse beïnvloeding van zwaveldioxide en ammoniak droge depositie opgenomen.

In tegenstelling tot bij de DEADM-methode werken eventuele fouten in de droge depositiesnelheid niet rechtstreeks door in de berekende depositie vanwege terugkoppelingsmechanismen in het OPS model. Een verlaging van 30% in depositiesnelheid zou een verhoging van 15% in de berekende zwaveldioxideconcentratie kunnen betekenen en een verlaging van 15% in de droge depositie. De natte depositie zou met 15% kunnen toenemen en de som van droog en nat zou ongeveer 10% afnemen. Mede om deze reden is afgezien van een correctie op de door OPS berekende depositie. Bij de gemodelleerde deposities zijn echter wel achtergrondwaarden opgeteld (zie ook Tabel 2.2).

De ruimtelijke variatie in jaargemiddelde zwaveldioxideconcentraties in Nederland (niet getoond) wordt voor 79% verklaard en die in de natte depositie voor 41% (1980-1988) en 79% (1999-2002).



Figuur 4.1 Gemodelleerde versus gemeten concentratie van zwavedioxide.

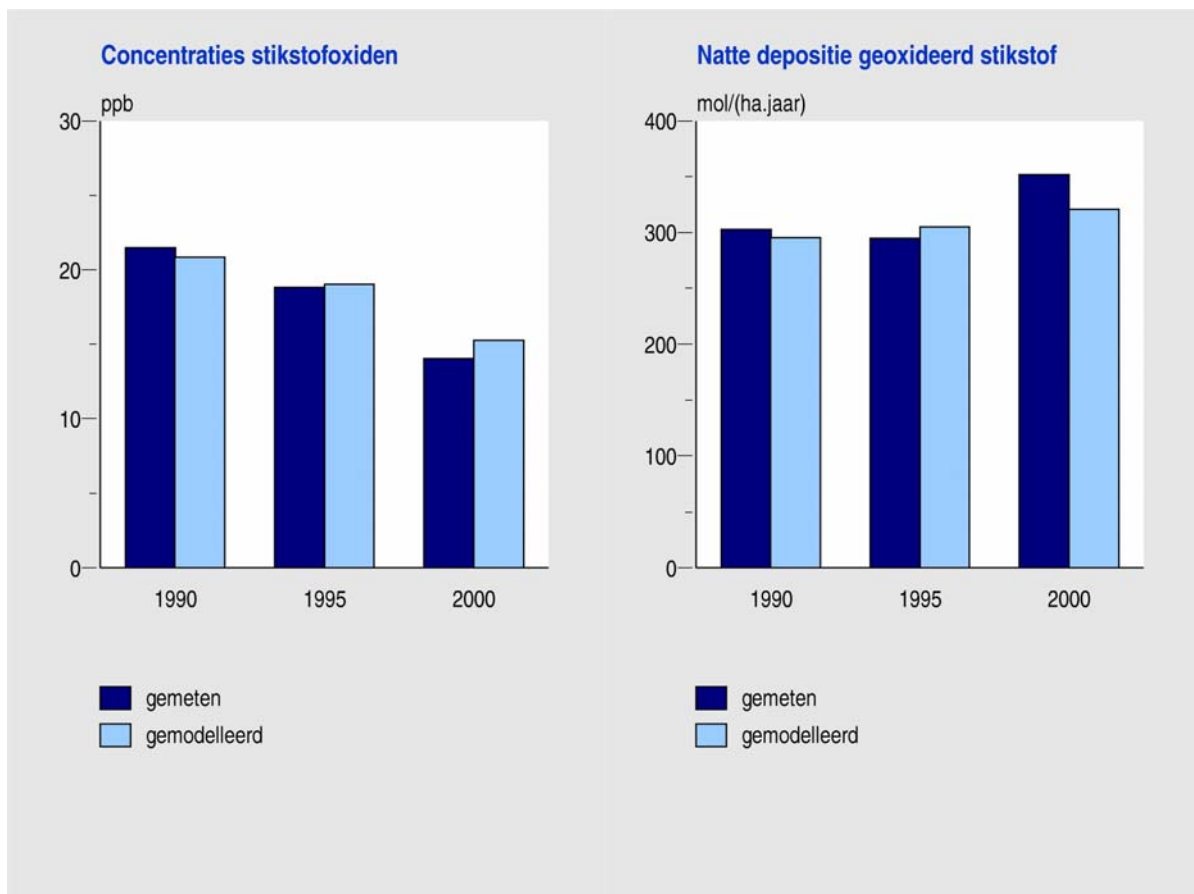


Figuur 4.2 Gemodelleerde versus gemeten natte depositie van geoxideerd zwavel (SO_x).

4.2.2 Geoxideerd stikstof

De gemeten en gemodelleerde concentraties en natte deposities van geoxideerd stikstof (NO_y) zijn met elkaar vergeleken (Figuur 4.3). Het gaat hier om het gemiddelde over ongeveer 20 regionale meetpunten voor stikstofoxidenconcentraties en 15 meetpunten voor natte depositie. De gemodelleerde concentraties van stikstofoxiden zijn over de gehele periode tot 10% hoger dan de metingen. Hierbij dient vermeld te worden dat het concentratieveld voor stikstofoxiden behalve stikstofmonoxide (NO) en stikstofdioxide (NO_2) tevens salpeterzuur (HNO_3) en peroxyacetylnitraat (PAN) bevat. Metingen van stikstofoxiden hebben betrekking op stikstofmonoxide en stikstofdioxide. Het verschil wordt op 8% geschat. De modelresultaten zijn hiervoor gecorrigeerd (Figuur 4.3). Bij de gemodelleerde natte depositie is een achtergrondwaarde van 36 mol/ha/jaar opgeteld (zie ook Tabel 2.2). De natte depositie blijkt in de periode 2000-2002 licht overschat.

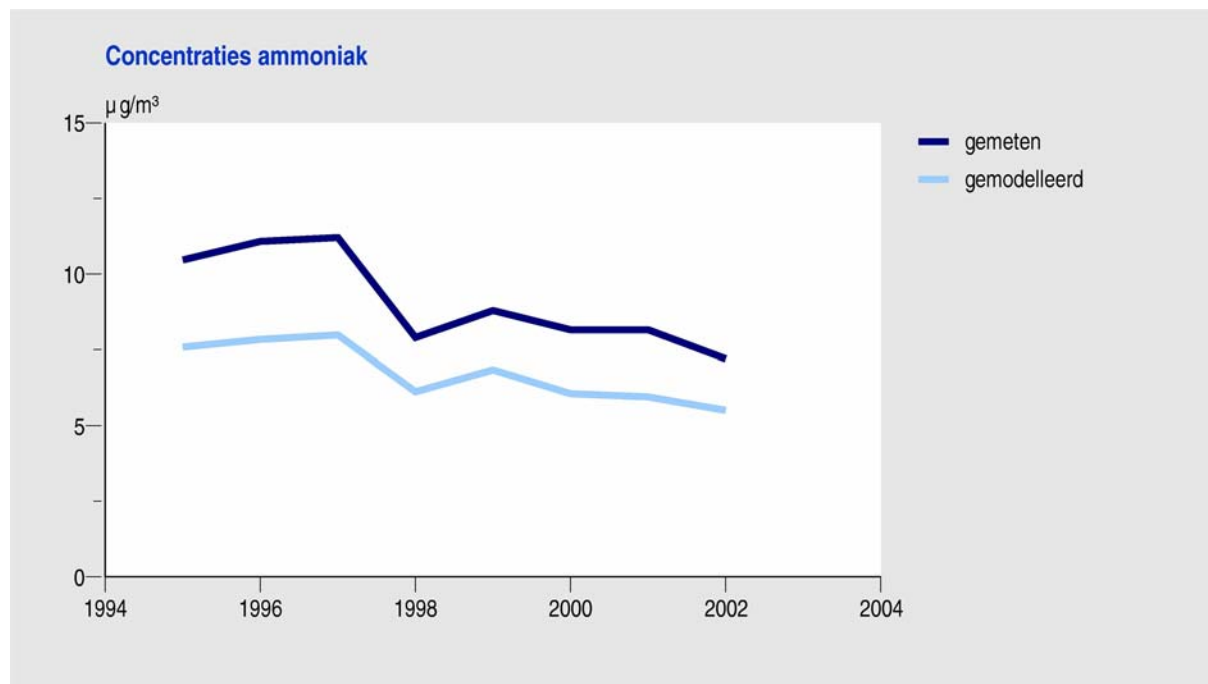
De ruimtelijke variatie in jaargemiddelde stikstofoxidenconcentraties (niet getoond) wordt voor 85% verklaard en die in natte depositie voor 25%.



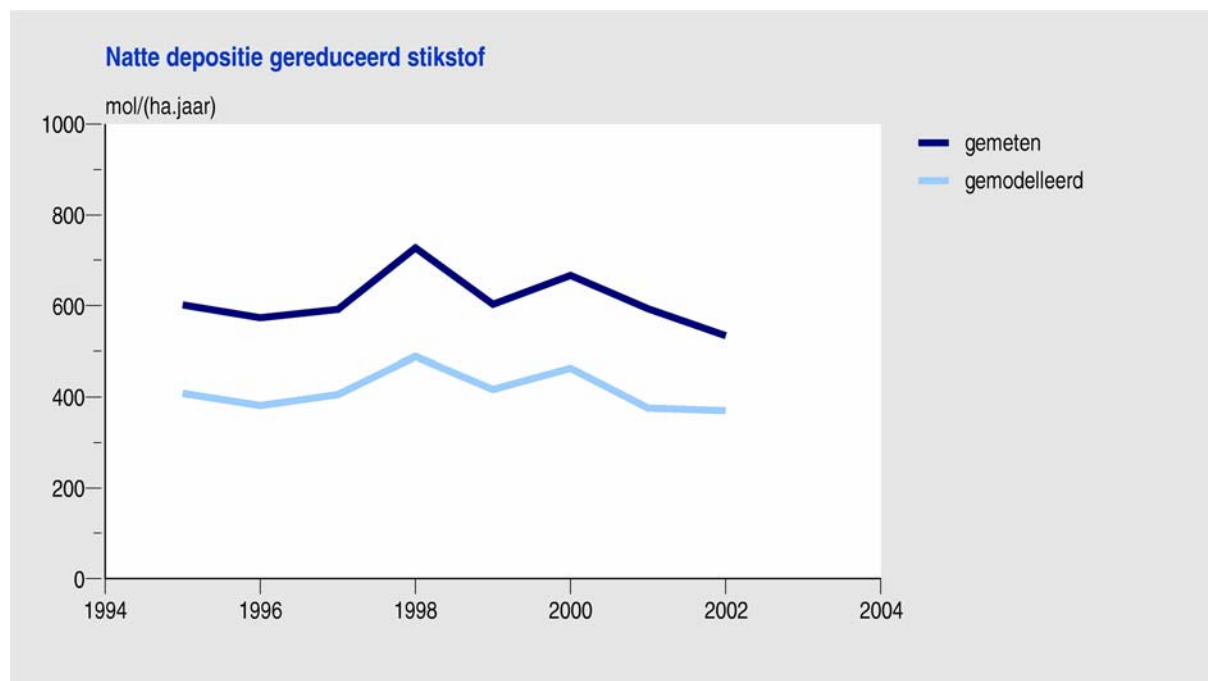
Figuur 4.3 Gemodelleerde versus berekende stikstofoxidenconcentratie (NO_x , links) en de gemodelleerde versus berekende natte depositie van geoxideerd stikstof (NO_y , rechts).

4.2.3 Gereduceerd stikstof

De gemeten en gemodelleerde ammoniakconcentraties en de natte depositie van gereduceerd stikstof (NH_x) zijn met elkaar vergeleken (Figuren 4.4 en 4.5). De ammoniakconcentraties zijn gebaseerd op het gemiddelde van zes meetstations en de natte depositie op dat van 15 meetstations. Uit de figuur blijkt duidelijk de omvang van het 'ammoniakgat' en dat dit gat zowel in NH_3 concentraties aanwezig is als in natte depositie. De ruimtelijke variatie in Nederland (niet getoond) wordt op jaarbasis goed verklaard: 90% voor zowel ammoniak (zes meetstations) als NH_x (15 meetstations)



Figuur 4.4 Gemodelleerde versus berekende ammoniakconcentratie (NH_3).



Figuur 4.5 Gemodelleerde versus berekende natte depositie van gereduceerd stikstof (NH_x).

4.3 Depositieschattingen uit doorvalmetingen

De zogenoemde doorval (Engels: throughfall) is de som van natte depositie en droge depositie uit de voorgaande droge periode, ten minste als de uitwisseling tussen depositie en het bladerdak verwaarloosd wordt. Voor ammoniak is deze aanname echter te grof, waardoor de depositie alsnog via een model moet worden uitgerekend. Dit gebeurt met een canopy exchange model, zoals dat bijvoorbeeld wordt beschreven door Erisman *et al.* (2001). In deze paragraaf zullen de resultaten van metingen, zoals die zijn gepubliceerd in de literatuur, vergeleken worden met gemodelleerde waarden uit deze studie.

Voor een dertigtal locaties in het Speulderbos bepaalde Draaijers (1993) de doorval van potentieel zuur (Tabel 4.1). Deze bedroeg 5566 mol per hectare per jaar (met een standaarddeviatie van 1409). De doorvalmetingen zijn gecorrigeerd voor uitwisseling met het bladerdak met een canopy exchange model. Recentere doorvalmetingen in Speuld uit 2002 (De Groot *et al.*, 2003) geven een potentieel zuurdepositie van 3665 mol per hectare per jaar. Ook voor andere locaties zijn meetresultaten gerapporteerd: Dwingelo, Hardenberg en Zeist. De doorvalmetingen beslaan de periode van 1995 tot 2002. De schattingen zijn voor geoxideerd zwavel hoger dan de OPS-berekeningen. De overeenkomst tussen de metingen en de berekeningen van geoxideerd stikstof en gereduceerd stikstof is – voor beide jaren – goed te noemen.

Tabel 4.1 Resultaten van doorvalmetingen en met OPS gemodelleerde deposities in Speuld in 1993 en 2002. De OPS-resultaten betreffen de overeenkomstige waardes van de 5 × 5 gridcel ¹⁾.

Component	1993		2002	
	Draaijers (1993)	Dit rapport	De Groot <i>et al.</i> (2003)	Dit rapport
	<i>mol/(ha.jaar)</i>			
Geoxideerd zwavel (SO _x)	1170	750	640	380
Geoxideerd stikstof (NO _y)	820	890	680	770
Gereduceerd stikstof (NH _x)	2360	2440	1710	1530
Totaal stikstof	3180	3330	2390	2300
Potentieel zuur	5570	4900	3670	3130

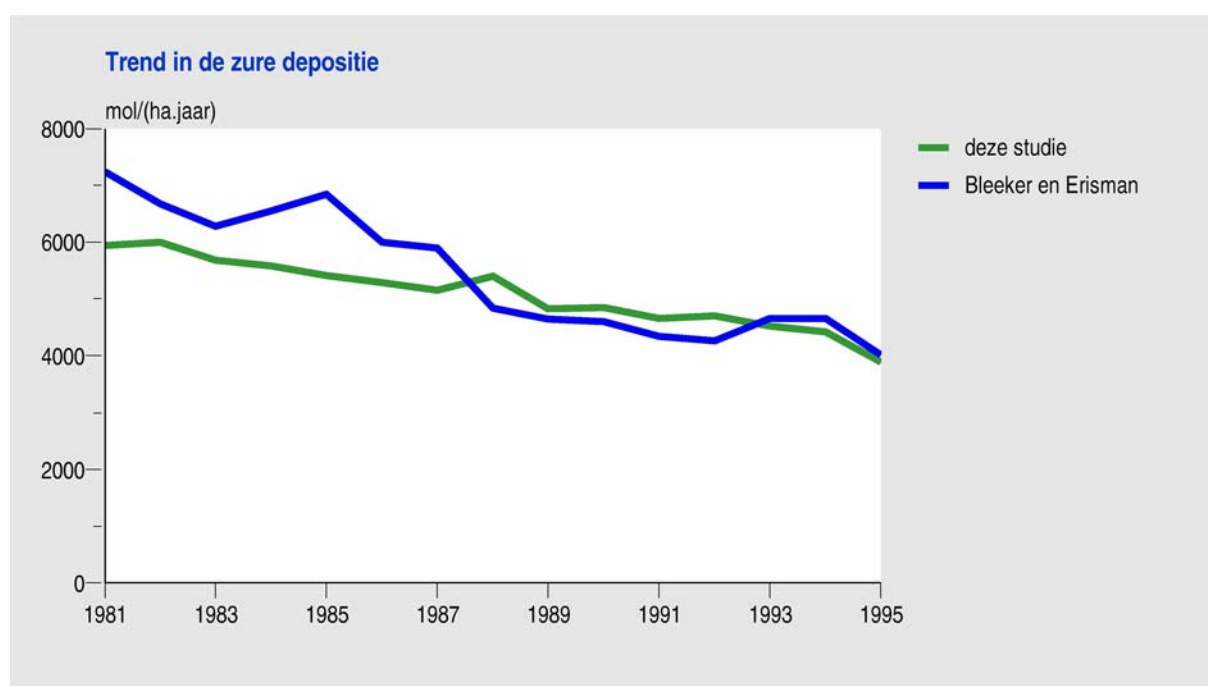
1) Gegevens afgerond op tientallen.

4.4 Eerdere berekeningen

In deze paragraaf worden de nieuw berekende deposities vergeleken met de eerdere berekeningen voor de periode 1980-1995, zoals die zijn gepresenteerd door Bleeker en Erisman (1996). Deze resultaten werden tot voor kort gebruikt in bijvoorbeeld de trendfiguur van de zure depositie in producten van het RIVM en later het MNP als de *Milieubalans* en het *Milieucompendium*. De gebruikte methode voor depositiebepaling was een combinatie van DEADM en OPS, zoals beschreven in paragraaf 2.1. De oude zowel als de nieuwe methode maken gebruik van dezelfde parameterisatie voor droge depositie.

Een belangrijk verschil is echter dat in de oude berekeningen een correctie voor de neutraliserende werking van basische kationen was opgenomen volgens een procedure beschreven in Erisman (1992). Deze correctie vond vooral plaats via de bijdrage van natte depositie van geoxideerd zwavel aan potentieel zuur. In de nieuwe berekeningsmethodiek wordt zo'n correctie niet meer toegepast. De reden hiervoor is dat deze correctie tegenwoordig, afhankelijk van het gebruiksdoel, al of niet wordt toegepast. Zo is de bijdrage van de basische kationen een onderdeel van de berekening van kritische deposities. Zou de bijdrage ook bij de depositie van potentieel zuur verrekend worden dan zou een dubbeltelling plaatsvinden.

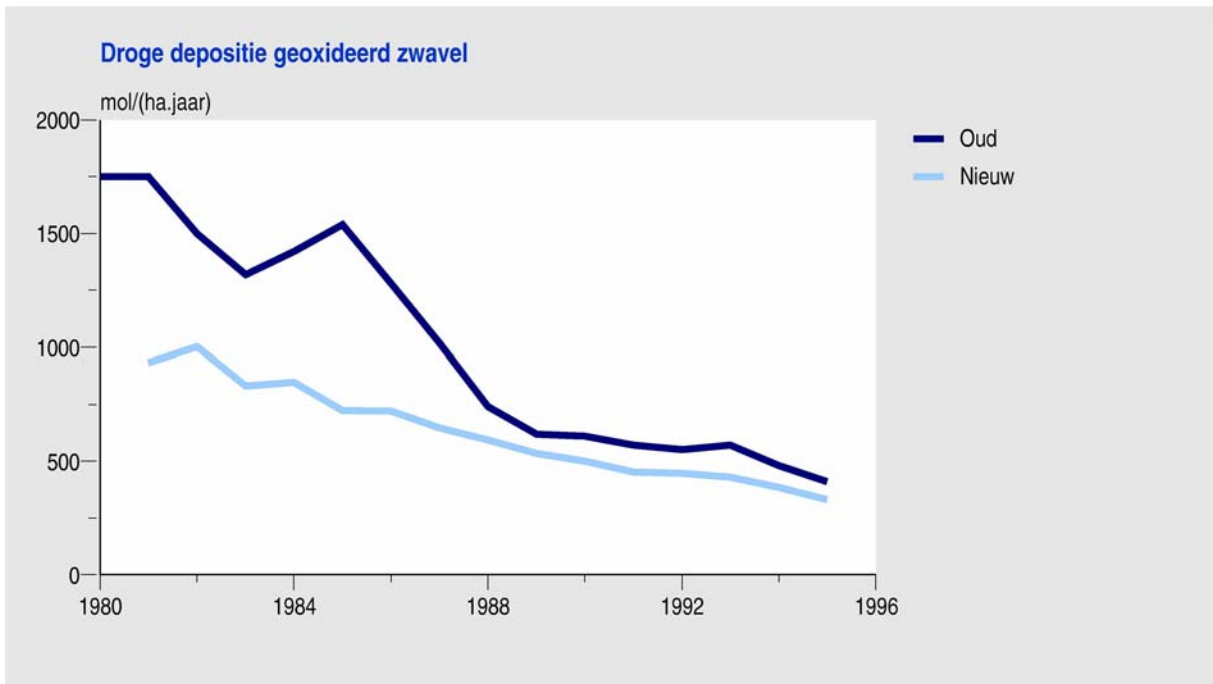
De opnieuw berekende potentieel zuurdepositie is tussen 1980 en 1987 10 tot 20% lager dan volgens de berekeningen van Bleeker en Erisman (1996) [Figuur 4.6]. In absolute aantallen is dit een verschil van soms meer dan 1000 mol per hectare per jaar. Voor de jaren 1988 tot 1993 liggen de verschillen juist andersom: De opnieuw berekende potentieel zuurdepositie is 5 tot 10% hoger dan in de oude berekeningen. Vanaf 1993 zijn de verschillen gering.



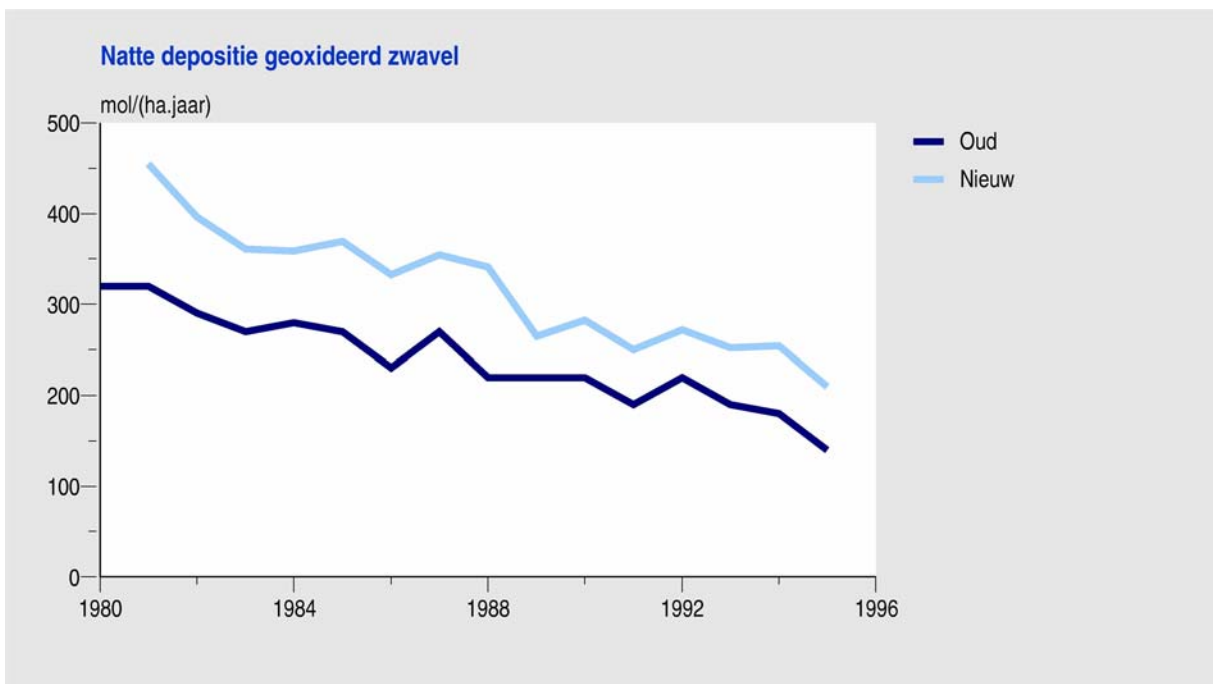
Figuur 4.6 De depositie van potentieelzuur volgens Bleeker en Erisman (1996) en volgens de huidige studie.

4.4.1 Geoxideerd zwavel

Het verschil in de periode tot 1987 is voornamelijk afkomstig van een destijds veel hogere (30 tot 50%) berekende droge depositie van geoxideerd zwavel (SO_x , Figuur 4.7). Het blijkt dat het OPS-model de zwaveldioxideconcentraties in deze periode 30% lager berekent dan er is gemeten. In de periode daarna is de onderschatting veel minder. We brengen hier ook de opmerkingen in paragraaf 4.2 over ruimtelijke emissieverdelingen en de invloed van droge depositiesnelheden in herinnering. Opvallend is dat de destijds berekende natte depositie voor de hele periode juist lager is (30 tot 40%) dan volgens de nieuwe berekeningen (Figuur 4.8). Dit is het gevolg van de impliciete basische kationencorrectie die vooral via de natte depositie van geoxideerd zwavel werd verrekend. De totale nieuw berekende depositie is in de periode 1980-1987 daarom 20 tot 40% lager dan volgens de oude berekeningen. Na 1987 zijn de nieuwe SO_x -depositieberekeningen nog slechts 5 tot 10% lager dan de oude.



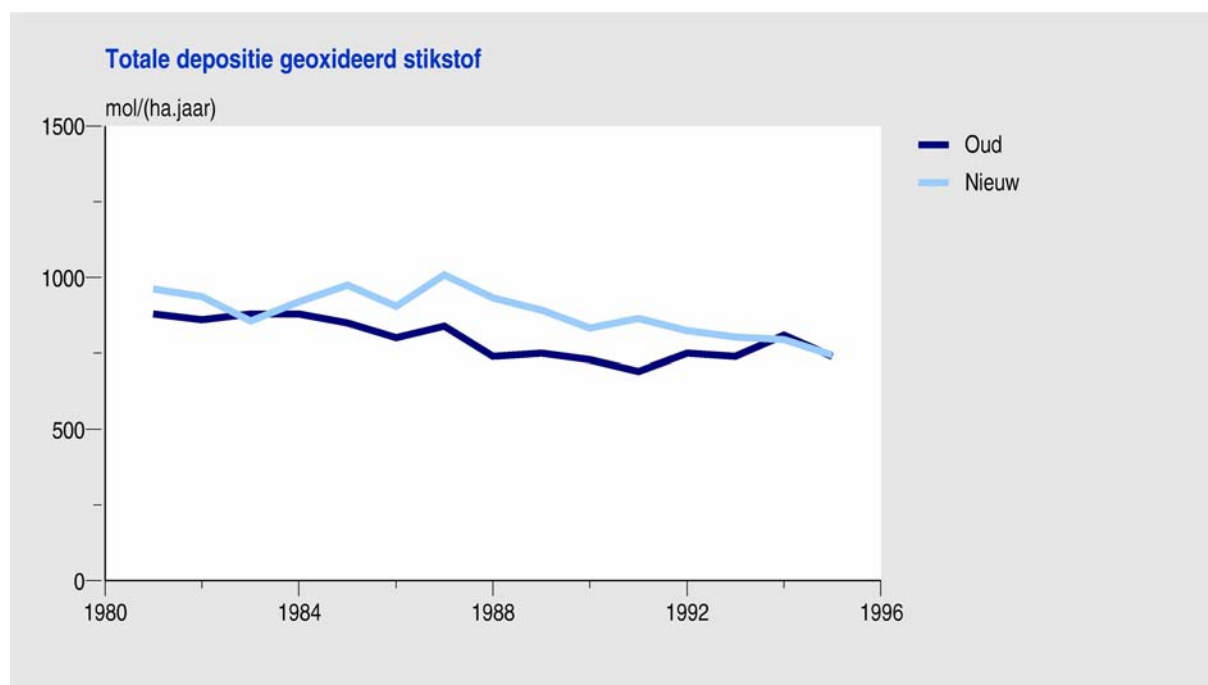
Figuur 4.7 Droge depositie van geoxideerd zwavel (SO_x) volgens de oude en de nieuwe methode.



Figuur 4.8 Natte depositie van geoxideerd zwavel (SO_x) volgens de oude en de nieuwe methode.

4.4.2 Geoxideerd stikstof

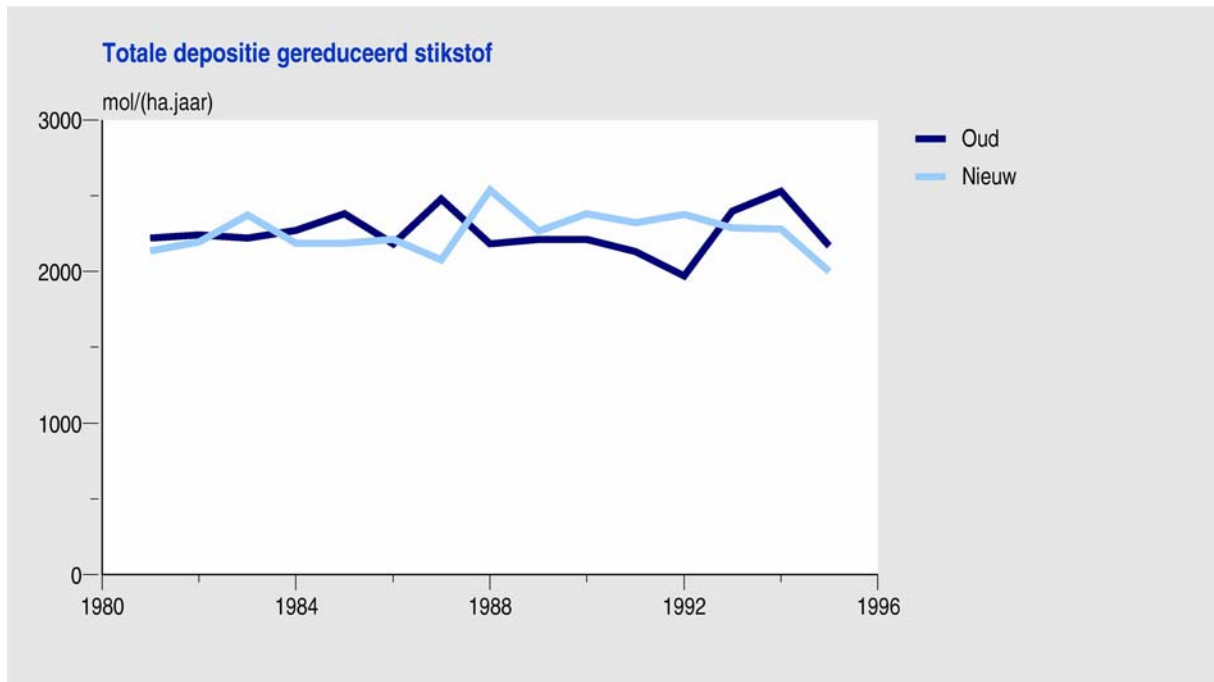
De natte deposities van geoxideerd stikstof (NO_y) in periode 1980-1995 zijn volgens de oude en nieuwe berekening weinig verschillend. De droge deposities daarentegen zijn volgens de nieuwe berekeningen wel hoger: 10 tot 20%, wat correspondeert met ongeveer 100 mol. De opnieuw berekende deposities zijn derhalve in deze periode ongeveer 10% hoger dan de oude berekeningen (Figuur 4.9).



Figuur 4.9 Totale depositie van geoxideerd stikstof (NO_y) volgens de oude en de nieuwe methode.

4.4.3 Gereduceerd stikstof

De berekeningen van de depositie van gereduceerd stikstof (NH_x) leveren voor de periode tot 1991 geen grote verschillen op (Figuur 4.10). Dit is opmerkelijk, omdat in de nieuwe berekeningen voor alle jaren een correctie voor het ammoniakgat is toegepast. Deze correctie bedraagt ongeveer 30%. In de oude berekeningen is de correctie niet toegepast. Een deel van de verklaring zit in het gebruik van verschillende modelversies. Volgens Van Jaarsveld (2004) geeft het nieuwe model een 12% lagere depositie bij gelijke emissies dan de versie gebruikt in de studie van Bleeker en Erisman (1996). De nieuwe depositieberekeningen laten na 1990 ongeveer 25% hogere waarden zien. Dit komt vooral, omdat emissiereducties ten gevolge van het onderwerpen van mest vanaf 1991 zijn bijgesteld door het invoeren van een verbeterde berekeningsmethodiek (Steenvoorden *et al.*, 1999).



Figuur 4.10 Totale depositie van gereduceerd stikstof (NH_x) volgens de oude en de nieuwe methode.

4.5 Onzekerheden in de huidige depositieschattingen

Een uitgebreide kwantificering van onzekerheden in modelresultaten is gegeven in van Jaarsveld (2004). Deze kwantificering is - waar mogelijk - gebaseerd op vergelijking met meetresultaten en op de schatting van onzekerheden in modelparameters. Via een systeem van foutenvoortplanting kan dan een uitspraak worden gedaan over de onzekerheden in modelresultaten die niet rechtstreeks met waarnemingen kunnen worden gecontroleerd. Wanneer de onzekerheidsschatting is gebaseerd op een vergelijking van modeluitkomsten met meetresultaten dan geldt de uitspraak in feite voor de gehele keten dus inclusief modelinvoer als emissie en emissieverdelingen.

Controleerbare modelresultaten zijn in dit geval de luchtconcentraties van verzurende gasvormige stoffen als zwaveldioxide, stikstofdioxide en ammoniak en lucht- en regenwater concentraties van secundair gevormde aerosolen als sulfaat, nitraat en ammonium. Niet direct verifieerbaar zijn de droge deposities van al deze stoffen; vooral omdat deze grootheden moeilijk tot zeer moeilijk te meten zijn. Het is dan ook niet verwonderlijk dat de onzekerheid in een uitspraak over zure depositie vooral bepaald wordt door de onzekerheid in de droge depositiesnelheid van de verschillende stoffen.

Tabel 4.2 toont het resultaat voor de deposities van geoxideerd zwavel, geoxideerd stikstof en gereduceerd stikstof. Hierbij wordt onderscheid gemaakt in de depositie op lokale schaal, bijvoorbeeld een ecosysteem in een 5×5 km cel en die op landelijke schaal, bijvoorbeeld de depositie op een ecosysteem dat verspreid ligt over Nederland zoals naaldbossen. Deze laatste is voor de huidige studie het meest relevant. Vooral de onzekere droge depositiesnelheid van ammoniak domineert de onzekerheid in de depositie van gereduceerd stikstof. Daarnaast is de aanwezigheid van het ammoniakgat een belangrijke factor.

Tabel 4.2 Geschatte onzekerheden (95% betrouwbaarheidsinterval) in de jaargemiddelde totale depositie.

Component	Lokaal ecosysteem	Nationaal verspreid ecosysteem
	%	
Geoxideerd zwavel (SO _x)	95	38
Geoxideerd stikstof (NO _y)	116	48
Gereduceerd stikstof (NH _x)	192	56

5. Conclusies

Dit rapport presenteert de resultaten van berekeningen van de depositie van verzurende en vermestende stoffen op Nederland. De berekeningen beslaan de periode 1981-2002 en zijn uitgevoerd op een ruimtelijke resolutie van 5×5 km. De resultaten vervangen de resultaten van eerdere berekeningen. Bij deze eerdere berekeningen is het Dutch Empirical Acid Deposition Model (DEADM) gebruikt. In de loop van de tijd zijn diverse correcties op DEADM aangebracht die echter door de jaren heen niet altijd consequent zijn uitgevoerd. Door deze veranderingen in methodiek zijn de gemodelleerde deposities van verschillende jaren niet altijd goed vergelijkbaar.

De depositie van potentieel zuur is in de periode 1981-2002 volgens de nieuwe berekeningen gehalveerd: van 6000 naar ruim 3000 mol potentieel zuur per ha per jaar. De doelstelling voor de depositie van verzurende stoffen is 2.300 mol zuur per hectare gemiddeld over de Nederlandse ecosystemen in 2010. De sterkste daling deed zich voor bij de depositie van geoxideerd zwavel (SO_x). Deze daalde tussen 1981 en 2002 met driekwart tot ongeveer 400 mol per ha per jaar. De depositie van geoxideerd stikstof (NO_y) nam met 30% af tot 700 mol per ha per jaar. Ook de depositie van gereduceerd stikstof (NH_x) nam met 30% af en wel tot 1500 mol per ha per jaar. Deze cijfers betekenen voor stikstof een daling van 3100 naar 2200 mol (- 30%).

De gemiddelde depositie van potentieel zuur op Nederland bedroeg in 2002 ongeveer 3000 mol per hectare. Dit is de gemiddelde waarde voor het landoppervlak van Nederland. Er bestaat echter ruimtelijk een aanzienlijke spreiding. De hoogste waarden - meer dan 5000 mol per hectare per jaar - komen voor in gebieden met intensieve veehouderij, vooral in de Peel en aangrenzende gebieden in Noord-Brabant. Plaatselijk komen ook hoge waarden voor in de Randstad door de invloed van lokale bronnen van stikstofoxiden. De laagste waarden - iets meer dan 1000 mol - zijn te vinden in het waddengebied. De gemiddelde depositie van stikstof op Nederland in 2002 bedraagt 2200 mol per hectare. Ook de stikstofdeposities vertonen lokaal grote verschillen. In gebieden met intensieve veehouderij, zoals de Peel en de Gelderse Vallei) kunnen deposities oplopen tot meer dan 4000 mol stikstof per hectare per jaar. Deze worden vooral veroorzaakt door de regionale hoge ammoniakuitstoot.

De depositie van potentieel zuur op Nederland in 2000 is voor ruim 40% afkomstig uit het buitenland en voor bijna 40% van de Nederlandse landbouw. Van de buitenlandse bijdragen zijn de bijdragen uit België, Duitsland, Engeland, Frankrijk en van de Noordzee relevant. De depositie van stikstof is voor ruim 30% afkomstig uit het buitenland en voor iets meer dan de helft afkomstig uit de Nederlandse landbouw. Ook de buitenlandse stikstofbijdrage komt vrijwel geheel uit België, Duitsland, Engeland, Frankrijk en van de Noordzee. Bijna 80% van de depositie van gereduceerd stikstof is afkomstig van Nederlandse bronnen. Het leeuwendeel (70%) komt voor rekening van de landbouw. Bij geoxideerd stikstof is verkeer de grootste bron met 29% op een totale Nederlandse bijdrage van 39%. Industrie, energie en raffinaderijen leveren de belangrijkste bijdrage aan de depositie van geoxideerd zwavel: 17% op een totale Nederlandse bijdrage van 26%.

De opnieuw berekende potentieel zuurdepositie is tussen 1980 en 1987 10 tot 20% lager dan volgens eerdere berekeningen. In absolute aantallen is dit een verschil van soms meer dan 1000 mol per hectare per jaar. Voor de jaren 1988 tot 1993 liggen de verschillen juist andersom: De opnieuw berekende potentieel zuurdepositie is 5 tot 10% hoger dan in de oude berekeningen. Vanaf 1993 zijn de verschillen gering.

De geschatte onzekerheden in de totale depositie bedragen gemiddeld voor ecosystemen in Nederland 40% voor geoxideerd zwavel (SO_x), 50% voor geoxideerd stikstof (NO_y) en 55% voor gereduceerd stikstof (NH_x).

Literatuur

- Abraham, J., Ciechanowicz-Kusztal, R., Drüeke, M., Jodłowska-Opyd, G., Kallweit, D., Keder, J., Kulaszka, W., Novák, J. (2001) Common Report on Air Quality in the Black Triangle Region 2000. CHMU, WIOS, LfUG, UBA. ISBN 80 85813 90 4.
- Asman, W.A.H. and Jaarsveld, J.A. van (1992) A variable-resolution transport model applied for NH_x for Europe. *Atmospheric Environment* 26A, 445-464.
- Beljaars, A.C.M. en Holtslag, A.A.M. (1990) A software library for the calculation of surface fluxes over land and sea. *Environmental Software* 5, 60-68.
- Bleeker, A. en Erisman, J.W. (1996) Depositie van verzurende componenten in Nederland in de periode 1980-1995. Rapportnr. 722108018. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven.
- Buijsman, E. (1990) De berekening van de natte, zure depositie: een vergelijking van een aantal berekeningswijzen. Rapportnr. 228703011. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven.
- Draaijers, G.P.J (1993) The variability of atmospheric deposition to forests. PhD Thesis, University of Utrecht, the Netherlands. ISBN 90 393 0351 7.
- Erisman, J.W. (1991) Acid deposition in the Netherlands. Rapportnr. 723001002. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven.
- Erisman, J.W. (1992) Atmospheric deposition of acidifying compounds in the Netherlands. Proefschrift, Rijksuniversiteit Utrecht.
- Erisman, J.W. (1997) Atmospheric input. Uit: Depositon and its effects on terrestrial ecosystems in the Netherlands. G.J. Heij and J.W. Erisman (eds). Elsevier Science B.V. ISBN 0 444 82037 X.
- Erisman, J.W. en Bleeker A. (1997) Emission, concentration and deposition of acidifying substances. Uit: Depositon and its effects on terrestrial ecosystems in the Netherlands. G.J. Heij and J.W. Erisman (eds). Elsevier science B.V. ISBN 0 444 82037 X.
- Erisman, J.W., Möls, J.J., Fonteijn, P.B., Bakker, F.P. (2001) Throughfall monitoring at 4 sites in the Netherlands between 1995 and 2000. ECN-C—01-041, ECN Petten, the Netherlands.
- Groot, G.J. de, Möls, J.J., Fonteijn, P.B., Bakker, F.P., en Groot, T.T. (2003) Throughfall monitoring at 4 sites in the Netherlands for 2002. ECN-C-003-115, ECN Petten the Netherlands.
- Gijlswijk, R van, P. Coenen, T. Pulles en J. van der Sluijs (2004) Uncertainty of NO_x , SO_2 and NH_3 emissions in the Netherlands. TNO report R 2004/100, TNO Environment, Energy and Process Innovation, Apeldoorn, Nederland.
- Hoek, K.W. van der (2002) Uitgangspunten voor de mest- en ammoniakberekeningen 1999 tot en met 2001 zoals gebruikt in de Milieubalans 2001 en 2002, inclusief dataset landbouwemissies 1980-2001. Rapportnr. 773004013, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven.
- Jaarsveld, J.A. van (1995) Modelling the long-term behaviour of pollutants on various spatial scales. Proefschrift, Rijksuniversiteit Utrecht. ISBN 90 393 0950 7.
- Jaarsveld, J.A. van, Bleeker, A., Hoogervorst, N.J.P. (2000) Evaluatie ammoniak emissiereducties met behulp van metingen en modelberekeningen. Rapportnr. 722108025, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven.

- Jaarsveld, J.A. van (2004) The Operational Priority Substances model. Description and validation of OPS-Pro 4.1. Rapportnr. 500045001, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven.
- Jaarsveld, J.A. van, en Pul, W.A.J. van (2004) Berekende ammoniakconcentraties in Nederland vergeleken met resultaten van het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit en intensiveringsmetingen Rapportnr. 725501006, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven.
- Odèn, S. 1968. The acidification of air and precipitation and its consequences on the natural environment. Ecology Committee Bulletin no. 1. Swedish National Science Research Council, Stockholm.
- Pul, A. van, Jaarsveld, H. van, Meulen, T. van der, en Velders, G. (2004) Ammonia concentrations in the Netherland: spatially detailed measurements and model calculations. *Atmospheric Environment* 38, 4045-4055.
- Rendell, A.R., Ottley, C.J., Jickells, T.D., Harrison, R.M. (1993) The atmospheric input of nitrogen species to the North Sea. *Tellus B* 45, 53.
- RIVM (1986) Luchtkwaliteit, jaarverslag 1984 en 1985. Rapportnr. 228216052, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne, Bilthoven.
- RIVM (2002) Jaaroverzicht Luchtkwaliteit 2001. Rapportnr. 725301009, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven.
- Steenvoorden, J.H.A.M., Bruins, W.J., Eerdt, M.M. van, Hoogeveen, M.W., Hoogervorst, N., Huijsmans, J.F.M., Leneman, H., Meer, H.G. van der, Montney, G.J. en Ruiter, F.J. de (1999) Monitoring van nationale ammoniakemissies uit de landbouw, op weg naar een verbeterde rekenmethodiek. DLO, Wageningen, Reeks Milieuplanbureau no. 6.
- Velders, G.J.M., Waal, E.S. de, Jaarsveld, J.A. van, Ruiter, J.F. de. 2003. The RIVM-MNP contribution to the evaluation of the EMEP Unified (Eulerian) model. Rapportnr. 500037002, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven.
- UNECE (2003) Present state of emission data, EB.AIR/GE.1/2004/10.(WEBDAB 2002) <http://webdab.emep.int>.

Bijlage A Emissies 1980-2000 (2001, 2002)

Tabel A1.1 Emissies van zwaveldioxide (SO₂), 1980-1990.

	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
	<i>kton/ jaar</i>										
FRG	3231	3006	2812	2586	2488	2320	2078	1805	1401	1159	851
France	3249	2554	2442	2009	1791	1493	1364	1349	1241	1401	1341
Italy	3757	3330	2850	2463	2114	1901	1929	2029	1963	1854	1651
Netherlands	490	464	404	323	299	258	264	263	250	204	202
Belgium	828	712	694	560	500	400	377	367	354	325	357
Luxembourg	24	21	17	14	15	16	16	16	15	15	15
UK	4859	4401	4190	3851	3702	3720	3880	3875	3812	3698	3721
Ireland	222	192	158	142	142	140	162	174	152	162	186
Denmark	452	370	379	323	306	340	288	255	250	197	181
Iceland	18	18	18	18	19	18	18	16	18	17	24
Greece	400	420	440	460	480	500	483	487	492	496	479
Spain	3013	2937	2902	2920	2671	2526	2396	2262	1900	2247	2167
Portugal	266	279	293	306	252	198	234	218	204	282	359
Norway	137	128	111	104	96	98	91	73	68	58	53
Sweden	491	431	371	305	296	266	272	228	224	160	111
Finland	584	534	484	372	368	382	331	328	302	244	260
Russian Fed.	7515	7302	7444	7287	6855	6542	6072	5998	5525	5015	4863
Estonia	287	280	274	267	261	254	256	255	254	254	252
Latvia	119	119	119	119	119	119	119	119	119	119	119
Lithuania	311	312	304	310	303	304	316	316	300	298	222
Beylorussia	740	730	710	710	690	690	690	761	720	668	637
Poland	4100	4140	4180	4220	4260	4300	4200	4200	4180	3910	3210
Chechoslovakia	3037	3088	3100	3018	2951	2890	2781	2778	2655	2571	2418
Austria	385	334	316	237	212	190	171	153	115	102	91
Switzerland	116	108	100	92	84	76	68	62	56	49	42
Hungary	1633	1580	1545	1480	1440	1404	1362	1285	1218	1102	1010
Ukraine	3849	3492	3427	3498	3470	3463	3393	3264	3211	3073	3782
Moldavia	308	305	287	284	270	282	297	317	273	238	265
Romania	1055	1095	1104	1229	1223	1255	1293	1305	1469	1517	1311
Bulgaria	2050	2103	2156	2209	2261	2314	2367	2420	2228	2180	2008
Yugoslavia	1375	1400	1406	1458	1453	1469	1470	1462	1471	1479	1469
Turkey	1030	1043	1062	1125	1186	1345	1500	1432	1269	1566	1590
Cyprus	28	28	33	30	33	35	38	39	42	42	46
Armenia	141	111	101	110	97	100	111	111	104	63	72
Georgia	230	242	250	267	267	273	255	258	255	249	248
Albania	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
DDR	4283	4435	4628	4760	5145	5412	5563	5591	5086	5006	4470
Totaal	54685	52117	51183	49539	48190	47365	46579	45943	43268	42092	40155

Tabel A1.2 Emissies van zwaveldioxide (SO₂), 1991-2000.

	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
	<i>kton/jaar</i>									
FRG	743	701	701	653	578	407	327	261	241	241
France	1450	1275	1110	1054	995	970	824	862	735	659
Italy	1539	1394	1333	1271	1322	1250	1075	1039	923	923
Netherlands	173	172	164	146	141	135	118	108	103	91
Belgium	330	315	294	252	245	240	219	212	181	181
Luxembourg	15	15	15	13	9	8	6	4	4	3
UK	3534	3462	3115	2676	2363	2025	1665	1588	1210	1165
Ireland	180	172	161	175	161	147	166	176	157	131
Denmark	239	186	153	157	149	179	110	75	55	28
Iceland	23	24	25	24	24	24	25	27	27	27
Greece	520	534	533	505	528	518	511	518	531	531
Spain	2161	2127	1998	1952	1808	1577	1716	1601	1621	1535
Portugal	346	409	360	339	366	323	341	375	375	375
Norway	44	36	35	35	34	33	30	30	28	26
Sweden	102	89	80	81	69	74	66	63	54	58
Finland	194	141	123	114	96	105	99	90	87	74
Russian Fed.	4795	4214	3809	3292	3125	2928	2674	2426	2211	2146
Estonia	246	187	154	149	119	125	119	110	103	95
Latvia	90	79	74	86	59	59	44	40	31	18
Lithuania	234	139	125	117	94	93	77	94	70	43
Beylorussia	652	458	382	324	275	246	209	190	164	143
Poland	2995	2820	2725	2605	2376	2368	2181	1897	1719	1511
Czechoslovakia	2221	1918	1744	1508	1330	1173	903	622	440	385
Austria	82	63	60	56	54	53	51	46	41	41
Switzerland	41	38	34	31	34	30	26	28	26	19
Hungary	913	827	757	741	705	673	659	592	590	485
Ukraine	2538	2376	2194	1715	1639	1293	1132	1023	1029	1002
Moldavia	260	168	156	109	64	67	36	32	12	12
Romania	1041	951	928	912	912	912	912	912	912	912
Bulgaria	1665	1115	1426	1480	1476	1420	1365	1251	943	982
Yugoslavia	1319	1274	1283	1275	1242	1197	1217	1319	1135	1159
Turkey	1666	1647	1593	1817	1772	1929	1990	2118	2104	2112
Cyprus	33	39	43	42	41	45	47	49	50	50
Armenia	60	44	6	4	3	2	0	3	1	8
Georgia	194	135	71	47	20	30	33	20	9	9
Albania	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
DDR	3253	2606	2244	1820	1416	998	800	638	590	590
Totaal	35962	32224	30079	27649	25714	23730	21844	20510	18582	17841

Tabel A2.1 Emissies van stikstofoxiden (NO_x), 1980-1990.

	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
	<i>kton/ jaar</i>										
FRG	2834	2764	2723	2750	2783	2752	2741	2755	2637	2439	2192
France	2011	1906	1890	1871	1862	1834	1796	1823	1833	1890	1899
Italy	1638	1604	1605	1583	1596	1614	1690	1811	1854	1917	1938
Netherlands	583	575	562	555	573	589	587	599	602	584	574
Belgium	442	419	395	372	348	325	317	338	345	357	321
Luxembourg	23	22	22	21	21	21	20	20	21	22	23
UK	2580	2497	2486	2498	2458	2540	2624	2736	2791	2791	2763
Ireland	73	86	86	85	84	91	100	115	122	127	118
Denmark	273	243	264	257	270	295	315	308	300	283	277
Iceland	21	21	21	22	22	21	22	24	25	25	26
Greece	306	306	306	306	306	306	313	320	304	308	311
Spain	1138	1043	1033	1056	1069	1038	1062	1121	1156	1257	1279
Portugal	166	175	183	192	144	96	110	116	122	220	317
Norway	194	178	182	187	201	213	228	234	224	229	227
Sweden	404	417	412	401	411	426	432	437	432	418	349
Finland	295	276	271	261	257	275	277	288	293	301	300
Russian Fed.	1830	2011	2098	2072	1975	1999	1967	3507	3383	3431	3696
Estonia	70	70	70	70	70	70	70	70	70	69	68
Latvia	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92
Lithuania	152	154	156	158	162	166	169	171	172	173	158
Beylorussia	234	235	235	237	240	238	258	263	262	263	285
Poland	1229	1283	1337	1392	1446	1500	1510	1530	1550	1480	1280
Czechoslovakia	1134	1016	1015	1027	1041	1028	1023	1013	1070	1147	957
Austria	227	220	218	215	214	216	212	208	201	193	202
Switzerland	170	172	174	175	177	179	176	174	172	169	154
Liechtenstein	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hungary	273	270	268	266	264	263	264	265	258	247	238
Ukraine	1145	1145	1153	1153	1102	1059	1112	1094	1090	1065	1097
Moldavia	58	57	50	42	44	66	72	71	74	70	100
Romania	523	528	516	542	546	542	559	580	590	579	546
Bulgaria	416	416	416	416	416	416	416	416	415	411	361
Yugoslavia	268	275	278	282	291	295	303	306	314	315	327
Turkey	364	377	408	433	459	483	528	570	571	609	644
Cyprus	13	13	14	14	14	14	15	16	17	17	18
Armenia	15	15	17	17	16	45	53	52	56	51	46
Georgia	121	126	130	138	137	140	134	134	135	131	130
Albania	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
DDR	500	495	496	508	522	524	545	572	571	550	514
Totaal	21841	21527	21607	21690	21658	21795	22137	24173	24147	24256	23849

Tabel A2.2 Emissies van stikstofoxiden (NO_x), 1991-2000.

	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
	<i>kton/ jaar</i>									
FRG	2029	1884	1799	1683	1633	1558	1478	1418	1359	1359
France	1963	1918	1797	1746	1709	1686	1611	1584	1515	1432
Italy	1984	2010	1990	1789	1768	1744	1662	1594	1485	1485
Netherlands	568	556	535	510	484	501	453	429	422	421
Belgium	326	334	330	333	325	315	306	312	289	289
Luxembourg	24	24	25	23	21	22	18	17	16	17
UK	2637	2558	2361	2263	2088	2014	1844	1732	1604	1512
Ireland	120	130	119	115	115	120	119	122	119	125
Denmark	320	274	274	278	261	306	266	240	221	207
Iceland	27	28	29	29	28	30	29	28	28	28
Greece	310	304	306	312	309	318	326	351	340	340
Spain	1379	1354	1312	1344	1355	1298	1330	1325	1379	1419
Portugal	333	354	342	345	358	354	361	369	369	369
Norway	215	214	223	222	223	232	235	237	240	223
Sweden	340	328	319	334	309	309	291	277	267	247
Finland	290	284	282	282	258	268	260	252	247	236
Russian Fed.	3531	3208	3137	2746	2649	2547	2459	2568	2572	2435
Estonia	63	39	38	41	42	44	45	46	40	41
Latvia	74	63	57	48	42	35	45	42	36	34
Lithuania	166	98	78	77	65	65	57	60	54	48
Beylorussia	281	224	207	203	195	173	189	164	142	135
Poland	1205	1130	1120	1105	1120	1154	1114	991	951	838
Czechoslovakia	919	879	748	600	586	564	548	543	508	504
Austria	205	197	191	194	183	181	185	182	182	184
Switzerland	146	138	129	124	120	113	107	104	99	96
Liechtenstein	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hungary	203	183	184	187	190	196	200	203	201	187
Ukraine	989	830	700	568	531	467	455	447	438	354
Moldavia	97	67	53	46	38	38	37	22	17	17
Romania	464	357	318	319	319	319	319	319	319	319
Bulgaria	256	230	242	230	266	259	225	223	202	184
Yugoslavia	290	274	287	294	302	306	296	301	287	291
Turkey	649	667	748	731	800	873	879	863	952	951
Cyprus	16	19	20	20	19	21	21	22	22	23
Armenia	40	22	12	12	15	11	15	11	11	10
Georgia	113	48	33	21	27	50	55	42	30	30
Albania	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
DDR	464	419	390	355	334	319	303	291	278	278
Totaal	23060	21672	20758	19554	19112	18833	18164	17753	17263	16691

Tabel A3.1 Emissies van ammoniak (NH₃), 1980-1990.

	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
	<i>kton/ jaar</i>										
FRG	668	657	654	673	682	686	677	676	668	658	612
Belgium	89	89	89	89	89	89	93	96	100	103	107
France	777	786	789	793	780	780	787	784	765	768	763
Luxembourg	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
UK	341	341	341	341	341	341	341	341	341	341	341
Denmark	125	123	120	119	115	137	138	134	131	132	132
DDR	167	164	163	168	171	171	169	169	167	165	153
Poland	550	550	550	550	550	550	550	550	550	550	512
Czechoslovakia	219	219	219	219	219	219	219	219	219	219	219
USSR	2406	2411	2434	2467	2471	2465	2510	2500	2490	2474	2403
Spain	396	383	409	411	417	420	435	474	475	487	472
Ireland	112	112	112	112	112	112	112	112	112	112	112
Sweden	54	54	54	54	54	54	54	54	54	53	51
Italy	479	475	464	504	481	487	495	497	499	481	466
Hungary	157	156	154	153	151	150	170	150	160	170	124
Switzerland	77	73	69	64	60	74	73	73	72	72	72
Austria	78	79	79	81	82	81	81	80	79	80	80
Norway	23	23	23	23	23	23	23	23	21	23	23
Finland	39	40	41	41	42	43	41	45	43	40	38
Yugoslavia	199	199	199	199	199	199	199	199	199	199	199
Romania	340	332	327	311	359	343	350	329	339	341	300
Portugal	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105
Bulgaria	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
Greece	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79
Turkey	321	321	321	321	321	321	321	321	321	321	321
Iceland	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Albania	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
Totaal	7987	7958	7982	8063	8089	8116	8208	8197	8176	8159	7870

Tabel A3.2 Emissies van ammoniak (NH₃), 1991-2000.

	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
	<i>kton/ jaar</i>									
FRG	538	519	510	511	508	508	500	506	499	499
Belgium	93	93	97	96	97	99	99	102	100	100
France	764	752	745	750	758	771	778	787	784	788
Luxembourg	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
UK	343	327	327	328	318	321	325	319	316	297
Denmark	128	126	123	119	112	108	108	109	104	101
DDR	135	130	128	128	127	127	125	126	125	125
Poland	443	420	382	384	380	364	350	371	341	322
Czechoslovakia	190	162	141	130	126	119	117	112	105	104
USSR	2370	2271	2064	1927	1934	1852	1825	1769	1742	1731
Spain	468	468	448	470	467	517	502	488	473	458
Ireland	115	117	117	119	120	122	123	127	127	122
Sweden	51	61	61	61	61	61	59	57	55	56
Italy	451	440	449	459	461	430	443	438	448	448
Hungary	93	84	77	76	77	78	76	74	71	71
Switzerland	71	71	71	70	69	69	69	68	68	68
Austria	79	76	76	76	74	73	72	72	70	68
Norway	23	25	25	25	26	26	26	26	25	25
Finland	40	41	39	37	35	35	38	38	35	33
Yugoslavia	193	189	187	184	185	183	180	181	182	181
Romania	267	255	223	221	221	221	221	221	221	221
Portugal	100	107	99	93	102	99	101	103	103	103
Bulgaria	124	111	109	101	99	83	77	66	60	56
Greece	78	75	75	73	85	73	71	74	73	73
Turkey	321	321	321	321	321	321	321	321	321	321
Iceland	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Albania	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
Totaal	7521	7283	6936	6800	6805	6703	6648	6598	6493	6415

Tabel A4.1 Emissie van zwaveldioxide (SO₂) in Nederland, 1980-2002. Bron: Emissie-explorer (MB2002, MB2003).

Doelgroep	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991
	<i>kton/jaar</i>											
Industrie, energie en AVI	432	416	357	279	260	223	225	223	211	175	168	139
Verkeer	32	31	30	29	27	26	27	28	28	29	29	29
Landbouw	5	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
Consumenten	7	4	6	5	2	2	2	2	1	1	1	1
HDO + bouw	6	6	6	6	6	6	6	6	3	2	3	2
Totaal	481	460	399	319	295	258	260	259	244	208	202	172
	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	
	<i>kton/jaar</i>											
Industrie, energie en AVI	137	127	110	108	103	92	82	77	65	65	62	
Verkeer	29	29	30	30	27	23	23	24	24	21	21	
Landbouw	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
Consumenten	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
HDO + bouw	3	4	4	2	2	2	2	2	2	1	1	
Totaal	171	163	144	141	132	118	108	103	92	89	85	

Tabel A4.2 Emissie van stikstofoxiden (NO_x) in Nederland, 1980-2002. Bron: Emissie-explorer (MB2002, MB2003).

Doelgroep	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991
	<i>kton/ jaar</i>											
Industrie, energie en AVI	187	186	179	175	191	197	198	202	196	184	182	171
Verkeer	358	357	356	355	355	354	352	351	349	347	346	336
Landbouw	8	7	6	6	5	6	6	8	8	7	10	10
Consumenten	28	26	23	24	22	26	22	22	19	19	21	23
HDO + bouw	15	14	14	14	15	15	15	15	14	14	11	10
Totaal	596	591	579	575	589	598	593	598	586	572	570	551
	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	
	<i>kton/ jaar</i>											
Industrie, energie en AVI	172	161	147	142	134	122	109	111	100	103	95	
Verkeer	327	317	307	298	296	300	282	276	268	261	273	
Landbouw	10	10	10	13	10	9	9	12	12	12	12	
Consumenten	21	22	21	22	26	22	20	20	20	21	20	
HDO + bouw	10	12	9	12	11	8	8	11	12	13	15	
Totaal	539	523	495	486	477	460	429	429	413	410	414	

Tabel A4.3 Emissies van ammoniak (NH₃) in Nederland, 1980-2002. Bron: Emissie-explorer (MB2002, MB2003).

	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991
	<i>kton/ jaar</i>											
Industrie, energie en AVI	8	8	8	8	8	8	7	7	6	5	5	5
Verkeer	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Landbouw	220	226	229	230	233	242	246	247	225	221	223	250
Consumenten	9	9	9	9	9	9	9	8	8	7	6	7
HDO + bouw	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Totaal	237	243	247	248	250	260	263	262	239	234	235	263
	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	
	<i>kton/ jaar</i>											
Industrie, energie en AVI	5	4	5	4	4	4	3	3	3	3	3	
Verkeer	1	1	2	2	2	2	2	3	3	3	3	
Landbouw	220	220	200	179	177	175	159	153	139	129	123	
Consumenten	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	
HDO + bouw	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Totaal	233	233	213	192	191	189	173	167	152	142	136	

Bijlage B Deposities, 1980-2000 (2001, 2002)

Tabel B.1 Gemiddelde depositie in Nederland, 1981 – 2002.

Inclusief achtergrondbijdrage en correctie voor het ammoniakgat; berekend met actuele meteorologie.

Jaar	Geoxideerd zwavel (SO _x)			Geoxideerd stikstof (NO _y)			Gereduceerd stikstof (NH _x)			Stikstof (N)			Potentieel zuur		
	droog	nat	totaal	droog	nat	totaal	droog	nat	totaal	droog	nat	totaal	droog	nat	totaal
	<i>mol/(ha.jaar)</i>									<i>zuureq/ha.jaar</i>					
1981	930	450	1390	590	370	960	1360	770	2130	1950	1140	3100	3850	2090	5940
1982	1000	400	1400	610	330	940	1470	730	2200	2080	1060	3130	4120	1880	6000
1983	830	360	1190	540	320	860	1530	840	2370	2070	1160	3230	3770	1910	5680
1984	850	360	1210	590	330	920	1440	750	2190	2030	1070	3110	3760	1820	5580
1985	720	370	1090	600	370	970	1280	910	2190	1880	1280	3160	3360	2050	5410
1986	720	330	1050	570	340	910	1450	760	2210	2020	1100	3120	3490	1800	5290
1987	650	350	1000	610	400	1010	1230	840	2080	1840	1250	3080	3170	1990	5160
1988	590	340	930	560	370	930	1680	860	2540	2230	1240	3470	3450	1950	5400
1989	530	260	800	590	300	890	1600	670	2270	2190	970	3160	3290	1530	4820
1990	500	280	780	520	310	830	1610	770	2380	2140	1070	3210	3170	1670	4850
1991	450	250	700	560	310	860	1580	740	2320	2140	1050	3190	3080	1580	4660
1992	450	270	720	510	310	820	1630	740	2380	2140	1060	3200	3070	1630	4700
1993	430	250	680	500	310	800	1570	720	2290	2070	1030	3090	2960	1560	4520
1994	380	250	640	480	310	790	1530	750	2280	2010	1060	3070	2820	1600	4420
1995	330	210	540	460	280	740	1430	570	2000	1890	860	2750	2580	1310	3890
1996	330	170	500	480	240	730	1190	500	1690	1670	740	2420	2360	1110	3470
1997	280	170	450	450	240	690	1340	540	1890	1800	780	2580	2390	1160	3550
1998	280	220	500	430	310	740	1210	690	1900	1640	1000	2640	2230	1470	3700
1999	240	190	430	450	310	760	1280	600	1890	1730	920	2650	2250	1320	3560
2000	230	180	410	410	280	690	1170	590	1750	1580	870	2440	2070	1270	3340
2001	210	180	390	430	280	710	1030	610	1640	1460	890	2350	1900	1290	3190
2002	210	180	390	430	270	710	980	510	1500	1410	790	2200	1860	1170	3040

Tabel B2.1 Herkomst van geoxideerde zwaveldepositie (SO_x) en -concentraties (SO_2 , SO_4), 1981-2002. Exclusief achtergrondbijdrage.

	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991
SO_x-depositie	<i>mol/ (ha.jaar)</i>										
Nederland droog	265	247	206	185	170	172	161	162	131	139	114
Nederland nat	75	59	51	48	46	43	51	52	34	39	32
Buitenland droog	39	34	39	35	38	38	36	41	36	36	33
Buitenland nat	15	12	13	13	15	14	16	17	14	16	16
Noordzee droog	616	711	575	616	504	499	440	378	355	314	294
Noordzee nat	322	283	255	256	266	233	245	230	174	185	160
Totaal droog	921	991	819	835	711	710	636	581	522	489	441
Totaal nat	413	354	319	317	327	290	312	299	223	241	208
Totaal	1333	1346	1138	1152	1038	1000	949	880	744	730	648
SO_2-concentratie	<i>$\mu g/m^3$</i>										
Nederland	4,2	4,0	3,2	2,9	2,8	2,8	2,8	2,4	2,3	2,3	2,1
Buitenland	10,7	12,9	10,4	10,8	9,7	9,4	9,0	6,2	6,5	5,1	5,8
Noordzee	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,6	0,7	0,7	0,7	0,6
Totaal	15,5	17,5	14,2	14,3	13,2	12,8	12,4	9,2	9,5	8,1	8,5
SO_4-concentratie	<i>$\mu g/m^3$</i>										
Nederland	0,6	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3
Buitenland	8,4	9,8	6,8	8,5	8,6	7,5	8,6	5,1	6,8	5,1	6,2
Noordzee	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Totaal	9,3	10,6	7,4	9,1	9,3	8,2	9,4	5,7	7,4	5,7	6,8
	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
SO_x-depositie	<i>mol/ (ha.jaar)</i>										
Nederland droog	125	119	111	99	85	77	83	75	68	59	52
Nederland nat	39	37	39	32	23	25	36	31	28	28	24
Buitenland droog	275	267	226	185	198	159	145	118	116	101	114
Buitenland nat	174	157	155	119	92	89	120	91	92	91	91
Noordzee droog	35	33	35	34	31	32	37	35	35	33	31
Noordzee nat	17	16	19	17	12	15	21	20	20	22	20
Totaal droog	434	419	372	318	314	267	265	228	219	193	196
Totaal nat	230	210	212	168	127	129	177	143	141	141	135
Totaal	664	629	585	486	441	396	442	371	360	334	331
SO_2-concentratie	<i>$\mu g/m^3$</i>										
Nederland	2,0	1,8	1,7	1,6	1,5	1,2	1,1	1,1	1,0	0,9	0,8
Buitenland	4,8	4,1	3,6	3,0	3,7	2,7	2,0	1,7	1,7	1,6	1,9
Noordzee	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Totaal	7,3	6,4	5,8	5,1	5,8	4,5	3,6	3,4	3,2	3,0	3,2
SO_4-concentratie	<i>$\mu g/m^3$</i>										
Nederland	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Buitenland	4,7	4,5	3,7	3,0	3,6	2,6	1,7	1,5	1,3	1,7	1,6
Noordzee	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Totaal	5,2	5,0	4,2	3,5	4,1	3,0	2,1	1,8	1,7	2,0	2,0

Tabel B2.2 Herkomst van geoxideerde stikstofdepositie (NO_y) en -concentraties (NO_x , NO_3), 1981-2002. Exclusief achtergrondbijdrage.

	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991
NO_y-depositie	<i>mol/ (ha.jaar)</i>										
Nederland droog	270	258	230	254	277	248	274	251	274	237	262
Nederland nat	80	63	62	69	81	67	96	79	64	62	66
Noordzee droog	39	35	37	34	38	39	39	40	40	38	36
Noordzee nat	31	26	25	24	29	28	32	31	25	28	29
Buitenland droog	267	300	256	293	274	266	281	255	265	237	245
Buitenland nat	226	205	196	199	226	209	238	227	175	182	177
Totaal droog	575	593	524	580	589	553	594	546	579	512	544
Totaal nat	337	294	284	291	337	303	366	338	264	272	272
Totaal	913	887	808	871	925	856	959	884	843	784	816
NO_x-concentratie	<i>ppb</i>										
Nederland	17,4	16,3	14,1	15,9	18,8	15,3	18,5	14,9	18,2	15,2	18,9
Noordzee	1,4	1,2	1,3	1,2	1,4	1,3	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3
Buitenland	10,0	11,3	9,7	11,7	10,9	9,2	11,4	9,2	10,2	8,3	10,3
Totaal	28,9	28,7	25,0	28,8	31,1	25,8	31,3	25,6	29,9	24,8	30,5
NO_3-concentratie	<i>$\mu g/m^3$</i>										
Nederland	2,4	2,4	1,8	2,1	2,8	2,2	2,6	2,0	2,8	2,2	2,9
Noordzee	0,5	0,5	0,4	0,4	0,6	0,6	0,5	0,5	0,6	0,5	0,5
Buitenland	4,8	5,8	4,3	5,2	5,3	4,9	5,6	4,1	5,6	4,2	5,3
Totaal	7,8	8,6	6,5	7,7	8,6	7,7	8,7	6,6	9,0	6,9	8,7
	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
NO_y-depositie	<i>mol/ (ha.jaar)</i>										
Nederland droog	228	222	211	213	216	206	189	210	187	205	197
Nederland nat	64	65	67	59	49	48	61	71	60	61	59
Noordzee droog	232	229	218	200	221	202	192	187	174	174	189
Noordzee nat	186	177	179	160	138	135	179	169	152	155	150
Buitenland droog	37	34	38	35	32	33	38	41	38	37	34
Buitenland nat	28	28	32	28	22	22	30	35	31	31	27
Totaal droog	497	486	467	448	469	441	419	438	399	415	420
Totaal nat	278	269	277	248	209	204	270	275	242	247	237
Totaal	775	755	745	696	678	645	689	713	641	662	657
NO_x-concentratie	<i>ppb</i>										
Nederland	14,5	14,0	13,1	13,4	13,8	13,2	10,7	10,8	10,5	12,5	12,0
Noordzee	1,3	1,2	1,3	1,2	1,1	1,2	1,3	1,2	1,3	1,3	1,2
Buitenland	8,4	8,6	7,7	7,3	7,8	7,4	6,6	5,4	5,9	6,3	6,7
Totaal	24,1	23,7	22,1	21,9	22,8	21,8	18,6	17,5	17,7	20,1	19,9
NO_3-concentratie	<i>$\mu g/m^3$</i>										
Nederland	1,9	1,8	1,8	1,9	2,0	1,8	1,4	1,7	1,5	1,7	1,7
Noordzee	0,5	0,4	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,4
Buitenland	4,3	4,2	3,8	3,7	4,3	3,8	3,0	3,0	2,7	3,0	3,4
Totaal	6,7	6,4	6,2	6,2	6,8	6,0	4,7	5,3	4,6	5,2	5,5

Tabel B2.3a Herkomst van gereduceerde stikstofdepositie (NH_x) en -concentraties (NH_3 , NH_4^+), 1981-2002. Gecorrigeerde gegevens; dus met correctie voor het ammoniakgat en de natuurlijke achtergrond.

	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991
NH_x-depositie	<i>mol/ (ha.jaar)</i>										
NL landbouw droog	1141	1228	1287	1200	1051	1206	1025	1428	1344	1362	1356
NL landbouw nat	480	453	523	472	575	481	555	537	426	494	507
NL overig droog	111	107	112	114	103	100	88	97	89	86	90
NL overig nat	57	47	52	52	59	45	51	45	33	34	35
Buitenland droog	111	136	135	126	127	143	118	151	165	165	136
Buitenland nat	235	225	265	222	272	237	238	280	209	238	199
Totaal droog	1363	1470	1533	1440	1281	1449	1231	1676	1598	1614	1582
Totaal nat	771	725	839	746	906	764	844	862	668	765	742
Totaal	2134	2196	2373	2185	2187	2213	2075	2538	2266	2379	2324
NH_3-concentratie	<i>$\mu g/m^3$</i>										
NL landbouw	6,4	6,6	6,8	6,3	6,5	6,9	6,5	6,8	7,8	7,5	8,3
NL overig	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5	0,5	0,4	0,5	0,4	0,5
Buitenland	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,6	0,5	0,5
Totaal	7,2	7,5	7,6	7,2	7,5	7,8	7,4	7,6	8,8	8,4	9,2
NH_4^+-concentratie	<i>$\mu g/m^3$</i>										
NL landbouw	2,5	2,7	2,1	2,2	2,5	2,2	2,4	1,5	1,9	1,8	2,2
NL overig	0,5	0,4	0,3	0,4	0,5	0,4	0,4	0,2	0,3	0,2	0,3
Buitenland	1,8	2,2	1,9	2,1	2,0	1,9	1,9	1,4	1,9	1,6	1,9
Totaal	4,8	5,3	4,4	4,7	4,9	4,5	4,7	3,1	4,2	3,7	4,4

	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
NH_x-depositie	<i>mol/ (ha.jaar)</i>										
NL landbouw droog	1378	1323	1287	1179	931	1067	961	1014	898	765	721
NL landbouw nat	484	475	488	363	292	324	410	343	326	333	275
NL overig droog	95	96	96	97	96	101	95	95	102	101	95
NL overig nat	38	39	41	34	30	30	41	36	37	41	34
Buitenland droog	158	147	151	154	165	175	151	172	166	162	165
Buitenland nat	223	207	218	174	176	189	244	225	224	237	204
Totaal droog	1631	1566	1533	1430	1192	1342	1207	1282	1165	1027	981
Totaal nat	744	721	748	572	498	543	695	604	588	611	513
Totaal	2375	2287	2281	2002	1690	1885	1902	1886	1753	1638	1494
NH_3-concentratie	<i>$\mu g/m^3$</i>										
NL landbouw	7,1	6,7	6,9	6,7	5,8	6,1	4,6	5,4	4,8	4,2	4,1
NL overig	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5
Buitenland	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6
Totaal	8,1	7,6	7,8	7,7	6,9	7,2	5,5	6,4	5,8	5,3	5,2
NH_4^+-concentratie	<i>$\mu g/m^3$</i>										
NL landbouw	1,5	1,5	1,2	1,3	1,5	1,3	0,8	0,9	0,8	0,9	1,0
NL overig	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Buitenland	1,5	1,4	1,2	1,2	1,1	1,0	0,6	0,7	0,6	0,6	0,6
Totaal	3,3	3,0	2,6	2,7	2,8	2,4	1,4	1,7	1,4	1,6	1,7

Tabel B2.3b Herkomst van gereduceerde stikstofdepositie (NH_x) en -concentraties (NH_3 , NH_4^+), 1981-2002. Ongecorrigeerde gegevens; dus zonder correctie voor het ammoniakgat en de natuurlijke achtergrond.

	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991
NH_x-depositie	<i>mol/ (ha.jaar)</i>										
NL landbouw droog	796	856	898	837	733	841	715	996	937	950	946
NL landbouw nat	277	261	302	272	331	278	320	310	246	285	292
NL overig droog	77	74	78	79	72	70	62	67	62	60	63
NL overig nat	33	27	30	30	34	26	29	26	19	19	20
Buitenland droog	77	95	94	88	88	100	82	105	115	115	95
Buitenland nat	135	130	153	128	157	137	137	161	121	137	115
Totaal droog	951	1025	1069	1004	893	1011	859	1169	1114	1125	1103
Totaal nat	445	418	484	430	522	440	487	497	385	441	428
Totaal	1395	1444	1553	1434	1416	1451	1345	1666	1500	1567	1531
NH_3-concentratie	<i>$\mu g/m^3$</i>										
NL landbouw	4,5	4,6	4,7	4,4	4,5	4,8	4,5	4,7	5,4	5,2	5,8
NL overig	0,4	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Buitenland	0,2	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,3
Totaal	5,0	5,2	5,3	5,0	5,2	5,4	5,1	5,3	6,1	5,9	6,4
NH_4^+-concentratie	<i>$\mu g/m^3$</i>										
NL landbouw	1,8	1,9	1,5	1,6	1,7	1,6	1,7	1,0	1,3	1,3	1,5
NL overig	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2
Buitenland	1,3	1,5	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3	1,0	1,4	1,1	1,3
Totaal	3,3	3,7	3,1	3,3	3,4	3,1	3,2	2,2	2,9	2,6	3,1
	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
NH_x-depositie	<i>mol/ (ha.jaar)</i>										
NL landbouw droog	961	922	897	834	642	742	723	768	646	542	534
NL landbouw nat	279	274	281	212	163	191	244	207	197	177	164
NL overig droog	66	67	67	69	66	70	72	72	73	72	70
NL overig nat	22	22	24	20	17	18	24	22	23	22	21
Buitenland droog	110	103	105	109	114	121	113	131	119	115	123
Buitenland nat	128	119	126	102	99	111	145	135	135	126	122
Totaal droog	1137	1092	1069	1011	822	933	908	970	838	729	727
Totaal nat	429	416	431	333	278	320	413	364	355	326	307
Totaal	1566	1508	1500	1345	1101	1253	1320	1334	1193	1054	1034
NH_3-concentratie	<i>$\mu g/m^3$</i>										
NL landbouw	5,0	4,7	4,8	4,7	4,0	4,2	3,5	4,1	3,4	3,0	3,1
NL overig	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Buitenland	0,4	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4	0,5
Totaal	5,6	5,3	5,5	5,4	4,7	5,0	4,2	4,9	4,2	3,8	3,9
NH_4^+-concentratie	<i>$\mu g/m^3$</i>										
NL landbouw	1,1	1,0	0,8	0,9	0,8	0,7	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4
NL overig	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Buitenland	1,1	1,0	0,9	0,9	1,0	0,9	0,6	0,7	0,5	0,6	0,7
Totaal	2,3	2,1	1,8	1,9	1,9	1,7	1,1	1,3	1,0	1,1	1,2

Tabel B2.4 Totalen depositie, 1981-2002. Geen correctie voor het ammoniakgas en geen achtergrondbijdrage.

	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991
Stikstof	<i>mol/ (ha.jaar)</i>										
Droog	1526	1618	1593	1584	1482	1564	1452	1715	1694	1637	1647
Nat	782	713	768	721	859	744	852	835	649	713	699
Totaa	2308	2331	2361	2305	2341	2307	2305	2549	2343	2350	2346
Potentieel zuur	<i>mol/ (ha.jaar)</i>										
Droog	3367	3601	3232	3254	2904	2983	2725	2876	2737	2616	2528
Nat	1608	1421	1405	1355	1513	1325	1477	1433	1095	1194	1115
Totaal	4975	5022	4637	4609	4417	4307	4202	4309	3831	3811	3643
Neerslag	<i>mm</i>										
Som	890	741	824	851	826	806	885	940	672	772	640
	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Stikstof	<i>mol/ (ha.jaar)</i>										
Droog	1634	1578	1537	1459	1292	1373	1327	1408	1237	1143	1147
Nat	707	685	709	581	487	524	682	639	598	573	543
Totaa	2341	2263	2245	2040	1779	1898	2010	2047	1835	1716	1691
Potentieel zuur	<i>mol/ (ha.jaar)</i>										
Droog	2503	2415	2281	2095	1919	1908	1858	1865	1674	1530	1540
Nat	1167	1105	1133	917	742	782	1036	924	880	855	813
Totaal	3669	3521	3415	3012	2661	2690	2893	2789	2554	2384	2353
Neerslag	<i>mm</i>										
Som	858	868	911	739	578	644	1031	864	866	986	908

Tabel B3.1 Depositie van gereduceerd stikstof (NH_x), geoxideerd stikstof (NO_y) en geoxideerd zwavel (SO_x) per provincie met een onderverdeling naar bijdragen uit Nederland (NL), buitenland (BL) en de Noordzee (NZ), absoluut (boven) en relatief (onder). Gegevens voor 2000. Berekend met langjarige gemiddelde meteorologie, 1990-2000. Inclusief correctie voor het ammoniakgat, exclusief natuurlijke achtergrondbijdrage.

Provincie	NH_x			NO_y			SO_x				
	Totaal	NL	BL	Totaal	NL	BL	NZ	Totaal	NL	BL	NZ
	<i>mol/(ha.jaar)</i>										
Groningen	1255	1008	247	483	162	262	59	180	35	103	42
Friesland	1223	1069	155	453	152	236	65	188	36	100	52
Drenthe	1438	1151	287	531	191	284	55	202	47	122	33
Overijssel	1947	1599	347	584	232	301	51	229	55	147	28
Gelderland	1981	1612	369	695	304	335	55	314	82	199	33
Utrecht	1779	1511	268	767	393	303	70	389	127	205	57
Noord-Holland	1034	844	189	614	265	268	82	371	129	157	84
Zuid-Holland	1338	1045	293	739	348	306	85	541	216	225	100
Zeeland	1090	455	636	609	152	362	96	515	128	276	111
Noord-Brabant	2336	1789	547	691	257	374	60	437	85	306	46
Limburg	2020	1381	639	673	194	438	41	386	62	303	21
Flevoland	1121	922	199	581	241	277	64	269	76	148	45
Nederland	1640	1285	355	622	243	315	64	334	87	194	52

Provincie	NH_x			NO_y			SO_x				
	Totaal	NL	BL	Totaal	NL	BL	NZ	Totaal	NL	BL	NZ
	<i>%</i>										
Groningen	77	80	20	78	33	54	12	54	19	57	24
Friesland	75	87	13	73	34	52	14	56	19	53	27
Drenthe	88	80	20	85	36	54	10	60	23	61	16
Overijssel	119	82	18	94	40	52	9	69	24	64	12
Gelderland	121	81	19	112	44	48	8	94	26	63	10
Utrecht	108	85	15	123	51	40	9	116	33	53	15
Noord-Holland	63	82	18	99	43	44	13	111	35	42	23
Zuid-Holland	82	78	22	119	47	41	12	162	40	42	18
Zeeland	66	42	58	98	25	59	16	154	25	54	22
Noord-Brabant	142	77	23	111	37	54	9	131	19	70	11
Limburg	123	68	32	108	29	65	6	116	16	79	5
Flevoland	68	82	18	93	41	48	11	81	28	55	17
Nederland	100	78	22	100	39	51	10	100	26	58	16

Tabel B3.2 Depositie van stikstof en potentieel zuur per provincie met een onderverdeling naar bijdragen uit Nederland (NL), buitenland (BL) en de Noordzee (NZ), absoluut (boven) en relatief (onder). Gegevens voor 2000. Berekend met langjarige gemiddelde meteorologie, 1990-2000. Inclusief correctie voor het ammoniakgat, exclusief natuurlijke achtergrondbijdrage.

	Stikstof				Potentieel zuur			
	Totaal	NL	BL	NZ	Totaal	NL	BL	NZ
	<i>mol/(ha.jaar)</i>							
Groningen	1738	1169	509	59	2098	1240	714	144
Friesland	1676	1221	390	65	2052	1292	591	168
Drenthe	1969	1342	572	55	2373	1436	816	121
Overijssel	2531	1832	648	51	2989	1941	941	107
Gelderland	2676	1916	704	55	3304	2081	1102	121
Utrecht	2546	1904	572	70	3324	2158	981	184
Noord-Holland	1648	1109	457	82	2389	1366	772	251
Zuid-Holland	2077	1393	598	85	3159	1825	1049	285
Zeeland	1700	607	997	96	2730	863	1549	318
Noord-Brabant	3027	2046	921	60	3902	2215	1534	153
Limburg	2693	1575	1077	41	3465	1699	1684	82
Flevoland	1703	1163	476	64	2241	1314	772	154
Nederland	2262	1528	670	64	2930	1702	1058	168

	Stikstof				Potentieel zuur			
	Totaal	NL	BL	NZ	Totaal	NL	BL	NZ
	<i>%</i>							
Groningen	77	67	29	3	72	59	34	7
Friesland	74	73	23	4	70	63	29	8
Drenthe	87	68	29	3	81	61	34	5
Overijssel	112	72	26	2	102	65	31	4
Gelderland	118	72	26	2	113	63	33	4
Utrecht	113	75	22	3	113	65	30	6
Noord-Holland	73	67	28	5	82	57	32	10
Zuid-Holland	92	67	29	4	108	58	33	9
Zeeland	75	36	59	6	93	32	57	12
Noord-Brabant	134	68	30	2	133	57	39	4
Limburg	119	58	40	2	118	49	49	2
Flevoland	75	68	28	4	76	59	34	7
Nederland	100	68	30	3	100	58	36	6

Tabel B4.1 Herkomst van de depositie van potentieel zuur en stikstof, 1980, 1985, 1990, 1995 en 2000. Deze berekeningen zijn geschaald uit berekeningen voor het jaar 2000. Onderstaande berekeningen voor het jaar 2000 zijn met langjarige meteorologie (1990-2000) uitgevoerd. Er zijn geen achtergrondcorrecties voor NO_y en SO_x toegepast, wél is schaling voor het ammoniakgat uitgevoerd. Daarmee wordt impliciet 75 mol aan achtergronddepositie NH_x toegevoegd, evenredig verdeeld over de doelgroepen en sectoren.

	1980		1985		1990		1995		2000	
	N	PZ	N	PZ	N	PZ	N	PZ	N	PZ
	<i>mol/(ha.jaar)</i>									
Industrie, Energie, Raffinaderijen, Afvalwerkinstallaties	132	821	135	518	104	401	85	277	62	173
Verkeer	247	334	244	312	245	321	222	297	204	259
Landbouw	1746	1760	1927	1928	1796	1799	1479	1481	1156	1157
Consumenten	118	137	117	122	85	88	88	90	90	91
HDO en Bouw	18	37	18	37	17	28	17	26	17	23
Totaal Nederland	2261	3089	2441	2918	2247	2638	1891	2172	1529	1703
België	215	911	191	528	216	516	203	409	199	351
Frankrijk	128	404	121	248	123	237	115	199	105	161
Duitsland	313	894	315	912	271	682	212	366	195	259
Verenigd Koninkrijk	155	480	153	402	164	413	129	287	99	177
Noordzee	64	167	64	167	64	167	64	167	64	167
Overig buitenland	94	250	96	232	96	203	81	151	71	110
Totaal buitenland	970	3106	940	2489	934	2218	803	1580	733	1225
Totaal generaal	3231	6195	3381	5407	3181	4856	2695	3752	2262	2929

Tabel B4.3 Relatieve bijdragen per verzurende stof en per land en doelgroep aan de verzurende depositie (1980, 1985, 1990, 1995 en 2000). Deze berekeningen zijn geschaald uit berekeningen voor het jaar 2000.

Onderstaande berekeningen voor het jaar 2000 zijn met langjarige meteorologie (1990-2000) uitgevoerd. Er zijn geen achtergrondcorrecties voor NO_y en SO_x toegepast, wél is schaling voor het ammoniakgat uitgevoerd.

Daarmee wordt impliciet 75 mol aan achtergronddepositie NH_x toegevoegd, evenredig verdeeld over de doelgroepen en sectoren.

	1980			1985			1990			1995			2000		
	NH_x	NO_y	SO_x	NH_x	NO_y	SO_x	NH_x	NO_y	SO_x	NH_x	NO_y	SO_x	NH_x	NO_y	SO_x
	%														
België	2	1	11	2	1	6	3	1	6	4	2	5	5	2	5
Frankrijk	1	1	4	1	1	2	1	2	2	1	2	2	2	2	2
Duitsland	3	2	9	3	3	11	3	3	8	3	2	4	4	3	2
Verenigd Koninkrijk	0	2	5	1	2	5	1	3	5	1	3	4	1	3	3
Noordzee	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	2	3	0	2	4
Overig buitenland	1	1	3	1	1	3	1	1	2	1	2	2	1	2	1
Totaal buitenland	6	9	34	7	10	29	8	11	26	9	12	21	12	13	17
Industrie, Energie, Raffinaderijen, Afvalwerkinsinstallaties	1	1	11	1	1	7	1	1	6	1	1	5	1	1	4
Verkeer	0	4	1	0	5	1	0	5	2	1	5	2	1	6	2
Landbouw	28	0	0	36	0	0	37	0	0	39	0	0	39	0	0
Consumenten	2	0	0	2	0	0	1	0	0	2	0	0	3	0	0
HDO en Bouw	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Totaal Nederland	31	6	13	39	6	9	39	7	8	43	8	7	44	8	6
Totaal algemeen	37	15	48	46	16	37	48	18	35	52	20	28	56	21	23

Tabel B4.4 Relatieve bijdragen per verzurende stof en per land en doelgroep aan de stikstofdepositie en aan de verzurende depositie (1980, 1985, 1990, 1995 en 2000). Deze berekeningen zijn geschaald uit berekeningen voor het jaar 2000. Onderstaande berekeningen voor het jaar 2000 zijn met langjarige meteorologie (1990-2000) uitgevoerd. Er zijn geen achtergrondcorrecties voor NO_y en SO_x toegepast, wél is schaling voor het ammoniakgat uitgevoerd. Daarmee wordt impliciet 75 mol aan achtergronddepositie NH_x toegevoegd, evenredig verdeeld over de doelgroepen en sectoren.

	1980		1985		1990		1995		2000	
	NH_x	NO_y	NH_x	NO_y	NH_x	NO_y	NH_x	NO_y	NH_x	NO_y
	%									
België	4	3	4	2	5	2	5	2	6	3
Frankrijk	1	3	1	2	1	2	2	3	2	3
Duitsland	5	5	5	4	5	4	5	3	5	3
Verenigd Koninkrijk	1	4	1	4	1	4	1	4	1	3
Noordzee	0	2	0	2	0	2	0	2	0	3
Overig buitenland	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Totaal buitenland	12	18	12	16	13	17	13	17	16	17
Industrie, Energie, Raffinaderijen, Afvalwerkinsinstallaties	2	2	2	2	1	2	1	2	1	2
Verkeer	0	8	0	7	0	7	1	8	1	8
Landbouw	54	0	57	0	56	0	55	0	51	0
Consumenten	3	1	3	0	2	0	3	0	3	1
HDO en Bouw	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Totaal Nederland	59	11	62	10	60	10	60	11	57	11
Totaal algemeen	71	29	74	26	73	27	73	27	73	27

Bijlage C Concentraties, 1981-2002

Tabel C1 Jaargemiddelde, berekende concentraties van verzurende componenten in Nederland, 1981-2002.

Jaar	Ammoniak (NH ₃) ¹⁾	Ammonium (NH ₄ ⁺) ¹⁾	Stikstofoxiden (NO _x)	Nitraat (NO ₃ ⁻)	Zwavel dioxide (SO ₂)	Sulfaat (SO ₄ ²⁻)
	µg/m ³	µg/m ³	ppb	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³
1981	7,2	4,8	28,9	7,8	15,5	9,3
1982	7,5	5,3	28,7	8,6	17,5	10,6
1983	7,6	4,4	25,0	6,5	14,2	7,4
1984	7,2	4,7	28,8	7,7	14,3	9,1
1985	7,5	4,9	31,1	8,6	13,2	9,3
1986	7,8	4,5	25,8	7,7	12,8	8,2
1987	7,4	4,7	31,3	8,7	12,4	9,4
1988	7,6	3,1	25,6	6,6	9,2	5,7
1989	8,8	4,2	29,9	9,0	9,5	7,4
1990	8,4	3,7	24,8	6,9	8,1	5,7
1991	9,2	4,4	30,5	8,7	8,5	6,8
1992	8,1	3,3	24,1	6,7	7,3	5,2
1993	7,6	3,0	23,7	6,4	6,4	5,0
1994	7,8	2,6	22,1	6,2	5,8	4,2
1995	7,7	2,7	21,9	6,2	5,1	3,5
1996	6,9	2,8	22,8	6,8	5,8	4,1
1997	7,2	2,4	21,8	6,0	4,5	3,0
1998	5,5	1,4	18,6	4,7	3,6	2,1
1999	6,4	1,7	17,5	5,3	3,4	1,8
2000	5,8	1,4	17,7	4,6	3,2	1,7
2001	5,3	1,6	20,1	5,2	3,0	2,0
2002	5,2	1,7	19,9	5,5	3,2	2,0

1) De ammoniak- en ammoniumconcentraties zijn gecorrigeerd voor het ammoniakgat met behulp van metingen.

Voor 1993 tot en met 2002 zijn dit dus dezelfde waarden als de meetwaarden.

2) De zwavel dioxide- en sulfaatconcentraties in de jaren tachtig zijn lager dan de gemeten concentraties.

De hier vermelde concentraties zijn ongecorrigeerd.