

Ammoniak en fijnstof

Handvatten bij samenwerken aan verbetering van complexe vraagstukken

Introductie

Dit kennisbericht gaat over de relatie tussen ammoniak en secundair fijnstof. De basis voor dit document is het Webinar 'Ammoniak en fijnstof in relatie tot veehouderij en gezondheid' van 30 november 2020.

De veehouderij stoot stofdeeltjes uit die gezondheidseffecten kunnen hebben op omwonenden. In het Kennisbericht Fijnstof en endotoxinen, de Q&A Geitenhouderijen en de Q&A Endotoxinen en veehouderij, is aandacht besteed aan primaire stofdeeltjes die afkomstig zijn van mest, veren, huid, haar, voer en strooisel die met de ventilatielucht van stallen worden uitgestoten. Maar er bestaat ook secundair fijnstof dat indirect afkomstig is uit de veehouderij.

Secundair fijnstof bestaat voornamelijk uit ammoniumsulfaat en ammoniumnitraat dat wordt gevormd uit ammoniak, zwaveldioxide en stikstofoxiden. Ammoniak komt vooral uit de veehouderij, zwaveldioxide vooral uit de industrie en stikstofoxiden vooral uit het verkeer. Secundair fijnstof kan, net als primair fijnstof, een effect hebben op de longfunctie. Om de concentratie van secundair fijnstof te verminderen is het volgens de Gezondheidsraad het meest effectief om de uitstoot van ammoniak uit de land- en tuinbouw te verminderen.

Zie ook:

- Webinar Ammoniak en fijnstof in relatie tot veehouderij en gezondheid (30 november 2020): <https://www.kennisplatformveehouderij.nl/webinars/webinar-ammoniak-en-fijnstof>
- Kennisbericht Fijnstof en endotoxinen: <https://www.kennisplatformveehouderij.nl/document/kennisbericht-fijnstof-en-endotoxinen>
- Q&A Geitenhouderijen: <https://www.kennisplatformveehouderij.nl/geiten/vragen-en-antwoorden-geitenhouderijen>
- Q&A Endotoxinen en veehouderij: <https://www.kennisplatformveehouderij.nl/onderwerpen/endotoxinen/qa-endotoxinen>

Inhoud

1	Secundair fijnstof en het verschil met primair fijnstof	3
1.1	Primair stof.....	3
1.2	Secundair fijnstof.....	3
1.3	De belangrijkste verschillen tussen primair en secundair fijnstof	3
2	Gezondheidseffecten van secundair fijnstof.....	4
3	Mogelijkheden verminderen concentraties secundair fijnstof.....	5
4	Emissies en concentraties van precursorgassen (voorlopergassen) van secundair fijnstof in Nederland door de jaren heen.....	5
5	De rol van ammoniak bij de vorming van secundair fijnstof	6
6	Gezondheidseffecten van ammoniak	7
7	Welke bronnen dragen het meeste bij aan de emissie van ammoniak?	8
8	Vorming van ammoniak in de land- en tuinbouw	9
	Literatuur	10

1 Secundair fijnstof en het verschil met primair fijnstof

Fijnstof is een verzameling van zwevende deeltjes die zo klein zijn dat ze de diepere luchtwegen (voorbij het strottehoofd) kunnen binnendringen. Primair fijnstof wordt direct als deeltje uitgestoten met de ventilatielucht van stallen. Secundair fijnstof wordt pas gevormd nadat gasvormig ammoniak uit stallen of uit mest in de atmosfeer samenkomt met andere gassen.

1.1 Primair stof

Primair stof uit de veehouderij bestaat uit zwevende organische deeltjes van mest, veren, huid, haar, voer en strooisel, zogenoemd bioaerosol (bio=levend, aero= lucht, sol=oplossing). Ze zijn rijk aan bacteriën, virussen en schimmels, microbiële stoffen zoals endotoxinen, en allergenen. De deeltjes worden primair genoemd omdat ze vanaf het eerste begin als deeltje met de ventilatielucht van stallen worden uitgestoten.

1.2 Secundair fijnstof

Secundair fijnstof wordt niet gevormd in stallen maar in de atmosfeer. Het wordt secundair genoemd omdat het pas 'in tweede instantie' wordt gevormd.

Secundair fijnstof wordt gevormd uit ammoniak (NH_3), zwaveldioxide (SO_2) en stikstofoxiden (NO en NO_2). Gasvormig ammoniak komt uit stallen, mestopslagen en bij het aanbrengen van mest op akkers en weilanden. In de atmosfeer vormen ammoniak en de andere gassen het secundair fijnstof. Secundair fijnstof bestaat vooral uit ammoniumsulfaat en ammoniumnitraat.

Toelichting Fijnstof

Stof in lucht is de verzameling van alle zwevende vaste en vloeibare deeltjes. Het totaal in lucht aanwezige stof wordt vaak aangeduid met de term inhaleerbaar stof, afgekort tot PM100 (PM is een afkorting voor 'Particulate Matter'). De '100' geeft aan dat de stofdeeltjes die deel uitmaken van deze stoffractie kleiner zijn dan 100 micrometer (μm). Deeltjes groter dan 100 micrometer worden in het algemeen niet meer als stofdeeltjes beschouwd.

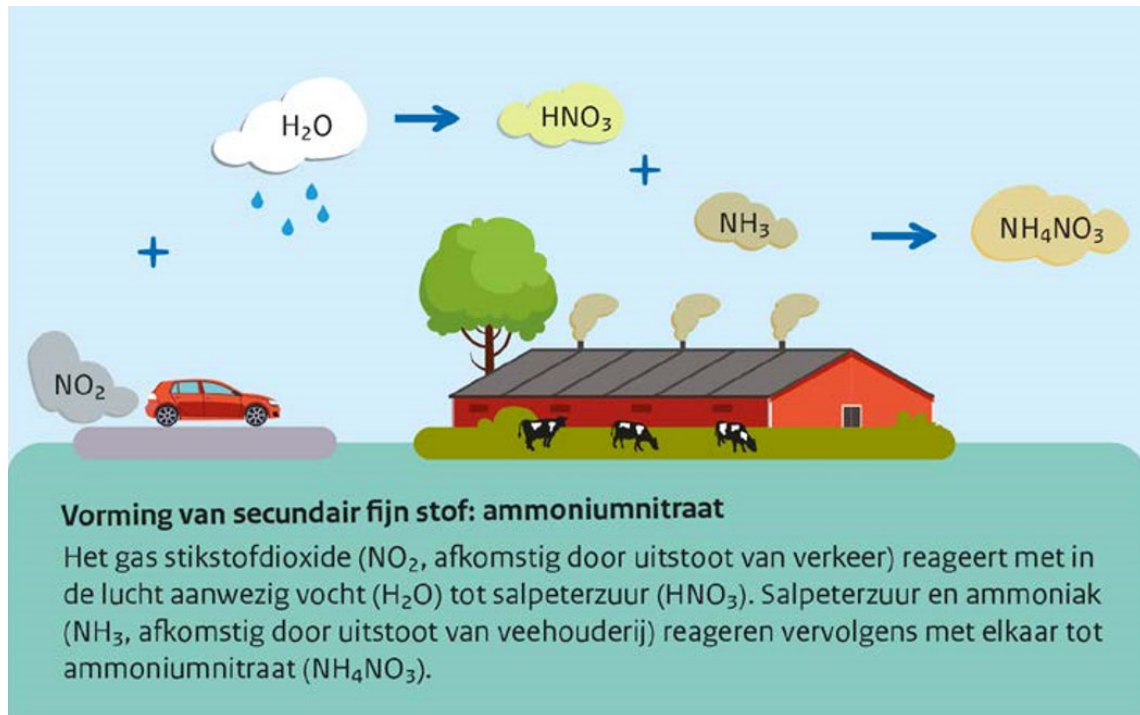
- Alle deeltjes in de PM100 fractie zijn in staat de neus- en mondholte binnen te dringen.
- Deeltjes in de fractie tot PM10 behoren tot fijnstof. Deze deeltjes kunnen de luchtwegen binnendringen tot voorbij het strottehoofd.
- De nog kleinere PM_{2,5} fractie in het fijnstof komt tot in de longen.

1.3 De belangrijkste verschillen tussen primair en secundair fijnstof

In Tabel 1 zijn de belangrijkste verschillen tussen primair en secundair fijnstof op een rij gezet zoals die in dit Kennisbericht zijn beschreven.

Tabel 1: De belangrijkste verschillen tussen primair en secundair fijnstof op een rij. Bron: Winkel (2020)

Aspect	Primair fijnstof	Secundair fijnstof
Samenstelling:	Mest, veren, huid, haar, voer, stro(oisel) (organisch/biologisch aerosol). Bevat bacteriën, schimmels, virussen	Voornamelijk ammoniumnitraat en ammoniumsulfaat (anorganisch zoutaerosol)
Bronnen:	Stallen/ventilatie, uitrijden vaste mest	Stallen/ventilatie, mestopslag, uitrijden vaste mest en drijfmest
Emitteert uit bron als:	Vast deeltje of vloeibaar druppeltje	Gas (NH_3 , SO_2 , NO_x)
Belangrijkste diercategorieën:	Pluimvee (14%), varkens (3%), rundvee (1%), geiten	Rundvee (58%), varkens (17%), pluimvee (9%), schapen/geiten (3%)
Fractie:	PM _{2,5} , PM ₁₀ en PM ₁₀₀	Voornamelijk PM _{2,5}
Bijdrage aan concentratie:	Lokaal: ruwweg 5 tot 50% PM ₁₀ . In achtergrondsdeken: enkele procenten	Ruwweg 30 tot 60% van PM ₁₀ /PM _{2,5}
Verspreiding:	Vooral lokaal (honderden meters tot kilometers), daarna bijdrage aan achtergrondsdeken	Regionaal, nationaal



Figuur 1: Vorming van secundair fijn stof uit gasvormige uitstoot van verkeer en landbouw (veeteelt).
Bron: RIVM (2018)

2 Gezondheidseffecten van secundair fijnstof

Secundair fijnstof kan de luchtkwaliteit verslechteren en daardoor leiden tot een verminderde longfunctie. Dit geldt niet alleen voor omwonenden, maar ook voor mensen die verder weg wonen. Dat komt doordat secundair fijnstof later gevormd wordt, uit zeer kleine deeltjes bestaat en zo meer verspreidt door de lucht.

De vorming van ammoniumsulfaat en ammoniumnitraat uit de precursorgassen in de atmosfeer kost enkele uren tot enkele dagen. De precursorgassen zijn dan al meegenomen met de wind, verdund en verspreid over een groot gebied. De vorming van ammoniumnitraat en ammoniumsulfaat leidt vooral tot $\text{PM}_{2,5}$ deeltjes. Ook deze deeltjes verspreiden zich over een groot gebied omdat ze niet of nauwelijks uitzakken naar de bodem.

Secundair gevormd fijn stof ontstaat door een reactie van verschillende gasvormige verontreinigingen in de lucht, waaronder stikstofoxiden en ammoniak. De stikstofoxiden (NO_x , waaronder NO_2) uit het verkeer, en de ammoniak (NH_3) uit de landbouw (afkomstig uit dierlijke mest) reageren in de lucht met elkaar tot zogenaamde ammoniumzouten. Ammoniumzouten zijn kleine deeltjes: fijn stof. Dit in de lucht gevormde fijn stof wordt ook wel secundair gevormd fijn stof genoemd (GGD, 2022). Het secundair fijn stof draagt in Nederland gemiddeld 35-40% bij aan de concentratie van PM_{10} en 45-50% aan de concentratie van $\text{PM}_{2,5}$ (RIVM, 2013) en draagt daarmee bij aan verslechterde luchtkwaliteit. Hoe kleiner de stofdeeltjes, hoe dieper ze in de longen kunnen doordringen en hoe schadelijker ze zijn (RIVM, 2020).

Op de vraag over gezondheidseffecten van secundair fijnstof op korte afstand van veehouderijen heeft de Gezondheidsraad in 2018 het volgende geantwoord: "Omdat secundair fijnstof zich pas na enige tijd vormt en zich dan reeds over grotere afstanden heeft verspreid, is het niet te verwachten dat concentraties secundair fijnstof op zeer lokale schaal direct rond veehouderijen significant hoger zijn dan op grotere afstand. Het is daarom niet aannemelijk dat de gezondheidsrisico's als gevolg van secundair fijnstof voor omwonenden van veehouderijen significant afwijken van die van mensen die verder afwonen" (Gezondheidsraad, 2018a).

3 Mogelijkheden verminderen concentraties secundair fijnstof

Een reductie van de ammoniakconcentratie heeft de meeste invloed op de concentraties van secundair fijnstof. De Gezondheidsraad adviseert om prioriteit te geven aan het aanpakken van de emissie van ammoniak vanuit de veehouderij om daardoor de concentratie van secundair fijnstof duidelijk te verminderen.

De vorming van secundair fijnstof in de atmosfeer is het gevolg is van complexe chemische reacties en fysische processen waarbij verschillende factoren een rol spelen:

- de concentratieverhouding tussen de precursorgassen;
- de aanwezigheid van andere stoffen in de atmosfeer die ook met de precursorgassen kunnen reageren;
- de invloed van luchtvochtigheid, temperatuur en zonnestraling.

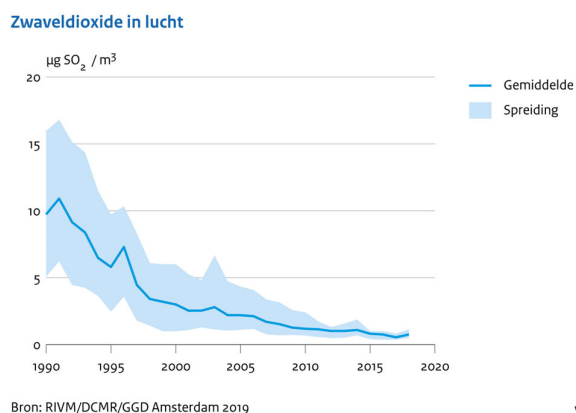
Er zijn internationaal verschillende studies gedaan om inzicht te krijgen in de effecten van het verminderen van de verschillende gassen. In die studies speelt een rol dat concentraties van het precursorgas zwaveldioxide al tot dicht bij nul zijn gereduceerd en veel relaties niet-lineair zijn. Het beeld uit de studies is dat een reductie van de ammoniakconcentratie wel gevoelig doorwerkt in de concentraties van secundair fijnstof. De Gezondheidsraad adviseert in haar advies 'Gezondheidswinst door schonere lucht' uit 2018 onder andere om prioriteit te geven aan het aanpakken van de emissie van ammoniak vanuit de veehouderij om daarmee concentraties van secundair fijnstof belangrijk te verminderen.

4 Emissies en concentraties van precursorgassen (voorlopergassen) van secundair fijnstof in Nederland door de jaren heen

De uitstoot van de voorlopergassen ammoniak, zwaveldioxide en stikstofoxiden is sterk verminderd na een piek in de jaren zeventig en tachtig. De uitstoot van ammoniak is de laatste tien jaar gestabiliseerd.

Secundair fijnstof bestaat voornamelijk uit ammoniumsulfaat en ammoniumnitraat dat wordt gevormd uit ammoniak, zwaveldioxide en stikstofoxiden. Dit zijn de precursorgassen (voorlopergassen).

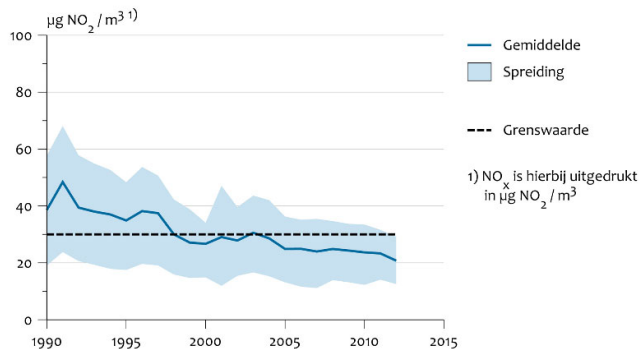
De uitstoot van zwaveldioxide is sinds de piek in de jaren zeventig en tachtig van de vorige eeuw zeer sterk verminderd, bijvoorbeeld door rookgasreiniging in kolencentrales. Hierdoor is sinds 1990 de jaargemiddelde concentratie van zwaveldioxide in Nederland met zo'n 90 procent gedaald (Figuur 2).



Figuur 2: Jaargemiddelde concentratie van zwaveldioxide in Nederland tussen 1990 en 2018. Bron: Compendium voor de leefomgeving

Sinds 1990 is de jaargemiddelde concentratie van stikstofoxiden in Nederland ongeveer gehalveerd (Figuur 3) bijvoorbeeld door katalysatoren in auto's.

Concentratie stikstofoxiden in lucht



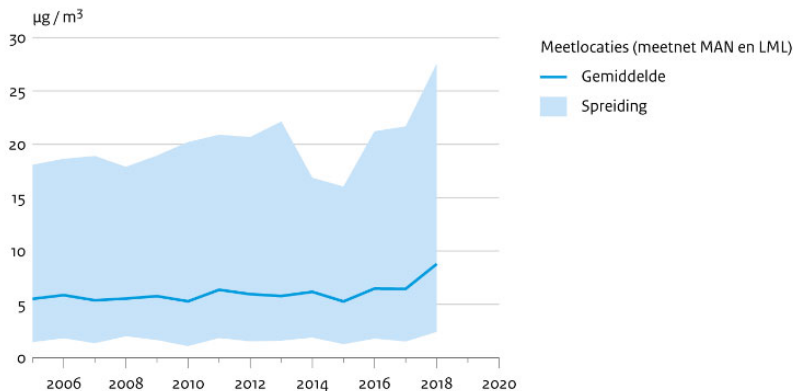
Bron: RIVM, 2013.

PBL/mrt13/0493
www.compendiumvoordeleefomgeving.nl

Figuur 3: Jaargemiddelde concentratie van stikstofoxiden in Nederland tussen 1990 en 2013. Bron: Compendium voor de leefomgeving

De emissie van ammoniak is tussen 1990 en 2018 met ongeveer twee derde afgenomen (Figuur 5a, 5b) vooral tussen 1990 en 2000. Deze sterke daling kwam door de verplichting mest emissiearm aan te brengen op akkers en weilanden, het afdekken van mestopslagen en een geleidelijke afname van het aantal stuks vee in Nederland. Na 2000 is de emissie van ammoniak minder sterk gedaald. De jaargemiddelde concentratie van ammoniak in Nederland is de laatste tien jaar gestabiliseerd, na een sterke daling in de jaren negentig, (Figuur 4).

Ammoniak in lucht



Bron: RIVM 2019

RIVM/nov19
www.clo.nl/nlo46509

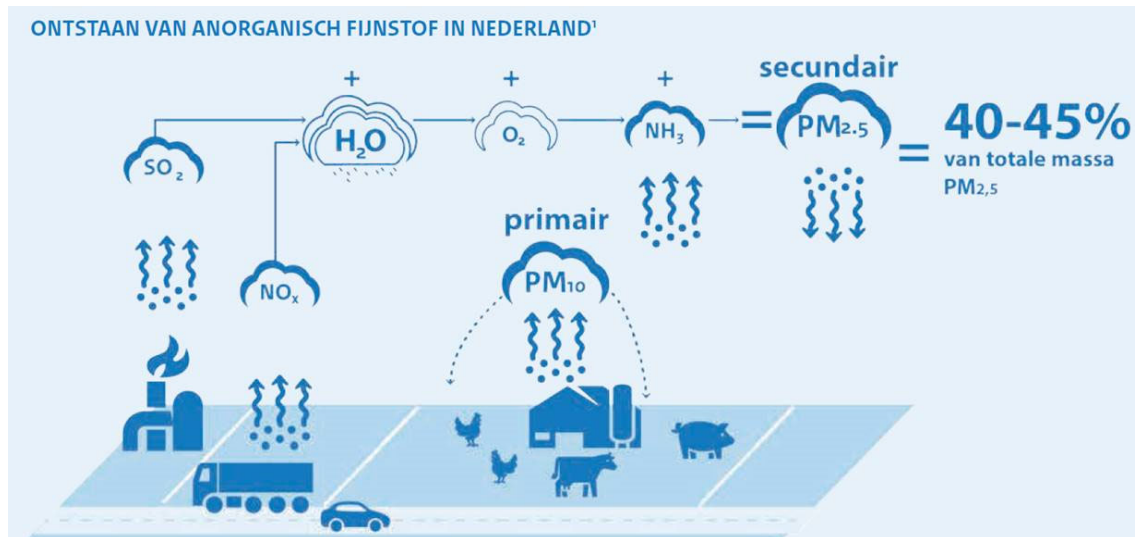
Figuur 4: Jaargemiddelde concentratie van ammoniak in Nederland tussen 2006 en 2018. Bron: Compendium voor de leefomgeving

5 De rol van ammoniak bij de vorming van secundair fijnstof

Ammoniak vormt secundair fijnstof met andere gassen. Dit zijn vooral zwaveldioxide (SO₂) en stikstofoxiden (NO_x). Stikstofoxiden bestaan uit de optelsom van stikstofmonoxide (NO) plus

stikstofdioxide (NO_2). Deze stoffen komen vrij bij verbranding van (zwavelhoudende) fossiele brandstoffen, zoals bij kolencentrales en het verkeer. Daarnaast bestaat secundair fijnstof uit een aantal vaste stoffen die samen kleine ($\text{PM}_{2,5}$) in lucht zwevende zoutkristallen vormen.

Figuur 5 toont een schematische weergave van primair fijnstofemissie, het ontstaan van secundair fijnstof en de rol van ammoniak daarin.



Figuur 5: Schematische weergave van primair fijnstofemissie, het ontstaan van secundair fijnstof en de rol van ammoniak daarin. Bron: Rijksoverheid (2020)

Het zwaveldioxide kan zowel in de gasfase als opgelost in een zwevend druppeltje worden omgezet in zwavelzuur (H_2SO_4). De stikstofoxiden worden omgezet in salpeterzuur (HNO_3). Bij voldoende ammoniak in de lucht worden de hiervoor genoemde zuren geneutraliseerd tot ammoniumsulfaat ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, NH_4HSO_4) en ammoniumnitraat (NH_4NO_3). Dit zijn zouten die bestaan uit het positief geladen ammonium-ion gebonden aan het negatief geladen sulfaat-ion of het negatief geladen nitraat-ion. Naast ammoniumsulfaat en ammoniumnitraat bestaat secundair fijnstof uit kleine hoeveelheden natriumsulfaat (Na_2SO_4), calciumsulfaat (CaSO_4), natriumnitraat (NaNO_3) en calciumnitraat (CaNO_3). In de vaste toestand vormen ammoniumsulfaat en ammoniumnitraat kleine in lucht zwevende deeltjes (zoutkristallen). Deze deeltjes vallen in tegenstelling tot primaire deeltjes helemaal in de $\text{PM}_{2,5}$ fractie.

6 Gezondheidseffecten van ammoniak

De concentratie van ammoniak in de buitenlucht is alleen hoog als op veel plekken mest wordt uitgereden. Het is daarom onwaarschijnlijk dat de lage concentraties van ammoniak leiden tot een gezondheidseffect.

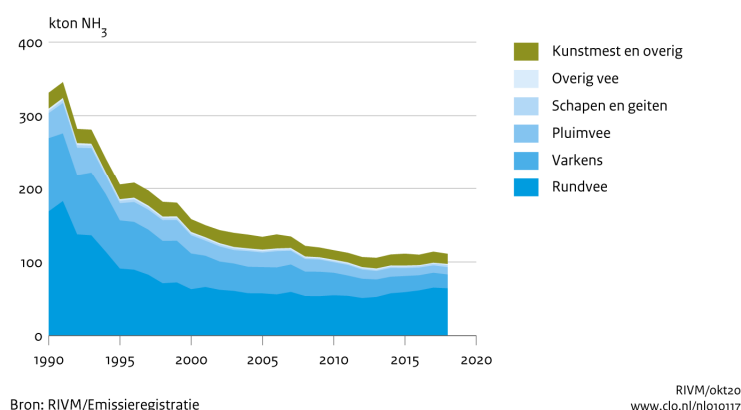
Concentraties van ammoniak in de buitenlucht in Nederland liggen jaargemiddeld rond 5 tot 10 microgram per kubieke meter lucht. Het is onwaarschijnlijk dat deze lage concentraties van ammoniak tot gezondheidseffecten leiden. Piekwaarden tot 200 á 300 komen bijvoorbeeld voor wanneer op veel plekken mest wordt uitgereden. In het onderzoek Veehouderij en Gezondheid Omwonenden (VGO) is gevonden dat verhoogde concentraties van ammoniak verband houden met een afname van de longfunctie. Waarschijnlijk is het niet het ammoniak zelf dat dit effect veroorzaakt, maar het secundair fijnstof dat daaruit wordt gevormd (Maassen et al., 2016). Ammoniak is, behalve in verband met vermist (stikstofproblematiek), ook van belang vanwege de bijdrage aan de fijnstofproblematiek.

7 Welke bronnen dragen het meeste bij aan de emissie van ammoniak?

De bijdrage van rundvee aan de emissie van ammoniak is het grootst. Stallen en mestopslagen en het aanwenden van mest op akkers en weilanden leveren hierbij de grootste bijdrage.

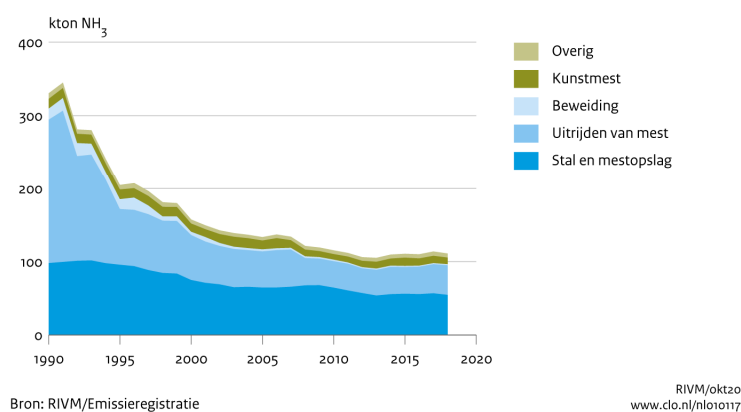
Van de totale emissie van ammoniak in Nederland is ongeveer 85% afkomstig uit de land- en tuinbouw. Deze emissie kan worden gesplitst naar diercategorie (Figuur 5a) en naar type bron (Figuur 5b). Gerekend naar diercategorie was de bijdrage in 2018 het grootste voor rundvee (58%), gevolgd door varkens (17%), pluimvee (9%), schapen en geiten (2,6%) en overig vee (1,4%), met daarnaast een bijdrage van 12% voor kunstmest. Gerekend naar type bron was de bijdrage in 2018 het grootst voor stallen en mestopslagen (49%), gevolgd door het aanwenden van mest op akkers en weilanden (36%) en beweiding (1,3%), met daarnaast een bijdrage van 8% voor kunstmest. Figuur 5b toont dat de emissie uit het aanwenden van mest sterk is gedaald door de introductie en het verplicht stellen van emissiearme aanwendingstechnieken midden jaren negentig. Figuur 5a toont dat de emissie bij rundvee sinds 2013 weer is toegenomen doordat in de melkveehouderij meer dieren werden aangehouden, anticiperend op het verdwijnen van het melkquotum per 2015.

Emissie ammoniak (NH₃) door land- en tuinbouw per diercategorie



Figuur 5a: Emissie van ammoniak door land- en tuinbouw per diercategorie, in Nederland, tussen 1990 en 2018. Bron: Compendium voor de Leefomgeving

Emissie ammoniak (NH₃) door land- en tuinbouw per bron



Figuur 5b: Emissie van ammoniak door land- en tuinbouw per bron, in Nederland, tussen 1990 en 2018. Bron: Compendium voor de Leefomgeving

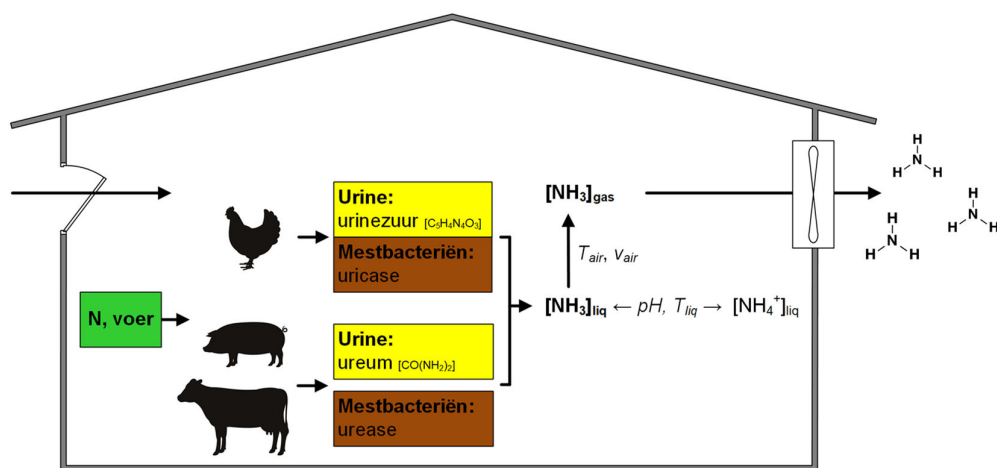
8 Vorming van ammoniak in de land- en tuinbouw

Stikstof zit als atoom (N) in veevoer. Een deel van deze stikstof wordt in de urine en ontlasting omgezet in ammoniak door contact met bacteriën en bepaalde enzymen.

Ammoniak is een stof met de structuurformule NH_3 ; het bestaat dus uit één stikstofatoom en drie waterstofatomen. Bij normale omgevingstemperaturen is ammoniak een gas.

Ammoniak is goed oplosbaar in water. Het ammoniak is afkomstig uit veevoer. In veevoer is het stikstof als atoom (N) aanwezig in eiwitten. Een deel van deze stikstof uit veevoer wordt vastgelegd in lichaamsgroei (vlees) en in de productie van melk en eieren. Een ander deel wordt uitgescheiden met de mest en urine. In de urine van rundvee en varkens is dat voornamelijk als ureum. Kippen produceren keutels bestaande uit mest vanuit de darmen en daarop een wit kapje vanuit de nieren: urinezuur. Wanneer ureum in urine (koe, varken) en urinezuur in pluimveemest in contact komen met bepaalde bacteriën wordt onder invloed van respectievelijk de enzymen (stoffen die het chemische proces versnellen) urease en uricase het ammoniak gevormd. In water is het ammoniak in evenwicht met de geïoniseerde vorm ammonium (NH_4). Ammonium is niet vluchtig, ammoniak wel. Onder invloed van bijvoorbeeld temperatuur, pH en luchtsnelheid vervluchtigt het ammoniak meer of minder snel naar de gasfase. In stallen wordt het vervolgens meegenomen met de ventilatielucht en naar buiten uitgestoten (emissie).

Sinds de jaren tachtig zijn op basis van dit ontstaansproces veel oplossingen bedacht om de vorming en emissie van ammoniak te verminderen. Er zijn bijvoorbeeld aangepaste stalvloeren ontwikkeld om zo snel mogelijk urine van mest te scheiden. Luchtwassers met een zure (lage pH) wasvloeistof wassen ammoniak uit de ventilatielucht. Het ontstaansproces van ammoniak is schematisch weergegeven in Figuur 6.



Figuur 6: Schematische weergave van het ontstaansproces en emissie van ammoniak, hier vereenvoudigd weergegeven voor een stal. Bron: Winkel (2020)

Literatuur

- Brunekreef, B., Harrison, R.M., Künzli, N., Querol, X., Sutton, M.A., Heederik, D.J.J., Sigsgaard, T. 2015. [Reducing the health effects of particles from agriculture](#). *The Lancet Respiratory Medicine* 3(11), p. 831-832.
- Gezondheidsraad. 2018a. [Gezondheidsrisico's rond veehouderijen: vervolgadvis](#). Publicatienummer 2018/04. Den Haag: Gezondheidsraad.
- Gezondheidsraad. 2018b. [Gezondheidswinst door schonere lucht](#). Publicatienummer 2018/01. Den Haag: Gezondheidsraad.
- Erisman, J.W., Schaap, M. 2004. [The need for ammonia abatement with respect to secondary PM reductions in Europe](#). *Environmental Pollution* 129, p. 159-163.
- Hoogerbrugge, R., Geilenkirchen, G.P., Den Hollander, H.A., Van der Swaluw, E., Visser, S., De Vries, W.J., Wichink Kruit, R.J. 2019. [Grootschalige concentratie- en depositiekaarten Nederland. Rapportage 2019](#). RIVM Rapport 2019-091. Bilthoven: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu.
- Maassen, K., Smit, L., Wouters, I., Van Duijkeren, E., Janse, I., Hagenaars, T., IJzermans, J., Van der Hoek, W., Heederik, D. 2016. [Veehouderij en gezondheid omwonenden](#). RIVM Rapport 2016-0058. Bilthoven: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu.
- Weijers, E.P., Sahan, E., Ten Brink, H.M., Schaap, M., Matthijsen, J., Otjes, R.P., Van Arkel, F. 2010. [Contribution of secondary inorganic aerosols to PM10 and PM2.5 in the Netherlands; measurement and modelling results](#). Report 500099006. Bilthoven, the Netherlands: Netherlands Environmental Assessment Agency (PBL).
- Winkel, A. 2020. Primair en secundair fijnstof uit de veehouderij. PowerPoint presentatie, Webinar Ammoniak en Fijnstof, maandag 30 november 2020. Wageningen: Wageningen Livestock Research.
- Wichink Kruit, R.J., Hoogerbrugge, R., Sauter, F.J., De Vries, W.J., Van Pul, W.A.J. 2018. [Ontwikkelingen in emissies en concentraties van ammoniak in Nederland tussen 2005 en 2016](#). RIVM Rapport 2018-0163. Bilthoven: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu.
- Rijksoverheid, 2020. [Toelichting op het Schone Lucht Akkoord. Gezondheidswinst voor iedereen](#). Brochure Schone Lucht Akkoord. Den Haag: Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.
- RIVM. (2013). Dossier Fijn Stof, Hoofdstuk Luchtkwaliteit. Opgehaald van RIVM.
- RIVM. (2020). GGD Richtlijn Veehouderij en Gezondheid. Bilthoven: RIVM
- Starmans, D.A.J., Van der Hoek, K.W. (Editors). 2007. Ammonia, the case of the Netherlands. ISBN 978-90-8686-028-9. Wageningen, the Netherlands: Wageningen Academic Publishers.