



Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
*Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport*

Het verloop van de ammoniakconcentratie over 2005-2014





Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
*Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport*

Het verloop van de ammoniakconcentratie over 2005-2014

RIVM Rapport 2016-0136

Colofon

© RIVM 2017

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), de titel van de publicatie en het jaar van uitgave.

A.P. Stolk (auteur), RIVM
H. Noordijk (auteur), RIVM
H.A. den Hollander (auteur), RIVM
M.C. van Zanten (auteur), RIVM
R.J. Wichink Kruit (auteur), RIVM
W.A.J. van Pul (auteur), RIVM

Contact:
Ariën Stolk

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van het Ministerie van Economische Zaken, in het kader van project M/360006/15/IN

Dit is een uitgave van:
**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**
Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven
Nederland
www.rivm.nl

Publiekssamenvatting

De trend in de ammoniakconcentratie in de lucht van 2005-2014

De gemeten concentraties ammoniak in de lucht zijn tussen 2005 en 2014 licht gestegen. Landelijk gezien bedraagt de stijging circa 1,5 procent per jaar. De grootste stijgingen doen zich voor in het noorden en oosten van het land. Dit blijkt uit een rapportage van het RIVM waarin de trend in de gemeten concentraties ammoniak van 2005 tot en met 2014 wordt gepresenteerd. Dit is een onderdeel van de rapportage van onderzoek dat is uitgevoerd naar aanleiding van de Quick-scan naar het uiteenlopen van de trends van ammoniakemissies en -concentraties door de Commissie Deskundigen Meststoffenwet (CDM, september 2014).

Voor deze rapportage zijn metingen uit het Meetnet Ammoniak in Natuurgebieden (MAN) en het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit (LML) gebruikt. In het MAN wordt sinds 2005 de maandgemiddelde ammoniakconcentratie in de lucht gemeten in Nederlandse Natura2000-gebieden. Dat wordt gedaan omdat de natuur in deze gebieden gevoelig is voor een toename van de hoeveelheid stikstof, waardoor de biodiversiteit afneemt. Het MAN is ingericht omdat de natuurgebieden nauwelijks vertegenwoordigd zijn in het LML. De metingen worden uitgevoerd voor het Programma Aanpak Stikstof (PAS). Zowel in het MAN als in het LML is in de onderzochte periode de ammoniakconcentratie gestegen.

De uitstoot van ammoniak door de landbouw is de belangrijkste bron voor de concentratie van ammoniak in de lucht. Daarnaast is de concentratie afhankelijk van de weersomstandigheden en de chemische samenstelling van de atmosfeer.

Als naar de *emissiecijfers* van ammoniak wordt gekeken (gerapporteerd op www.emissieregistratie.nl), dan is er over de periode 2005 tot en met 2013 een landelijke afname te zien. Deze daling is echter niet terug te zien in de metingen van het MAN en LML, ook niet wanneer de effecten van meteorologie en veranderingen in de chemie van de atmosfeer worden verrekend. Dit verschil is op dit moment nog onderwerp van verdere studie.

Kernwoorden: ammoniak, NH₃, natuur, natura2000, trend, MAN, LML, metingen, meetnet, Programma Aanpak Stikstof, PAS

Synopsis

Development of Dutch ammonia concentrations in air in 2005-2014

Ammonia concentrations measured in air show a slight increase over the period 2005-2014. Averaged across the Netherlands, the increase was about 1.5 percent per year. The largest increase was observed in the northern and eastern parts of the country. This can be concluded from a RIVM report which describes the trend in the concentrations of ammonia in the period 2005-2014.

For this report, measurements of both the Measuring Ammonia in Nature Network (MAN) and the National Air Quality Monitoring Network (LML) were used. Since 2005, the MAN network provides monthly average ammonia concentrations in Dutch Natura2000 areas. These ammonia measurements are carried out because these areas are sensitive to an increase in the nitrogen level, which can result in a decrease in biodiversity. The MAN network was set up because nature areas were hardly covered by the LML network. Both networks show increasing ammonia concentrations in the observed period.

Agricultural ammonia emissions largely determine the ammonia concentration in air. Weather conditions and the chemical composition of the atmosphere will also affect this concentration.

At a national level, ammonia emissions (reported on <http://www.emissieregistratie.nl>) show a decline over the period 2005-2013. This decline is not observed in the ammonia concentration in air as measured by the MAN and LML networks, even after correcting for changes in weather conditions and chemical composition of the atmosphere.

The cause for this difference between trends in ammonia emissions and concentrations is the focus of future study.

Keywords: ammonia, NH₃, nature, natura2000, trend, MAN, LML, measurements, monitoring network, Integrated Approach to Nitrogen, the Netherlands

Inhoudsopgave

Samenvatting — 9

1 Inleiding — 11

2 Opzet, ontwikkelingen, methoden — 13

- 2.1 Gebruikte gegevensbronnen — 13
- 2.2 Ammoniakmetingen in het LML — 16
- 2.3 Ammoniakmetingen in het MAN — 17
- 2.4 Werkwijze trendbepaling — 19

3 Het verloop van de ammoniakconcentratie over de periode 2005-2014 — 21

- 3.1 Op nationale schaal — 21
- 3.2 Op lokaal niveau — 23
- 3.3 Verloop van de ammoniakconcentratie over het jaar — 25
- 3.4 Het verloop geclusterd naar 4 maandelijkse perioden — 27
- 3.5 De trend in de ammoniakconcentratie en de ammoniakemissie — 30

4 Discussie en Conclusie — 35

5 Referenties — 37

Bijlage 1: Ligging van de MAN gebieden en LML meetlocaties — 39

Bijlage 2: de trend per MAN-gebied en LML-locatie — 40

Bijlage 3: De invloed uit Duitsland — 43

Samenvatting

In dit rapport worden de resultaten gepresenteerd van een analyse van de ontwikkeling van de ammoniakconcentratie in Nederland. Hiervoor zijn de metingen uit het Meetnet Ammoniak in Natuurgebieden (MAN) en het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit (LML) gebruikt. In het MAN wordt met eenvoudige middelen de ammoniakconcentratie in de lucht op maandelijkse basis gemeten. Inmiddels zijn van het MAN 10 jaar metingen beschikbaar en deze zijn gebruikt om de trend in de ammoniakconcentratie in natuurgebieden in beeld te brengen. In dit rapport is gebruik gemaakt van de metingen uit 31 natuurgebieden. Vrijwel al deze gebieden zijn Natura2000 gebieden. In het LML wordt sinds 1993 de ammoniakconcentratie gemeten met geavanceerde meetapparatuur. De metingen zijn beschikbaar op 6 meetlocaties (vóór 2014 acht locaties). Op één locatie na liggen deze meetlocaties niet in natuurgebieden.

De ammoniakconcentratie op de MAN en LML-locaties over Nederland laten gemiddeld genomen een stijging zien van ca. 1,5 % per jaar. Deze trend is statistisch zeer waarschijnlijk¹. Omdat de ammoniakconcentraties tussen de verschillende meetlocaties aanzienlijk kunnen verschillen, is hierbij voor alle natuurgebieden en LML meetlocaties de trend genormaliseerd berekend. Dat betekent dat de jaarlijks gemeten concentraties gedeeld zijn door het gemiddelde concentratieniveau op de locatie.

Wanneer gekeken wordt naar de geografische spreiding van de trend over Nederland dan is de toename van de concentratie vooral sterk aanwezig in noord- en oost Nederland. Op regionaal niveau blijken ook de trends van MAN en LML over het algemeen goed met elkaar overeen te komen. Afwijkingen van dit beeld komen echter ook voor. Dit komt doordat sommige locaties sterk lokaal worden beïnvloed.

Het lijkt erop dat de stijging in het oosten van het land niet wordt veroorzaakt door toegenomen emissies in Duitsland.

Wanneer het genormaliseerde concentratieverloop over het jaar tussen de verschillende natuurgebieden wordt vergeleken dan blijkt dat het verloop in gebieden met erg lage ammoniakconcentraties vergelijkbaar is aan dat van gebieden die in een hoog belaste omgeving liggen.

In beide gevallen wordt de belasting met ammoniak dus blijkbaar voor een groot deel bepaald door landbouwbronnen op grotere schaal.

¹ Getoetst is de significantie waarmee de helling van de regressielijn afwijkt van 0. Met betrekking tot de toetsing op significantie zijn de volgende definities gebruikt:

Omschrijving	Toetsingscriterium
Geen trend	$p > 0.34$
Trend waarschijnlijk	$0.1 < p \leq 0.34$
Trend zeer waarschijnlijk	$p \leq 0.1$

Deze indeling is gebaseerd op de klassificering zoals deze ook wordt gehanteerd door het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (Mastrandrea, M.D. et al, 2010).

In de loop van het jaar vertonen de ammoniakconcentraties grote verschillen. Een jaar kan daarom opgesplitst worden in 3 perioden:

- de periode oktober t/m januari waarin geen mest wordt uitgereden en de verdamping vanuit stallen laag is door de lage temperatuur. De ammoniakconcentratie is in deze periode laag
- de periode februari t/m mei waarin veel mest wordt uitgereden. In deze periode zijn de ammoniakconcentraties het hoogst.
- de periode juni t/m september. In deze periode wordt nog wel mest uitgereden, maar in veel mindere mate dan in de voorjaarsperiode. De ammoniakconcentraties liggen tussen die van de andere twee perioden in.

Wanneer de trend over de bovengenoemde viermaandelijke perioden wordt bepaald, dan is er vooral in de periode februari-mei sprake van een waarschijnlijke positieve trend. De landelijke stijging bedraagt dan 2.1% per jaar.

Geografisch gezien komt het beeld in deze periode overeen met het landelijke beeld van de trend over het jaar als geheel.

In de periode juni-september is er nauwelijks sprake van een trend: deze bedraagt 0.1% per jaar en is statistisch niet significant.

In de periode oktober-januari is er landelijk sprake van een waarschijnlijke negatieve trend van -1.7% per jaar. Uit een studie (Van Zanten et al., 2016) gebaseerd op de metingen van het LML is gebleken dat de verschillen in trend tussen de viermaandelijke perioden voor een belangrijk deel worden veroorzaakt door veranderingen in de meteorologische condities. Correctie voor meteorologische omstandigheden levert bij alle viermaandelijke perioden een vergelijkbare positieve trend op. Voor het jaar als geheel levert de correctie een sterkere positieve trend op.

Niet alleen de meteorologie maar ook de chemische samenstelling van de atmosfeer is van invloed op de ammoniakconcentratie in de lucht. Door afnemende concentraties zwaveldioxide en stikstofdioxiden vindt er minder vorming van ammoniumaerosol plaats. Bovendien wordt door de lagere concentraties van zwaveldioxide en stikstofdioxiden het oppervlak waarop depositie van ammoniak plaatsvindt minder zuur. Hierdoor neemt de depositie van ammoniak af. Beide effecten hebben een hogere ammoniakconcentratie tot gevolg. Uit een studie (Wichink Kruit et al., 2016) naar de grootte van deze effecten komt naar voren dat wanneer rekening zou worden gehouden met de invloed van meteorologie en chemie van de atmosfeer, de ammoniakconcentratie 10-20% lager uit zou komen.

Wanneer gekeken wordt naar het verloop van de ammoniakemissie in deze periode, dan is er landelijk gezien sprake van een negatieve trend. Deze daling is echter niet te zien in de metingen van het MAN en LML, ook niet wanneer dus wordt gecorrigeerd voor veranderingen in de meteorologie en de chemie van de atmosfeer. Een eenduidige verklaring voor dit verschil is op dit moment nog niet te geven.

1 Inleiding

Ammoniak is een gasvormige stikstofcomponent die vooral vrijkomt vanuit de veehouderij. Het ammoniak wordt na het vrijkomen meegevoerd met de wind en komt daarmee ook in natuurgebieden terecht. In veel natuurgebieden komen bijzondere dier- en plantensoorten voor die minder goed weten te profiteren van de stikstof dan algemeen voorkomende planten en dieren. In de natuurgebieden vindt hierdoor een verschraling van de soortenrijkdom plaats. Hoewel er naast ammoniak meerdere bronnen van stikstof zijn aan te wijzen die het stikstofgehalte in de natuur doen toenemen, levert ammoniak wel de grootste bijdrage.

Een deel van de ammoniak in de lucht wordt omgezet in deeltjes of aerosolen en vormen daarmee een onderdeel van fijnstof. Deze worden gevormd uit het in de lucht aanwezige zwavel- en stikstofoxide om zo ammoniumzouten (ammoniumsulfaat en -nitraat) te vormen. Ammoniak levert daarmee (indirect) een bijdrage aan de fijnstofconcentratie en daarmee aan de gezondheidseffecten ten gevolge van het inademen van fijnstof.

Er is zowel nationaal als internationaal beleid geformuleerd om de ammoniakemissies te reduceren. Op nationale schaal is dit het Programma Aanpak Stikstof (PAS) met betrekking tot de Natura2000-gebieden en biodiversiteit (Staatscourant, 2015). Op internationale schaal is er de National Emission Ceiling Richtlijn van de EU (Publicatieblad van de Europese Gemeenschappen, 2001).

Voor zowel de belasting van natuur als voor de volksgezondheid is het van belang de ontwikkelingen in de ammoniakconcentratie te volgen. Deels om te kunnen vaststellen wat de niveaus en de ontwikkelingen in belasting en blootstelling zijn en deels om te kunnen volgen of het beleid met betrekking tot het reduceren van de ammoniak werkt.

In het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit en het Meetnet Ammoniak in Natuurgebieden wordt de ammoniakconcentratie in de buitenlucht in Nederland gemeten. De metingen worden uitgevoerd om de trend in de ammoniakconcentratie in Nederland te volgen en om berekeningen van de ammoniakconcentratie te kunnen valideren. De metingen vormen onderdeel van de Monitoringsrapportage ten behoeve van de PAS. Tussen 1993 en 2005 waren de metingen beperkt tot 8 meetlocaties van het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit (LML). Omdat metingen in de natuurgebieden zelf tot dan toe ontbraken, is in 2005 het Meetnet Ammoniak in Natuurgebieden (MAN) opgezet. Doel van dit meetnet is om in aanvulling op het LML met eenvoudige metingen de concentratie en de trend hiervan in de natuurgebieden beter in kaart te brengen. In dit rapport zullen de metingen en de trends van ammoniak over de periode 2005-2014 gepresenteerd worden.

Het rapport begint met een korte beschrijving van de metingen zoals deze in de meetnetten LML en MAN worden gedaan. Vervolgens worden de resultaten van metingen in de periode 2005-2014 gepresenteerd. Tenslotte wordt in het hoofdstuk Discussie en conclusie duiding gegeven aan de waargenomen trends.

2 Opzet, ontwikkelingen, methoden

2.1 Gebruikte gegevensbronnen

Het RIVM heeft twee meetnetten voor ammoniakmetingen: het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit (LML) en het Meetnet Ammoniak in Natuurgebieden (MAN). De ammoniakmeetpunten in het LML zijn vanaf 1993 in gebruik om de ammoniakconcentratie in Nederland te bepalen (Figuur 1). De metingen worden in grote behuizingen uitgevoerd met nauwkeurige instrumenten (natte denuder techniek; AMOR, zie paragraaf 2.2). De meetpunten zijn destijds niet gekozen om de landelijk gemiddelde concentratie te meten, maar om de spreiding van de ammoniakconcentraties over Nederland inzichtelijk te maken (Buijsman et al., 1998). Een landsdekkend beeld van de concentraties wordt verkregen door een combinatie van de metingen met modelberekeningen. Oorspronkelijk gebeurde dat op acht locaties, vanaf 2014 is dat teruggebracht naar zes. Op de locaties waar de nauwkeurige metingen gestopt zijn (Huijbergen en Eibergen) zijn metingen voor gezet met de eenvoudigere meetmethode uit het MAN (passieve samplers).

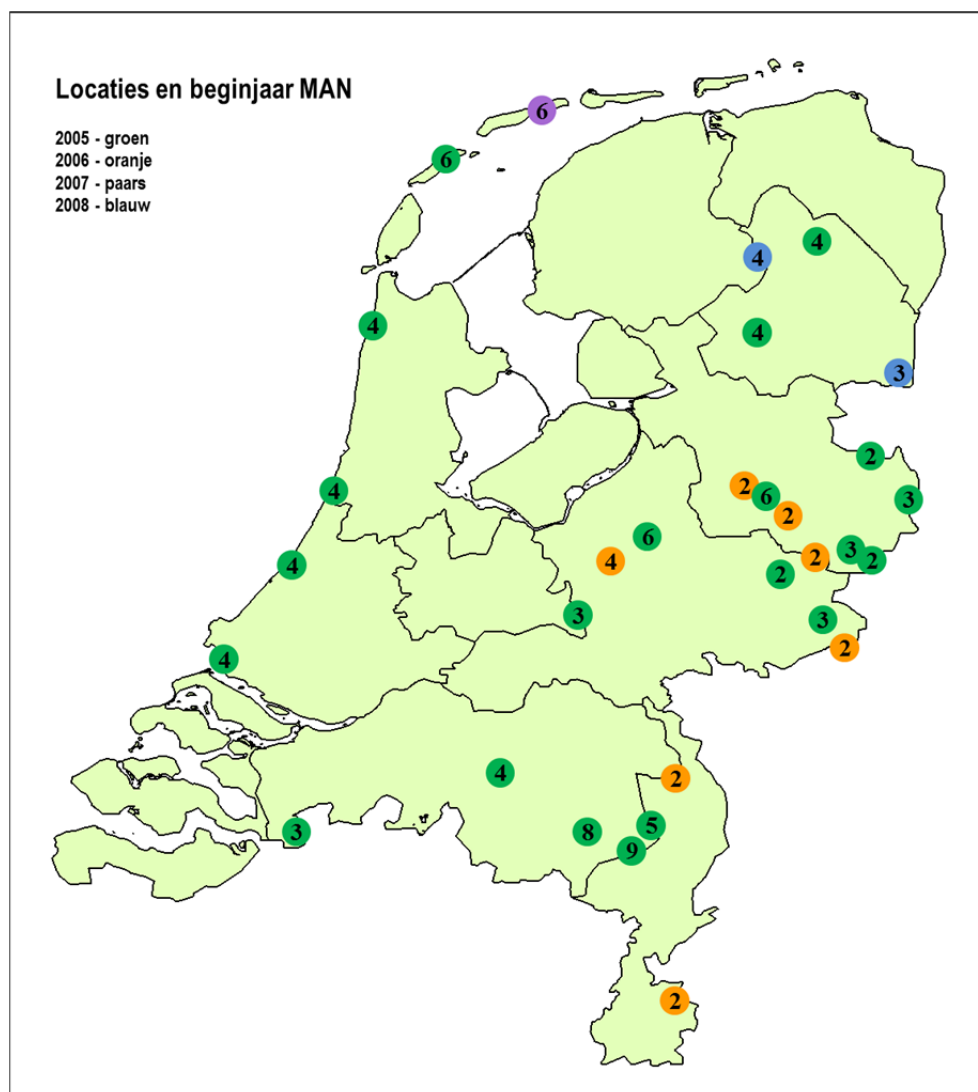


Figuur 1 Meetlocaties van het LML met meetapparatuur voor het meten van ammoniak. Op de geel gemarkeerde locaties zijn de metingen vanaf 2014 gestopt. De metingen op deze locaties zijn voortgezet met een eenvoudigere meetmethode (passieve samplers).

In 2005 heeft het RIVM i.s.m. terreinbeheerders en vrijwilligers het MAN opgezet. Dit meetnet heeft als doel om de ammoniakconcentratie te volgen in een groot deel van de Natura 2000-gebieden die gevoelig zijn voor stikstof. De gehanteerde meetmethode (passieve sampler; zie paragraaf 2.3) is zeer goedkoop en eenvoudig, maar daarmee minder nauwkeurig. Door de eenvoud en de lage kosten kunnen de metingen wel op een groot aantal locaties worden ingezet. Om toch aan de gewenste nauwkeurigheid te komen worden de MAN-metingen maandelijks geijkt aan de LML-meetwaarden en worden in een MAN gebied meerdere metingen uitgevoerd.

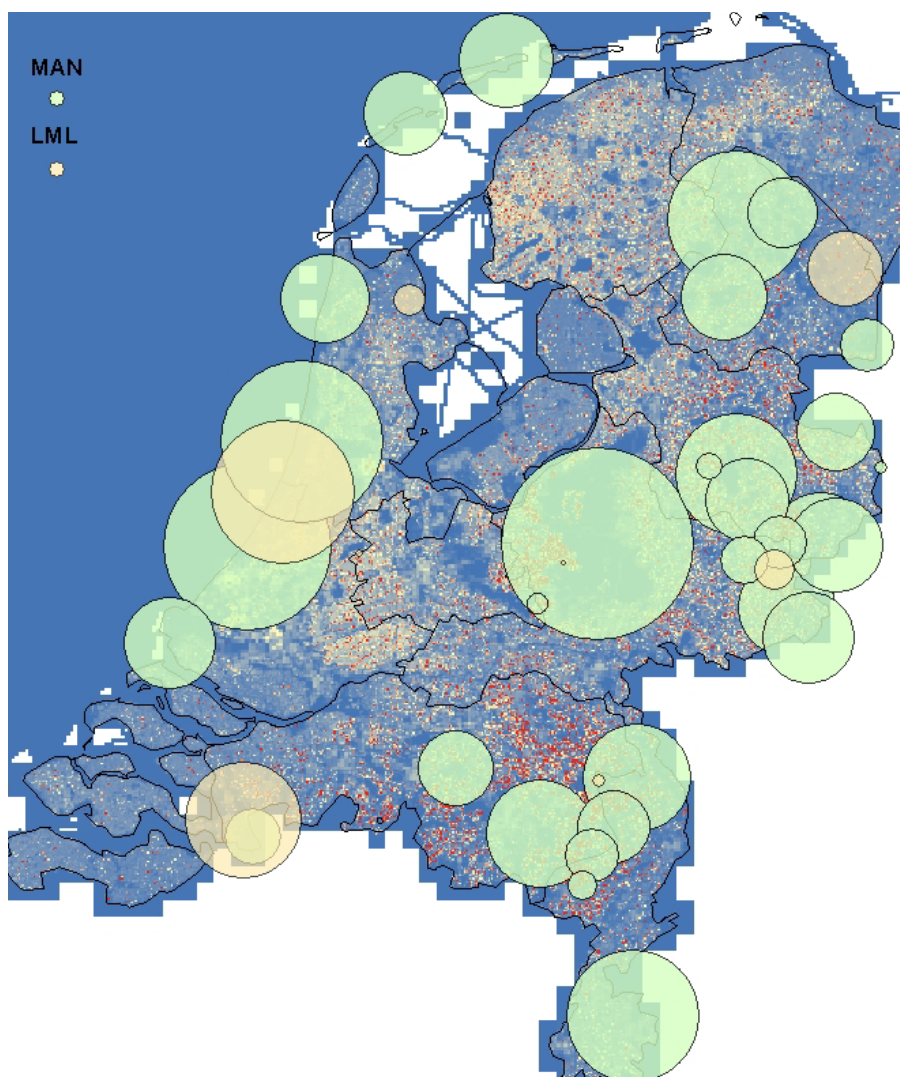
In maart 2005 startte het MAN in 22 gebieden op de zandgronden in het oosten en zuiden en in de duinen langs de kust en de Waddeneilanden, met in totaal 76 meetpunten. In 2006 was er een substantiële uitbreiding naar 116 meetpunten. In 2008 volgde nog een bescheidener uitbreiding met meetpunten in het Bargerveen, het Fochteloërveen en het Haaksbergerveen. In de nazomer van 2011 werd het MAN uitgebreid naar 53 gebieden met 214 meetpunten, verspreid over heel Nederland. In 2012 en 2014 zijn er nog substantiële uitbreidingen bijgekomen, waardoor er eind 2014 werd gemeten op 237 meetpunten in 69 gebieden. Recentelijk is het meetnet uitgebreid met metingen in de Natura2000 gebieden in Noord-Brabant in opdracht van de provincie.

Deze rapportage is gebaseerd op die gebieden waar de meetreeks lang genoeg is om een betrouwbare trend te kunnen vaststellen. Het gaat dan om alle gebieden die in de periode 2005-2008 al in het meetnet waren opgenomen, met uitzondering van het Haaksbergerveen en het Sarsven. In Figuur 2 staan de gebruikte gebieden weergegeven. Voor het vinden van de namen van de getoonde gebieden wordt verwezen naar Bijlage 1.



Figuur 2 Locaties van de MAN-metingen die meegenomen zijn in deze rapportage. De kleur van de locatie is indicatief voor het beginjaar van de metingen; het weergegeven getal toont het aantal meetpunten in het betreffende natuurgebied. De Veluwe is vanwege de grote omvang van het gebied en de daarbinnen afwijkende trends opgedeeld in 2 deelgebieden: Veluwe west (nabij de Gelderse Vallei) en Veluwe centraal en oost.

De ruimtelijke dekking van de voor dit rapport gebruikte gegevens uit het MAN en het LML is goed voor de duinen langs de kust en voor de zandgronden in het oosten en zuiden (Figuur 3). Dit betreft dan met name Drenthe, het midden en oosten van Overijssel en Gelderland en de grensstreek van Brabant en Limburg. De lagere klei- en veengebieden van Nederland zijn echter vrijwel niet vertegenwoordigd. De provincies Groningen, Flevoland, Utrecht en Zeeland ontbreken volledig. Over enkele jaren zal het mogelijk zijn om uitspraken over de trend te doen over de nu ontbrekende delen van Nederland, uitgaande van de locaties die sinds de grote uitbreidingen van 2011-2012 aan het MAN zijn toegevoegd.



Figuur 3 Indicatie van de ruimtelijke dekking van de LML-locaties en MAN-gebieden die vanaf 2005-2008 operationeel zijn. Cirkels om de meetstations geven het gebied aan wat 50% van de concentratie bepaalt; hoe kleiner de cirkel hoe hoger de lokale emissies. Op basis van 2010 emissies en meteorologische omstandigheden.

2.2 Ammoniakmetingen in het LML

De metingen in het LML worden uitgevoerd met het AMOR-meetsysteem (Wyers et al., 1993). Hierbij worden uurgemiddelde concentraties van ammoniak gemeten met een nat-chemische methode. De metingen geven hiermee een gedetailleerd beeld van de dynamiek van de ammoniakconcentraties en zijn uitermate geschikt voor het doen van processtudies. Nadeel van de methode zijn de hoge kosten en de noodzaak van het hebben van een meetbehuizing met een elektriciteitsvoorziening (zie Figuur 4). Hierdoor zijn deze metingen niet geschikt voor het uitgebreid in kaart brengen van de ammoniakconcentraties in natuurgebieden.

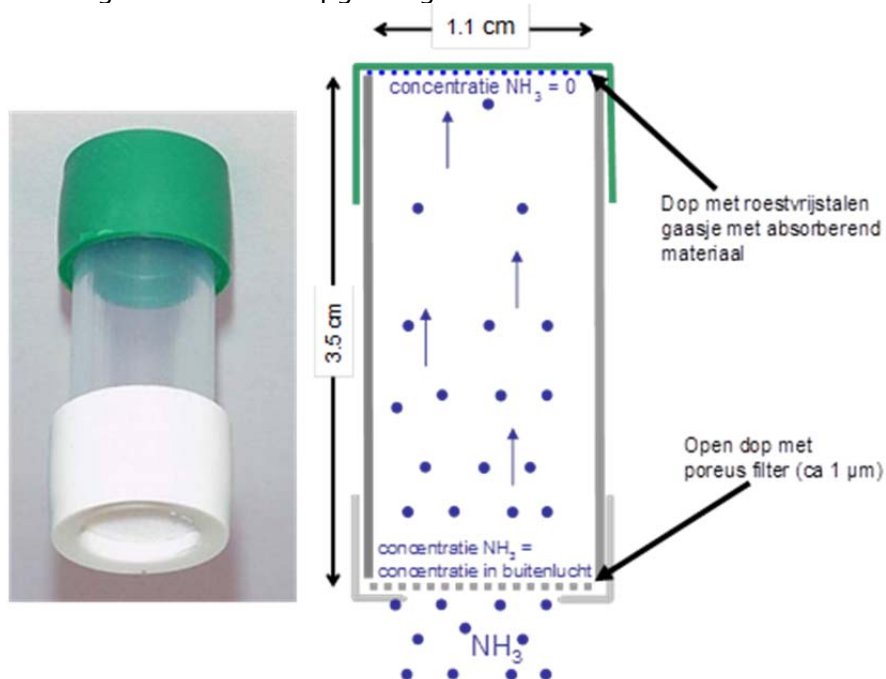


Figuur 4 Voorbeeld van een LML meetbehuizing

Voor de berekening van jaargemiddelde concentraties heeft de gebruikte methode een onzekerheid van minimaal 6.7% (Blank, 2001). De metingen in het LML worden maandelijks gevalideerd, waarbij foutieve meetwaarden als ongeldig worden gemarkeerd. In de hier gebruikte dataset zijn ontbrekende meetwaarden geïmputeerd volgens de methode beschreven in van Zanten et al., (2016).

2.3 Ammoniakmetingen in het MAN

Om in een groot aantal natuurgebieden de ammoniakconcentraties te kunnen volgen, wordt gebruik gemaakt van passieve samplers. Dit zijn kleine absorptiebuisjes (zie Figuur 5) die gedurende een maand in een natuurgebied worden opgehangen.



Figuur 5 Afbeelding en schematische weergave van het type passieve samplers dat wordt toegepast in het MAN

De buisjes nemen door middel van diffusie en absorptie ammoniak uit de buitenlucht op. Na afloop wordt de hoeveelheid opgenomen ammoniak in het laboratorium bepaald en kan de gemiddelde ammoniakconcentratie tijdens de blootstellingsperiode worden berekend. Door de geringe kosten van de passieve samplers kunnen deze op grote schaal ingezet worden. Nadeel is dat de samplers alleen een gemiddelde concentratie over de meetperiode (maand) geven. Ook is de nauwkeurigheid van de meting lager dan van de meetapparatuur in het LML.

Daarnaast is de opname van ammoniak door de samplers voor een deel afhankelijk van de omgevingscondities. Om deze invloed zoveel mogelijk uit te sluiten worden de samplers voor elke meetperiode gekalibreerd aan de hand van de ammoniakmetingen op de LML-metlocaties. Op alle 6 nog operationele meetlocaties worden daartoe maandelijks 3 passieve samplers aan de aanzuigbuis van het AMOR systeem geplaatst. De resultaten van deze metingen worden vergeleken met de AMOR metingen en aan de hand hiervan wordt voor elke meetperiode voor alle passieve samplers in de natuurgebieden een kalibratie uitgevoerd. De hierbij toegepaste methode is uitgebreid beschreven in Stolk et al., 2009.

De nauwkeurigheid van de buisjes is afhankelijk van de gemeten concentratie. Voor de gemeten jaargemiddelde concentratie is de onzekerheid in Tabel 1 weergegeven (Lolkema, 2015). Ook toont de tabel de onzekerheid voor de jaargemiddelde concentratie over een heel natuurgebied met daarin 4 meetlocaties.

Tabel 1 Relatieve meetonzekerheid van de passieve samplers

Concentratie [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Relatieve onzekerheid [%]	
	Jaargemiddelde (individuele meting)	Gebiedsgemiddelde (jaargemiddeld) op basis van 4 locaties per gebied
1	14	9.8
2	11	8.8
5	9.8	8.5
10	9.6	8.4
20	9.6	8.4

De metingen van het MAN worden jaarlijks gevalideerd. Daarbij wordt aan elke meetwaarde een kwaliteitsindicator toegekend. Hierbij worden drie categorieën onderscheiden:

- meting OK
- meting verdacht
- meting onbetrouwbaar

Metingen die als onbetrouwbaar zijn gekenmerkt worden afgekeurd en worden niet meer bij verdere analyses en rapportages gebruikt. Omdat het concentratieverloop over een jaar erg kan variëren en omdat een afgekeurde of ontbrekende meetwaarde uitval van een volledige maand tot gevolg heeft, is het voor een goede onderlinge vergelijkbaarheid van jaargemiddelde waarden noodzakelijk dat de missende meetwaarden worden vervangen door een geschatte waarde. Na afloop van de validatieprocedure worden daarom de missende meetwaarden middels een imputatieprocedure (Hoogerbrugge en Liem,

2000; Lolkema et al., 2015) vervangen door een vervangende meetwaarde die wordt afgeleid uit de overige beschikbare metingen.

2.4 Werkwijze trendbepaling

Voor het vaststellen van een trend in de ammoniakconcentratie is voor elk jaar in de periode 2005 tot en met 2014 de gemiddelde concentratie over Nederland berekend als gemiddelde van de MAN-gebiedsgemiddelden en de LML-locatiegemiddelden. Elk LML-meetpunt weegt daarin even zwaar mee als het gemiddelde van alle metingen binnen een Natura 2000-gebied in het MAN. Alleen de Veluwe is opgesplitst in twee gebieden, "Veluwe-west" en "Veluwe-centraal en oost". Dit vanwege het grote aantal meetpunten, het grote oppervlak van de Veluwe en het verschil in trends tussen deze twee deelgebieden. Het LML wordt in de berekening vertegenwoordigd door 8 locaties, welke over de hele beschouwingsperiode operationeel waren.

Het MAN is vertegenwoordigd met 111 meetlocaties in 31 gebieden, waarvan er 30 deel uitmaken van het Natura 2000-netwerk. De meeste van deze meetlocaties zijn vanaf 2005 of 2006 operationeel (zie Figuur 2).

Voor het vaststellen van de trend is over de jaargemiddelde concentraties in de periode 2005 tot en met 2014 een lineaire regressieberekening uitgevoerd en is getoetst of de berekende helling significant afwijkt van 0.

Met betrekking tot de toetsing op significantie zijn in dit rapport de volgende definities gebruikt:

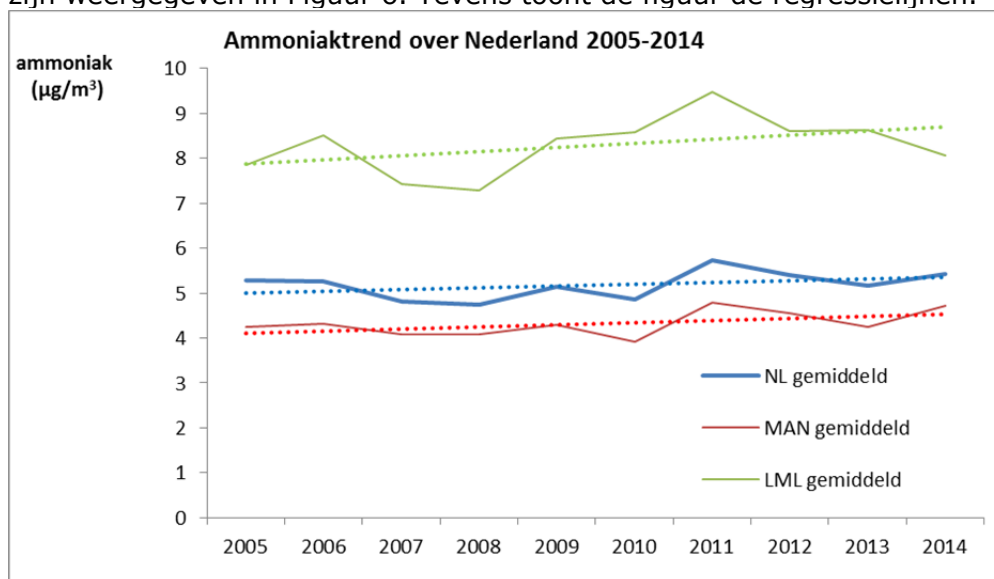
Omschrijving	Toetsingscriterium
Geen trend	$p > 0.34$
Trend waarschijnlijk	$0.1 < p \leq 0.34$
Trend zeer waarschijnlijk	$p \leq 0.1$

Deze indeling is gebaseerd op de classificering zoals deze ook wordt gehanteerd door het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (Mastrandrea, M.D. et al., 2010).

3 Het verloop van de ammoniakconcentratie over de periode 2005-2014

3.1 Op nationale schaal

De jaargemiddelde concentraties over de periode 2005 tot en met 2014 zijn weergegeven in Figuur 6. Tevens toont de figuur de regressielijnen.



Figuur 6 Het verloop van de ammoniakconcentratie over de periode 2005-2014, gemiddeld over 8 LML-locaties en de meetlocaties van alle 31 gebieden die vanaf 2005-2008 deel uitmaken van het MAN. In 2005 ontbrak nog een deel van de locaties. De stippellijnen geven de berekende regressielijnen over de periode weer.

In Tabel 2 is de berekende trend uitgedrukt als percentage per jaar en is tevens de significantie van de trend weergegeven.

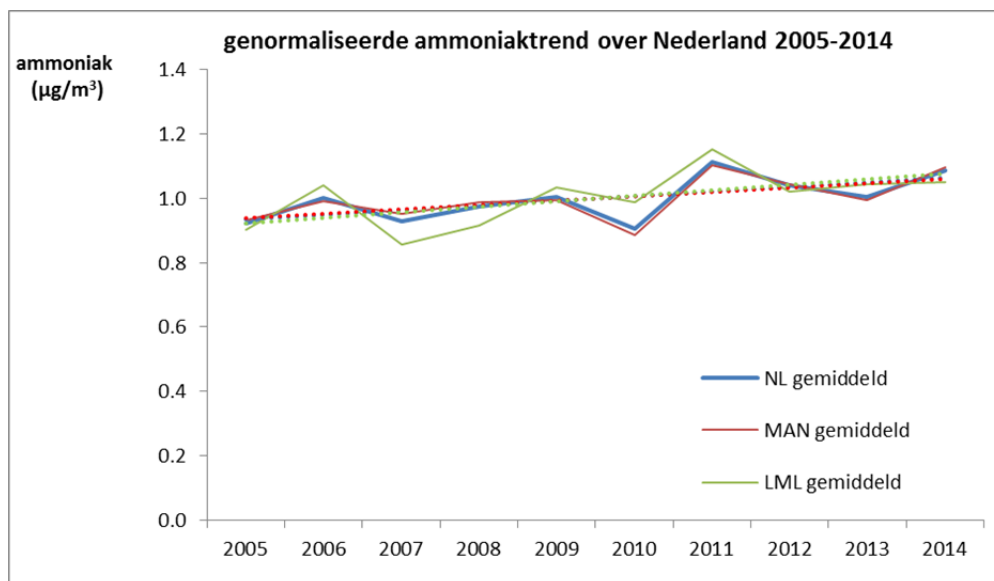
Tabel 2 Grootte en significantie van de trend in de ammoniakconcentratie over de periode 2005-2014

	trend in % per jaar	significantie (p-waarde)
Nederland gemiddeld	0.8	0.29
MAN gemiddeld	1.2	0.13
LML gemiddeld	1.2	0.21

De tabel toont dat zowel voor Nederland als geheel als voor MAN en LML afzonderlijk sprake is van een positieve trend die waarschijnlijk te noemen is.

Omdat de hoogte van de concentratie van plaats tot plaats sterk kan verschillen, neemt de statistische significantie aanzienlijk toe wanneer de individuele meetreeksen worden genormaliseerd met hun eigen gemiddelde, zie Van Zanten et al., (2016).

Figuur 7 toont het verloop van de ammoniakconcentratie wanneer deze normalisering wordt toegepast op de metingen van het MAN en het LML.



Figuur 7 Het verloop van de genormaliseerde ammoniakconcentratie over de periode 2005-2014, De stippellijnen geven de berekende regressielijnen over de periode weer.

Tabel 3 Grootte en significantie van de trend in de genormaliseerde ammoniakconcentratie over de periode 2005-2014

	trend in % per jaar	significantie (p-waarde)
Nederland gemiddeld	1.5	0.05
MAN gemiddeld	1.4	0.07
LML gemiddeld	1.9	0.07

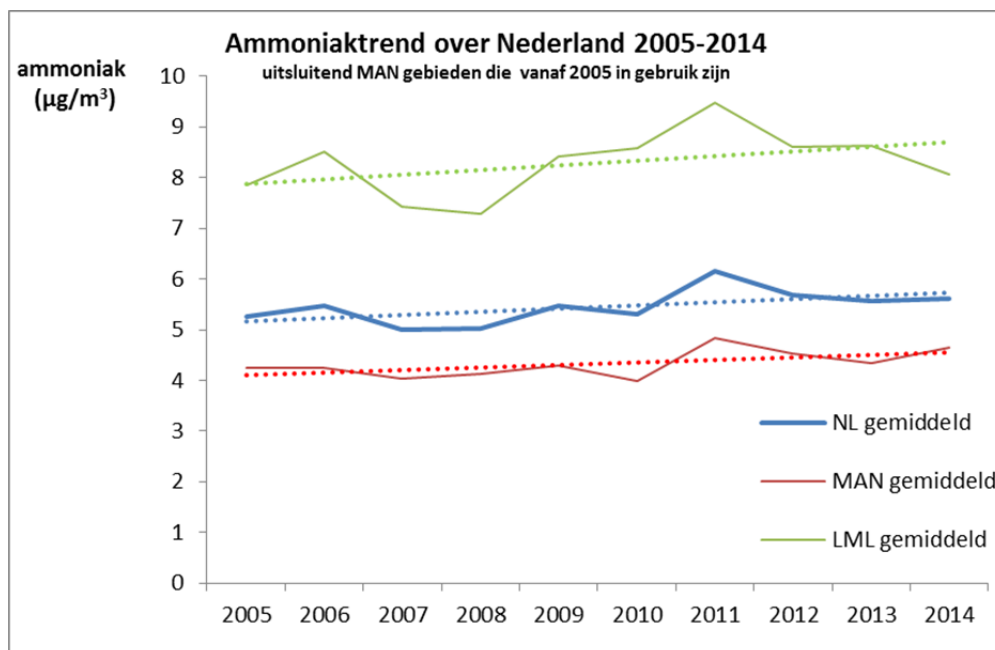
Tabel 3 toont de berekende grootte en significantie van de trend wanneer de normalisering wordt toegepast.

Op basis van de genormaliseerde meetreeksen is de berekende trend zowel bij de metingen van het MAN als bij de metingen van het LML sterker stijgend en is deze meer significant. Hetzelfde geldt voor het gemiddelde over alle metingen.

Opvallend is verder dat het verloop over de jaren 2005-2014 van de LML metingen vrijwel identiek is aan het verloop in het MAN, ondanks dat de LML metingen veel sterker lokaal beïnvloed worden.

Omdat in de beschouwde periode niet alle gebieden van het MAN al vanaf 2005 in gebruik waren is ook gekeken naar het effect van de uitbreidingen van het MAN in de periode 2005-2008.

Hiervoor is de trendberekening herhaald met het uitsluitend meenemen van de 22 MAN gebieden welke in 2005 al in gebruik waren. In Figuur 8 en Tabel 4 worden de resultaten hiervan weergegeven. De trend voor Nederland als geheel wordt nu iets groter. De significantie wordt voor MAN en Nederland als geheel ook groter en is er sprake van een zeer waarschijnlijke positieve trend.



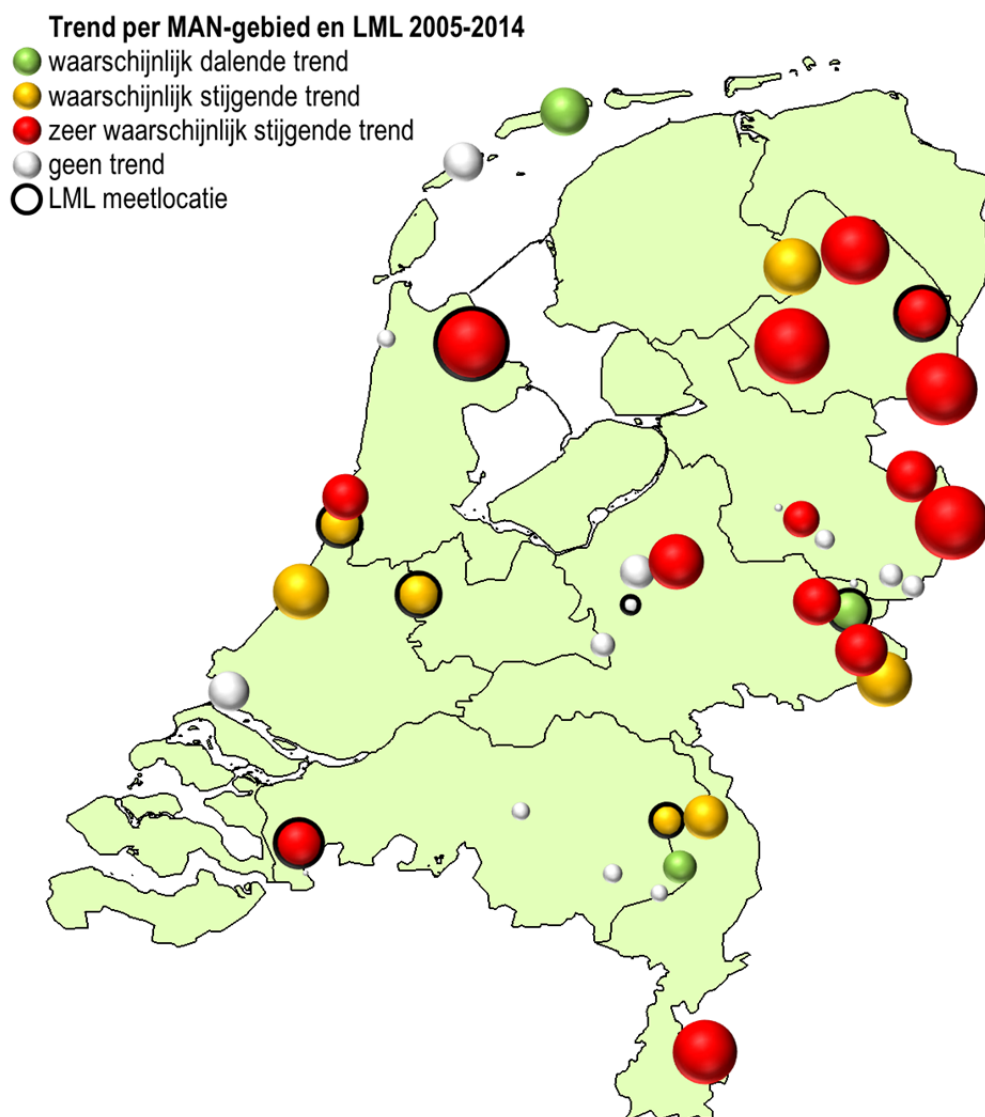
Figuur 8 Het verloop van de ammoniakconcentratie over de periode 2005-2014, waarbij alleen MAN gebieden zijn meegenomen die vanaf 2005 in gebruik zijn.

Tabel 4 Grootte en significantie van de trend in de ammoniakconcentratie over de periode 2005-2014. Voor het MAN zijn alleen gebieden meegenomen die vanaf 2005 in gebruik zijn.

	trend in % per jaar	significantie (p-waarde)
Nederland gemiddeld	1.2	0.09
MAN gemiddeld	1.2	0.08
LML gemiddeld	1.2	0.21

3.2 Op lokaal niveau

De trend van de ammoniakconcentratie in de MAN gebieden en op de LML- meetlocaties is weergegeven in Figuur 9 (zie ook Bijlage 2 voor de getalsmatige grootte van de trends). Het is duidelijk dat er grote verschillen in trend kunnen zijn over Nederland en die aanzienlijk afwijken van de landelijke trend.



Figuur 9 De trend per MAN-natuurgebied en LML-locatie (per natuurgebied gemiddeld over alle MAN-locaties binnen dat gebied). LML-locaties zijn omgeven door een zwarte rand. De omvang van de bol geeft aan hoe groot de verandering over de periode 2005-2014 is geweest. In Bijlage 2 staan de jaargemiddelde concentratie, de trend en de significantie in de trend weergegeven.

Duidelijk is dat de trend in naburige gebieden en locaties vaak vrij dicht bij elkaar ligt. Echter verschillen tussen gebieden die dicht bij elkaar liggen komt ook voor. Dit toont eens te meer aan dat ammoniakconcentraties voor een belangrijk deel beïnvloed worden door lokale emissies. Toch is er sprake van enige clustering in trends. In Drenthe, het noordoosten van Twente en de kop van Noord-Holland is de trend overwegend positief. De ammoniakconcentraties zijn daar over de afgelopen 10 jaar met enkele tientallen procenten toegenomen. Vrijwel overal is de positieve trend in deze gebieden zeer waarschijnlijk te noemen. Dalende concentraties worden alleen gemeten in het zuidoosten van Brabant, in het noordelijk kustgebied en op enkele

plaatsen rond de grens tussen Gelderland en Overijssel. In al deze gebieden kunnen we door de grote onzekerheden niet spreken van een trend.

De sterke toename van de ammoniakconcentratie in gebieden langs de Duitse grens wekt de indruk dat de stijging in het oosten mede door Duitse bronnen kan zijn veroorzaakt. Een korte oriënterende analyse op basis van windrichtingen laat echter een sterkere toename zien bij wind vanuit Nederlandse richting dan bij wind vanuit Duitse richting (Bijlage 3). Hoewel deze analyse slechts zeer indicatief is, lijkt het niet aannemelijk dat de ammoniakconcentratie in het oosten vooral door Duitse bronnen is toegenomen.

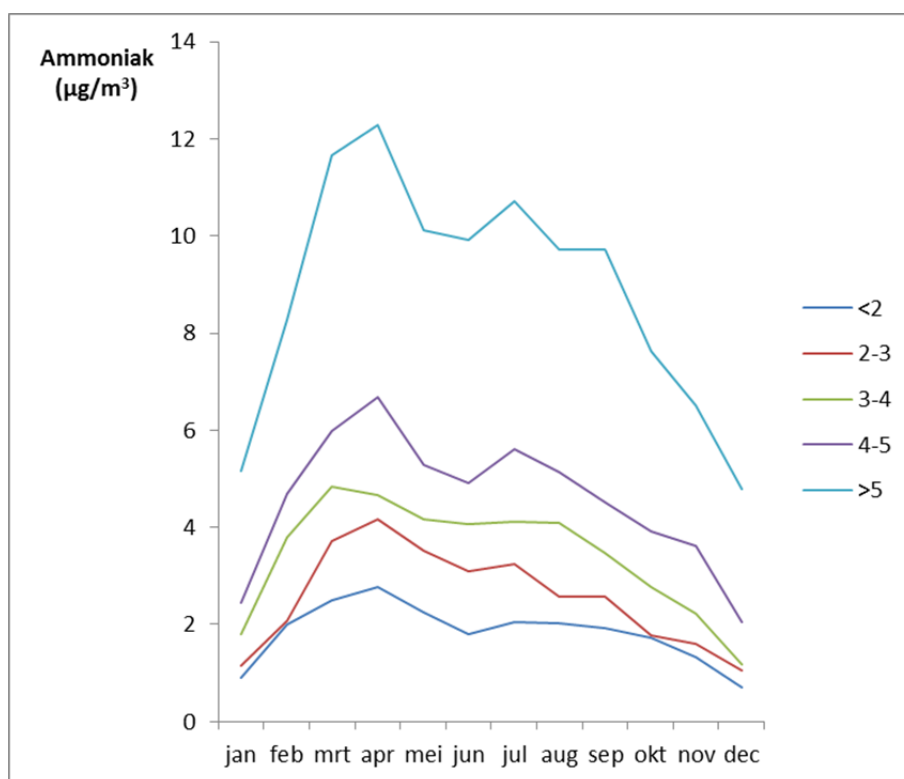
3.3 Verloop van de ammoniakconcentratie over het jaar

Om een beeld te krijgen van het verloop van de ammoniakconcentraties over het jaar zijn de metingen van het MAN en het LML geclusterd in vijf klassen van de jaargemiddelde concentratie: $< 2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $2\text{--}3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $3\text{--}4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $4\text{--}5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en $> 5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Het maandelijks verloop over deze klassen wordt getoond in Figuur 10.

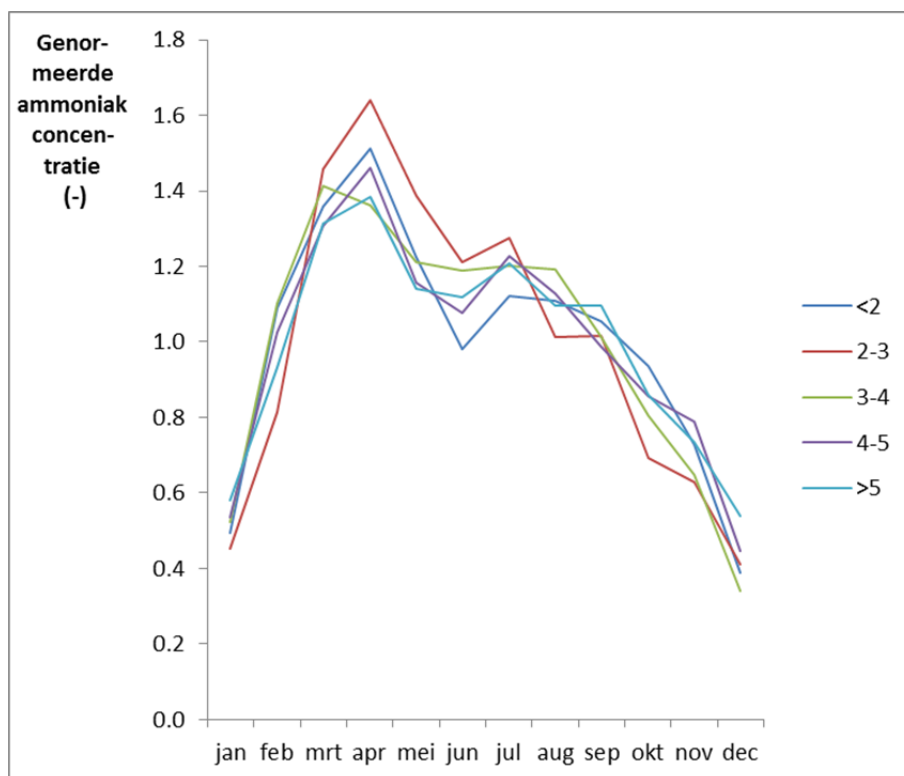
De figuur laat zien dat in alle klassen een vergelijkbaar verloop zichtbaar is: in de winterperiode zijn de concentraties laag, gevolgd door een piek in de maanden maart-april. Een tweede, minder uitgesproken piek treedt op rond juli-augustus, waarna de concentraties weer gestaag dalen naar het lage concentratieniveau in de winterperiode.

Het beeld in de gemeten concentraties is consistent met wat op basis van emissiepatronen verwacht wordt: in de winterperiode worden de concentraties uitsluitend bepaald door stalemissies welke door de lage temperatuur lager zijn dan in de zomerperiode.

Na de winterperiode begint het uitrijdseizoen en nemen de aanwendingsemisies sterk toe. Tijdens het verdere verloop van het groeiseizoen nemen aanwendingsemisies weer af. Vanaf september vinden er nagenoeg geen aanwendingsemisies meer plaats.



Figuur 10 Gemiddeld maandelijks verloop van de ammoniakconcentratie in de periode 2005-2014 – clustering per concentratieklasse



Figuur 11 Genormeerd maandelijks verloop van de ammoniakconcentratie in de periode 2005-2014 – clustering per concentratieklasse

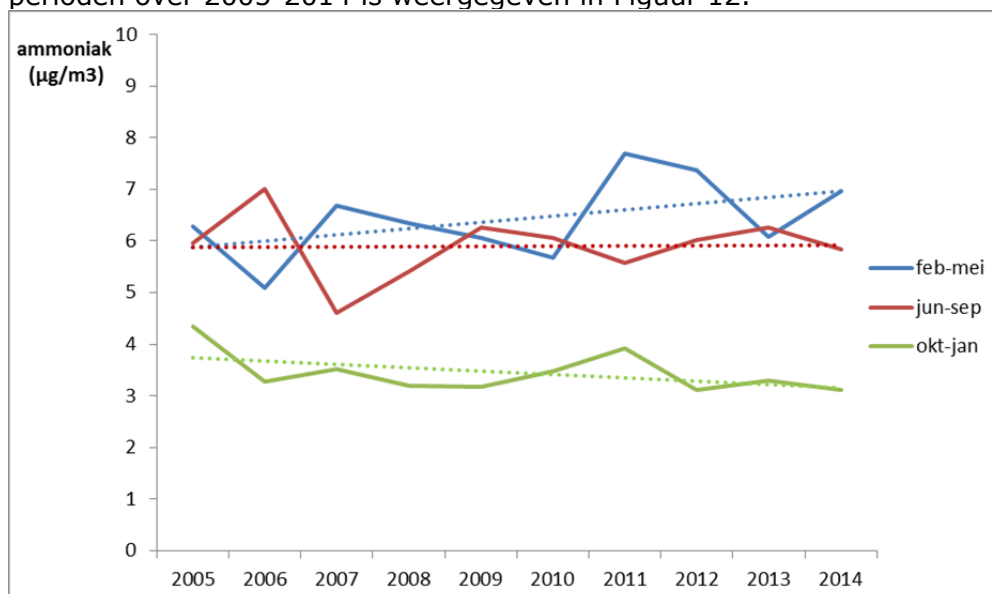
Om het maandelijks verloop in de verschillende concentratieklassen beter onderling te kunnen vergelijken zijn deze genormeerd door de maandelijks concentraties te delen door de jaargemiddelde concentratie van de betreffende klasse. Figuur 11 toont het genormeerde maandelijks verloop.

Opvallend is dat het genormeerde verloop van de maandelijks ammoniakconcentratie voor alle concentratieklassen vrijwel identiek is. Dit duidt erop dat het verloop over het jaar zowel in gebieden met een hoge ammoniak belasting als in gebieden met slechts een achtergrondbelasting wordt bepaald door de grootschalige landbouwpraktijk.

3.4 Het verloop geclusterd naar 4 maandelijks perioden

Om een verloop van de concentraties van ammoniak over het jaar te verkrijgen is een clustering gemaakt naar 3 viermaandelijks perioden: (1) februari t/m mei waarin voor een groot deel de uitrij-emissies plaatsvinden, (2) oktober t/m januari, waarin geen mest uitgereden mag worden, en (3) juni t/m september waarin wel mest wordt uitgereden, maar doorgaans in mindere mate dan in het voorjaar.

Het verloop van de ammoniakconcentratie in de viermaandelijks perioden over 2005-2014 is weergegeven in Figuur 12.



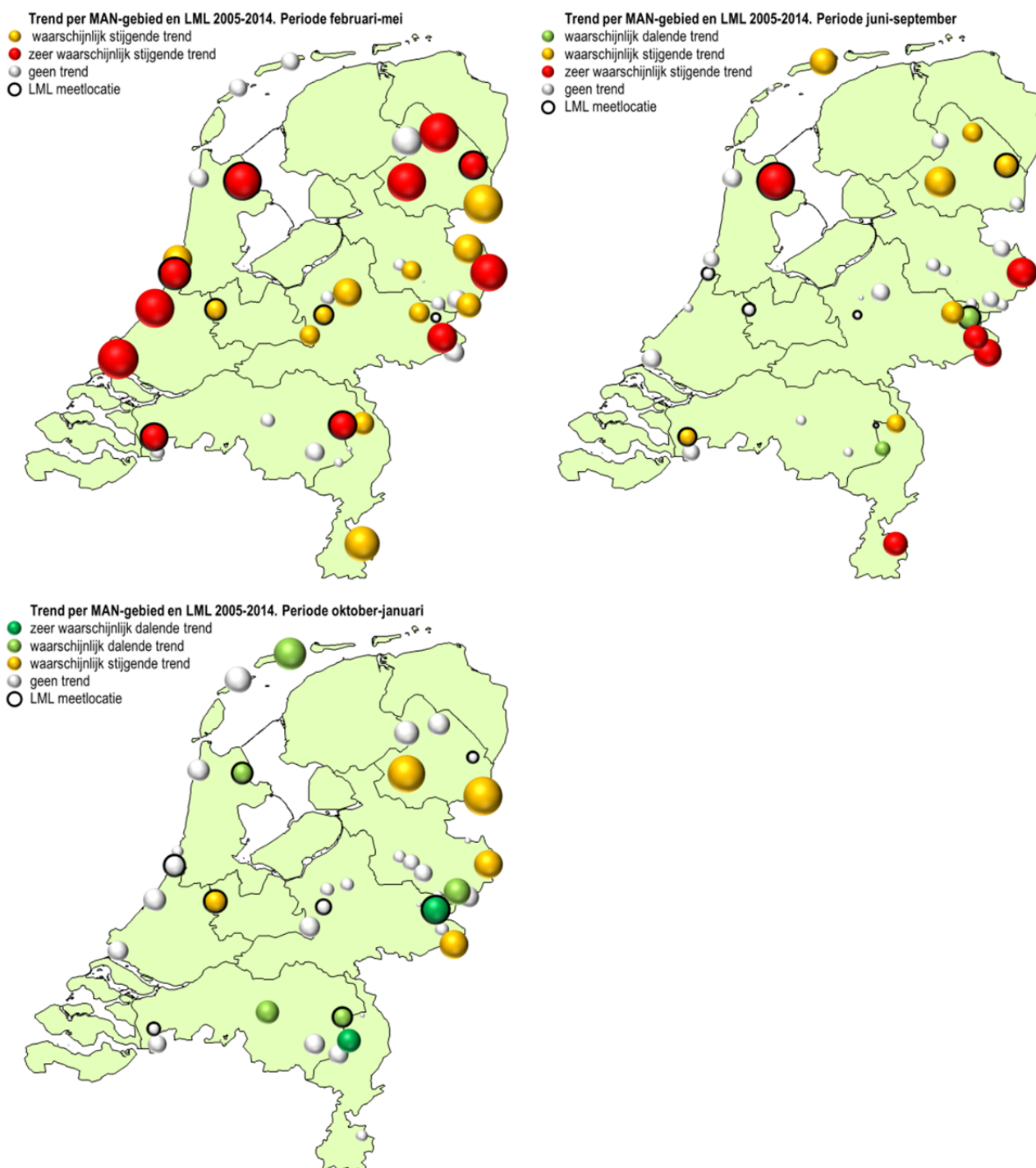
Figuur 12 Het verloop van de ammoniakconcentratie per 4 maandelijks perioden over het tijdvak 2005-2014

Omdat het MAN in 2005 nog op veel plaatsen niet operationeel was, is de trend zowel over 2005-2014 als over 2006-2014 bepaald. Tabel 5 toont de trend en significantie van beide perioden

Tabel 5 De landelijke trend en significantie per viermaandelijke periode

	trend in % per jaar 2005-2014	trend in % per jaar 2006-2014	significantie (p-waarde) 2005-2014	significantie (p-waarde) 2006-2014
feb-mei	2.1%	2.8%	0.16	0.15
jun-sep	0.1%	0.2%	0.95	0.90
okt-jan	-1.7%	-0.4%	0.16	0.74

In februari-mei is er in beide gevallen sprake van een waarschijnlijke positieve trend. In de periode oktober-januari is er een statistisch onzeker negatieve trend, terwijl er voor de periode juni-september geen significante trend waarneembaar is.



Figuur 13 De trend in de drie viermaandelijke perioden per MAN-natuurgebied en LML-locatie. LML locaties zijn omgeven door een zwarte rand. De omvang van de bol geeft aan hoe groot de verandering over de periode 2005-2014 is geweest.

Figuur 13 toont de trend van de viermaandelijke perioden per MAN-gebied of LML-locatie.

Voor de periode februari-mei is het ruimtelijk patroon in de trend landelijk gezien vergelijkbaar met de trend zoals deze voor het hele jaar (januari-december) is afgeleid (zie Figuur 9).

In de meeste gebieden is sprake van een waarschijnlijke of zeer waarschijnlijke positieve trend.

In de periode juni-september is de trend veel kleiner dan in de periode februari-mei. Er is in nog maar een klein aantal gebieden sprake van een waarschijnlijke of zeer waarschijnlijke positieve trend.

In de periode oktober-januari is in de meeste gebieden geen trend meer waarneembaar. In een aantal gebieden wordt nu echter een waarschijnlijke of zeer waarschijnlijke negatieve trend vastgesteld. In het noordoosten van het land is echter soms nog steeds sprake van een waarschijnlijke positieve trend.

De positieve trend zoals deze is vastgesteld voor de jaargemiddelde concentraties blijkt dus vooral bepaald te worden door een positieve trend in het voorjaar. In de winterperiode worden minder stijgingen en meer dalingen in de concentraties gevonden.

Uit de studie van Van Zanten et al., (2016) uitgevoerd op alleen de LML-stations blijkt echter dat als "gecorrigeerd" wordt voor meteorologische invloeden (dat wil zeggen genormaliseerd wordt) met name in de winterperiode het verloop van de concentratie naar boven toe bijgesteld wordt. Dat betekent dat er dan geen sprake meer is van een daling maar van een stijging in de concentraties. Voor de voorjaarsperiode blijkt de normalisatie ertoe te leiden dat de stijging minder sterk is. In de zomer heeft de meteonormalisatie weinig invloed op het beeld. Genormaliseerd voor meteorologie blijkt er dus in alle drie de perioden sprake van een stijging van de concentratie. Op jaarbasis leidt meteonormalisatie tot een sterker positieve trend. Zoals vermeld is de meteonormalisatie alleen uitgevoerd voor de LML-stations en niet voor de MAN-gebieden. Het is a priori niet duidelijk of voor de MAN-gebieden hetzelfde geldt met betrekking tot de meteonormalisatie van trends maar omdat de meteorologische condities in de MAN gebieden in de betreffende periode niet erg af zullen wijken van de meteorologische condities op de LML meetlocaties, is het niet waarschijnlijk dat de afwijkingen groot zullen zijn. De gemeten toename van de ammoniakconcentratie in zowel de MAN gebieden als op de LML meetlocaties is dus zeer waarschijnlijk niet toe te schrijven aan gewijzigde meteorologische omstandigheden.

3.5

De trend in de ammoniakconcentratie en de ammoniakemissie

Naast de invloed van meteorologische omstandigheden heeft ook een veranderende chemische samenstelling van de atmosfeer invloed op de trend in ammoniak. Doordat er steeds minder zwaveldioxide en stikstofoxiden in de lucht geëmitteerd worden neemt ook de omzetting van ammoniak naar ammoniumaerosol af. Daarnaast wordt door de afname van zwaveldioxide en stikstofoxiden het oppervlak waarop ammoniak deponeert minder zuur en neemt de depositie af. Beide effecten leiden er toe dat er gaandeweg meer ammoniak in de lucht aanwezig blijft ook al zouden de ammoniakemissies gelijk blijven. Wichink Kruit et al., 2016, hebben berekend dat het gezamenlijke effect

van veranderende meteorologische omstandigheden en veranderende chemische samenstelling van de atmosfeer er toe heeft geleid dat in de periode 2005-2014 de ammoniakconcentratie ca. 10-20% is toegenomen. Na correctie voor deze effecten is de verandering in de ammoniakconcentratie in deze periode dus 10-20% lager. Bovengenoemde berekeningen zijn uitgevoerd voor de 8 LML-meetlocaties waar langdurig ammoniakconcentraties zijn gemeten. De veranderingen in de chemische omzetting en het depositie-proces spelen zich af op een relatief grote ruimtelijke schaal (tientallen-honderden kilometers), wat betekent dat de berekeningen representatief zijn voor een groter gebied en dus ook gelden voor de MAN-locaties. De gemeten trend in het MAN is in de periode 2005-2014 van dezelfde orde van grootte als de netto correctie voor wijzigingen in meteorologische omstandigheden en chemische samenstelling van de atmosfeer. Na correctie is er in het MAN in de betreffende periode nagenoeg geen trend meer aanwezig.

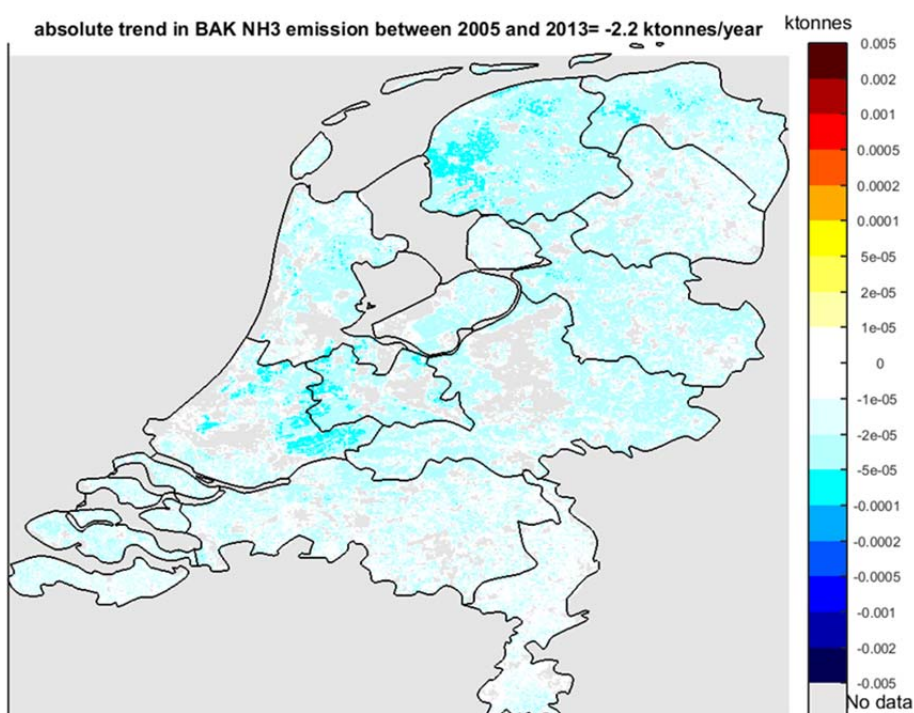
Wanneer gekeken wordt naar de emissie van ammoniak, dan blijkt er in dezelfde periode sprake te zijn van een negatieve trend. Deze daling in de ammoniakemissie wordt echter niet terug gevonden in de ammoniakconcentraties, ook niet nadat deze is gecorrigeerd voor veranderingen in meteorologie en chemische samenstelling van de atmosfeer.

De daling in de ammoniakemissies is echter niet overal in Nederland even groot en is verschillend per emissiecategorie. Vandaar dat gekeken is of het ruimtelijke beeld in de trend in de ammoniakemissie over Nederland aanleiding zou kunnen geven voor stijgingen in de ammoniakconcentraties.

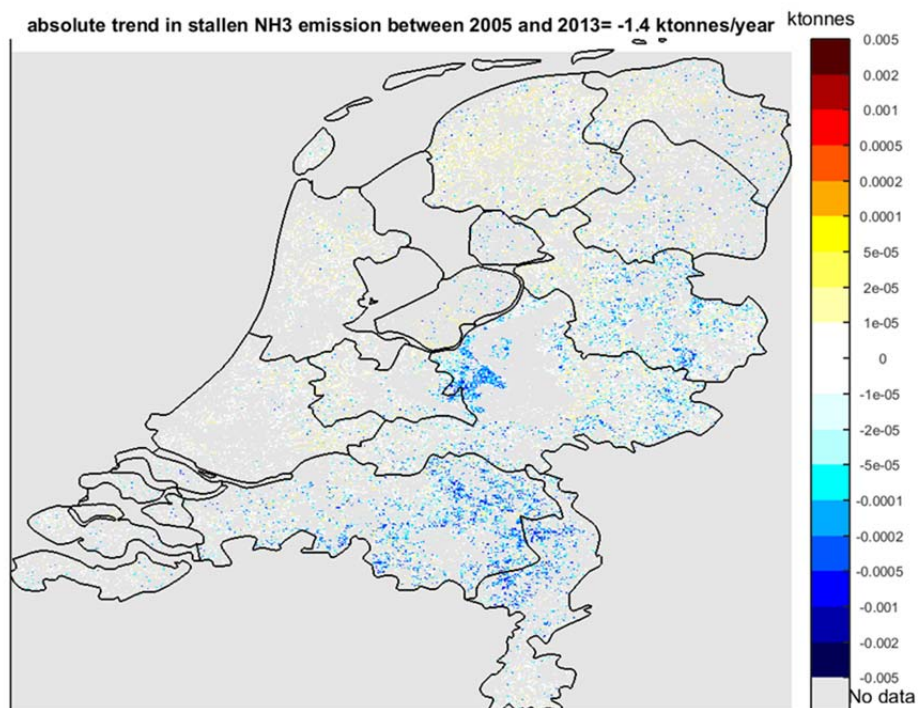
In Figuren 14-16 zijn weergegeven de ruimtelijke verdeling van de trend in de emissie ten gevolge van beweiding, aanwending van dierlijke mest en kunstmest (en compost, zuiveringsslib en door afrijping en gewasresten, Figuur 14), stalemissies (Figuur 15) en de totale ammoniakemissie uit de landbouw (Figuur 16) over de periode 2005-2013.

Bij de emissies ten gevolge van beweiding, aanwending van dierlijke mest en kunstmest is nagenoeg overal sprake van een daling in de emissies. Bij de emissie vanuit stallen is er met name rond de grens tussen Brabant en Limburg en in de Gelderse Vallei sprake van een daling. In het westen en noorden van het land is sprake van een toename van de emissie. Voor de totale ammoniakemissie uit de landbouw is er over Nederland als geheel sprake van een negatieve trend, hoewel zeer lokaal soms ook een positieve trend voorkomt. Deze blijkt meestal te worden veroorzaakt door een lokale toename van de emissie vanuit de melkveesector. Het is niet waarschijnlijk dat op basis van deze stijging in de ammoniakemissies een stijging in de concentraties op de MAN locaties te verwachten is. Zoals uit Figuur 3 is af te leiden wordt de concentratie op een bepaalde locatie namelijk bepaald door bijdrage van bronnen uit een groter gebied (kilometers-tientallen kilometers). De stijgingen in de emissies (in Figuur 16) vinden niet plaats op grote schaal en bovendien zijn de stijgingen aanzienlijk kleiner in grootte dan de dalingen.

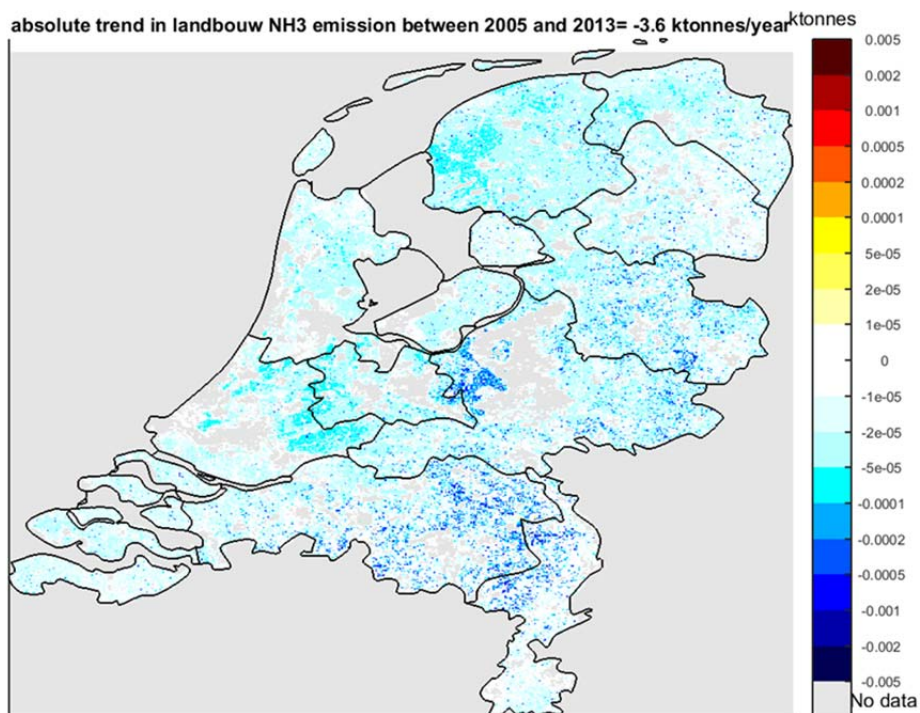
De hier gepresenteerde ruimtelijke verdeling van de emissies moet opgevat worden als indicatief. De ruimtelijke bestanden uit de Figuren 14-16 zijn tot stand gekomen door het ruimtelijke beeld van de emissies per emissie-categorie van één jaar (2012) te schalen met de jaartotalen per emissie-categorie over de jaren. Er is dus geen actualisatie van de ruimtelijke verdeling van bronnen gemaakt. Ruimtelijke veranderingen in de tijd zijn dus louter het effect van in de tijd veranderde verhoudingen tussen de emissies van verschillende subsectoren. Dit betekent dat de onzekerheid in de lokale trends in emissies relatief groot is.



Figuur 14 De ruimtelijke verdeling van de absolute trend in de ammoniakemissie ten gevolge van beweiding, aanwending van dierlijke mest en kunstmest (en compost, zuiveringsslib en door afrijping en gewasresten) over de periode 2005-2013



Figuur 15 De ruimtelijke verdeling van de absolute trend in de ammoniakemissie afkomstig uit de stalemissies over de periode 2005-2013



Figuur 16 De ruimtelijke verdeling van de absolute trend in de ammoniakemissie afkomstig uit de gehele landbouw over de periode 2005-2013.

4 Discussie en Conclusie

De ammoniakconcentratie op de MAN en LML-locaties over Nederland laten gemiddeld genomen een stijging zien van ca. 1,5 % per jaar. Voor de trendberekening zijn de ammoniakconcentraties genormaliseerd op de gemiddelde concentratie die op de locaties gemeten zijn. Er zijn grote lokale verschillen. Regionaal gezien komen positieve trends het meeste voor en deze zijn het grootst in het noordoosten van het land. Echter de regionale verdeling van de meetlocaties is niet gelijkmatig over Nederland. Dit betekent dat uitspraken over andere provincies of regio's in Nederland minder stellig zijn. Het lijkt erop dat de stijgende concentraties in het oosten van het land niet worden veroorzaakt door toegenomen emissies in Duitsland.

De positieve trend wordt voornamelijk veroorzaakt door stijgende concentraties in het voorjaar (hier beschouwd als februari-mei). De positieve trend is dan op veel plaatsen statistisch waarschijnlijk tot zeer waarschijnlijk te noemen.

In het najaar en winter (oktober-januari) zijn er minder stijgingen en meer dalingen in de concentraties waarneembaar. In slechts 5 gebieden is er dan nog sprake van een statistisch waarschijnlijke positieve trend. Uit een studie naar de metingen op de LML meetlocaties (van Zanten et al., 2016) is gebleken dat de stijging van de concentratie in het voorjaar voor een deel wordt veroorzaakt door meteorologische omstandigheden. Ook de daling in de concentratie over de periode oktober-januari wordt voor een groot deel bepaald door meteorologische omstandigheden. Normalisatie van de jaargemiddelde concentraties voor meteorologische omstandigheden heeft over de periode 2005-2014 een sterkere stijging van de concentratie tot gevolg. Ook blijkt dat na meteorologische normalisatie in alle viermaandelijke perioden (feb-mei, juni-sept en okt-feb) de stijging in de concentraties min of meer gelijk is.

Naast de invloed van meteorologische omstandigheden heeft ook de veranderende chemisch samenstelling van de atmosfeer invloed op de trend in ammoniak. Doordat er steeds minder zwaveldioxide en stikstofoxiden in de lucht geëmitteerd worden neemt ook de omzetting van ammoniak naar ammoniumaerosol af. Daarnaast wordt door de reductie in zwaveldioxide en stikstofoxiden het oppervlak waarop ammoniak deponeert minder zuur en neemt de depositie af. In een separate studie is berekend dat bij gelijkblijvende meteorologische omstandigheden en een niet veranderende chemische samenstelling van de atmosfeer de ammoniakconcentraties over de periode 2005-2014 ca. 10-20% lager geweest zouden zijn. Er blijft echter een verschil bestaan tussen de voor meteorologie en chemie gecorrigeerde trend in de ammoniakconcentratie enerzijds en de trend in de ammoniakemissies anderzijds. De daling in de ammoniakemissie over 2005-2014 wordt dus niet terug gevonden in de ammoniakconcentraties, ook niet wanneer rekening wordt gehouden met meteorologische en atmosferisch chemische veranderingen.

De daling in de ammoniakemissies is echter niet overal even groot in Nederland en er zijn verschillen per emissie categorie. Voor de totale ammoniakemissie uit de landbouw is er over Nederland als geheel

sprake van een negatieve trend hoewel er lokaal soms ook enkele stijgende emissies zijn. Deze blijken meestal te worden veroorzaakt door een lokale toename van de emissie vanuit de melkveesector. Het is niet waarschijnlijk dat op basis van deze stijging in de ammoniakemissies een stijging in de concentraties op de MAN locaties is te verwachten.

Na correctie voor meteorologische omstandigheden is de stijging in de ammoniakconcentratie in alle viermaandelijke perioden vergelijkbaar. Als de oorzaak hiervan gezocht wordt in een toegenomen emissie, dan is het waarschijnlijker dat dit te maken heeft met stalemissies dan met aanwendingsemissies. Om een vollediger duiding van waargenomen trends in de ammoniakconcentratie te kunnen geven zijn modelberekeningen nodig waarin ook de ruimtelijke veranderingen in de ammoniakemissies over de periode van 2005 tot heden exacter bekend zijn.

Samengevat is de gemeten toename van de ammoniakconcentratie in de periode 2005-2014 niet te verklaren op grond van veranderde meteorologische omstandigheden. De veranderde atmosferisch chemische samenstelling heeft hier wel in zekere mate aan bijgedragen. Het verschil tussen de negatieve trend in de ammoniakemissie en de positieve trend in de ammoniakconcentratie kan hier echter niet mee worden verklaard. De oorzaak van het verschil is op dit moment nog niet duidelijk en wordt verder uitgezocht.

5 Referenties

Buijsman et al, 1998. An automatic atmospheric ammonia network in the Netherlands : set-up and results. Atmospheric Environment. Volume 32, Issue 3, 317-324
Compendium voor de Leefomgeving. Ammoniak in lucht (2015).

<http://www.compendiumvoordeleefomgeving.nl/indicatoren/nl0461-Ammoniak.html?i=14-66>

Hoogerbrugge R. and Liem, A. K. D.: How to handle non-detects, Organohalogen Compounds, 45, 13–16, 2000

Lolkema et al., 2015. The Measuring Ammonia in Nature (MAN) network in the Netherlands, Biogeosciences, 12, 5133–5142

Mastrandrea, M.D. et al, 2010. Guidance Note for Lead Authors of the IPCC Fifth Assessment Report on Consistent Treatment of Uncertainties
<https://www.ipcc.ch/pdf/supporting-material/uncertainty-guidance-note.pdf>

Publicatieblad van de Europese Gemeenschappen L 309/22, 2001. RICHTLIJN 2001/81/EG VAN HET EUROPEES PARLEMENT EN DE RAAD van 23 oktober 2001 inzake nationale emissieplafonds voor bepaalde luchtverontreinigende stoffen

Staatscourant, 2015. Besluit van de Staatssecretaris van Economische Zaken en de Minister van Infrastructuur en Milieu van 11 december 2015, nr. DGAN-NB / 15166607, houdende wijziging van het programma aanpak stikstof 2015–2021 (AERIUS, versie 2015). Staatscourant nr. 44608.
<http://pas.natura2000.nl>

Stolk et al., 2009. Meetnet Ammoniak in Natuurgebieden
Meetresultaten 2005 – 2007. RIVM rapport 680710001/2009.

Wichink Kruit, R.J., J. Aben, W. de Vries, F. Sauter, E. van der Swaluw, M.C. van Zanten en W.A.J. van Pul. Modelling trends in ammonia in the Netherlands over the period 1990-2014. Submitted to Atmospheric Environment.

Wyers, G. P., Otjes, R. P., & Slanina, J., 1993. A continuous-flow denuder for the measurement of ambient concentrations and surface-exchange fluxes of ammonia. Atmospheric Environment. Part A. General Topics, 27(13), 2085-2090.

Zanten van, M. , R.J. Wichink Kruit, R. Hoogerbrugge, E. van der Swaluw en W.A.J. van Pul. Trends in ammonia measurements in the Netherlands over the period 1993-2014. Submitted to Atmospheric Environment.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.11.007>

Bijlage 1: Ligging van de MAN gebieden en LML meetlocaties

MAN gebieden en LML meetlocaties



Figuur 17 Ligging van de MAN gebieden (gele bollen) en LML meetlocaties (groene bollen)

Bijlage 2: de trend per MAN-gebied en LML-locatie

Trend (in % per jaar), significantie en jaargemiddelde concentratie ammoniak (in $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

	Trend	Significantie (p-waarde)	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
NL gemiddeld	0.8%	0.29	5.3	5.3	4.8	4.7	5.1	4.9	5.7	5.4	5.2	5.4
MAN gemiddeld	1.2%	0.13	4.2	4.3	4.1	4.1	4.3	3.9	4.8	4.6	4.3	4.7
LML gemiddeld	1.2%	0.21	7.9	8.5	7.4	7.3	8.4	8.6	9.5	8.6	8.6	8.1
Bargerveen	5.3%	0.10				4.1	4.5	4.1	5.5	5.0	4.5	5.6
Bennekomse Meent	0.6%	0.57	13.1	11.9	11.1	10.4	13.4	11.8	13.7	12.6	12.9	11.9
Boetelerveld	-0.1%	0.96		7.0	7.3	5.6	6.4	5.6	6.7	7.0	6.7	6.6
Boschhuizerbergen	2.0%	0.20		3.8	4.4	4.5	5.1	4.5	5.5	4.9	4.3	4.9
Brabantse Wal	0.0%	0.98	2.7	3.0	2.3	3.2	2.5	2.6	2.7	2.8	2.8	2.6
Brunssumerheide	4.3%	0.06		2.1	2.8	2.0	2.3	2.4	2.9	3.0	2.5	3.1
Buurserzand	0.6%	0.52	4.2	4.9	4.7	4.8	4.8	4.3	5.0	5.1	4.1	5.0
De												
Borkeld/Elssenveld	-0.4%	0.75		4.3	3.4	3.5	3.6	3.1	3.7	3.7	3.5	3.9
Dinkelland	5.6%	0.00	4.2	4.1	3.9	4.5	4.7	4.6	5.5	5.5	5.4	6.0
Drentse Aa	4.9%	0.03	2.8	3.5	2.8	3.5	2.6	4.0	4.4	3.8	3.9	4.0
Dwingelderveld	5.9%	0.02	2.9	3.5	2.9	2.8	3.2	2.7	4.1	3.6	3.8	4.8
Fochteloërveen	3.4%	0.28				3.3	3.5	3.0	3.6	3.9	3.0	4.2
Groote Peel	-0.3%	0.86	9.8	8.3	7.4	5.9	7.5	8.2	9.3	9.1	7.3	8.0
Kampina	0.3%	0.71	4.8	4.4	4.4	4.9	4.5	4.0	5.1	4.7	4.7	4.6
geen meting	beginjaar gecorrigeerd voor incomplete locatieset			onvoldoende valide data voor een gebiedsgemiddelde								

Trend (in % per jaar), significantie en jaargemiddelde concentratie ammoniak (in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) (Vervolg)

	Trend	Significantie (p-waarde)	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Kennemerland	2.2%	0.03	1.6	1.5	1.6	2.0	1.8	1.7	1.8	1.9	1.9	2.0
Korenburerveen	2.8%	0.01	4.1	4.0	4.3	4.1	4.7	4.5	5.4	5.2	4.7	4.8
Mariapeel	-1.1%	0.17	6.8	6.1	6.5	5.6	6.0	5.6	6.3	6.6	5.5	5.7
Meyendel	3.2%	0.23	1.3	1.7	1.6	2.0	2.4	1.3	1.8	1.5	1.9	2.3
Needse Achterveld	0.1%	0.96		6.5	5.4	5.1	5.6	5.5	6.5	6.6	5.4	5.6
Sallandse Heuvelrug	1.3%	0.08	4.1	3.7	4.0	4.0	4.1	3.8	4.5	4.5	4.0	4.5
Springendal	2.7%	0.06		4.7	4.5	5.1	5.0	4.8	6.1	5.6	5.0	5.6
Stelkampsveld	2.3%	0.08	5.3	5.0	4.1	4.7	5.3	4.8	5.9	5.5	5.4	5.9
Strabrechtse Heide	0.4%	0.69	4.8	4.5	5.4	4.8	5.0	4.5	5.3	4.4	4.6	5.5
Terschelling	-2.4%	0.34			2.0	2.2	2.0	1.4	1.9	1.9	1.7	
Veluwe centraal en oost	3.1%	0.08	2.2	2.5	2.9	3.5	3.1	2.7	3.4	3.2	3.2	3.0
Veluwe west	1.2%	0.51		3.1	4.2	4.4	4.8	3.5	4.4	4.2	4.1	4.1
Vlieland	-1.6%	0.45	1.5	2.2	1.9	1.9	1.6	1.1	1.9	1.5	1.5	1.9
Voornes duin	1.7%	0.48	1.5	2.7	1.6	2.3	2.1	1.7	2.4	1.9	2.1	2.4
Witte Veen	0.5%	0.59	5.4	5.4	5.5	5.2	5.2	4.7	6.2	5.7	5.0	5.9
Wooldse Veen	3.2%	0.11		4.6	3.5	4.1	4.1	3.6	4.7	5.1	4.4	5.1
Zwanenwater	-0.3%	0.88	1.6	2.1	2.1	2.4	1.7	1.2	1.9	1.5	2.2	2.0
geen meting	beginjaar gecorrigeerd voor incomplete locatieset			onvoldoende valide data voor een gebiedsgemiddelde								

Trend (in % per jaar), significantie en jaargemiddelde concentratie ammoniak (in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) (Vervolg)

	Trend	Significantie (p-waarde)	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
De Zilk	2.3%	0.19	1.7	2.0	1.3	2.0	2.2	1.7	2.1	1.9	1.9	2.2
Eibergen	-2.2%	0.20	8.8	11.6	8.9	8.6	9.7	9.7	11.3	9.2	6.8	7.4
Huijbergen	2.8%	0.08	2.5	3.0	2.4	2.8	2.6	2.4	3.4	2.9	3.1	3.2
Valthermond	3.4%	0.03	4.3	4.7	3.5	4.1	4.6	4.4	5.2	4.7	4.8	5.7
Vredepeel	1.4%	0.21	17.3	16.7	18.1	17.1	18.1	19.4	20.1	19.9	21.3	16.1
Wekerom	0.5%	0.75	17.4	18.0	14.3	11.9	15.8	17.8	18.5	17.0	16.8	15.9
Wieringerwerf	5.9%	0.02	2.6	5.1	4.4	4.0	5.0	4.6	5.4	4.4	5.8	5.7
Zegveld	2.3%	0.13	8.3	6.9	6.5	7.9	9.4	8.7	9.9	9.0	8.5	8.4
geen meting	beginjaar gecorrigeerd voor incomplete locatieset			onvoldoende valide data voor een gebiedsgemiddelde								

Bijlage 3: De invloed uit Duitsland

De toename van de ammoniakconcentratie in gebieden langs de Duitse grens blijkt opvallend sterk te zijn. Het wekt de indruk dat de trend mede veroorzaakt kan zijn door een toename van de ammoniakuitstoot in de grensstreek van Duitsland. Dit is niet onmogelijk; de hoeveelheid vee per km² is in de deelstaat Niedersachsen het hoogst van Duitsland en benadert langs de Nederlandse oostgrens de hoge veedichtheid in het oosten en zuiden van Nederland.

Als indicatie van de mogelijk veranderde invloed vanuit Duitsland is de trend per windrichting bepaald voor de natuurgebieden langs de Duitse grens in Gelderland, Overijssel en Drenthe. Het gaat om de Natura 2000-gebieden Bargerveen, Buurserzand, Dinkelland, Springendal, Witte Veen en Wooldse Veen.

Per natuurgebied is bepaald bij welke (maandgemiddelde) windrichting de aanvoer vanuit Nederland komt en wanneer de aanvoer vanuit Duitsland komt. Vervolgens is de trend bij aanvoer vanuit Nederland afgeleid en die bij aanvoer vanaf Duitsland. In genoemde gebieden is bij aanvoer vanuit Nederland sprake van een positieve trend van gemiddeld 3.7% per jaar. Een positieve trend is dan aanwezig in 5 van de 6 gebieden. Bij aanvoer vanuit Duitse richting is de toename slechts 1,2% per jaar en laten nog 3 van de 6 gebieden een positieve trend zien. Deze getallen zijn slechts indicatief. Het MAN meet maandgemiddelde waarden, en deze analyse is dus gebaseerd op maandgemiddelde windrichtingen. Ongeveer een derde deel van de metingen leent zich niet voor analyse omdat in die maanden de windrichting te variabel is. Van het overblijvende deel valt ongeveer de helft niet in een overheersende aanvoer vanaf Nederlandse of Duitse zijde. De resterende metingen zijn per jaar gemiddeld om een trendlijn af te kunnen leiden. Vooral bij aanvoer vanaf Duitse zijde is het aantal metingen per jaar gering en is het resultaat daardoor kwetsbaar voor toevalsfactoren.

Hoewel de getallen dus indicatief zijn, laat de analyse wel zien dat de waargenomen positieve trend in de ammoniakconcentraties bij aanvoer vanaf Duitsland veel minder groot is dan bij aanvoer vanuit Nederland. Daarmee is het niet aannemelijk dat de stijging van de ammoniakconcentratie in het oosten door Duitse bronnen wordt veroorzaakt.



.....

A.P. Stolk | H. Noordijk | H.A. den Hollander |
M.C. van Zanten | R.J. Wichink Kruit | W.A.J. van Pul

.....

RIVM Rapport 2016-0136

Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**
Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven
Nederland
www.rivm.nl

Maart 2017

De zorg voor morgen begint vandaag