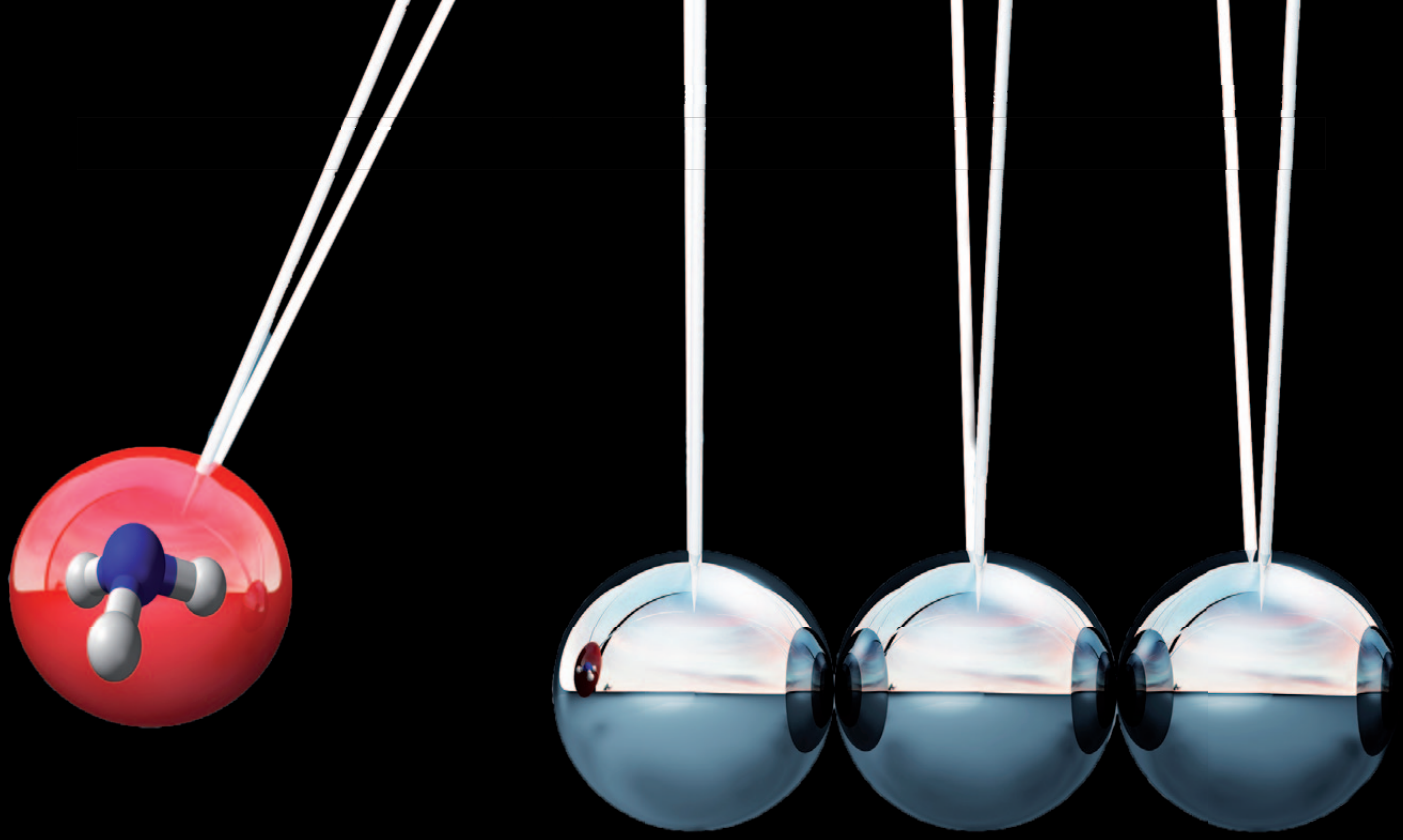


Ammoniak in Nederland

Enkele kritische wetenschappelijke kanttekeningen

Jaap C. Hanekamp

Marcel Crok

Matt Briggs

Coverontwerp: Siard J. Hanekamp

ISBN: 978-90-78269-00-7

NUR: 910, 916, 940

Ammoniak in Nederland

Enkele kritische wetenschappelijke kanttekeningen

Jaap C. Hanekamp

Associate professor UCR Middelburg
Adjunct professor at the Department of Public Health, Environmental Health Sciences, University of Massachusetts, Amherst, MA, USA.

j.hanekamp@ucr.nl
hjaap@xs4all.nl
06-25002373

Marcel Crok

Freelance wetenschapsjournalist, onafhankelijke onderzoeker

Zie http://www.staatvanhetklimaat.nl/over-marcel-crok/
marcel.crok@gmail.com
06-16236275

Matt Briggs

Adjunct Professor statistiek, Cornell University, Ithaca, New York
Onafhankelijke onderzoeker

matt@wmbriggs.com
(001)917-392-0691

'... for objectivity is both underrated and overrated, sometimes by the same persons. It is underrated by those who don't regard it as a method of understanding the world as it is in itself. It is overrated by those who believe it can provide a complete view of the world on its own, replacing the subjective views from which it has developed. These errors are connected: they both stem from an insufficiently robust sense of reality and of its independence of any particular form of human understanding.'

Thomas Nagel (*The View from Nowhere*. 1986. Oxford University Press, Oxford)

COLOFON

Dit rapport is tot stand gekomen in samenwerking met het tijdschrift V-focus. Dit vakblad publiceerde in 2014 een reeks kritische artikelen over het ammoniakbeleid. Jaap C. Hanekamp en Marcel Crok hebben daarop het initiatief genomen om een review te maken van de bestaande literatuur en te onderzoeken wat voor conclusies te trekken zijn uit de beschikbare data. In een later stadium werd de Amerikaanse wiskundige en statisticus Matt Briggs bij het onderzoeksteam gehaald. Belangrijkste doel was om meer helderheid te scheppen in dit complexe vraagstuk.

Financiering voor dit onderzoek kwam tot stand via crowdfunding op de website van V-focus, *http://www.v-focus.nl/ammoniak2015/*. In totaal doneerden 123 privépersonen en organisaties 37.160 euro.

Hoewel er geregeld contact was met Geesje Rotgers van V-focus over de voortgang van het onderzoek, zijn de drie auteurs volledig verantwoordelijk voor de inhoud van het rapport. De auteurs hebben geen enkel financieel belang bij de uitkomsten van het rapport.

Wij bedanken dr. Addo van Pul van het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) voor het beschikbaar stellen van alle Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit (LML) datasets van ammoniakmetingen en open (en gezellige) discussies. Tevens bedanken wij dr. Gerard Velthof van de Wageningen University & Research (WUR) voor het beschikbaar stellen van het Nationaal Emissiemodel voor Ammoniak (NEMA). Wij zijn de WUR erkentelijk voor het beschikbaar stellen van enkele ammoniak-datasets van recente bemestingsproeven.

INHOUD

HOODFDSTUK 1. CONCLUSIES 8

HOODFDSTUK 2. AMMONIAKEMISSIES 10

Conclusies 10

Contouren 10

Onderzoek – van meetmethoden, reproduceerbaarheid en onzekerheden 16

HOODFDSTUK 3. AMMONIAKCONCENTRATIES IN DE ATMOSFEER 23

Conclusies 23

Contouren 23

Ammoniak gemeten – het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit (LML) 25

Gemiddelde *versus* mediaan 31

Meetnet Ammoniak Natuurgebieden (MAN) 38

HOODFDSTUK 4. HET AMMONIAKGAT 39

Conclusies 39

Contouren 39

Twee ‘gaten’ – één misvatting 40

REFERENTIES 44

1. CONCLUSIES

De focus van onderliggend onderzoek ligt op ammoniakemissies bij bemesting en op trends in atmosfeerconcentraties. Daartoe hebben we van de Wageningen University & Research (WUR) enkele meetreeksen van bemestingsproeven ontvangen (overigens zonder vermelding van spreiding van meetdata en meetonzekerheid) tezamen met het rekenmodel om die metingen te bewerken tot emissies. De ontvangen meetreeksen hebben *geen directe betrekking* op gebruikte emissiefactoren in het ammoniakbeleid. Volgens de WUR zijn deze meetreeksen niet meer beschikbaar.

Van het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) hebben wij alle ammoniakmetingen ontvangen voor de periode 1993-2014 die uitgevoerd zijn in het kader van het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit (LML). Naar aanleiding van ons onderzoek kan het volgende worden geconcludeerd:

(1) Het niet meer beschikbaar zijn van voor het ammoniakbeleid essentiële meetdata van bemestingsproeven is een inbreuk op de wetenschappelijke waarden van transparantie en reproduceerbaarheid, blokkeert wetenschappelijke heranalyse, en maakt inzicht in dat beleid onmogelijk.

(2) We hebben vastgesteld dat ammoniakemissies voortkomend uit bemestingsproeven uitgevoerd door onderzoekers van de WUR, een forse en niet-gerapporteerde onzekerheid bevatten die voortkomen uit het gebruikte rekenmodel (die wij verder niet hebben getoetst op interne onzekerheden). Daar bovenop, met een onbekend percentage, komt de onzekerheid in de meetwaarden zelf, naast de onbekende meetspreiding. Deze onzekerheden werken door in de vaststelling van landelijke ammoniakemissies.

(3) Echter, het Nationaal Emissiemodel voor Ammoniak (NEMA; National Emission Model for Agriculture) laat geen enkele modelmatige en experimentele onzekerheden zien. Emissiefactoren worden in het NEMA-model met een niet-bestaande decimale nauwkeurigheid toegepast leidend tot een imaginaire nauwkeurigheid in landelijke emissiewaarden. Ontoelaatbare tekortkomingen.

(4) De LML-meetreeksen van atmosferische ammoniakconcentraties op verschillende meetlocaties worden op een onjuiste en verouderde manier statistisch bewerkt:

   a. *Gezien de grote variatie in gemeten concentraties met kortstondige hoge uitschieters geeft het gebruikte rekenkundig gemiddelde te hoge atmosferische concentraties.*

   b. *Bij een scheve verdeling van data, zoals hier het geval, is de mediaan de juiste maat: de mediaan ligt ten minste enkele tientallen procenten lager dan het gemiddelde.*

   c. *De atmosferische ammoniakconcentraties in Nederland liggen dus een stuk lager dan gerapporteerd.*

(5) Een door ons uitgevoerde kruiscorrelatie-analyse tussen alle LML-stations laat niet of nauwelijks correlatie tussen stations zien. Daarmee is de bepaling van gemiddelden van jaarlijkse landelijke atmosfeerconcentraties van ammoniak betekenisloos. De eventuele trend die daarin wordt gerapporteerd is eveneens betekenisloos.

(6) Een door ons uitgevoerde trendanalyse van alle meetreeksen van alle LML-meetstations laat geen noemenswaardige trends omhoog of omlaag zien.

(7) Het zogenaamde 'ammoniakgat' – modelberekeningen voor de ammoniakconcentraties zijn lager dan de metingen *dan wel* het verschil tussen de berekende substantiële afnames van ammoniakemissies en de min of meer gelijkblijvende ammoniakconcentraties - is een drieledige misvatting: (1) het maakt van een abstract rekenmodel een concrete werkelijkheid – de zogenaamde reïficatie drogreden; (2) het vergelijkt berekende waarden met rekenkundig gemiddelden waar de mediaan zou moeten gelden; (3) het gaat uit van betekenisloze landelijke atmosfeerconcentraties.

Voor wat betreft de hier besproken thematiek constateren wij een opeenstapeling van rekenkundige, modelmatige, en argumentatieve tekortkomingen. Men kan om die redenen niet concluderen dat het ammoniakbeleid wetenschappelijk goed onderbouwd zou zijn, zoals de overheid beweert. Integendeel.

2. AMMONIAKEMISSIES

CONCLUSIES

Nederlandse onderzoekers doen robuuste uitspraken over de afname van ammoniakemissies sinds 1990. Op landelijke schaal zou de afname 60 tot 70% bedragen. Die afname zou met name het gevolg zijn van de overgang van bovengronds bemesten naar emissiearme bemestingsmethodes. De WUR (Wageningen University & Research) heeft in totaal bijna 200 veldexperimenten gedaan waarop deze conclusies gebaseerd zijn. In 2015 publiceerden WUR-onderzoekers een samenvattende tabel in een wetenschappelijk artikel gebaseerd op een eerder artikel uit 2009.

Wij wilden de gerapporteerde emissiefactoren graag reproduceren, maar na ruim een half jaar getouwtrek met de WUR kregen wij te horen dat alle meetdata, waarop de in Nederland gebruikte emissiefactoren gebaseerd zijn, niet meer beschikbaar zijn. Die voor het beleid zeer relevante resultaten zijn dus niet meer reproduceerbaar.

In januari 2016 verkregen we enkele meetreeksen van recentere veldexperimenten (emissieproeven van bemesting), overigens zonder vermelding van spreiding van de meetdata en meetonzekerheden. De resultaten daarvan zijn niet van toepassing op het ammoniakbeleid. Tezamen met het rekenmodel dat wordt gebruikt bij vrijwel alle emissieproeven uitgevoerd door de WUR waren we in staat om gerelateerde en gepubliceerde emissiewaarden te reproduceren.

We hebben die resultaten echter voorzien van onzekerheidsmarges voortkomend uit het gebruikte rekenmodel. Die bleken fors. In feite is de onzekerheid nog groter indien de niet-gerapporteerde spreiding van de metingen zelf en de meetonzekerheden daarin worden meegenomen. Dat was echter niet mogelijk.

Die modelmatige onzekerheidsmarges zijn niet terug te vinden in rapportages en publicaties van de WUR, noch in het ammoniakbeleid van de overheid. Dit betekent dat claims als ‘bij bovengronds bemesten komt 74% van de ammoniak vrij’ niet alleen onverantwoord zijn maar ook onjuist. Dat zet het NEMA-model, waarmee landelijke emissies worden vastgesteld, op losse schroeven.

Bovendien is het niet onwaarschijnlijk dat de verschillende bemestingstechnieken dichter bij elkaar liggen wat betreft ammoniakemissies dan tot op heden is gerapporteerd en toegepast in het beleid.

CONTOUREN

Het ammoniakdossier is zeer complex, zowel wetenschappelijk als beleidsmatig. De complexiteit is onder andere gelegen in het feit dat verschillende organisaties (bijvoorbeeld Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), Planbureau voor de Leefomgeving (PBL), Wageningen University & Research (WUR)) zowel afzonderlijk als gezamenlijk rapporteren over onderzoeksresultaten en beleid.

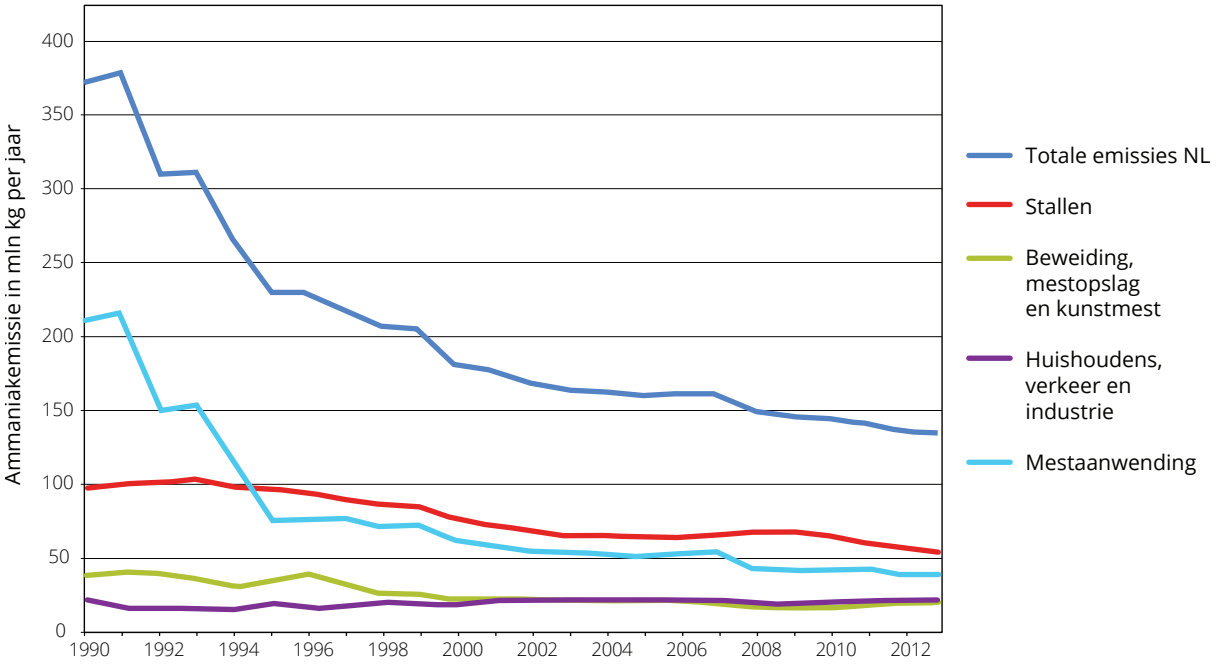
Dat laatste, het ammoniakbeleid, richt zich in eerste instantie, zowel nationaal als Europees, op de emissies. Want, zo is de logische gedachte: (1) als de *emissies dalen*, zullen (2) de *concentraties in de lucht dalen* en dat leidt dan uiteindelijk tot (3) *minder depositie in natuurgebieden* wat zou bijdragen aan (4) *behoud van biodiversiteit*, het einddoel van het ammoniakbeleid.

Ook op Europees niveau is dit principe leidend. In 2001 werden in de zogenoemde NEC-richtlijn voor alle landen emissiedoelstellingen vastgelegd voor het jaar 2010.[1] Daarmee zijn die doelstellingen wettelijk verankerd in het Europese recht. De doelstellingen golden niet alleen voor ammoniak maar ook voor andere

1 Zie *http://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/?uri=CELEX:32001L0081* (geraadpleegd op 12-12-2016).

luchtverontreinigende stoffen zoals SO_2 en NO_X. De ammoniakdoelstelling voor Nederland in 2010 bedroeg 128 kton.

Het Nederlandse ammoniakbeleid startte echter al eerder dan de Europese richtlijn. Diverse maatregelen zoals bijvoorbeeld het 'emissiearm' aanwenden van mest op bouw- en grasland, 'emissiearme' stallen, en het afdichten van mestsilo's zijn in de loop der jaren ingevoerd. Recentelijk zijn luchtwassers toegevoegd aan dit rijtje. Tal van maatregelen dus die op papier de emissies behoorlijk hebben doen dalen. Op papier, want landelijke emissies zijn niet direct te meten, omdat er simpelweg teveel bronnen zijn (stallen, weilanden, mestsilo's etc.). Hieronder is te zien hoe verschillende ammoniakemissies sinds 1990 zouden zijn afgenomen:



Figuur 1. Emissieafname van diverse bronnen (RIVM, 2016).[2]

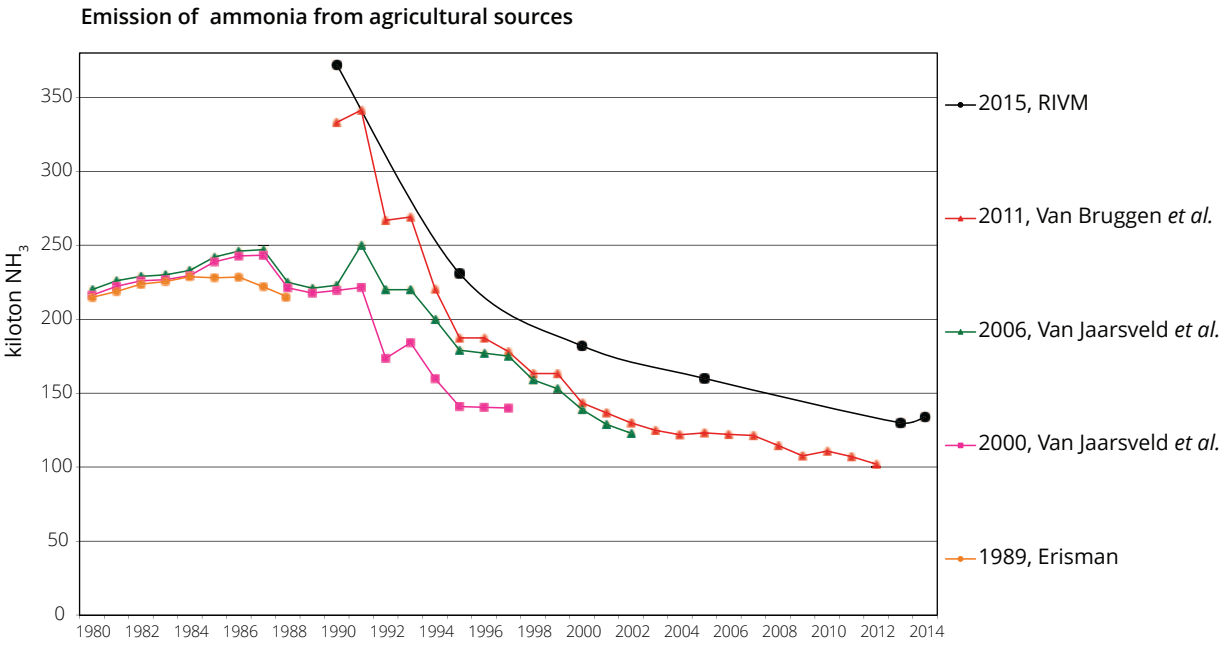
De scherpe reductie in emissies komt voornamelijk op het conto van veranderingen in mestaanwendingstechnieken. Voor 1990 werd mest bovengronds uitgereden, wat gepaard zou gaan met forse emissies, waarover zo meteen meer. Daarna werden nieuwe technieken ingevoerd (sleepvoetbemester, zodenbemester, mestinjectie) en dat zou hebben geleid tot forse emissiereductie.

Deze grafiek aanschouwende is het logisch om de emissies van mestaanwending eens nader onder de loep te nemen. Nederlandse onderzoekers rapporteren al vanaf de jaren '80 over ammoniakemissies. Er is veel werk verzet aan het in kaart brengen van die emissies. Door minutieus bij te houden hoeveel koeien, varkens, kippen en dergelijke er in Nederland zijn, hoeveel stallen en van welk type, de samenstelling van het voer en de mest en de emissies te 'meten' bij die stallen en bij het aanbrengen van mest, wordt berekend hoeveel ammoniak er landelijk zou kunnen ontsnappen. De becijferde emissies zijn dus niet zomaar nattevingerwerk.

2 *Toelichting op het verloop van de emissie en concentratie van ammoniak van 1993-2014.* 2016. Bijlage bij RIVM brief 112/2016 EvS-AvP. Zie *https://www.rijksoverheid.nl/documenten/brieven/2016/10/27/toelichting-op-het-verloop-van-de-emissie-en-concentratie-van-ammoniak-van-1993-2014* (geraadpleegd op 12-12-2016).

Wat opvalt bij het lezen van de 'oude' rapporten uit de jaren '80 en '90, is dat de emissies destijds aanzienlijk lager ingeschat werden. Hier een overzicht dat wij zelf maakten op basis van verschillende rapporten die in de loop der jaren zijn verschenen.

Jarenlang wordt verondersteld dat de emissies in de jaren '80 zo rond de 220-230 kton zitten. Tot in 2011 het rapport *Ammoniakemissie uit dierlijke mest en kunstmest, 1990-2008. Berekeningen met het Nationaal Emissiemodel voor Ammoniak (NEMA)* de emissies van begin jaren '90 aanzienlijk opschroeft.[3] Nu gaat men ervan uit dat de emissies rond 1990 zo'n 370 kton bedroegen. Blijkbaar is men tot nieuwe inzichten gekomen.



Figuur 2. Overzicht van de landelijke ammoniakemissies zoals die in de loop der jaren is gepubliceerd in verschillende rapporten.[4]

3 Van Bruggen, C. *et al.* 2011. *Ammoniakemissie uit dierlijke mest en kunstmest, 1990-2008. Berekeningen met het Nationaal Emissiemodel voor Ammoniak (NEMA). Werkdocument 250.* Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu Wageningen.

4 Erisman, J.W. 1989. *Ammonia emissions in the Netherlands in 1987 and 1988.* Report nr. 228471006, Bilthoven, The Netherlands.
Van Jaarsveld, J.A. *et al.* 2000. *Evaluatie ammoniak emissiereducties met behulp van metingen en modelberekeningen.* RIVM rapport 722108025, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven, The Netherlands.
Van Bruggen, C. *et al.* 2011. *Ammoniakemissie uit dierlijke mest en kunstmest, 1990-2008. Berekeningen met het Nationaal Emissiemodel voor Ammoniak (NEMA). Werkdocument 250.* Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu Wageningen.
RIVM. 2015. *Emissions of transboundary air pollutants in the Netherlands 1990-2013. Informative Inventory report 2015.* RIVM Report 2014-0166, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu Bilthoven, The Netherlands.

Inderdaad schrijft Van Bruggen (2011) in de introductie: 'De NH_3-emissie uit dierlijke mest in 1990 is met de nieuwe methodiek berekend op 319 miljoen kg.[5] In de oorspronkelijke uitkomsten bedroeg de NH_3-emissie uit dierlijke mest 224 miljoen kg. De belangrijkste oorzaken voor dit verschil zijn nieuwe emissiefactoren voor bovengronds toegediende mest op grasland en bouwland en het verschil in minerale stikstoffractie in de mest.'

In bijlage 12 van het rapport beschrijft Huijsmans (WUR) hoe de nieuwe inzichten tot stand kwamen. In de jaren '80 ging men ervan uit dat de emissiefactor (het percentage ammoniak dat vrijkomt bij bemesten) bij het bovengronds aanwenden van mest 50% bedroeg. Veldexperimenten in de jaren '90 en '00 uitgevoerd door de WUR hadden blijkbaar uitgewezen dat bij bovengronds bemesten gemiddeld 74% van de ammoniak vrijkwam. Wie de veronderstelde afname aan ammoniakemissies in Nederland wil begrijpen zal dus vooral de emissies bij mestaanwending moeten bestuderen.

Huijsmans heeft in Nederland veel werk verzet op dit gebied door onder allerlei omstandigheden de emissies bij verschillende mestaanwendingstechnieken met elkaar te vergelijken. In 2003 promoveerde hij op dit werk.[6] Huijsmans en Schils publiceerden in 2009 een overzicht van het belangrijkste experimentele werk dat in Nederland de afgelopen decennia gedaan is.[7] Tabel 7 uit dat artikel vat de resultaten samen. Een door ons vertaalde versie van de tabel herhalen we hieronder:

Methode	N	Totale emissie	Minimum	Maximum
		%	%	%
Grasland				
Bovengronds	81	**74**	28	100
Sleepvoet	29	26	9	52
Zodenbemesting (gemiddeld)	89	**16**	1	63
Zodenbemesting (trend)	-	19	-	-
Bouwland				
Bovengronds	26	**69**	30	100
Inwerken	25	22	3	45
Mest injectie	7	**2**	1	3

Tabel 1. Emissiefactoren als percentage van de met de mest toegediende ammoniakale stikstof (TAN) en de spreiding in de data per toedieningswijze.

In de tabel geeft 'N' het aantal veldonderzoeken weer dat in de loop der jaren is uitgevoerd. Alleen al op grasland gaat het om 199 experimenten. Afgaand op de waarden in de tabel (de vetgedrukte percentages) lijkt het dat emissiearme mesttechnieken een enorme potentie hebben om de emissies naar beneden te krijgen. Op grasland van gemiddeld 74% naar 16% emissie en op bouwland van 69% naar een verwaarloosbare 2%.

5 Merk op dat 319 miljoen kg ofwel 319 kton afwijkt van de 370 kton die erboven werd genoemd. Het RIVM-rapport uit 2015 vermeldt alle ammoniakemissies terwijl het bij de 319 kton van Van Bruggen (2011) alleen om de bijdrage van dierlijke mest uit de landbouw gaat.

6 Huijsmans, J.F.M. 2003. *Manure application and ammonia volatilization.* PhD thesis, Wageningen University, The Netherlands

7 Huijsmans, J.F.M., Schils, R.L.M. 2009. Ammonia and nitrous oxide emissions following field-application of manure: state of the art measurement in the Netherlands. *International Fertiliser Society Proceedings 655*.

Dezelfde tabel werd opnieuw gepubliceerd in 2015 in het wetenschappelijke tijdschrift *Soil Use and Management* (*SUM*).[8] Dat artikel is des te interessanter omdat het expliciet in gaat op de kritiek die er de laatste jaren is geformuleerd tegen het emissiearm aanwenden van mest. De auteurs noemen zelf vier kritiekpunten die wij hier kort samenvatten als: 1) bij bovengronds bemesten komt helemaal niet zoveel ammoniak vrij; 2) grasopbrengst is niet hoger bij emissiearm aanwenden; 3) met een eiwitarme voeding voor koeien in combinatie met bovengronds uitrijden onder de juiste weersomstandigheden bereik je hetzelfde effect; 4) het aantal weidevogels neemt af door emissiearm aanwenden van mest.

De auteurs bestrijden in hun artikel één voor één deze kritiekpunten om uiteindelijk te concluderen dat er geen overtuigende argumenten zijn om de huidige praktijk van het emissiearm aanwenden van mest ter discussie te stellen.

Naar aanleiding van de publicatie verscheen er een interview met auteurs Huijsmans en Schröder in vakblad *De Boerderij* met als titel 'Emissiearm toedienen werkt écht'.[9] In een aanvulling op de website van *De Boerderij* staat het volgende te lezen: 'Het nieuwe artikel is deels ingegeven door de wens om deze al tientallen jaren voortwoekerende discussie te beëindigen, verklaren beide medeauteurs Jan Huijsmans en Jaap Schröder van de WUR in een interview met Boerderij. Volgens hen wijzen de beschikbare onderzoeksgegevens glashelder uit dat het beleid effect heeft gehad en de uitstoot van ammoniak heeft verminderd. Ze hekelen de complottheorieën die binnen de sector rondgaan, en die beweren dat stikstof-wetenschappers zich voor het karretje van de overheid laten spannen. De hardnekkige weerstand verklaren ze in de eerste plaats uit het feit dat emissiearm uitrijden boeren geld kost. 'Maar er is geen ontkomen aan. Bovengronds uitrijden kost voer en milieukwaliteit.'"[10]

Deze alinea vat de stand van de 'voortwoekerende' ammoniakdiscussie goed samen. Kritiek op het beleid is hardnekkig; de onderzoekers zijn echter overtuigd dat het beleid werkt.

Wie dus de effectiviteit van het ammoniakbeleid in Nederland wil toetsen ontkomt er niet aan om de vele veldonderzoeken onder de loep te nemen. Als richtpunt namen wij de hierboven getoonde tabel uit het SUM-artikel van Huijsmans *et al*.

Wij vroegen de Wageningse onderzoekers in april 2015 of we de meetdata achter de tabel konden ontvangen om te kijken of de resultaten reproduceerbaar zijn. Dit is een belangrijk aspect van wetenschappelijk onderzoek: het nawerken van resultaten die gebaseerd zijn op metingen. Gezien de reproduceerbaarheidscrisis in de wetenschap is deze vraag bepaald geen overbodige luxe. Integendeel.[11]

Op 18 januari 2016 kregen we per e-mail uiteindelijk te horen dat alle meetdata die aan deze tabel ten grondslag liggen niet meer beschikbaar zijn. Dit antwoord kregen wij naar aanleiding van het verkrijgen van een klein aantal datasets van recenter aard:[12]

---

8 Huijsmans, J.F.M., *et al.* 2015. Ammonia emissions from cattle slurries applied to grassland: should application techniques be reconsidered? *Soil Use and Management* doi: 10.1111/sum.12201.
Wij hebben per e-mail (opvraagbaar bij de auteurs) navraag gedaan bij het tijdschrift of de datasets die ten grondslag liggen aan deze tabel in hun bezit zijn. Dat bleek niet het geval. De tabel is niet meer dan een kopie uit het artikel van Huijsmans en Schils (2009), verschenen in een congres proceedings van de International Fertiliser Society, een organisatie 'for individuals who have a professional interest in any aspect of fertiliser production, marketing and use.'
Het argument dat peer-review heeft plaatsgevonden en dat daarmee het 2015-artikel en de tabel boven elke twijfel verheven zouden zijn is ongeldig, aangezien er nooit peer-review, laat staan een audit, van de tabel heeft plaatsgevonden. Die audit, conform de academische standaard, hebben wij getracht uit te voeren, echter tevergeefs.

9 Oppewal, J. Emissiearm toedienen werkt écht'. *De Boerderij* 3 september 2015.

10 *http://www.boerderij.nl/Home/Nieuws/2015/9/Emissiearm-bemesten-vergroot-opbrengst-2679887W/* (geraadpleegd op 12-12-2016).

11 Zie over de reproduceerbaarheidscrisis: Peng, R. 2015. The reproducibility crisis in science: a statistical counterattack. *Significance* **12**: 30 – 32.
Nosek, B.A., *et al.* 2015. Estimating the reproducibility of psychological science. *Science* **349**: 1422 – 1425.
Horton, R. 2015. What is medicine's 5 sigma? *Lancet* **385:** 1380.
Horton stelt: 'The case against science is straightforward: much of the scientific literature, perhaps half, may simply be untrue. Afflicted by studies with small sample sizes, tiny effects, invalid exploratory analyses, and flagrant conflicts of interest, together with an obsession for pursuing fashionable trends of dubious importance, science has taken a turn towards darkness.'

12 Deze e-mail is opvraagbaar bij de auteurs.

> **'8. Zijn wij met deze meetreeksen in staat om het gepubliceerde (de tabel uit het SUM artikel van 2015 van Huismans *et al*.) te kunnen reproduceren?**
> Nee, dit is niet mogelijk. De door u genoemde tabel in Huijsmans *et al*. (2015) presenteert resultaten uit oudere metingen (tot en met 2003). Zoals aangeven in ons persoonlijk gesprek zijn die datasets niet meer beschikbaar. De recent door u verkregen datasets bevatten resultaten van recentere metingen (na 2010). Het is dus helaas niet mogelijk om de resultaten uit Huijsmans *et al*. (2015) hiermee te reproduceren.'

De WUR stelt dat data destijds niet langer dan vijf jaar bewaard hoefden te worden. Tegenwoordig is dat tien jaar. De meetdata waar het hier om gaat stammen uit de jaren '80, '90 en '00. Hoe dan ook is deze situatie zeer onbevredigend. Claims dat emissies in Nederland behoorlijk zijn gedaald (met zo'n 60% sinds 1990) zijn grotendeels gebaseerd op deze tabel en de onderliggende veldproeven. Dat betekent tevens dat de emissiefactoren die nu gehanteerd worden t.a.v. verschillende manieren van bemesten niet meer reproduceerbaar zijn.

Het niet meer beschikbaar zijn van deze meetdata was voor ons één van de redenen om niet te verschijnen bij een hoorzitting van de internationale reviewcommissie onder leiding van Mark Sutton. We stuurden wel een brief naar de commissie met kwesties die wij van belang achten, waaronder het beschikbaar stellen van data:[13]

> 'We have made several requests at the different institutions for measurement- and model-datasets required for review and reproduction of published results. So far, we haven't received anything. It is extraordinary and antithetical to the scientific epistemic values of transparency, reproducibility, consistency, and integrity, that the crucial data and the manner in which the data are mathematically treated are not publicly available.'

Op dat moment wisten we nog niet dat de WUR later zou mededelen dat alle data die aan de tabel ten grondslag liggen niet meer voorhanden zijn. De reviewcommissie moest nota bene onderzoeken of het Nederlandse ammoniakbeleid wetenschappelijk goed onderbouwd is. Een belangrijk onderdeel van wetenschappelijke onderbouwing is, zoals gezegd, reproduceerbaarheid van resultaten aan de hand van ruwe meetgegevens. Dus je zou zeggen dat de commissie daar in haar rapport stevig stelling zou nemen. Niets is minder waar. De commissie nam de onderzoekers in kwestie in bescherming. Het rapport stelde:[14]

> 'The Panel noted concerns expressed by Dutch scientists [van WUR, red.] where they had been requested to provide stakeholders [*daarmee worden wij bedoeld, hoewel wij nadrukkelijk geen stakeholders zijn; auteurs*] with very detailed original datasets going back many years. The Dutch scientists noted that this could take a very long time to prepare data into a form useful for stakeholders, especially if this should be combined with all the associated metadata and information required on the methodology used to make the calculations. This especially applied to old experimental datasets, where data were stored in old formats or may no longer be easily available. *The guidance of the Panel is that data should be freely available to stakeholders. However, this does not mean that data are always available without charge. It is the responsibility of those requesting data to pay for the additional work incurred.*'

Dit is interessant. Volgens Sutton *et al.* zijn niet degenen die reproduceerbaarheid najagen gedupeerd omdat de data niet beschikbaar worden gesteld, maar de Wageningse onderzoekers, omdat ze 'zeer gedetailleerde originele datasets' van lang geleden moesten gaan zoeken en het zou volgens de onderzoekers 'zeer veel tijd in beslag nemen' om de data in een bruikbare vorm te gieten.

---

13 De brief staat hier: *http://www.v-focus.nl/images/Review-cie-questions(Hanekamp-Crok)-final.pdf* (geraadpleegd op 12-12-2016).

14 Sutton, M. *et al.* 2015. *Review on the scientific underpinning of calculation of ammonia emission and deposition in the Netherlands.* Zie *https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2015/08/03/review-on-the-scientific-underpinning-of-calculation-of-ammonia-emission-and-deposition-in-the-netherlands* (geraadpleegd op 12-12-2016). Nadruk in origineel.

Zoals hierboven al genoemd hebben wij in januari 2016 enkele datasets van veldproeven die in recente jaren zijn uitgevoerd ontvangen. Het gaat bij dit soort proeven om (in tijden van *Big Data*) zeer kleine datasets die eenvoudig in een Excel-bestand aan te leveren zijn. Dus de genoemde bezwaren van de reviewcommissie en de onderzoekers raken kant noch wal.

De afsluitende aanbeveling is ronduit raadselachtig: enerzijds stelt de commissie dat data 'vrij beschikbaar' moeten zijn, om vervolgens te stellen dat diegenen die de data vragen daarvoor moeten betalen. Dat zou in dit geval absurd zijn. Het gaat hier om data die met publiek geld tot stand zijn gekomen en die nota bene van belang zijn voor het Nederlandse ammoniakbeleid. Waarom zouden stakeholders nogmaals voor die data moeten betalen? In 2003 schreven Wageningse onderzoekers het volgende over de data waar het hier om gaat:[15]

> 'The present study of factors affecting NH_3 volatilization following the application or incorporation of manure **benefited from a unique set of data available from field experiments in the Netherlands.** The combination and the statistical analysis of these data, together with the models that were designed, yielded valuable information about the factors that influence NH_3 volatilization, and about the magnitude of their effects when applying and incorporating manure on arable land.'

De onderzoekers waren zich er dus van bewust dat ze over een *unieke dataset* beschikten. Je zou verwachten dat ze dus zeer zuinig met deze data zouden omgaan. Het meenemen van deze data bij een verhuizing bijvoorbeeld is een fluitje van een cent. De data passen gemakkelijk op de harde schijf van de computer.

Het is natuurlijk goed mogelijk dat de onderzoekers er geen rekening mee hadden gehouden dat ooit iemand naar deze data zou vragen. Maar aangezien zij hun dataset zelf zo uniek vinden en de resultaten ervan in 2015 nog prominent in een tabel in een wetenschappelijk artikel gebruikten blijft het raadselachtig dat de data er naar verluid niet meer zijn.[16]

ONDERZOEK – VAN MEETMETHODEN, REPRODUCEERBAARHEID EN ONZEKERHEDEN

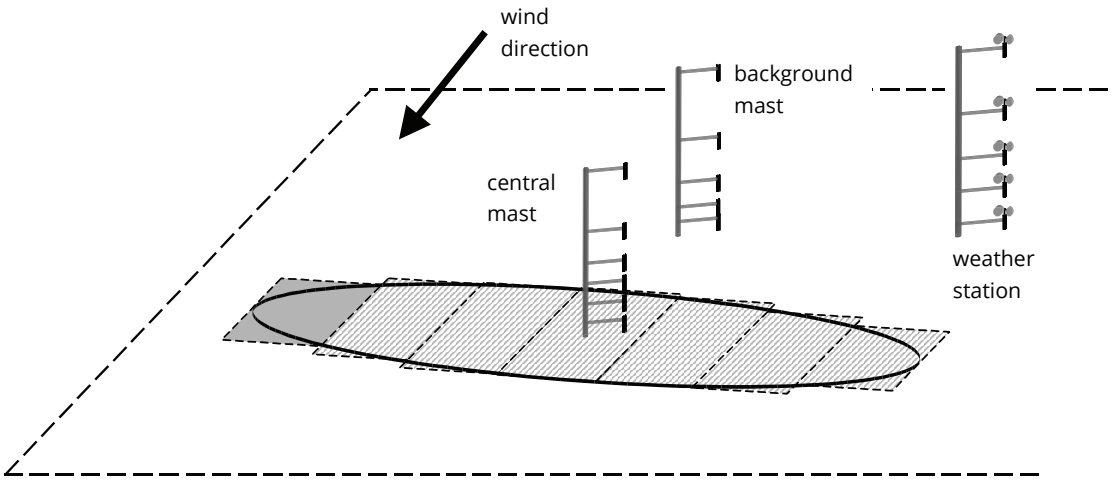
De methode die de onderzoekers in eigenlijk al deze veldproeven hanteren is gebaseerd op artikelen uit de jaren '80.[17] Hieronder een plaatje uit het proefschrift van Huijsmans dat de meetopstelling verduidelijkt. De mest wordt uitgereden op een cirkel met een diameter van 50 meter. Een paar minuten nadat de mest is uitgereden wordt een meetpaal middenin de cirkel gezet. Ammoniakmetingen vinden plaats op hoogtes variërend van 25 centimeter tot enkele meters.

De eerste twaalf uur, als de emissie het hoogst is, worden de samplers vier tot vijf maal vervangen door een nieuwe. Daarna wordt de vervangingsfrequentie lager. De metingen gaan tenminste 96 uur door. Op de achtergrond – tegen de wind in – staat een tweede meetpaal die de achtergrondconcentratie meet. Verder is er nog een meetpaal die temperatuur, windkracht, neerslag, zonlicht en dergelijke vastlegt.

15 Huijsmans, J.F.M., *et al.* 2003. Effect of application method, manure characteristics, weather and field conditions on ammonia volatilization from manure applied to arable land. *Atmospheric Environment* **37**: 3669 – 3680. Nadruk van ons.

16 Noot 8.

17 Denmead, O.T. 1983. *Micrometeorological methods for measuring gaseous losses of nitrogen in the field.* In: J.R. Freney & J.R. Simpson (Eds.) *Gaseous Loss of Nitrogen from Plant-Soil Systems.* Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, pp.133 – 157.
Ryden, J.C., McNeill, J.E. 1984. Application of the micrometeorological mass balance method to the determination of ammonia loss from a grazed sward. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **35**: 1297 – 1310.



Figuur 3. Lay-out van een cirkelvormige plot (straal van zo'n 25 m) voor de bepaling van ammoniakemissies. Hier is de micrometeorologische massabalansmethode weergegeven (Huijsmans, 2003).[18]

Een bepaald niet triviale vraag is natuurlijk hoe aan de hand van de ammoniakmetingen de ammoniakemissies kunnen worden afgeleid, niet alleen voor de cirkel, maar ook voor het hele weiland en uiteindelijk voor heel Nederland.

De omzetting van de ammoniakmetingen (concentraties) naar emissies (flux) gebeurt aan de hand van een quasi-fysisch model. Het label 'quasi' geeft aan dat een exacte berekening van de emissie uiteraard niet mogelijk is. Ryden and McNeil (1984) stelden een vrij simpel model voor (een wiskundige formule), met als variabelen de lengte van de *fetch* (hier 25 meter), de windsnelheid (gemeten over twee hoogten), de ammoniakconcentratie, en de tijdsgemiddelde flux ($\overline{uc}$) op een bepaalde hoogte.[19] Deze formule stelt dat op een bepaalde hoogte, indien óf de windsnelheid (u) óf de ammoniakconcentratie (c) groter wordt, de flux toeneemt. Het moge duidelijk zijn dat dit een vereenvoudiging is van de werkelijkheid, aangezien vele andere factoren van invloed kunnen zijn op de flux die hier niet zijn meegenomen.

Om de formule te kunnen oplossen en dus de ammoniakemissie te kunnen berekenen moet eerst de relatie gevonden worden tussen de tijdsgemiddelde ammoniakflux en de hoogte. Ryden en McNeill veronderstellen dat er empirische relaties bestaan tussen de ammoniakconcentratie en de hoogte en tussen de windsnelheid en de hoogte. Die relaties komen niet voort uit een chemische of fysische argumenten maar zouden observationeel vastgesteld zijn. De coëfficiënten voor deze relaties zijn af te leiden door zowel de ammoniakconcentraties als de windsnelheden tegen de natuurlijke logaritme van de hoogte uit te zetten.[20] Dat brengt ons bij een belangrijk punt: die coëfficiënten zijn niet exact te bepalen en daarmee ook de uiteindelijke emissies niet. Met andere woorden: de berekende emissies worden omgeven met onzekerheden die voortkomen uit de niet exact te bepalen coëfficiënten.

18 Noot 6.

19 De formule ziet er als volgt uit (vergelijking 1):

$$F = \frac{1}{x}\int_{z_0}^{z_p} \overline{uc}\, dz$$

20 Voor de gemiddelde windsnelheid geldt (vergelijking 2a):

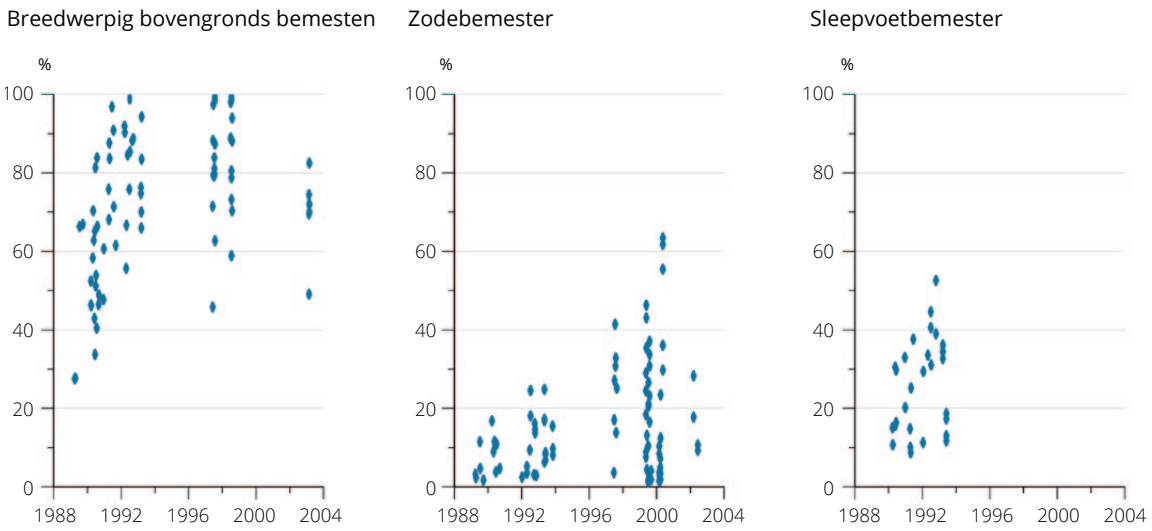
$$\bar{u}(z) = D \ln z + E$$

Voor de gemiddelde concentratie geldt (vergelijking 2b):

$$\bar{c}(z) = -A \ln z + B$$

Maar hoe groot is die onzekerheid? Huijsmans en collega's doen daar geen mededelingen over hoewel hun tabel de lezer op het verkeerde been zou kunnen zetten. Immers, de tabel vermeldt bij elk van de bemestingsmethodes een zeer ruime spreiding. In het geval van bovengronds bemesten bijvoorbeeld is de spreiding 28 tot 100% met een gemiddelde van 74%. Hieronder is goed te zien waarop die range van 28 tot 100% gebaseerd is. Het gemiddelde van 74% is eenvoudigweg het gemiddelde van alle blauwe stippen:[21]

Vervluchtiging ammoniak bij toediening dierlijke mest op grasland



Figuur 4. De resultaten van de experimenten met diverse mesttoedieningstechnieken op grasland in de periode 1989-2003.

Iedere blauw stip in de grafiek vertegenwoordigt de gemeten/berekende ammoniakemissie tijdens een bepaalde veldproef. Hoe dat gemeten en berekend wordt hebben we hierboven uitgelegd. Maar waar het om gaat is dat elke stip zelf ook nog eens met onzekerheden omgeven is, zowel experimenteel als rekenkundig. Hoeveel? Dat wilden wij nou juist graag weten en daarvoor hadden we de meetdata zelf nodig. Helaas is dat dus niet mogelijk voor de cijfers in die specifieke tabel en deze figuur.

In januari 2016 ontvingen we wel meetdata van de WUR van meer recente proeven. Daarbij is dezelfde methodiek gebruikt als bij eerdere veldproeven, dus dit maakt het in ieder geval mogelijk om de gebruikte methode te evalueren. Het gaat onder andere om veldproeven die in 2011 gedaan zijn en die in 2012 leidden tot het rapport *Ammoniakemissie bij mesttoediening en inwerken in aardappelruggen en bij mesttoediening in sleuven op niet beteeld geploegd kleibouwland*.[22] Zoals de titel al aangeeft werden twee bemestingsmethoden met elkaar vergeleken. Bovengronds bemesten zat daar echter niet bij. In tabel 4 staan de gegevens die we kunnen evalueren:

21 De Haan, B.J. *et al.* 2009. *Emissiearm bemesten geëvalueerd*. PBL-publicatienummer 500155001. Planbureau voor de Leefomgeving (PBL), Bilthoven, Nederland.

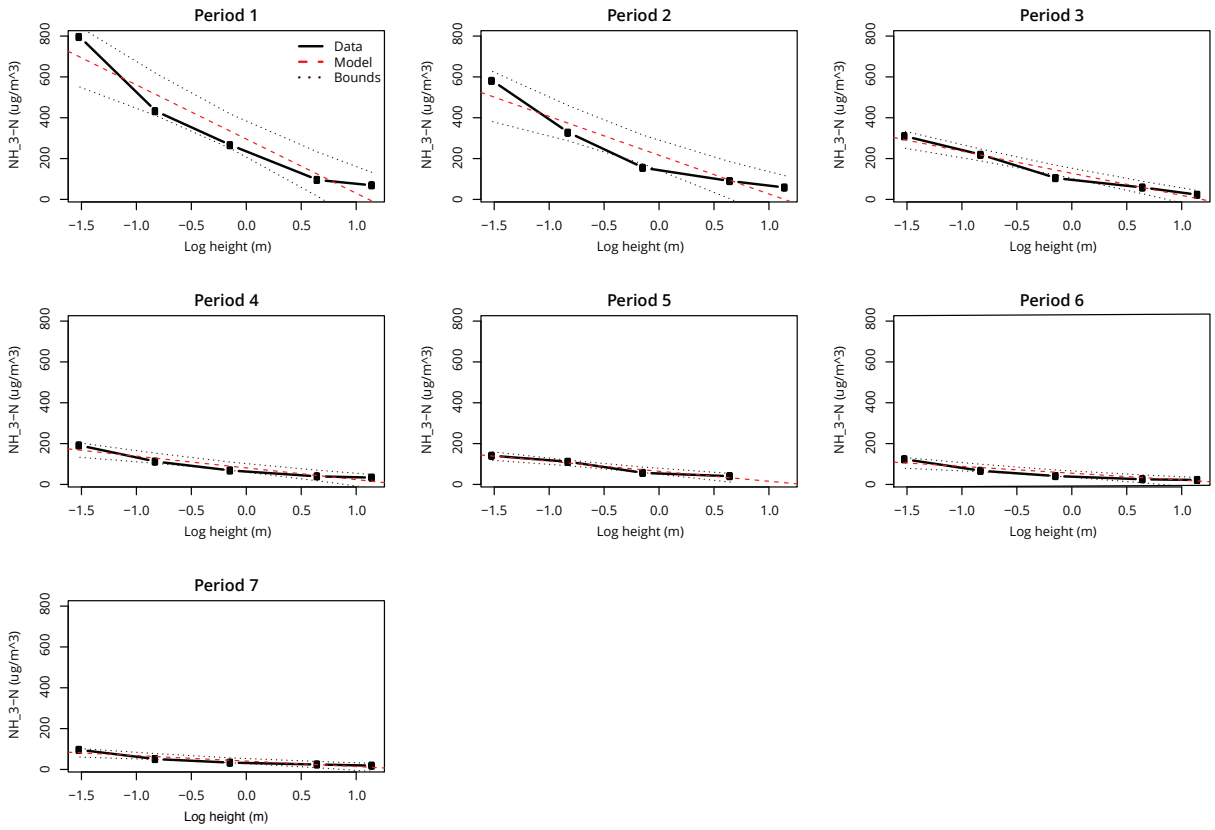
22 Huijsmans, J.F.M., Hol, J.M.G. 2012. *Ammoniakemissie bij mesttoediening en inwerken in aardappelruggen en bij mesttoediening in sleuven op niet beteeld geploegd kleibouwland.* Plant Research International, onderdeel van Wageningen UR Business Unit Agrosysteemkunde, rapport 445.

Week	Toepassing	Ammoniakemissie kg NH_3-N ha^{-1}	Ammoniakemissie % NH_4-N gift
16	Op aardappelruggen + inwerken 1	28,7	13,9
	Op aardappelruggen + inwerken 2	23,9	14,9
	In sleuven 1	29,7	18,7
	In sleuven 2	18,7	11,8
17	Op aardappelruggen + inwerken 1	15,6	10,0
	Op aardappelruggen + inwerken 2	25,5	16,2
	In sleuven 1	37,1	24,2
	In sleuven 2	25.6	17,3

Tabel 2. Reproductie van tabel 4 (p. 14) uit Huijsmans en Hol (2012).

De getallen in de rechterkolom zijn vergelijkbaar met de cijfers uit de Huijsmans en Schils-publicatie uit 2009.[23] Ieder getalletje in die kolom zou een blauwe stip zijn in de hierboven getoonde figuur 4.

Eenmaal in het bezit van de onderzoeksgegevens – meetdata en rekenmodel - konden we deze cijfers zonder moeite reproduceren. Aan de hand van gegevens over de hoogte en windsnelheden konden we de onzekerheid in de coëfficiënten bepalen. Hieronder als voorbeeld de relatie tussen de ammoniakconcentratie en de hoogte. De rode lijn vertegenwoordigt het veronderstelde verband tussen de twee, de zwarte stippen de metingen (in feite geaggregeerde meetwaarden).



Figuur 5. De gemeten ammoniakconcentratie als functie van de hoogte met 95% betrouwbaarheidsinterval, in zes meetperiodes.

23 Noot 7.

Aan de hand van de afwijking ten opzichte van de rode lijn bepalen we de onzekerheden in de coëfficiënten en kunnen we de tabel hierboven voorzien van betrouwbaarheidsintervallen:

Week	Applicatie	Ammoniak emissie kg NH_3-N ha^{-1}		Ammoniak emissie % NH_4-N gift	
		Mean	[95% CI]	Mean	[95% CI]
16	Op aardappelruggen + inwerken 1	**28.7**	[22.2, 50.9]	**13.9**	[10.8, 24.8]
	Op aardappelruggen + inwerken 2	**23.9**	[18.9, 47.1]	**14.9**	[11.7, 29.3]
	In sleuven 1	**29.7**	[23.2, 69.1]	**18.7**	[14.5, 43.4]
	In sleuven 2	**18.7**	[14.8, 42.0]	**11.8**	[9.32, 26.5]
17	Op aardappelruggen + inwerken 1	**15.6**	[13.1, 23.1]	**10.0**	[8.44, 14.9]
	Op aardappelruggen + inwerken 2	**25.5**	[19.3, 151.0]	**16.2**	[12.3, 96.1]
	In sleuven 1	**37.1**	[28.6, 88.2]	**24.2**	[18.7, 57.5]
	In sleuven 2	**25.6**	[19.6, 60.9]	**17.3**	[13.2, 41.2]

Tabel 3. Reproductie van tabel 4 (p. 14) uit Huijsmans en Hol (2012) nu met betrouwbaarheidsintervallen (in rood).

Zoals te zien is de bovengrens gemiddeld twee keer zo hoog als de gemiddelde waarde. Aan de onderkant is de spreiding kleiner, zo'n 10 tot 20% ten opzichte van het gemiddelde. Dat is logisch aangezien een emissie van 0% natuurlijk de ondergrens is en het empirische functionele verband logaritmisch is.

Is hiermee de volledige onzekerheid in kaart gebracht? Absoluut niet. De ammoniakmetingen zelf zijn niet exact: de spreiding in de metingen zijn niet gerapporteerd en niet bij ons bekend. Dat zou de betrouwbaarheidsintervallen in de tabel dus nog groter maken. Een andere onzekerheid is dat de emissie bepaald is in een kleine cirkel. Om tot een landelijk beeld te komen worden de resultaten niet alleen geëxtrapoleerd naar het hele veld/weiland, maar vervolgens naar heel Nederland.

Ook het gekozen quasi-fysische model zelf brengt onzekerheid met zich mee. Andere fysisch-chemische of statistische modellen zijn denkbaar en ook ontwikkeld en wellicht zijn die beter in het benaderen van de werkelijke emissie dan het hier gebruikte model.

Kortom, ook de door ons getoonde forse betrouwbaarheidsintervallen geven nog (lang) niet de totale onzekerheid rond de emissies weer.

Het is ronduit merkwaardig dat – voor zover wij hebben kunnen nagaan – geen enkel Nederlands rapport of wetenschappelijk artikel over ammoniakemissies voorzien is van een degelijke statistische analyse van de onzekerheden. Dat viel ook de internationale reviewcommissie onder leiding van Sutton op. Zij schrijven op pagina 9 van hun rapport (onze nadruk) het volgende wat wij volledig onderschrijven:[24]

> '34. A partial sensitivity and uncertainty analysis of the NEMA inventory was presented to the Panel. However, *no uncertainty analysis of the trend in ammonia emissions was presented. Similarly, no overall synthesis in the uncertainty in the trend of total ammonia emissions (agricultural and non-agricultural) appears to have been conducted.*
>
> 35. Given the ongoing national debate about the Ammonia Gap, **the Panel found it surprising that such a temporal uncertainty analysis in ammonia emissions had not been conducted**. Work to achieve this needs to be established as a matter of urgency. Such an analysis should not be restricted to the NEMA model, but should consider the trends in all contributions to Dutch Ammonia emissions.'

24 Noot 14. Nadruk van ons.

Sterker, ook het NEMA-model bedient zich van emissiefactoren met zelfs een niet-bestaande decimale nauwkeurigheid. Dat gaat voorbij aan de forse onzekerheden waarvan we hier slechts een deel hebben kunnen blootleggen. Zoals blijkt zijn de emissiefactoren rechtstreeks afkomstig van de in 2009 door Huijsmans en Schils gepubliceerde waarden.

Bemestingstechniek	Aandeel	Emissie Factor (EF)
Grasland - slurry		
Zodenbemester	61%	19,0%
Sleufkouter	13%	22,5%
	25%	26,0%
Bovengronds	1%	74,0%

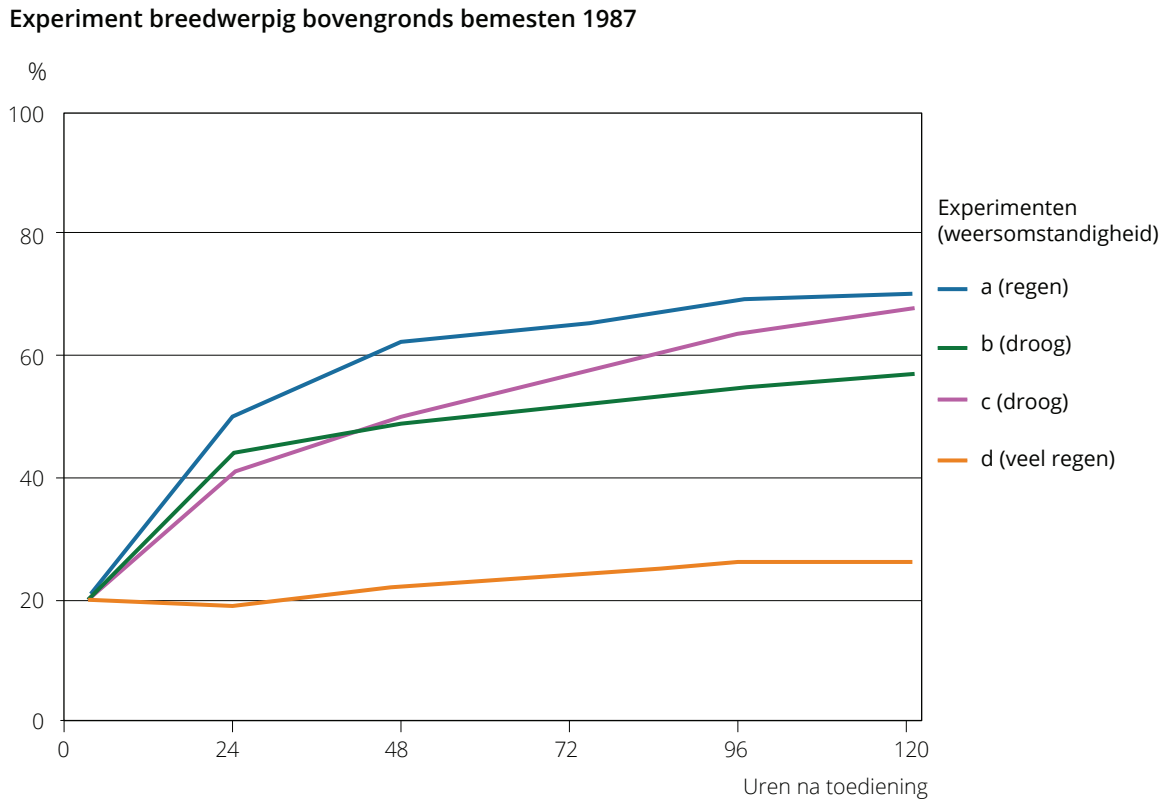
Tabel 4. Aandeel en emissiefactoren van bemestingstechnieken op grasland zoals vermeld in het NEMA-model.

Het eerdergenoemde rapport *Emissiearm bemesten geëvalueerd* uit 2009 stelt in de samenvatting het volgende: 'Door emissiearm te bemesten is de ammoniakemissie bij bemesten met 60% tot 70% afgenomen.'[25] Dat is een ferme uitspraak; de emissie *is* afgenomen. Met 60 tot 70%. Van enige onzekerheid is wel sprake. Maar, waar komt die onzekerheid vandaan? Het rapport schrijft hierover het volgende: 'Er bestaan aanzienlijke onzekerheden rond de vaststelling van de vervluchtiging van ammoniak. De twee belangrijkste bronnen van onzekerheid zijn de mate van naleving van het BGM (zie paragraaf 3.7.2) en de vervluchtigingpercentages van de diverse bemestingstechieken (zie Bijlage 6).'[26]

BGM staat voor het Besluit Gebruik Meststoffen en bevat voorschriften voor de wijze waarop meststoffen op of in de bodem mogen worden gebracht. Bijlage 11 van het rapport gaat specifiek in op de onzekerheden in de ammoniakemissie. Die bijlage is echter zeer summier en bevat niet een statistische analyse van de onzekerheden in de experimenten. Van alle veldproeven die met de verschillende bemestingsmethoden gedaan zijn wordt simpelweg het gemiddelde genomen, zonder verder een onzekerheid mee te nemen, zoals de parameteronzekerheid die wij hier hebben blootgelegd. Wel wordt er op basis van 'expert judgement' (notoir onbetrouwbaar overigens) 15% extra emissie opgevoerd bij emissiearme technieken en ook wordt er onderscheid gemaakt tussen 100% naleving van de voorschriften en 92% naleving. Met die aannames komt men vervolgens tot de hoofdconclusie dat de emissies met 60 tot 70% zijn afgenomen. (De doelstelling, in 1990 overeengekomen, was overigens 80% reductie.)

Wat verklaart nou de enorme spreiding in emissie in figuur 4? De onderzoekers noemen in bijlage 6 van hun rapport de volgende factoren: 'Omgeving (weer, bodem en gewas), mestsamenstelling (ammoniakale stikstof, zuurgraad) en bedrijfstechnische factoren (mesthoeveelheden, netheid van werken) veroorzaken een grote spreiding in de op basis van metingen afgeleide ammoniakemissie.'[27] Onderstaand plaatje uit die bijlage 6 illustreert de enorme spreiding in emissies die mogelijk is. Bij dit experiment uit 1987 werden alleen verschillende weersomstandigheden meegenomen en de uitkomsten zijn al zeer divers:

25 Noot 21.
26 Noot 21, p. 25.
27 Noot 21, p. 47.



Figuur 6. Vervluchtiging (%) van ammoniakaal stikstof (TAN) na breedwerpig verspreiden van mest bij vier experimenten in 1987.

Vier keer 'hetzelfde' experiment onder verschillende weersomstandigheden en de ammoniakemissies variëren al van ruim 20% tot zo'n 70%. En daarbij is dus slechts één van de vele factoren die op de emissies van invloed zijn gevarieerd. Voor alle duidelijkheid: *geen* van deze lijnen houdt rekening met onzekerheid in de metingen en in de gebruikte rekenmethode (bandbreedte in de regressiecoëfficiënten zoals wij die hierboven hebben afgeleid). Dus elk van de lijnen zou voorzien moeten worden van forse en daarmee overlappende onzekerheidsmarges.

3. AMMONIAKCONCENTRATIES IN DE ATMOSFEER

CONCLUSIES

Er worden vanaf 1993 24 keer per dag atmosferische ammoniakmetingen gedaan bij acht LML-stations. Deze metingen dienen onder andere als test voor de effectiviteit van emissiebeperkende maatregelen. De hypothese is dat 'als de emissies dalen dat dan ook de concentraties dalen'. De door ons uitgevoerde trendanalyse van alle LML-metingen laat geen noemenswaardige trends zien, omhoog dan wel omlaag. We hebben de hypothese dus niet kunnen bevestigen en een logische conclusie is dat het sturen van het beleid op emissies niet aantoonbaar effectief is.

In officiële documenten zijn de LML-metingen consequent samengevat met het rekenkundig gemiddelde. Dat is onjuist. De data bevatten kortdurende uitschieters naar boven; de dataverdeling is hierdoor 'scheef'. De juiste maat bij zo'n scheve verdeling van meetwaarden is niet het rekenkundig gemiddelde maar de mediaan. Die mediaan ligt bij alle meetstations tientallen procenten lager dan het gemiddelde. De atmosferische ammoniakconcentraties in Nederland zijn dus een stuk lager dan gerapporteerd.

Aangezien de LML-stations onderling niet of nauwelijks correlatie vertonen, is de bepaling van een jaarlijkse gemiddelde (of mediane) landelijke atmosfeerconcentraties betekenisloos. De eventuele trend die daarin wordt gerapporteerd is eveneens betekenisloos.

CONTOUREN

Het ammoniakbeleid, zowel nationaal als Europees, richt zich in eerste instantie op de emissies. Want, zo is de logische gedachte, als (1) *emissies dalen*, zullen (2) *concentraties in de lucht dalen* en dat leidt dan uiteindelijk tot (3) *minder depositie in natuurgebieden* wat zou bijdragen aan (4) *behoud van biodiversiteit*, het einddoel van het ammoniakbeleid.

In het vorige hoofdstuk zijn we daarom uitgebreid ingegaan op de bepaling van de (landelijke) ammoniakemissies. We concludeerden dat de hoogte van de ammoniakemissies met een veel te grote zekerheid bepaald en gepubliceerd wordt. Onzekerheidsmarges worden niet gegeven. Het gevolg is dat er ook veel meer onzekerheid is over de geclaimde afname van de emissies sinds 1990 dan gerapporteerd in tal van rapporten en overheidsdocumenten.

Goed, het is nu tijd om naar stap 2 in de 'ammoniakketen' te gaan kijken: de ammoniakconcentraties in de lucht. De laatste jaren, als de ammoniakdiscussie weer eens aanzwelt, is het in overheidskringen populair om te stellen dat het ammoniakbeleid 'wetenschappelijk goed onderbouwd' is. Zo schreef staatssecretaris Martijn van Dam onlangs nog in een brief aan de Kamer: "Uit de internationale review [*het Sutton-rapport, red.*] bleek dat het kennisinstrumentarium dat Nederland inzet in de hele kennisketen wetenschappelijk goed is onderbouwd."[28]

Welnu, wat betekent het precies als er staat dat het kennisinstrumentarium 'wetenschappelijk goed onderbouwd' is? Een definitie hiervan geeft de brief en ook het rapport waaruit de claim afkomstig is –de Sutton review– niet. Het Sutton-rapport schrijft:[29]

> 'On the whole, the methods used in the Netherlands for emission estimation, measurement and modelling of atmospheric ammonia are **generally sound**. However, there are concerns regarding

28 Zie *https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2016/10/27/kamerbrief-over-voortgang-ammoniakonderzoek* (geraadpleegd op 12-12-2016).

29 Noot 14. Nadruk van ons.

> the analysis of long-term trends, especially given that current trends are now starting to flatten out following implementation of the most effective measures.'

Dit was een van de kernboodschappen van de Sutton-commissie. De term 'scientifically sound' valt ook enkele malen in het rapport. Zonder duidelijke criteria blijft het gissen wat de Sutton-commissie en het ministerie hiermee bedoelen.

In het vorige hoofdstuk hebben wij aangegeven dat reproduceerbaarheid een belangrijk criterium is in de wetenschap. Als wetenschappelijke resultaten niet reproduceerbaar zijn, dan komt dat het vertrouwen in zulke resultaten uiteraard niet ten goede. Het ontbreken van de originele meetdata achter de emissie-experimenten draagt derhalve niet bij aan een 'goede wetenschappelijke onderbouwing'. Integendeel.

In dit hoofdstuk komt er een tweede belangrijk criterium van wetenschap aan bod. Wetenschappelijke claims dienen empirisch – dat wil zeggen 'met waarnemingen'- toetsbaar te zijn. Hoewel Nederlandse onderzoekers – voor zover wij hebben kunnen achterhalen – nergens expliciet hebben geschreven dat de ammoniakconcentraties in de lucht zullen dalen als de emissies dalen, lijkt dat wel de nulhypothese. Die hypothese is empirisch te toetsen. De emissies zijn volgens de onderzoekers met circa 60% gedaald sinds 1990. Wat heeft dat nu gedaan met de ammoniakconcentraties in de lucht? Zijn die bijvoorbeeld ook met 60% gedaald? Of met een hoger of lager percentage?

In de serie artikelen die Geesje Rotgers voor V-Focus schreef was dat een van de voornaamste kritiekpunten: de ammoniakconcentratie in de lucht lijkt nauwelijks gedaald. De samenvatting van het Sutton-rapport begint als volgt:

> 'Ammonia (NH_3) is a key air pollutant for which major efforts have been made in the Netherlands since 1993 to reduce its emissions. However, NH_3 concentrations in the air have not decreased as much as expected since the introduction of mitigation measures. This has led stakeholders to question the effectiveness of the Dutch ammonia policy.'

Een belangrijke aanleiding voor de internationale review was dus het gegeven dat de concentraties in de lucht minder zijn afgenomen dan verwacht. Helaas bevat het Sutton-rapport helemaal geen grafieken en geen kwantitatieve analyses van data. Dus hoewel het rapport stelt dat er sprake is van een reductie in de ammoniakconcentraties, wordt deze claim niet onderbouwd met data. De reviewcommissie constateert ook dat er onvoldoende gedaan is met de concentratiemetingen die sinds 1993 beschikbaar zijn: '*By contrast, the hourly temporal sampling provides critical information which has so far not been analysed sufficiently to reveal patterns in the data.*'

Wij zijn het eens met deze opmerking van de Sutton-commissie. Sinds 1993 wordt er verspreid over Nederland op acht zogenoemde LML-stations (Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit) ieder uur, 24 uur per dag, de ammoniakconcentratie gemeten. Dat heeft uiteraard een schat aan informatie opgeleverd, waarvan opmerkelijk genoeg relatief weinig terug te vinden is in publicaties. Daarnaast worden sinds 2005 er in tientallen natuurgebieden ammoniakmetingen gedaan. Tezamen schetsen die een bepaald beeld van de ontwikkeling van de ammoniakconcentratie in de tijd.

Waarom zijn die concentratiemetingen zo belangrijk? Zoals gezegd, in de wetenschap behoren claims zoveel mogelijk empirisch – met waarnemingen – te worden onderbouwd. Hoewel er aan de emissieberekeningen wel enige empirie ten grondslag ligt – immers, er worden metingen gedaan om de emissie uit af te leiden – bestaan de schattingen voor de landelijke ammoniakemissies toch voornamelijk uit berekeningen op basis van aantallen vee in Nederland, type stal, wijze van bemesten, enzovoort. De ammoniakconcentraties daarentegen bestaan puur uit metingen en de onzekerheden daaromtrent. De concentratiemetingen kunnen daarom dienen als empirische controle van de hypothese dat als de emissies dalen dat dan ook de concentraties dalen.

De Nederlandse ammoniakonderzoeker Erisman schreef in 1998 in een wetenschappelijk artikel dat in de keten emissie-concentratie-depositie de gemeten concentratie en depositie kunnen dienen als test voor de

effectiviteit van emissiebeperkende maatregelen.[30] Hij voegde eraan toe dat de ammoniakconcentratie in de lucht het geschiktst is omdat ongeveer 90% van die concentratie bepaald wordt door Nederlandse ammoniakbronnen, terwijl bijvoorbeeld ammoniumdeeltjes ($NH4^+$) en natte depositie veel meer bepaald worden door buitenlandse bronnen. Ook Sutton schreef in 2003 dat een juiste interpretatie van atmosfeermetingen essentieel is, omdat zulke metingen de enige manier zijn om regionale ammoniakemissies te evalueren.[31]

Zeer recent erkende het RIVM dit overigens ook, in een voor staatssecretaris Van Dam geschreven toelichting getiteld *Toelichting op het verloop van de emissie en concentratie van ammoniak van 1993-2014*.[32] Bijlage B van die toelichting heeft als titel *Waarom ammoniak als indicator voor het volgen van de ammoniakemissies?* Het RIVM schrijft: 'Van de ammoniak en ammoniumcomponenten die gemeten worden is de ammoniakconcentratie in de lucht de meest geschikte om de effecten van ammoniakbeleid in Nederland te volgen.' Wij onderschrijven deze opmerkingen volledig. In de keten emissies-concentraties-deposities zijn eigenlijk alleen de concentraties goed te meten en daarom van cruciaal empirisch belang.[33]

AMMONIAK GEMETEN – HET LANDELIJK MEETNET LUCHTKWALITEIT (LML)

Zoals hierboven reeds vermeld wordt de ammoniakconcentratie sinds 1993 ieder uur gemeten op acht LML-stations (en vanaf 2014 op zes). Hieronder een kaartje met de locaties van de stations:

Figuur 7. Locaties van de LML-stations. In groen de plekken waar ieder uur ammoniak wordt gemeten.

30 Erisman, J.W. *et al.* 1998: Evaluation of ammonia emission abatement on the basis of measurements and model calculations. *Environmental Pollution* **102 (SUPPL 1)**: 269 – 274

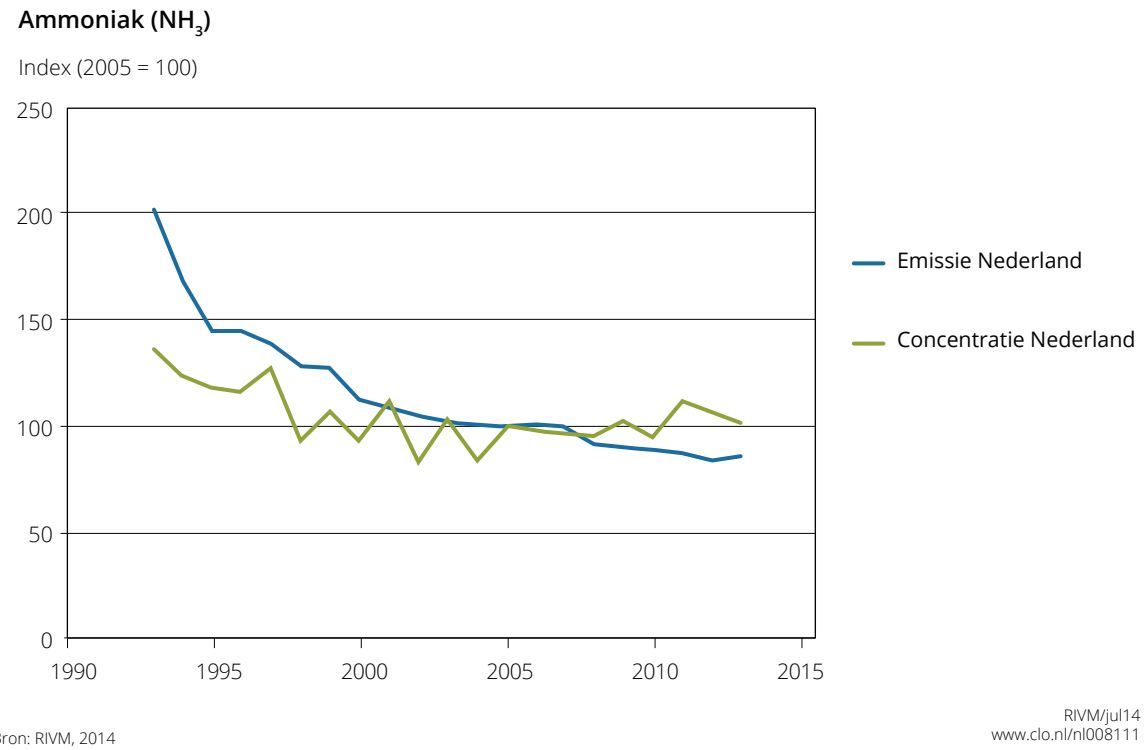
31 Sutton, M. *et al.* 2003. Establishing The Link between Ammonia Emission Control and Measurements of Reduced Nitrogen Concentrations and Deposition. *Environmental Monitoring and Assessment* **82**: 149 – 185.

32 Noot 2.

33 Natte depositie is ook goed te meten, maar de *totale* depositie weer niet omdat droge depositie zeer lastig te bepalen is.

Hoe verhouden emissies en concentraties zich tot elkaar? In 2014 verscheen de onderstaande figuur in een rapport van de Commissie Deskundigen Meststoffenwet (CDM).[34] Deze grafiek toont de trends tussen 1993 (de start van de LML-metingen) en 2012. Het is een merkwaardige grafiek omdat er geen absolute eenheden gebruikt worden maar een index voor zowel concentraties als emissies. Vóór 2005 is de concentratie-index uitsluitend gebaseerd op de LML-stations, na 2005 op zowel de LML- als de zogenoemde MAN-metingen, wat staat voor Meetnet Ammoniak in Natuurgebieden. Het is dus in feite appels en peren vergelijken.

Deze grafiek is in zoverre belangrijk dat dit het beeld is dat in Nederlandse rapporten wordt geschetst. Dit is de manier waarop emissies en concentraties met elkaar vergeleken worden. Voor ieder jaar wordt op basis van de acht LML-stations een landelijk gemiddelde concentratie bepaald. De ontwikkeling van dat landelijk gemiddelde wordt vervolgens vergeleken met de totale berekende ammoniakemissie.



Figuur 8. Verloop van ammoniakemissies en -concentraties tussen 1993 en 2012. Beide parameters zijn geïndexeerd op 100 in 2005.[35]

Deze benadering is echter gebrekkig en misleidend en leidt tot onterechte conclusies. We zullen stap voor stap door de LML-data gaan en laten zien dat basale statistiek een totaal ander beeld geeft dan tot nu toe gepubliceerd door overheids- en academische instanties.

Het is altijd goed om de data eerst in zijn geheel in ogenschouw te nemen. Zoals onze collega Briggs stelt: 'The idea is this: (1) Look, (2) Don't model. Very many times, simple summaries and plots of data are superior to models.'[36]

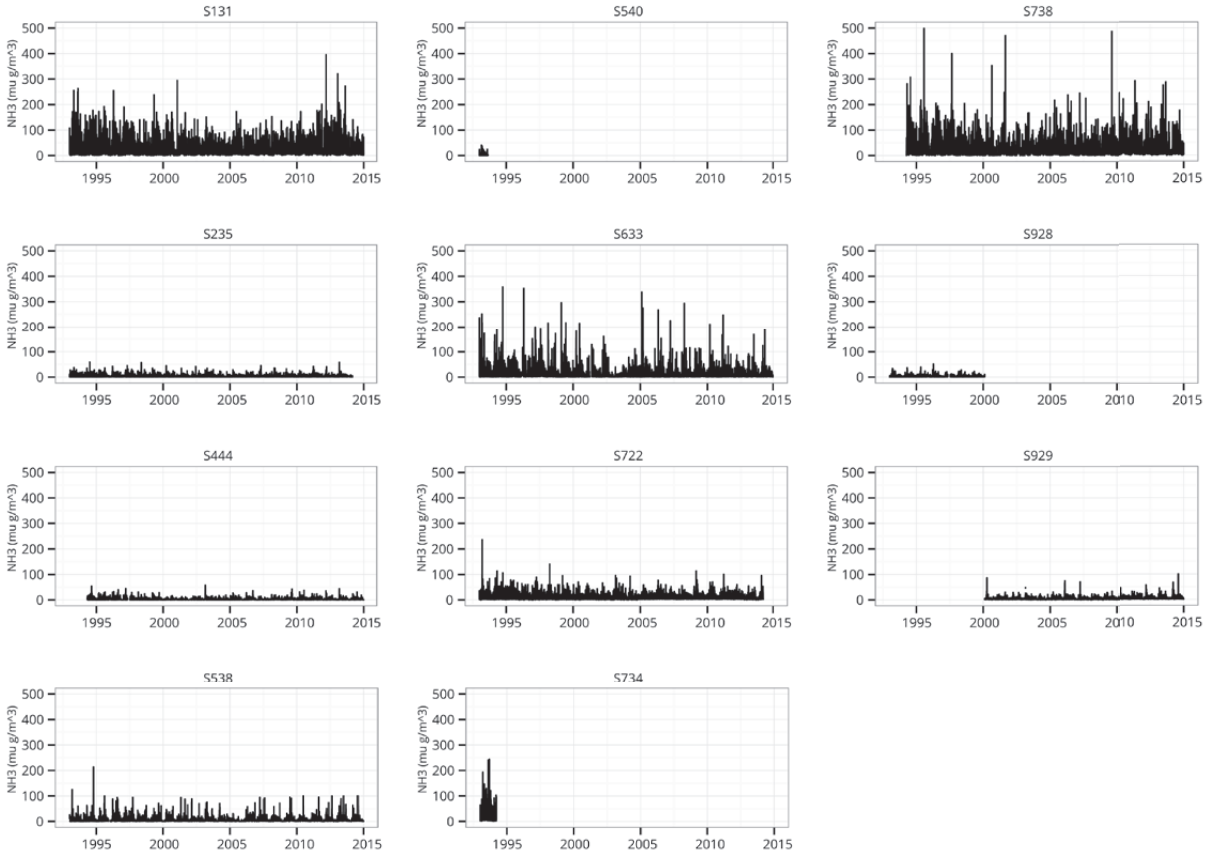
34 Commissie Deskundigen Meststoffenwet (CDM). 2014. *Trends in ammoniakconcentraties en -emissies; een quick scan*. Te downloaden via https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2014/10/10/trends-in-ammoniakconcentraties-en-emissies-een (geraadpleegd op 12-12-2016).

35 Zie http://www.clo.nl/sites/default/files/infographics/0081_004g_clo_11_nl.png (geraadpleegd op 12-12-2016).

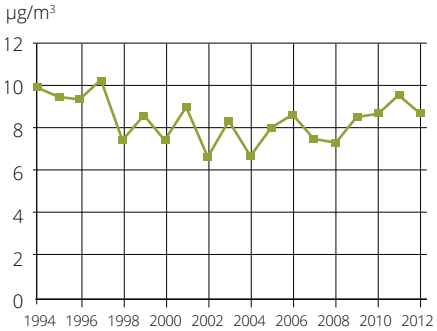
36 Briggs, W. 2016. *Uncertainty – The Soul of Modeling, Probability & Statistics.* Springer, Switzerland.

Dus voordat de data door middel van bewerkingen samengevat worden tot een enkel getal is het zaak eerst *goed te kijken*. In de figuur hieronder alle beschikbare metingen van de LML-stations. Bewust is overal dezelfde verticale schaal gebruikt zodat de grote verschillen tussen stations zichtbaar worden.

Zoals te verwachten is, laten de stations Vredepeel (nabij De Peel) en Wekerom (de Veluwe) de hoogste concentraties zien. Beide stations liggen in gebieden met een hoge dichtheid aan vee. Ook in Zegveld zijn de concentraties relatief hoog. Relatief gematigde waarden zien we in Eibergen (Oost-Gelderland) en Wieringerwerf. Lage waarden vinden we aan de kust (de Zilk), in Huijbergen (grens Noord-Brabant en Zeeland) en Valthermond (Oost-Drenthe). In alle reeksen is sprake van grote variaties in de tijd.



Figuur 9. Ontwikkeling van de ammoniakconcentratie sinds 1993 zoals gemeten bij verschillende LML-stations.

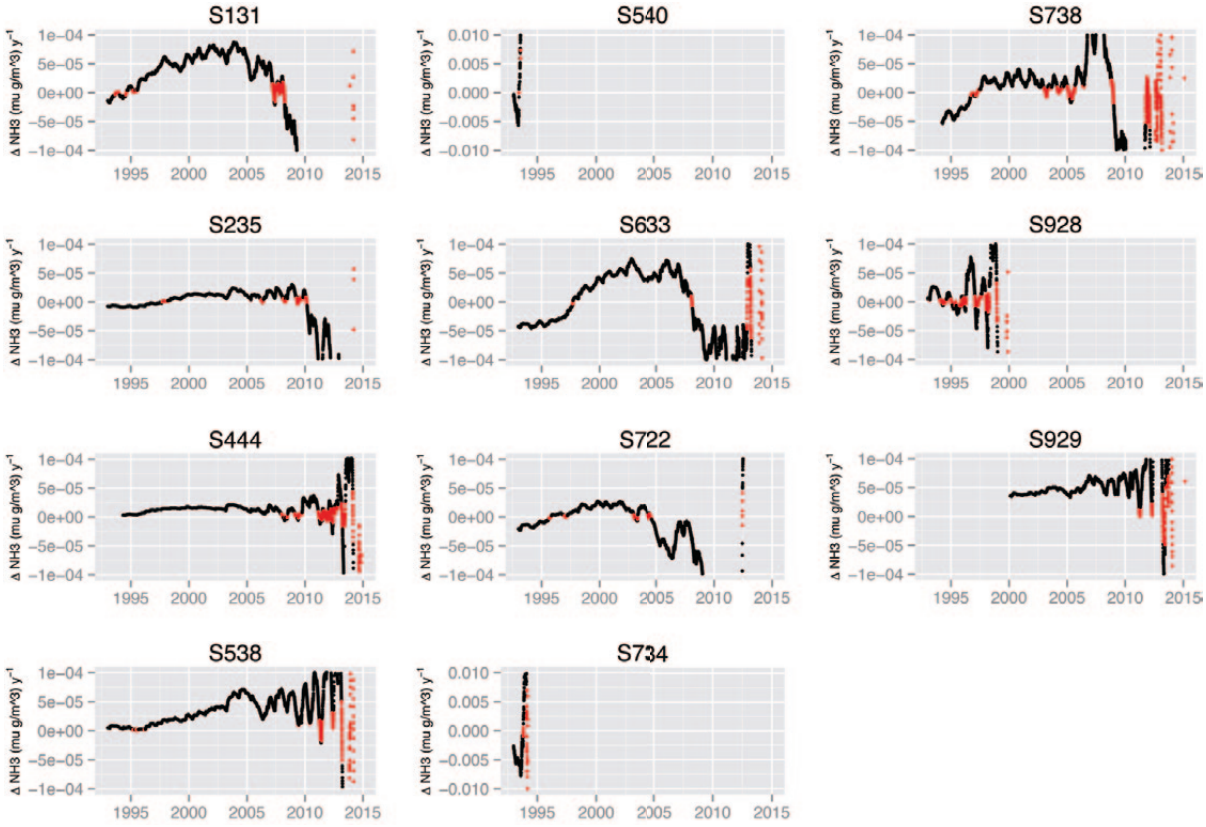


Geen van de reeksen laat op het eerste gezicht een duidelijke trend omhoog of omlaag zien. Landelijk gemiddelde waarden, zoals gepubliceerd door het RIVM suggereren wel een afname van de concentratie tussen 1993 en 2004 van zo'n 10 µg/m^3 naar zo'n 8 µg/m^3.

Figuur 10. Jaarlijks gemiddelde ammoniakconcentratie in Nederland, zoals gepubliceerd door het RIVM in 2013.[37]

37 RIVM. 2013. *Jaaroverzicht Luchtkwaliteit 2012.* RIVM Rapport 680704023/2013, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven, Nederland.

Laten we, in plaats van uit te gaan van een jaarlijks landelijk gemiddelde eerst eens kijken naar trends in de afzonderlijke meetreeksen. In de figuur hieronder is de verandering van de trend bepaald in de tijd. Het allereerste punt in de grafieken geeft de trend weer van de eerste tot de laatste meting. Het tweede punt de trend vanaf dat moment tot het einde en zo verder. Aan het eind worden de trends uiteraard steeds grilliger omdat de periode steeds korter wordt. Zwart geeft aan dat de trend significant is, rood betekent niet significant. Negatieve waarden betekenen een afname, positieve waarden een toename.



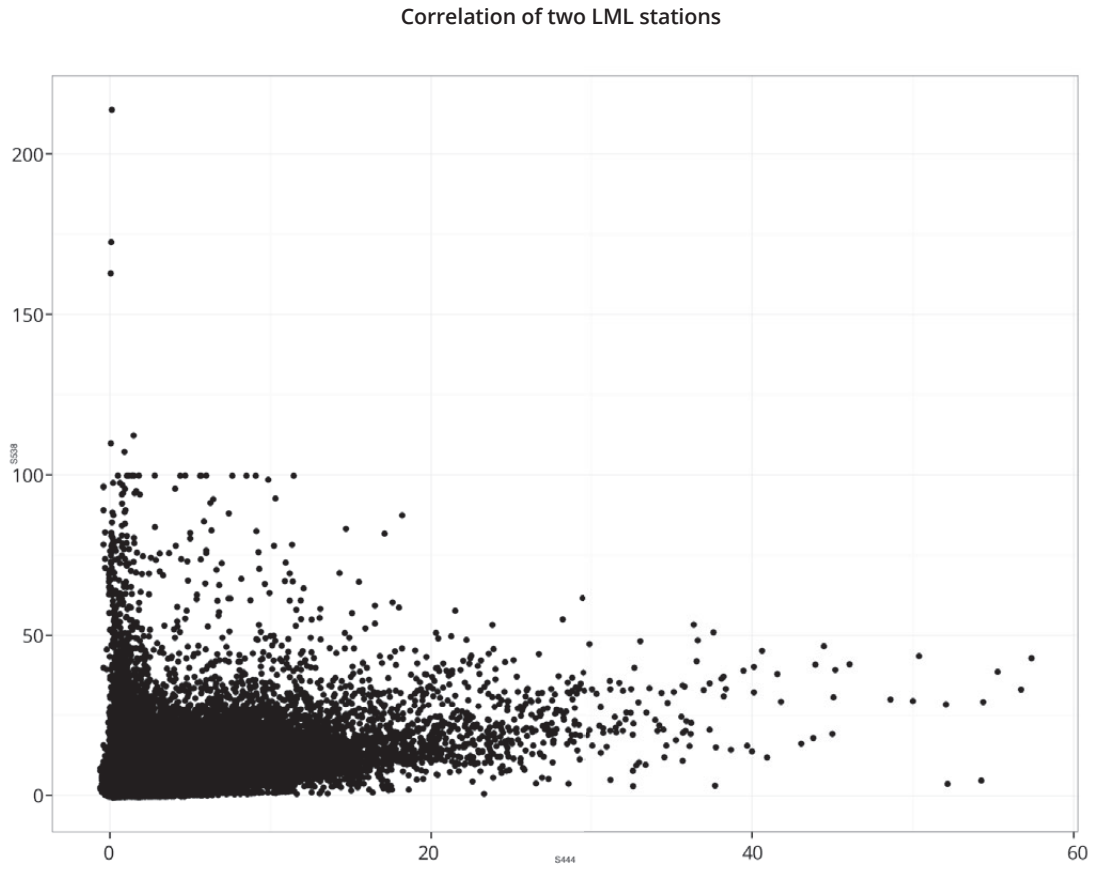
Figuur 11. Verloop van ammoniaktrends in de tijd. In rood niet-significante trends, in zwart significante trends.

De drie stations in gebieden met relatief hoge concentraties (Vredepeel 131, Wekerom 738 en Zegveld 633) vertonen in ieder geval een afname over de gehele periode (de trend aan het begin is negatief). Echter, bij Vredepeel slaat die statistisch significante afname al heel snel (rond 1995) om in een toename. Bij Wekerom en Zegveld slaat de trend om van negatief naar positief rond 1997. Dit betekent dat als om wat voor reden dan ook de LML-metingen in 1997 waren begonnen in plaats van in 1993 de drie stations met de hoogste concentraties een toename zouden hebben laten zien over de periode 1997-2014. De trends zijn met andere woorden sterk afhankelijk van begin- en einddatum.

Wieringerwerf (538) laat nooit een afname zien. Eibergen (722) begint met een daling maar dat slaat ook al in 1995 om in een stijging. Huijbergen (235) begint met een hele lichte daling, die in 1997 omslaat naar een stijging. De Zilk (444), aan de kust, vertoont altijd een stijging, maar omdat concentraties sowieso laag zijn daar, heeft dat op een landelijk gemiddelde nauwelijks invloed. Valthermond (929) begint pas in 2000 te meten en vertoont vanaf dan alleen maar een stijging.

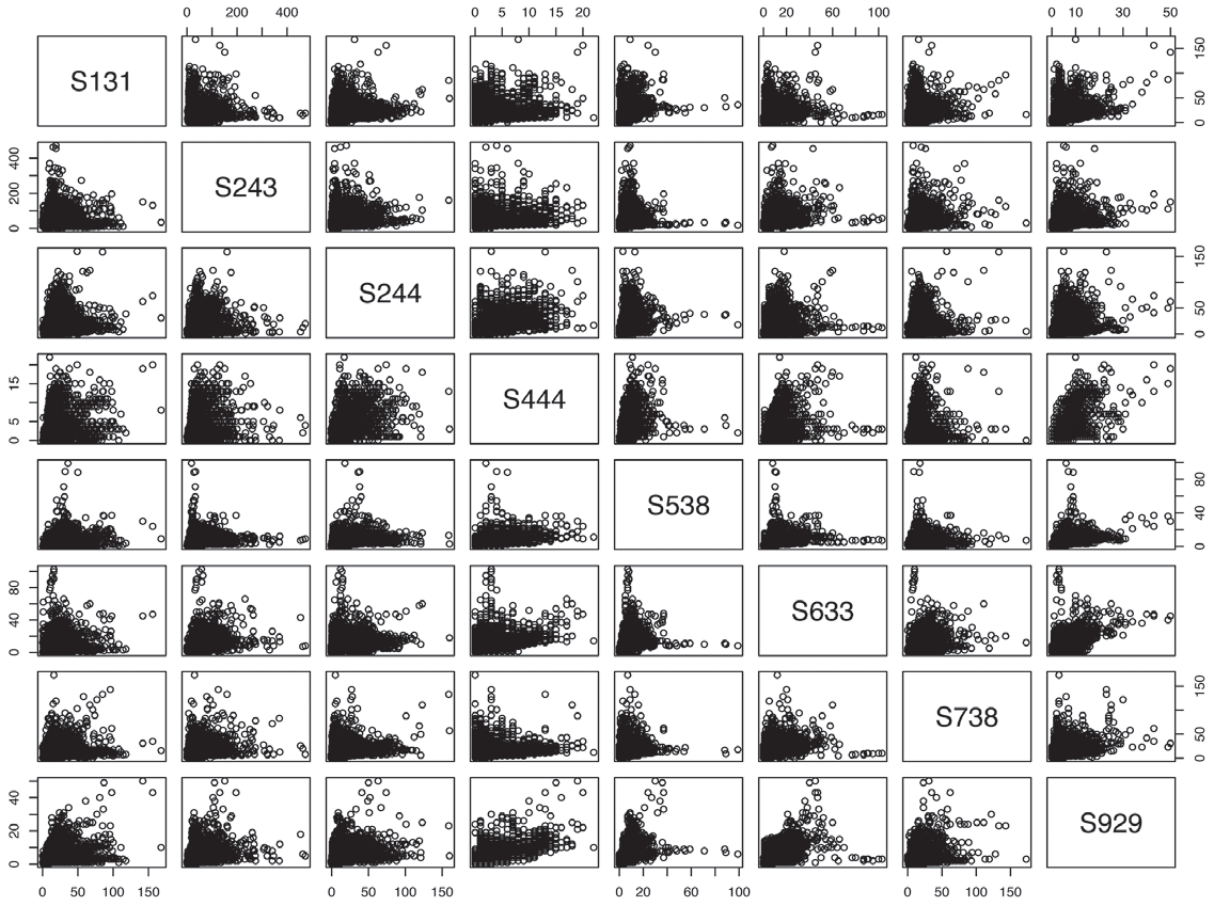
Wat kunnen we nu concluderen? De stations met de hoogste concentraties vertonen weliswaar een afname over de hele periode maar die trends slaan na een paar jaar om. De enige stations met consistente trends in de tijd (Wieringerwerf, De Zilk en Valthermond) laten juist een toename zien. Overall kunnen we stellen dat er geen persistente trends – omhoog of omlaag – zijn.

Heeft het gezien de variabiliteit in de data zin om deze acht stations op een hoop te gooien en samen te vatten als de landelijke gemiddelde ammoniakconcentratie? Om op die vraag antwoord te geven kijken we ook nog naar de correlatie tussen stations. Immers, als stations goed met elkaar correleren, dan kunnen de stations samen een representatief landelijk beeld geven. Van een goede correlatie blijkt echter geen sprake te zijn. Hier als voorbeeld De Zilk en Wieringerwerf:



Figuur 12. Correlatie tussen ammoniakconcentratie in Wieringerwerf (verticaal) en De Zilk (horizontaal).

Als de correlatie sterk zou zijn, dan verwacht je veel punten om en nabij een rechte lijn die vanuit de oorsprong schuin omhoogloopt. Echter, wat we zien is dat lage waarden bij het ene station gepaard kunnen gaan met hoge waarden bij het andere station en omgekeerd. Dit beeld zien we terug bij eigenlijk alle kruiscorrelaties tussen alle stations.

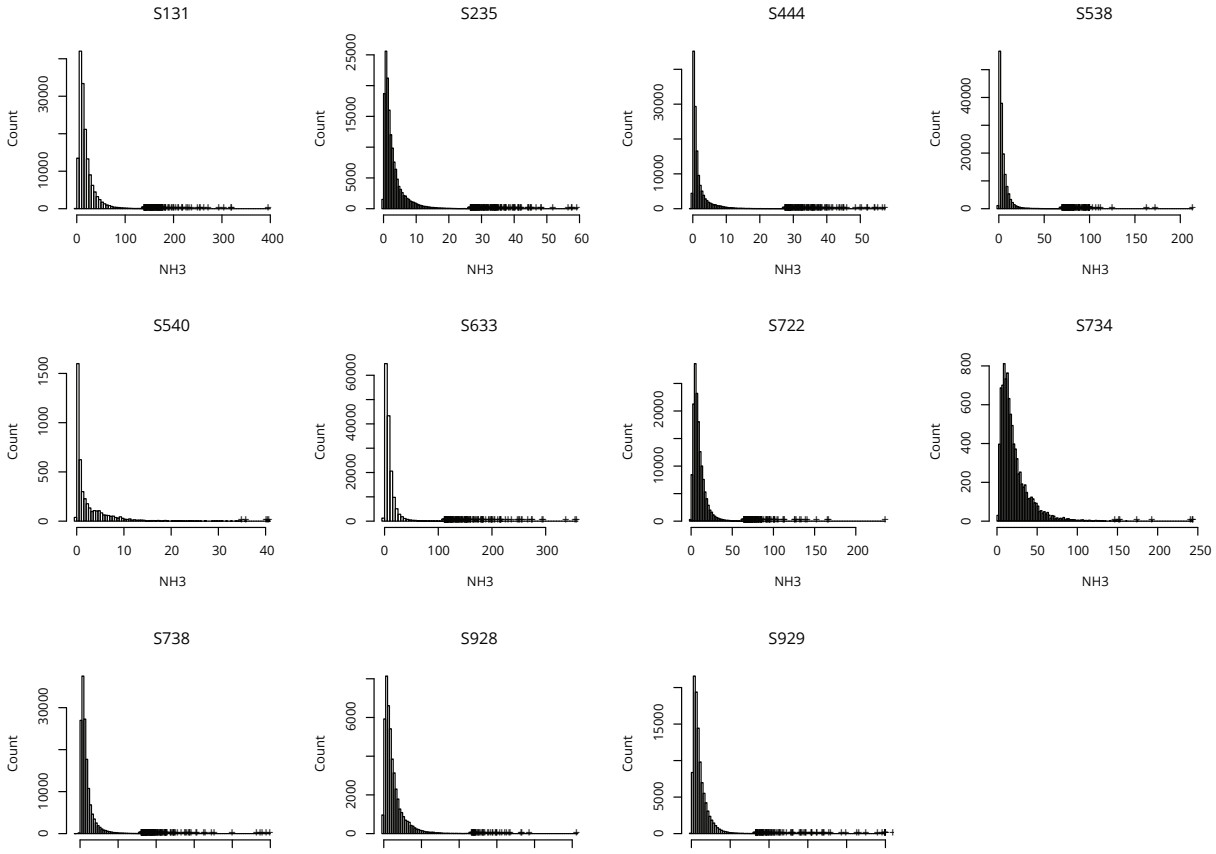


Figuur 13. Kruiscorrelaties tussen alle LML-stations.

De enorme variatie aan ammoniakconcentratie in ruimte en tijd en de geringe tot afwezige correlatie tussen stations pleit sterk tegen gebruik van één landelijk gemiddelde waarde. De ammoniakconcentratie is grotendeels lokaal bepaald en fluctueert sterk in de tijd. Om tot een representatief landelijk beeld te komen (als je dat al zou willen) zouden er dus veel meer stations nodig zijn. Maar dan nog is de vraag wat daar mee bereikt kan worden. Immers, uiteindelijk ligt de focus op de depositie van ammoniak in natuurgebieden, want dat zou de biodiversiteit ter plekke beïnvloeden. Niet voor niets heeft de overheid sinds 2005 ook een Meetnet Ammoniak in Natuurgebieden (MAN) opgezet om de ammoniakconcentraties daar te monitoren. Over die data later iets meer.

GEMIDDELDE *VERSUS* MEDIAAN

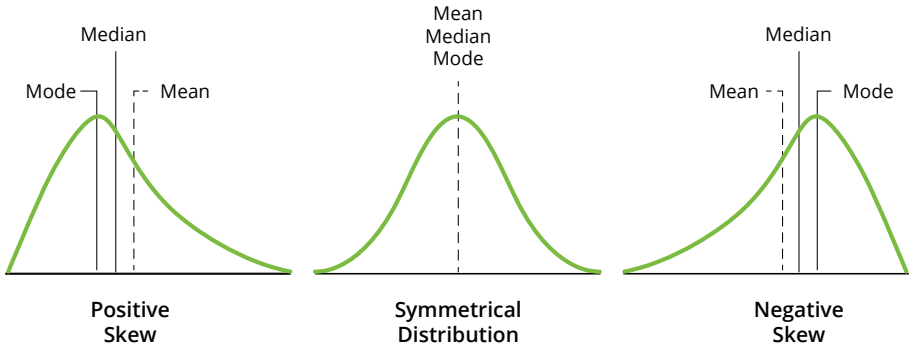
Wat opvalt in de LML-data van alle stations (zie figuur 9) is het optreden van kortstondige hoge concentraties. Om een indruk te krijgen hoe vaak hoge pieken voorkomen hebben we histogrammen gemaakt. Bij ieder station telden we hoe vaak een meting in een bepaald concentratiegebied valt. Een waarde die minder dan 1x per duizend voorkomt krijgt een "+"-teken. Hieronder het resultaat:



Figuur 14. Histogrammen van ammoniakwaardes bij alle LML-stations.

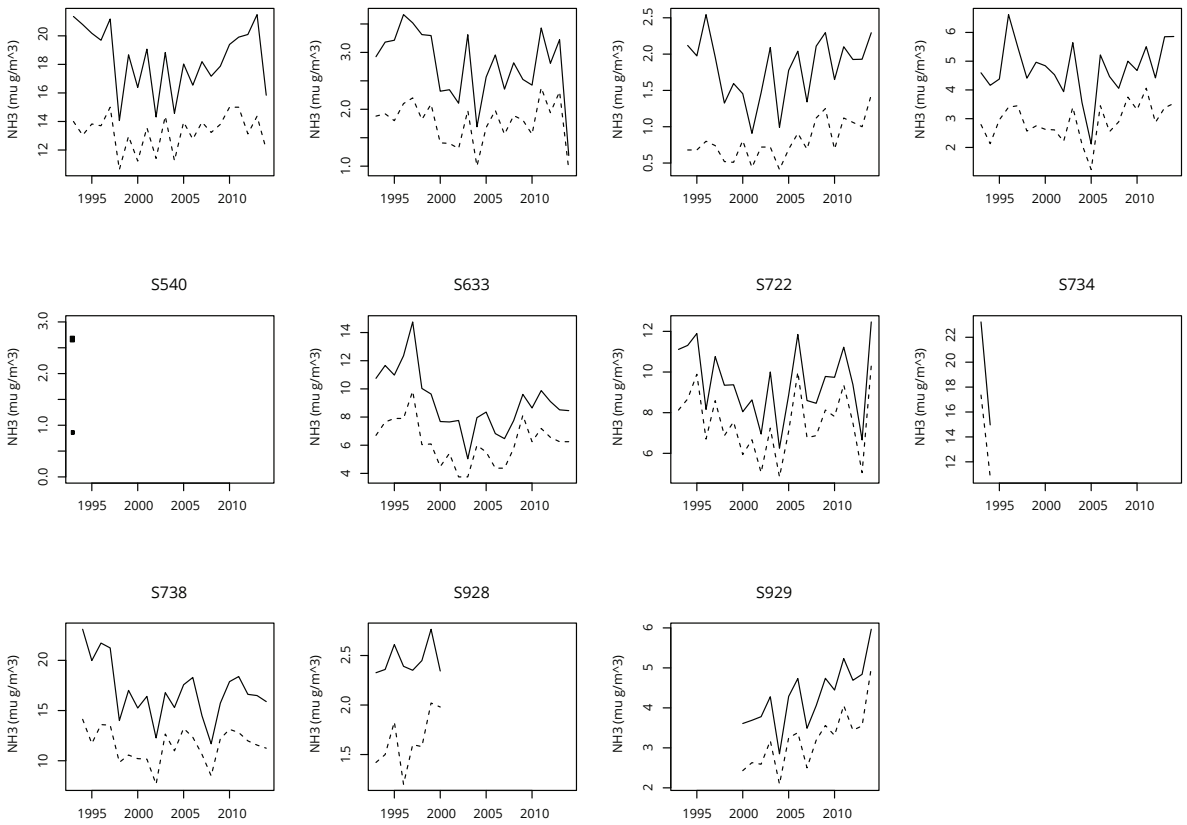
Het is overduidelijk dat de data niet overeenkomen met wat we een normale verdeling noemen. Bij een normale verdeling (denk aan de lengte van een bevolking) heb je een gemiddelde waarde en links en rechts van dat gemiddelde ongeveer evenveel waardes. Hier echter bevindt het gros van de data zich links van het gemiddelde. Lage waardes komen veel vaker voor dan hoge waardes. De verdeling is 'scheef' (*skewed* in het Engels; hier is sprake van een 'right' of 'positive skew').

In zulke gevallen is het misleidend om het gemiddelde van de data te gebruiken. De mediaan is in zo'n geval een veel betere maat. Wat is de mediaan? Dat is de middelste waarde in een reeks getallen. Een simpel voorbeeld. Stel dat we elf metingen hebben met de volgende oplopende waardes: 1, 1, 2, 2, 3, 3, 4, 4, 5, 5, 30. De mediaan is dan simpelweg het middelste (zesde) getal in deze reeks: 3. Het rekenkundig gemiddelde is echter 60/11 = 5,45. Het gemiddelde kent veel meer gewicht toe aan de uitschieter van 30 en ligt daardoor 1,8 keer (80%) hoger dan de mediaan. Schematisch ziet dat er als volgt uit (de modus (mode) is de meest voorkomende waarde):



Figuur 15. Gemiddelde (mean) versus mediaan (median) bij scheve en gewone verdelingen.

De histogrammen hierboven laten goed zien dat we bij de ammoniakconcentratie op LML-stations met zo'n scheve verdeling te maken hebben. Hoe scheef? Om dat te bepalen hebben we voor alle stations de maandelijkse gemiddelden met de medianen vergeleken (de reeksen eindigen in 2014, het laatste volledige jaar waarvoor data beschikbaar waren tijdens ons onderzoek):



Figuur 16. Jaarlijkse waarden voor het gemiddelde (getrokken lijn) en de mediaan (stippellijn) voor alle LML-stations.

Duidelijk te zien is dat het gemiddelde altijd hoger ligt dan de mediaan. In de tabel hieronder is te zien hoe groot de verschillen zijn over de gehele periode:

Station	Gemiddelde - µg/m^3	Mediaan - µg/m^3	Gemiddelde/Mediaan
S131	18.37	13.13	1.40
S235	2.84	1.76	1.61
S444	1.83	0.82	2.23
S538	4.73	2.84	1.67
S540	2.67	0.86	3.10
S633	9.01	6.10	1.48
S722	9.48	7.45	1.27
S734	21.65	15.99	1.35
S738	16.86	11.56	1.46
S928	2.46	1.63	1.51
S929	4.35	3.19	1.36

Tabel 5. Gemiddelde- en mediaan- ammoniakconcentratie en de verhouding daartussen voor alle LML-stations.

Kijk vooral eens naar de stations in de gebieden met de hoogste concentratie, Wekerom (S738) en Vredepeel (S131). In Wekerom is het gemiddelde bijna 17 µg/m3 terwijl de mediaan uitkomt op zo'n 11,5 µg/m^3. In Vredepeel zijn de verschillen ongeveer even groot, 18,4 µg/m3 om 13,1 µg/m3. Het kleinste verschil tussen het gemiddelde en de mediaan is 27%, het grootste verschil 310% (voor een station waar slechts zeer kort gemeten is). We stellen vast dat door gebruik van het gemiddelde in plaats van de mediaan de ammoniakconcentratie in Nederland met tientallen procenten overschat wordt.

Opmerkelijk genoeg is er in geen enkel Nederlands rapport over ammoniak een discussie over gemiddelde *versus* mediaan te vinden. We vroegen dr. Addo van Pul van het RIVM naar zijn mening hierover. Hij mailde ons het volgende:[38]

> 'Inderdaad nemen wij voor de maand- en jaarwaardes het rekenkundig gemiddelde. [ ] Toepassen van een mediaanwaarde i.p.v. rekenkundig gemiddelde zou voor een jaargemiddelde een vertekening van de werkelijkheid geven, omdat dan juist bijvoorbeeld hoge waarden tijdens het uitrijdseizoen minder meetellen. We hebben niet specifiek een rapportage op de keuze voor gemiddelde vs andere statistische indicatoren.'

Van Pul is dus van mening dat de mediaan 'een vertekening van de werkelijkheid' geeft omdat hoge waarden tijdens het uitrijdseizoen dan minder meetellen. Echter, statistisch onderzoek leert dat juist het meenemen van hoge waarden in een scheve verdeling een vertekend beeld geeft.

Maar wat is 'de werkelijkheid' hier nu precies? Iedere samenvatting van duizenden meetpunten tot één getal heeft beperkingen. Daarom is het ook zo van belang om alle data te laten zien, de verdeling ervan, de onderlinge samenhang tussen stations, enzovoort.

Bij een symmetrische verdeling van de data (normaalverdeling) komen het gemiddelde en de mediaan met elkaar overeen. Bij een scheve verdeling, zoals hier het geval, beginnen mediaan en gemiddelde uit elkaar te lopen. De mediaan is dan de beste weerspiegeling van de data (het is de waarde die in het midden van alle waarden ligt) en heeft daarom in principe altijd de voorkeur tenzij er een duidelijk aanwijsbare *causale* reden is om het gemiddelde te prefereren. Die reden is er in dit geval niet voor. Merk op dat de modus, de

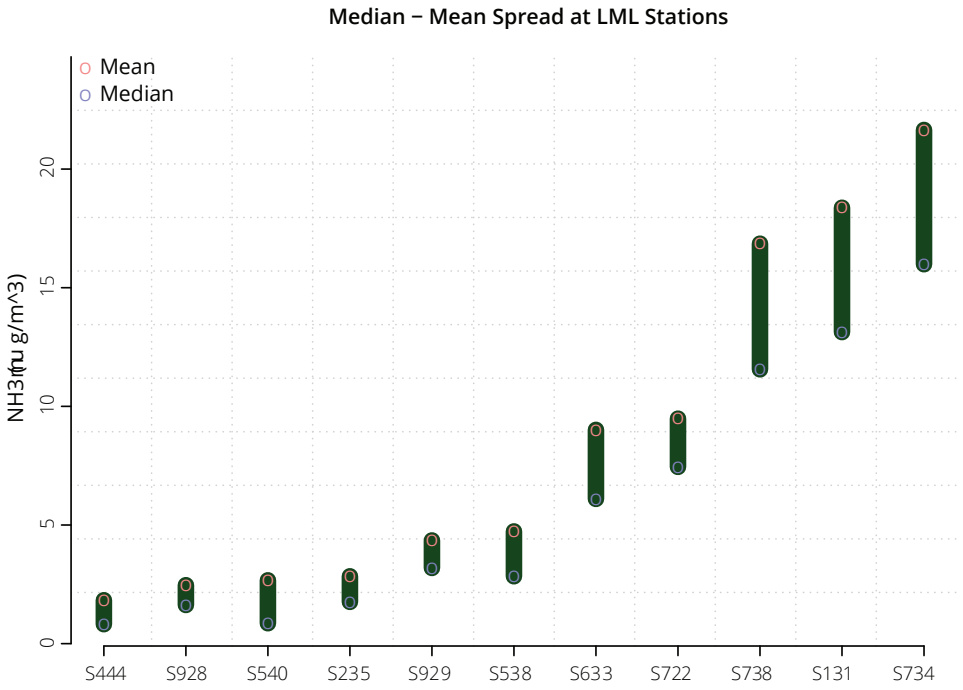
38 Deze mail is opvraagbaar bij de auteurs.

meest voorkomende waarde, in dit geval nog lager ligt.

De meetwaarden 'hebben' samen geen verdeling (normaal of hier scheef) alsof de meetwaarden om één of andere reden 'terug bewegen' naar een gemiddelde van wat voor aard dan ook. Het aantal oorzaken (causale verbanden) van een bepaalde meetwaarde op een bepaald moment is schier eindeloos en daarmee voor een groot gedeelte onkenbaar: bodemchemie, bemestingsmoment, windrichting, temperatuur, neerslag, atmosfeer chemie, meetinstrumentaria, enzovoort. Daarom fluctueren waarden dan ook zo frequent en zo hevig, zoals te zien is in de LML-data.

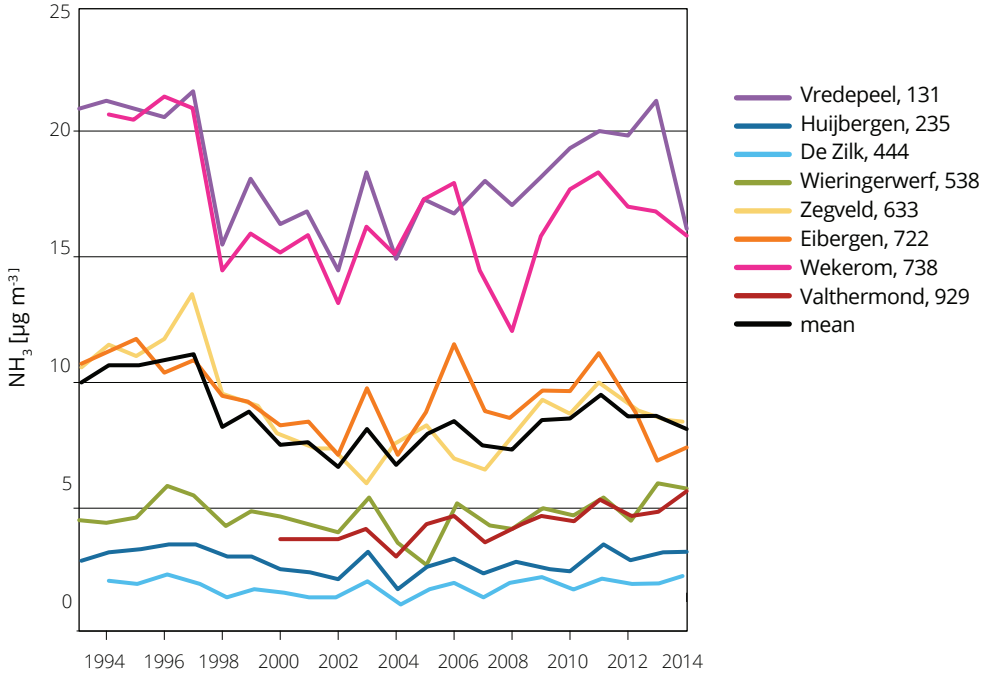
Een andere manier om naar deze discussie te kijken is de volgende: extreem hoge pieken komen niet alleen sporadisch voor maar zijn ook nog eens zeer lokaal. Dat wil zeggen, een hoge waarde op een bepaald tijdstip treedt doorgaans slechts op bij één station tegelijk en is dan ook nog eens van korte duur. Door eerst het gemiddelde van een station te gebruiken om trends te bepalen en uiteindelijk zelfs een landelijk gemiddelde waarde te bepalen, zijn die korte lokale pieken van invloed op het landelijke beeld, terwijl het juist gaat om zeer tijdelijke lokale fenomenen. Ook dit pleit voor gebruik van de mediaan in plaats van het gemiddelde. Door gebruik van het gemiddelde dragen die kortdurende *lokale* pieken bij aan het opschroeven van het *landelijke* beeld, wat resulteert in een onjuiste voorstelling van zaken.

Op het moment dat bij een extreem scheve verdeling zoals hier het geval is het gemiddelde wordt gepreferreerd in plaats van de mediaan, dan zou dat op zijn minst een uitgebreide onderbouwing behoeven. Zoals Van Pul aangeeft, is die er nooit geweest. Of, men had beide waarden kunnen rapporteren. Visueel ziet de data uit tabel 5 er dan als volgt uit:



Figuur 17. Verschillen tussen het gemiddelde en de mediaan voor alle LML-stations.

Het RIVM publiceerde in 2016 een stuk over trends in ammoniakemissies en -concentraties.[39] Ditmaal werden jaargemiddelden van alle acht LML-stations in ieder geval apart weergegeven:



Figuur 18. Verloop in de jaargemiddelde ammoniakconcentraties voor de acht LML-stations van 1993 t/m 2014 en het gemiddelde van de stations (RIVM, 2016).

Enkele opvallende conclusies komen in het RIVM-rapport voor het voetlicht (p. 15): 'De gemeten concentraties van ammoniak in de buitenlucht zijn over de periode 1993-2014 gedaald. De daling in de concentraties heeft voornamelijk in de eerste tien jaar plaatsgevonden (*ca. 35% over 1993-2004*), daarna zijn de concentraties toegenomen. De gerapporteerde ammoniakemissies zijn over de periode 1993-2014 met circa 60% gedaald waarbij de grootste afname in de periode van 1993-2004 heeft plaatsgevonden (ca. 50% over 1993-2004) en een geringere afname in de periode daarna.'

Volgens het RIVM zijn "de concentraties" in de eerste tien jaar met circa 35% afgenomen in een periode waarin de emissies met circa 50% afnamen en daarna zijn de concentraties toegenomen terwijl de emissies nog licht daalden. Let op het woordje 'de' voor 'concentraties', dat suggereert dat er een zodanig grote mate van samenhang is tussen de concentraties van de verschillende LML-stations dat er gesproken kan worden van 'de' nationale ammoniakconcentratie. Met de kruiscorrelaties tussen de stations hebben wij laten zien dat die samenhang er niet of nauwelijks is en dat een landelijk gemiddelde concentratie om die reden betekenisloos is. Daarmee is deze conclusie van het RIVM ook betekenisloos.

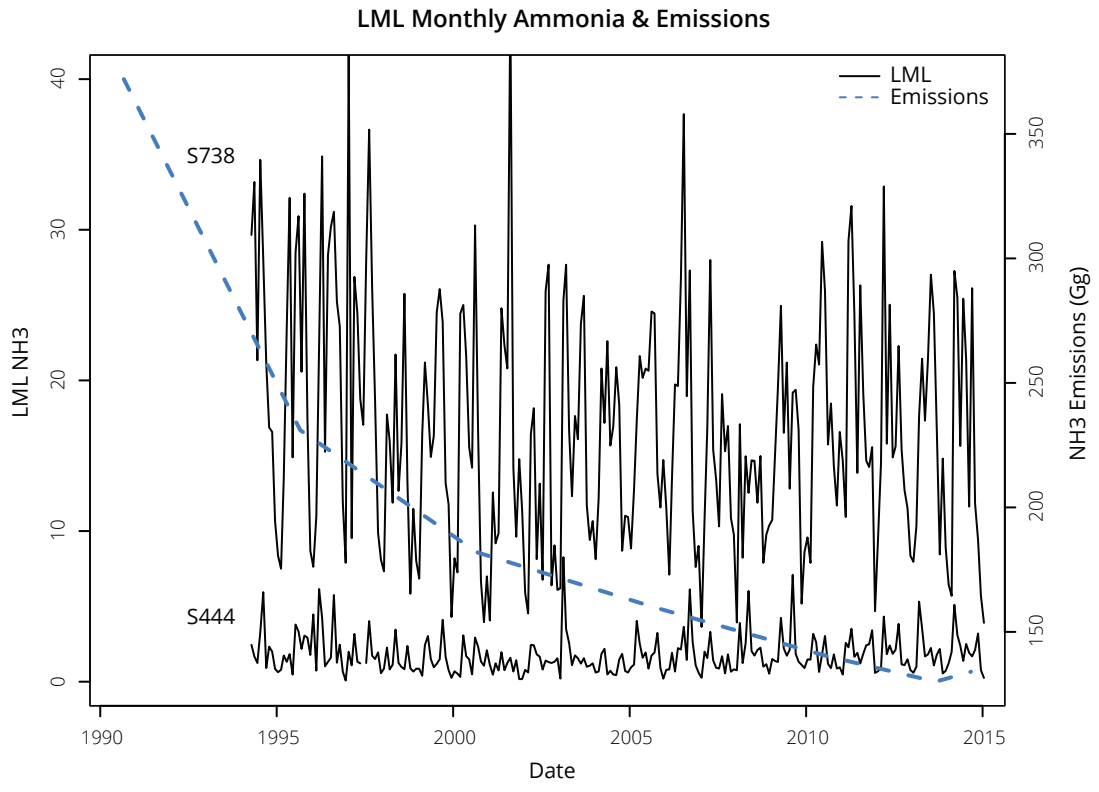
Een tweede punt is dat er in het rapport niets gezegd wordt over gemiddelde *versus* mediaan. Niet verrassend natuurlijk, want Van Pul gaf in een e-mail al aan dat deze kwestie nooit besproken is in één van de Nederlandse ammoniakrapporten. Maar toch. Wij zien dit als een grote tekortkoming. Bij een dataverdeling die zo scheef is als bij de ammoniakmetingen zou de mediaan het uitgangspunt moeten zijn. Zoals we hebben laten zien ligt de mediaan bij alle LML-stations tientallen procenten lager dan het gemiddelde. Dit heeft ook gevolgen voor trends. Gebruik van het gemiddelde versterkt eventuele trends.

39 Noot 2.

Het in tweeën knippen van de LML-periode 1993-2014 is totaal *ad hoc* en niet te rechtvaardigen. Er is geen enkele reden om achteraf te stellen dat de data eerst geanalyseerd dienen te worden over de periode 1993-2004 en daarna van 2005-2014. In onze trendanalyses komt naar voren dat elk gekozen interval een eigen trend heeft. Welke moet dan gekozen worden? Elke keuze is *ad hoc*. Gegeven de variabiliteit in de data kunnen er altijd periodes geselecteerd worden waarin de 'verwachte' (of erger: gewenste) hypothese (emissies en concentraties dalen) lijkt te worden bevestigd.[40]

Onze doorlopende trendanalyse (zie figuur 11) laat zien dat sommige stations en dan met name die met de hoogste concentraties beginnen met een daling. Maar al vanaf 1997/1998 slaat die daling om in een stijging. Starten in 1998 zou dan leiden tot een stijgende trend in vrijwel alle stations, terwijl de emissies in die periode dalen.

Dus: de claim dat de concentraties in de periode 1993-2004 met 35% zijn gedaald op basis van een niet-representatief landelijk gemiddelde is wetenschappelijk gezien onverdedigbaar. Trendanalyses op deze zeer variabele meetreeksen zijn sowieso al buitengewoon 'tricky'. Om te zien of er een duidelijke relatie is tussen de veronderstelde emissies en de concentraties moet je gewoon kijken naar de data en die data zo min mogelijk versimpelen tot een enkel getal. In de onderstaande grafiek tonen we van twee LML-stations de maandelijkse mediaan. In stippellijn de veronderstelde afname van de landelijke emissies:

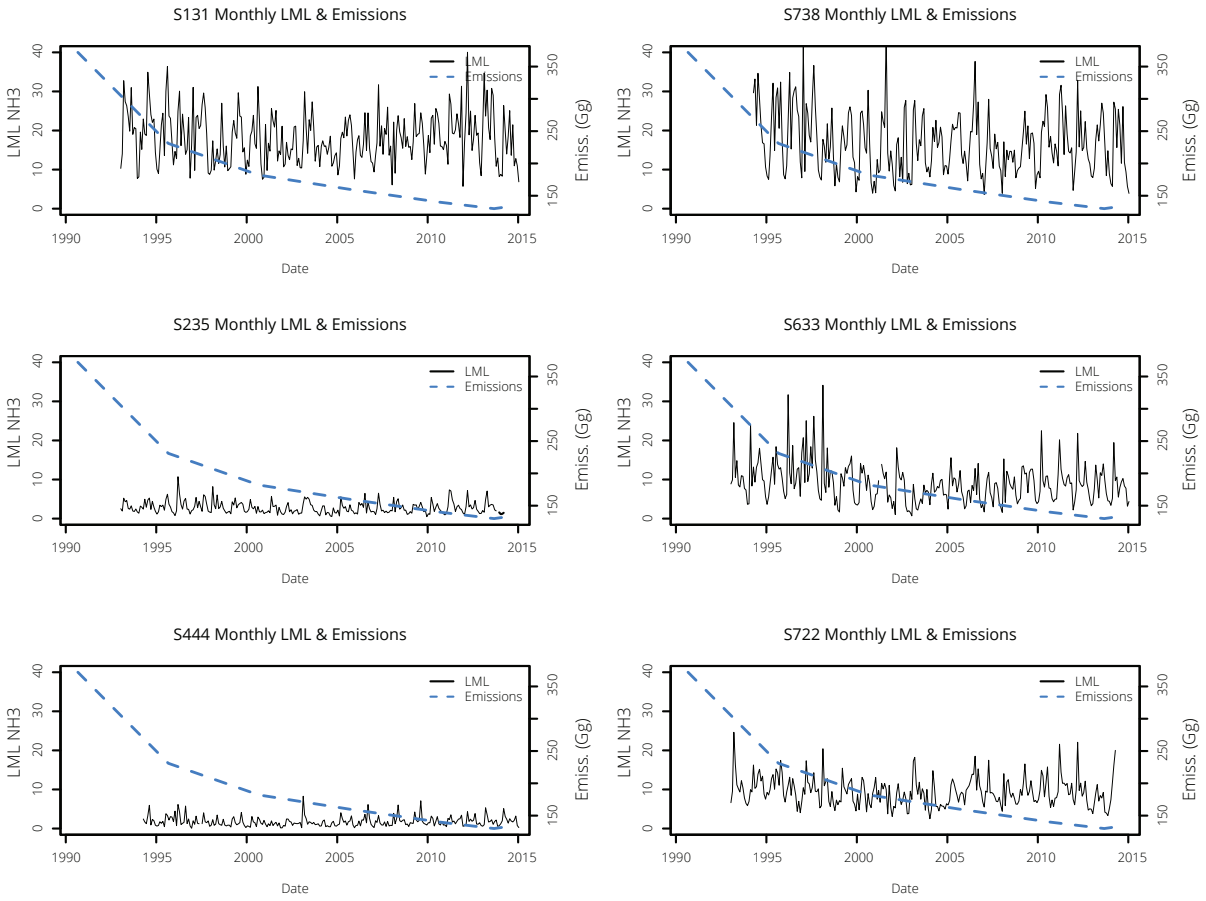


Figuur 19. Verloop van de maandelijkse mediane waarde voor de ammoniakconcentratie voor Wekerom (S738) en De Zilk (S444). In blauw de veronderstelde afname van de landelijke ammoniakemissies.

40 Zie noot 36, p. 230 – 243 voor een discussie over deze problematiek.

Door alleen te kijken naar deze grafiek is het overduidelijk dat het effect van emissiebeperkende maatregelen op de ammoniakconcentratie van deze twee stations niet echt zichtbaar is. In De Zilk, aan de kust, zien we sowieso niets. In Wekerom, in een gebied met relatief hoge ammoniakconcentraties zien we dat de jaren 1994-1997 wat hoger liggen dan de jaren erna. Maar de variabiliteit blijft groot, inclusief hoge maandwaarden.

Omdat deze plaatjes zo inzichtelijk zijn, hieronder zes van de acht LML-stations, waaronder de drie met de hoogste ammoniakconcentraties (S131, S738 en S633):



Figuur 20. Verloop van de maandelijkse mediane waarde voor de ammoniakconcentratie voor zes LML-stations. In blauw de veronderstelde afname van de landelijke ammoniakemissies.

Opnieuw, bij Wekerom (S738) en bij Zegveld (S633) is er iets van een afname te zien: de jaren vanaf 1999 liggen wat lager dan de jaren ervoor. Bij Vredepeel (S131) in Noord-Brabant zijn er echter geen duidelijke veranderingen waar te nemen, evenals bij de andere stations.

Tenslotte: atmosfeermetingen van ammoniak en de juiste interpretatie daarvan zijn essentieel omdat daarmee (trends in) ammoniakemissies kunnen worden geëvalueerd. Het moge duidelijk zijn dat we de beleidsrelevante hypothese dat ‘als emissies dalen dat dan ook de concentraties dalen’ niet hebben kunnen bevestigen. Aangezien de ammoniakconcentraties in de atmosfeer juist de belangrijkste empirische toetsing van het beleid zijn, is het ammoniakbeleid wetenschappelijk dus niet goed onderbouwd. Integendeel:

ons onderzoek laat duidelijk zien dat de wetenschappelijke onderbouwing ondermaats is. Sterker, emissies zijn uiteindelijk berekende waarden omgeven met forse (model-gegenereerde) onzekerheden, die bovendien niet te reproduceren zijn omdat de data er niet meer zijn. Daarnaast laten de LML-data geen wezenlijke trend zien.

MEETNET AMMONIAK NATUURGEBIEDEN (MAN)

In aanvulling op de LML-metingen is vanaf 2005 een meetnet opgezet voor het bepalen van de ammoniakconcentratie in natuurgebieden, het Meetnet Ammoniak in Natuurgebieden (MAN). In zestig natuurgebieden verspreid over Nederland wordt de maandgemiddelde ammoniakconcentratie in de lucht gemeten. Dit gebeurt door verspreid door natuurgebieden buisjes op te hangen die ammoniak uit de lucht invangen.

Het RIVM heeft een website ingericht waarop de locaties van de natuurgebieden aanklikbaar zijn en waar de uitkomsten van de metingen bekeken kunnen worden.[41] Niet verrassend is dat er net als bij de LML-stations geen echte trends te bespeuren zijn sinds 2005. En als er al trends zijn, dan eerder een toename dan een afname.[42]

We hebben alle LML-stations vergeleken met de MAN-metingen in nabijgelegen natuurgebieden. Om appels met appels te vergelijken gebruiken we daarbij, verre van ideaal, de maandgemiddelde LML-waarden. Hoewel afstanden aanzienlijk korter zijn, zijn de correlaties tussen LML-stations en nabijgelegen MAN-gebieden zwak. Dat laat eens te meer zien hoe 'lokaal' het ammoniaksignaal is. Ook is goed te zien dat in vrijwel alle MAN-gebieden de ammoniakconcentratie aanzienlijk lager is dan bij het dichtstbijzijnde LML-station.

41 *http://man.rivm.nl/* (geraadpleegd op 12-12-2016).

42 Lolkema, D.E. *et al*. 2015. The measuring ammonia in nature (MAN) network in The Netherlands. *Biogeosciences* **12:** 6155 – 6146.

4. HET AMMONIAKGAT

CONCLUSIES

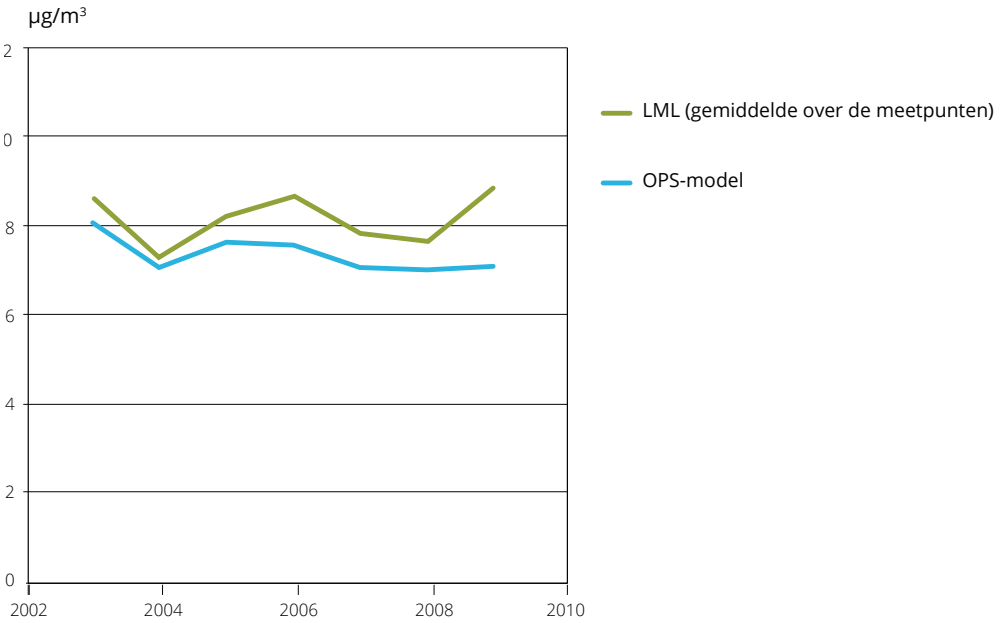
Het zogenaamde 'ammoniakgat' is sinds het einde van de jaren 90 in het leven geroepen. Er zijn twee definities in omloop: (1) modelberekeningen voor de atmosferische ammoniakconcentraties zijn lager dan de metingen; (2) het verschil tussen de veronderstelde afnames van ammoniakemissies en de min of meer gelijkblijvende ammoniakconcentraties.

Ongeacht de gekozen definitie en de vele studies die er aan gewijd zijn is het ammoniakgat niet meer dan een hersenschim. Een hersenschim in drie bedrijven nog wel: (1) het maakt van een abstract rekenmodel een concrete werkelijkheid, de zogenaamde reïficatie drogreden; (2) het vergelijkt berekende waarden met rekenkundig gemiddelden van meetwaarden waar de mediaan zou moeten gelden; (3) het gaat uit van betekenisloze landelijke atmosfeerconcentraties. De enige oplossing voor het ammoniakgat is haar zonder omhaal te veroordelen tot de vergetelheid.

CONTOUREN

Een terugkerend thema in het soms verhitte Nederlandse ammoniakdebat is het zogenoemde 'ammoniakgat'. Toen wij begonnen aan ons onderzoek waren wij in de veronderstelling dat hiermee gedoeld werd op de discrepantie tussen modelberekeningen en metingen van ammoniakconcentraties in de atmosfeer.

Het onderstaande plaatje maakt één en ander duidelijk. Te zien is de landelijk gemiddelde ammoniakconcentratie gebaseerd op de acht LML-stations – de groene lijn. Daaronder diezelfde landelijk gemiddelde ammoniakconcentratie maar dan berekend door het OPS-model (Operationele Prioritaire Stoffen) – de blauwe lijn. Het model '*onderschat*' de metingen en dit verschil is het ammoniakgat gaan heten.



Figuur 21. Metingen versus modelberekeningen van de landelijk gemiddelde ammoniakconcentratie (Velders *et al*., 2010).[43]

43 Velders, G.J.M. *et al.* 2010. *Grootschalige stikstofdepositie in Nederland. Herkomst en ontwikkeling in de tijd.* PBL-publicatienummer: 500088007/2010. Planbureau voor de Leefomgeving (PBL), Bilthoven, Den Haag.

TWEE 'GATEN' – ÉÉN MISVATTING

Bovenstaande definitie van het ammoniakgat duikt voor het eerst op in 1995 in een RIVM-rapport.[44] De met het OPS-model berekende jaargemiddelde ammoniakconcentratie in Nederland bleek 27% lager uit te vallen dan het jaargemiddelde op basis van de LML-metingen. Ondanks dat de landelijke emissies in het model met 16% waren opgehoogd. In latere rapporten zal dit verschil tussen het OPS-model en de LML-metingen het ammoniakgat gaan heten. Bijvoorbeeld, de Ruiter *et al.* (2006) definieerden het ammoniakgat als het verschil tussen de gemodelleerde ammoniakconcentratie (met het OPS-model) en de gemeten concentraties (met het LML-netwerk).[45] Het rapport concludeerde dat gemodelleerde waarden zo'n 25 tot 30% lager uitvielen dan de metingen.

Maar er is ook een tweede, totaal andere, definitie voor het ammoniakgat in omloop. Die tweede definitie stelt dat er een 'gat' bestaat tussen de veronderstelde afnames van ammoniakemissies en de veel minder afgenomen of zelfs gelijkblijvende ammoniakconcentraties in de atmosfeer.

Het viel Erisman in 1997 op – toen het LML-netwerk zo'n vier jaar operationeel was – dat de ammoniakconcentraties in Nederland niet leken te dalen. Dat was onverwacht omdat er begin jaren '90 allerlei maatregelen waren genomen om de ammoniakemissies te laten dalen. In 2001 publiceerde Erisman een wetenschappelijk artikel over het ammoniakgat (*ammonia gap*).[46] Erisman suggereerde in het artikel dat de ammoniakmaatregelen dus niet zo succesvol waren als verwacht.

Sutton hanteerde in 2003 vrijwel dezelfde definitie van het ammoniakgat als Erisman in 2001. Hij stelde dat het 'gat' het ontbreken van een aantoonbare daling in ammoniakconcentraties is na het invoeren van diverse ammoniakmaatregelen ('the lack of a detectable reduction in NH_3 concentrations following the implementation of abatement measures in 1993').[47]

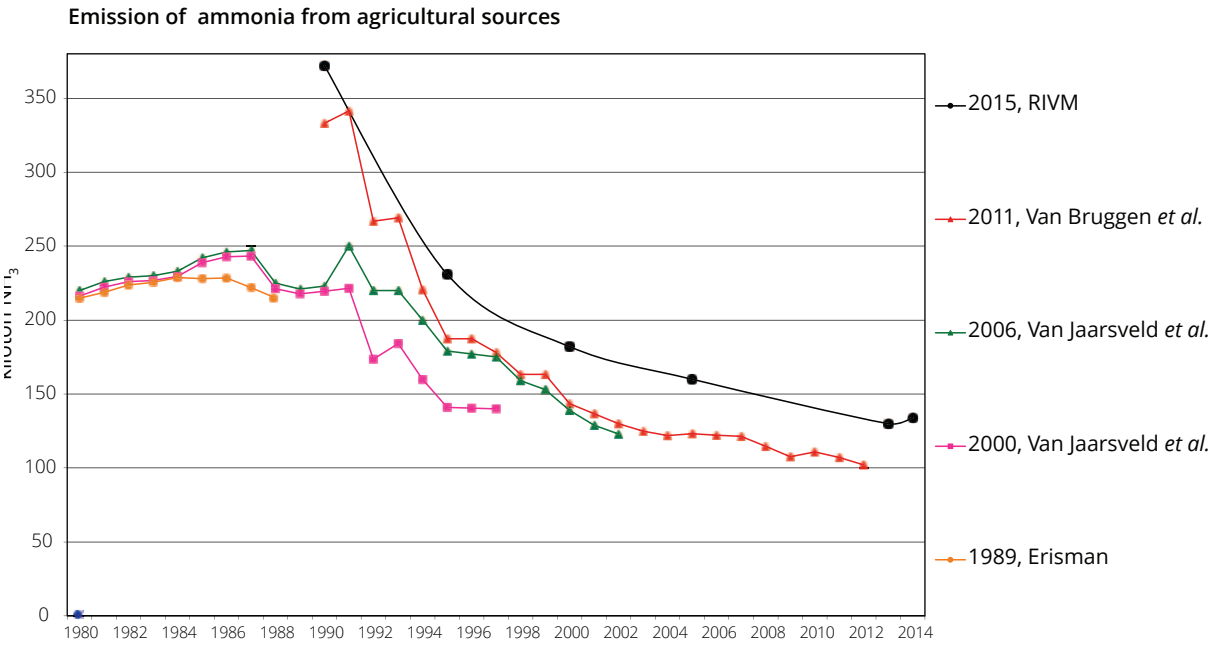
Dus: de gemeten ammoniakconcentraties zijn in beide definities van het ammoniakgat het empirische referentiekader. In het ene geval worden die vergeleken met gemodelleerde concentraties en in het andere geval met de 'berekende' emissies. Nogmaals de historische emissies zoals in de loop der jaren berekend en veranderd:

44 RIVM. 1995. *Evaluatie van de berekeningen van de atmosferische ammoniak-concentraties in Nederland: aanpassing van modelparameters en emissies op basis van meetgegevens.* RIVM Rapport nr. 723301002, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven, Nederland.

45 De Ruiter, J.F. *et al.* 2006. *Zuur- en stikstofdepositie in Nederland in de periode 1981–2002.* Rapport 500037005/2006, Milieu- en Natuurplanbureau (MNP), Bilthoven, Nederland.

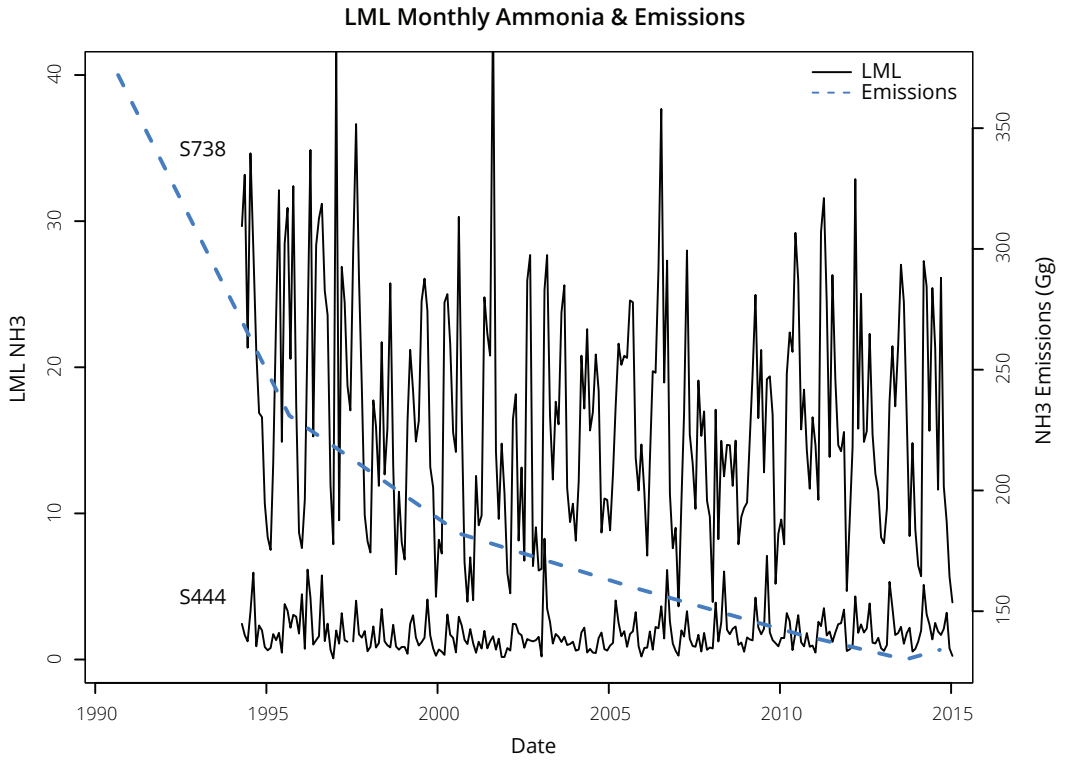
46 Erisman, J.W. *et al.* 2001. Two options to explain the ammonia gap in the Netherlands. *Environmental Science & Policy* **4:** 97 – 105.

47 Noot 31.



Figuur 22. 'Figuur 2. Overzicht van de landelijke ammoniakemissies zoals die in de loop der jaren is gepubliceerd in verschillende rapporten.'

De emissies voor 1990 zijn met terugwerkende kracht opgehoogd en zijn nu bijna twee keer zo hoog als destijds. Dit komt met name door het hogere inschatten van emissies bij bovengronds bemesten. Zodra dit wordt verboden begin jaren negentig volgt een veronderstelde spectaculaire daling van de emissies. Die daling is niet te zien in de concentraties zoals bijvoorbeeld in een eerder getoonde figuur verbeeld is:



Figuur 23. 'Figuur 19. Verloop van de maandelijkse mediane waarde voor de ammoniakconcentratie voor Wekerom (S738) en De Zilk (S444). In blauw de veronderstelde afname van de landelijke ammoniakemissies.'

Als we nu de tweede definitie van het ammoniakgat – trend in emissies ten opzichte van trend in concentraties – hierop loslaten dan is er maar één conclusie mogelijk: het ammoniakgat is groter dan ooit! Immers, de emissies zouden fors gedaald zijn, maar de concentraties zijn in feite niet veranderd. Deze conclusie is echter nooit getrokken in een Nederlands rapport. Het Sutton-rapport (pag. 5) merkte op dat het ammoniakgat een soort derde fase in lijkt te gaan:[48]

> 'Analysis of the atmospheric NH_3 monitoring data shows that measured concentrations did not decrease much since 2000. This points to the need to understand the trends in emissions and concentrations better.'

Sutton *et al.* kijken dus nu naar de periode na 2000 en constateren dat de concentraties niet veel afnamen in die periode. Dat is nogal eufemistisch uitgedrukt. Als er al iets gebeurde met de ammoniakconcentraties, dan is het eerder een toename dan een afname in die periode. Van Zanten *et al.* halen in recente publicaties eenzelfde kunstgreep uit.[49] Het splitst de LML-periode in tweeën (voor 2005 en na 2005) om vervolgens te concluderen dat er in de eerste helft geen sprake is van een ammoniakgat en in de tweede wel. Maar zoals onze analyse in hoofdstuk 3 liet zien is zo'n tweedeling volstrekt willekeurig.[50] Afhankelijk van je begin- en eindpunt gaan ammoniakconcentraties omhoog of omlaag met over de gehele linie geen enkele duidelijke trend. Dus het ammoniakgat is daar; luid en duidelijk. Tot zover de ene definitie van het ammoniakgat.

Dan dat andere ammoniakgat: de vermeende discrepantie tussen waarnemingen en modelberekeningen van atmosferische ammoniakconcentraties. Dit heeft de laatste jaren de meeste aandacht gekregen en in 2008 verscheen er zelfs een rapport dat volledig aan het ammoniakgat was gewijd. Dat rapport suggereerde dat het ammoniakgat vrijwel was 'gedicht' (nadruk van ons):[51]

> 'De berekende concentratie van ammoniak in de buitenlucht was de afgelopen jaren ongeveer 25% lager dan de gemeten concentraties uit het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit van het RIVM. Dit verschil werd het ammoniakgat genoemd. Op basis van recent onderzoek door het RIVM in samenwerking met het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL), Wageningen Universiteit (WUR) en het Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN) is het rekenmodel aangepast en kon worden vastgesteld dat er geen significant verschil meer is tussen de gemeten en de berekende concentraties van ammoniak. Dit betekent dat een grote onzekerheid die er was rond de hoogte van de ammoniakemissies en het bereiken van de ammoniakemissiedoelstelling in de National Emission Ceiling Directive (NECD) van de EU in 2010 voor Nederland is afgenomen.

Aangezien zowel de metingen als de berekeningen van de ammoniakconcentratie nog onzekerheden bevatten, *kan gesteld worden dat het huidige verschil tussen de gemeten en de berekende ammoniakconcentratie niet significant meer is.*'

Maar is dat zo? Wij hebben in onze studie uitgebreid besproken dat het samenvatten van alle landelijke LML-metingen tot een jaarlijks landelijk gemiddelde waarde betekenisloos is. De metingen zijn daarvoor veel te variabel in ruimte en tijd en correleren onderling niet of nauwelijks en zijn dus niet representatief voor Nederland als geheel.

Als de metingen al worden samengevat, dan is de mediaan de geschikte keuze en niet het gemiddelde. Het gemiddelde kent teveel gewicht toe aan kortstondige uitschieters. Merk op dat oudere publicaties spraken van een verschil van 30 tot 35 procent tussen het OPS-model en de gemiddelde LML-metingen. Simpelweg

48 Noot 14.

49 Van Zanten, M.C. *et al.* 2017. Trends in ammonia measurements in the Netherlands over the period 1993 – 2014. *Atmospheric Environment* **148:** *352 – 360*.

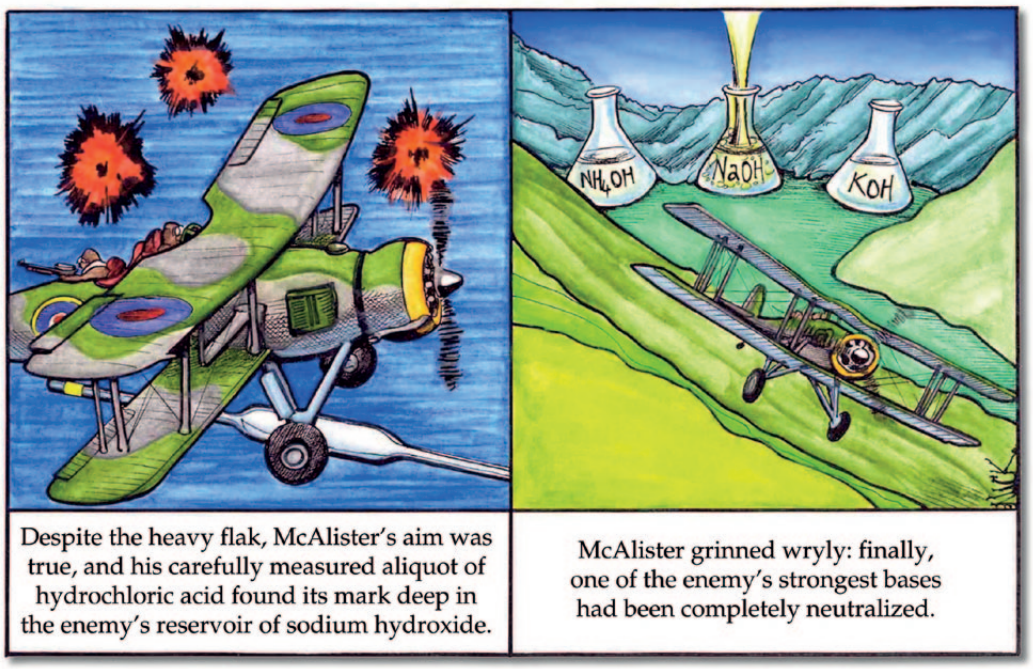
50 Zie verder voor een verhelderende analyse hierover en kritiek op een dergelijke statistische bewerking: Briggs, noot 36.

51 Van Pul, W.A.J. *et al.* 2008. *Het ammoniakgat: onderzoek en duiding.* RIVM rapport 680150002, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven.

de mediaan nemen in plaats van het gemiddelde en dit verschil zou vrijwel verdwenen zijn en dus was het in het leven roepen van een ammoniakgat nooit nodig geweest.

Echter, dit alles gaat voorbij aan een fundamentele misvatting die in het debat over het ammoniakgat betrokkenen verbazingwekkend genoeg is ontgaan. En dat is de drogreden van de reïficatie: het concretiseren van het abstracte.[52] Voor beide definities van het ammoniakgat wordt er stilzwijgend vanuit gegaan dat modelberekeningen (bij de ene definitie de met het OPS-model berekende concentraties en bij de andere de berekende emissies) de werkelijkheid zijn en als zodanig empirische kwaliteiten kennen, vergelijkbaar met de LML-meetreeksen. Met andere woorden: het ammoniakgat wordt een fysisch fenomeen dat een verklaring behoeft. En dat is een categorische denkfout.

De term ammoniakgat veronderstelt dat de berekeningen (zeg voor het gemak: de theorie) van de emissies 'werkelijkheid zijn' en dat het dus 'onverklaarbaar' is waarom de concentraties niet dalen. Idem met de eerste definitie van het ammoniakgat: dat berekende en gemeten atmosfeerconcentraties verschillen. Dat onder één noemer brengen is peren met een afbeelding van een appel[53] vergelijken. Het ammoniakgat is dus nooit 'gevonden', als in ontdekt in de werkelijkheid, maar geconstrueerd uit een onbegrepen verwarring tussen het abstracte en concrete.



Figuur 24. Een chemische reïficatie.

Dat was simpelweg onnodig geweest. Toen het ammoniakgat 'in het leven geroepen' werd bedroeg het verschil tussen de jaarlijks gemiddelde ammoniakconcentratie 30 tot 35 procent. Had men op dat moment de mediaan gekozen in plaats van het landelijk gemiddelde, dan was er plots geen noodzaak meer geweest om van een ammoniakgat te spreken. Het ammoniakgat is een illusie die in het leven is geroepen door onderzoekers die aan hun model/berekeningen zoveel gewicht toekenden dat ze het onverklaarbaar achtten dat de metingen iets anders uitwezen.

52 Alfred North Whitehead bestempelde deze drogreden als 'Fallacy of Misplaced Concreteness.' *Whitehead, A.N. 1925. Science and the Modern World. Pelican Mentor Books, New York.*

53 Zoals in het schilderij van René Magritte: *Le fils de l'homme.*

REFERENTIES

Briggs, W. 2016. *Uncertainty – The Soul of Modeling, Probability & Statistics.* Springer, Switzerland.

Commissie Deskundigen Meststoffenwet (CDM). 2014. *Trends in ammoniakconcentraties en -emissies; een quick scan*. Te downloaden via https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2014/10/10/trends-in-ammoniakconcentraties-en-emissies-een (geraadpleegd op 12-12-2016).

De Haan, B.J., van Dam, J.D., Willems, W.J., van Schijndel, M.W., van der Sluis, S.M., van den Born, G.J., van Grinsven, J.J.M. 2009. *Emissiearm bemesten geëvalueerd*. PBL-publicatienummer 500155001. Bilthoven, Nederland.

De Ruiter, J.F., van Pul, W.A.J., van Jaarsveld, J.A., Buijsman, E. 2006. *Zuur- en stikstofdepositie in Nederland in de periode 1981–2002.* Rapport 500037005/2006, Milieu- en Natuurplanbureau (MNP), Bilthoven, Nederland.

Denmead, O.T. 1983. *Micrometeorological methods for measuring gaseous losses of nitrogen in the field.* In: J.R. Freney & J.R. Simpson (Eds.) *Gaseous Loss of Nitrogen from Plant-Soil Systems.* Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, pp.133 – 157.

Erisman, J.W. 1989. *Ammonia emissions in the Netherlands in 1987 and 1988.* Report nr. 228471006, Bilthoven, The Netherlands.

Erisman, J.W., Bleeker, A., van Jaarsveld, J.A. 1998: Evaluation of ammonia emission abatement on the basis of measurements and model calculations. *Environmental Pollution* **102 (SUPPL 1):** 269 – 274.

Erisman, J.W., Mosquera, J. & Hensen, A. 2001. Two options to explain the ammonia gap in the Netherlands. *Environmental Science & Policy* **4:** 97-105.

Horton, R. 2015. What is medicine's 5 sigma? *Lancet* **385:** 1380.

Huijsmans, J.F.M., Hol, J.M.G., Bussink, B.W. 1997. *Reduction of Ammonia Emission by New Slurry Application Techniques on Grassland.* In: Jarvis, S.C., Pain, B.F. (Eds.) *Gaseous Nitrogen Emissions from Grasslands.* CAB International, Wallingford, pp. 281-285.

Huijsmans, J.F.M., Hol, J.M.G., Hendriks, M.M.W.B. 2001. Effect of application technique, manure characteristics, weather and field conditions on ammonia volatilization from manure applied to grassland. *Netherlands Journal of Agricultural Science* **49:** 323-342.

Huijsmans, J.F.M., Hol, J.M.G., Vermeulen, G.D. 2003. Effect of application method, manure characteristics, weather and field conditions on ammonia volatilization from manure applied to arable land. *Atmospheric Environment* **37:** 3669-3680.

Huijsmans, J.F.M., Hol, J.M.G., Vermeulen, G.D. 2003. Effect of application method, manure characteristics, weather and field conditions on ammonia volatilization from manure applied to arable land. *Atmospheric Environment* **37:** 3669 – 3680.

Huijsmans, J.F.M. 2003. *Manure application and ammonia volatilization.* PhD thesis Wageningen University, The Netherlands.

Huijsmans, J.F.M., Schils, R.L.M. 2009. Ammonia and nitrous oxide emissions following field-application of manure: state of the art measurement in the Netherlands. *International Fertiliser Society Proceedings 655*.

Huijsmans, J.F.M., Schröder, J.J., Mosquera, J., Vermeulen, G.D., Ten Berge, H.F.M. & Neeteson, J.J. 2015. Ammonia emissions from cattle slurries applied to grassland: should application techniques be reconsidered? *Soil Use and Management* doi: 10.1111/sum.12201.

Huijsmans, J.F.M., Hol, J.M.G. 2012. *Ammoniakemissie bij mesttoediening en inwerken in aardappelruggen en bij mesttoediening in sleuven op niet beteeld geploegd kleibouwland.* Plant Research International, onderdeel van Wageningen UR Business Unit Agrosysteemkunde, rapport 445.

Lolkema, D.E., Noordijk, H., Stolk, A.P., Hoogerbrugge, R., van Zanten, M.C., van Pul, W.A. J. 2015. The measuring ammonia in nature (MAN) network in The Netherlands. *Biogeosciences* **12:** 6155 – 6146.

Nosek, B.A., *et al*. 2015. Estimating the reproducibility of psychological science. *Science* **349:** 1422 – 1425.

Oppewal, J. Emissiearm toedienen werkt écht'. *De Boerderij* 3 september 2015.

Peng, R. 2015. The reproducibility crisis in science: a statistical counterattack. *Significance* **12:** 30 – 32.

RIVM. 1995. *Evaluatie van de berekeningen van de atmosferische ammoniak-concentraties in Nederland: aanpassing van modelparameters en emissies op basis van meetgegevens.* RIVM Rapport nr. 723301002, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven, Nederland.

RIVM. 2013. *Jaaroverzicht Luchtkwaliteit 2012.* RIVM Rapport 680704023/2013, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven, Nederland.

RIVM. 2015. *Emissions of transboundary air pollutants in the Netherlands 1990-2013. Informative Inventory report 2015.* RIVM Report 2014-0166, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven, The Netherlands.

Ryden, J.C., McNeill, J.E. 1984. Application of the micrometeorological mass balance method to the determination of ammonia loss from a grazed sward. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **35:** 1297 – 1310.

Sutton, M., Aman, W.A.H, Ellermann, T., Van Jaarsveld, J.A., Acker, K., Aneja, V., Duyzer, J., Horvath, L., Paramonov, S., Mitosinkova, M., Sim Tang, Y., Achermann, B., Gauger, T., Bartniki, J., Neftel, A. & Erisman, J.W. 2003. Establishing The Link between Ammonia Emission Control and Measurements of Reduced Nitrogen Concentrations and Deposition. *Environmental Monitoring and Assessment* **82:** 149 – 185.

Sutton, M., Dragosits, U., Geels, C., Gyldenkærne, Misselbrook, T.H., Bussing, W. 2015. *Review on the scientific underpinning of calculation of ammonia emission and deposition in the Netherlands.* Zie *https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2015/08/03/review-on-the-scientific-underpinning-of-calculation-of-ammonia-emission-and-deposition-in-the-netherlands* (geraadpleegd op 12-12-2016).

Toelichting op het verloop van de emissie en concentratie van ammoniak van 1993-2014. 2016. Bijlage bij RIVM brief 112/2016 EvS-AvP. *https://www.rijksoverheid.nl/documenten/brieven/2016/10/27/toelichting-op-het-verloop-van-de-emissie-en-concentratie-van-ammoniak-van-1993-2014* (geraadpleegd op 12-12-2016).

Van Bruggen, C., Groenestein, C.M., de Haan, B.J., Hoogeveen, M.W., Huijsmans, J.F.M., van der Sluis, S.M. & Velthof, G.L. 2011. *Ammoniakemissie uit dierlijke mest en kunstmest, 1990-2008. Berekeningen met het Nationaal Emissiemodel voor Ammoniak (NEMA).* Werkdocument 250. Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu Wageningen.

Van Pul, W.A.J., van den Broek, M.M.P., Volten, H., van der Meulen, A., Berkhout, A.J.C., van der Hoek, K.W., Wichink Kruit, R.J., Huijsmans, J.F.M., van Jaarsveld, J.A., de Haan, B.J., Koelemeijer, R.B.A. 2008. *Het ammoniakgat: onderzoek en duiding.* RIVM rapport 680150002, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven, Nederland.

Van Jaarsveld, J.A., Bleeker, A., Hoogervorst, N.J.P. 2000. *Evaluatie ammoniak emissiereducties met behulp van metingen en modelberekeningen.* RIVM rapport 722108025, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven, The Netherlands.

Van Zanten, M.C., Wichink Kruit, R.J., Hoogerbrugge, R., Van der Swaluw, E., Van Pul, W.A.J. 2017. Trends in ammonia measurements in the Netherlands over the period 1993 – 2014. *Atmospheric Environment* **148:** 352 – 360.

Velders, G.J.M. Aben, J.M.M., van Jaarsveld, J.A., van Pul, W.A.J., de Vries, W.J., van Zanten, M.C. 2010. *Grootschalige stikstofdepositie in Nederland. Herkomst en ontwikkeling in de tijd.* PBL-publicatienummer: 500088007/2010. Planbureau voor de Leefomgeving (PBL), Bilthoven, Nederland.

Whitehead, A.N. 1925. *Science and the Modern World.* Pelican Mentor Books, New York.

http://www.boerderij.nl/Home/Nieuws/2015/9/Emissiearm-bemesten-vergroot-opbrengst-2679887W/ (geraadpleegd op 12-12-2016).

Zie *http://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/?uri=CELEX:32001L0081* (geraadpleegd op 12-12-2016).

http://man.rivm.nl/ (geraadpleegd op 12-12-2016).

https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2016/10/27/kamerbrief-over-voortgang-ammoniakonderzoek (geraadpleegd op 12-12-2016).

http://www.v-focus.nl/images/Review-cie-questions(Hanekamp-Crok)-final.pdf (geraadpleegd op 12-12-2016).