



# AMANDA

De allereerste ammoniakmonitor

Ed Buijsman  
LOVO reeks 18

E. Buijsman, AMANDA. De allereerste ammoniakmonitor  
LUVO reeks nummer 18  
2016 © Tinsentiep, Houten

Bij de voorpagina  
Deel van de buitenzijde van de AMANDA met ECN-logo

Eerder zijn in deze reeks verschenen:

1. Er zij een meetnet
2. Een ernstig geval van industriële overlast
3. Een boekje open over fijn stof
4. Een kleine geschiedenis van het chemische neerslagonderzoek in Nederland
5. Populair zuur. Een korte analyse van presentaties van het probleem van de zure regen op internet
6. Meten waar de mensen zijn
7. Een indicator
8. Stof in Nederland
9. Gisteren, vandaag, morgen
10. De ramp in de Maasvallei bij Luik in 1930
11. Een geannoteerd overzicht van publicaties over de chemische samenstelling van lucht en neerslag in Nederland
12. Smog de maat genomen
- 15a. Ammoniakemissie door de mens
- 16a. Daarheen en weer terug, lezing 28 november 2013
- 16b. Daarheen en weer terug, bijlagen
17. Fijn stof: een doos van Pandora. Naar een andere vorm van luchtkwaliteitsmonitoring.

De LUVO reeks behandelt onderwerpen over luchtverontreiniging in de breedste zin van het woord. Een kritische blik is het kenmerk van de reeks. Vanzelfsprekendheden zal de lezer hier niet tegenkomen. 'Pollution monitoring is an expensive business and it should not be undertaken lightly. In a world of limited resources, any monitoring programme will probably have taken priority over some other socially useful exercise'. Citaat van D.J. Moore uit 1986. Moore was onder andere editor van het wetenschappelijke tijdschrift *Atmospheric Environment*.

Uitgeverij Tinsentiep is een niet bestaande uitgeverij die niettemin met uitgaven komt. Tinsentiep is in 2001 bedacht om ruimte te geven aan gedachten en uitingen die niet vanzelfsprekend zijn. Tinsentiep beoogt te informeren daar waar dat hoognodig blijkt.

Het logo van Tinsentiep symboliseert de klassieke straatlantaarn die een zacht maar niet opdringerig licht verspreidt, zodat we onze weg kunnen vinden.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Voor zover het maken van kopieën uit deze uitgave is toegestaan op grond van artikel 16b Auteurswet 1912j het Besluit van 20 juni 1974, Staatsblad 351, zoals gewijzigd bij Besluit van 23 augustus 1985, Staatsblad 471 en artikel 17 Auteurswet 1912, dient men de daarvoor wettelijk verschuldigde vergoedingen te voldoen aan de Stichting Reprorecht (postbus 882, 1180 AW Amstelveen).

Voor het overnemen van gedeelten uit deze uitgave in bloemlezingen, readers en andere compilatiewerken dient u zich te richten tot: E. Buijsman, p/a Uitgeverij Tinsentiep, Bovencamp 57, 3992 RX Houten, info@inzichten.nl. Uitgeverij Tinsentiep is telefonisch niet bereikbaar.



## ABSTRACT

In August 2016, the Dutch national museum for the history of science and medicine, Museum Boerhaave in Leiden, acquired a monitor for the measurement of atmospheric ammonia, the so called AMANDA. This instrument represents a special episode in the history of air pollution in the Netherlands. The AMANDA was originally developed as a research instrument and was never intended to function continuously in an air pollution monitoring network. Nevertheless, only after a period of almost 25 years of service in the Dutch Quality Monitoring Network the AMANDA was superseded by a more sophisticated instrument for measuring atmospheric ammonia. This article describes the beginnings of his unusual history.

KEYWORDS: Air pollution instrumentation; scientific instruments; atmospheric ammonia

### *Een onverwacht probleem*

In het midden van de jaren tachtig van de vorige eeuw leek de wereld van de metingen van luchtverontreiniging in Nederland aardig op orde. Voor de belangrijkste vormen van luchtverontreiniging was betrouwbare, automatische meetapparatuur voorhanden. Dat was in Nederland allemaal ingebed in een omvangrijk, automatisch functionerend luchtmeetnet, het door het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) bedreven Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit (LML).<sup>1</sup> Het ging hierbij onder andere om metingen van de klassieke vormen van luchtverontreiniging: koolmonoxide, ozon, stikstofoxiden en zwaveldioxide. Toch was er nog één probleem: ammoniak. Nu was ammoniak in de lucht lange tijd als een vrij onschuldig fenomeen beschouwd. Het is een stof zoals er vele in relatief lage concentraties in de lucht voorkomen en het was ook – althans in die lage concentraties – niet schadelijk. Niemand had er eigenlijk last van.

Aan het eind van de jaren zestig had de Zweedse onderzoeker Odén gewezen op het probleem van de zure regen.<sup>2</sup> Zwaveldioxide en stikstofoxiden in de atmosfeer waren daarvoor verantwoordelijk.<sup>3</sup> Ammoniak kan die zure regen een beetje neutraliseren, niet meer dan dat en nog steeds niet zo interessant. In 1976 suggereerde dezelfde Odén echter dat ammoniak ook verzurend kan werken; niet in de lucht maar wel als het via de neerslag eenmaal in de bodem terecht was gekomen.<sup>4</sup> Dit werd aanvankelijk voor kennisgeving aangekomen. Dat veranderde toen Nederlandse onderzoekers in het begin van de jaren tachtig aantoonde dat ammoniak in de bodem in Nederland ook verzurend kon werken.<sup>5</sup> Nu was in die tijd al het besef doorgedrongen dat ook Nederland te lijden had van de zure regen.<sup>6</sup> Met ammoniak erbij was het probleem van de zure regen, althans in Nederland, mogelijk nog groter geworden. Nederland met zijn omvangrijke aantallen rundvee, varkens en pluimvee die namelijk via hun mest ammoniak produceren dat grotendeels in de atmosfeer terecht komt.<sup>7</sup> Zekerheid over deze bijdrage was er echter niet, want welke concentraties in de Nederlandse lucht voorkwamen, was op dat moment niet goed bekend.<sup>8</sup>

De Nederlandse overheid was ervan doordrongen geraakt dat het met de zure regen om een zeer ernstig probleem ging en wilde daarom maatregelen nemen om de zure regen te bestrijden. Maar helaas, over de rol en de bijdrage van ammoniak, was veel te weinig bekend om verantwoord te kunnen ingrijpen voor zover het ging om bronnen van ammoniak. Daarmee was ammoniak beleidsmatig een probleem geworden. De Directie Lucht van het toenmalige ministerie voor Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (VROM) besloot daarom in 1984 om een groot onderzoeksproject, ‘Ammoniak – van emissie tot depositie’ te financieren met als doel om de kennislacunes te vullen. Het project was een samenwerkingsverband van het Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN), de Groep Atmosferische Chemie van het Instituut voor Meteorologie en Oceanografie van de Rijksuniversiteit Utrecht (IMOU), de afdeling Maatschappelijke Technologie van de Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek (TNO-MT) en de Kernforschungsanlage Jülich (KFA-Jülich). Het onderzoeksproject was groots opgezet en richtte zich op a) verbetering van de emissieschattingen voor ammoniak naar de lucht in Nederland en Europa; b) metingen van ammoniak en ammonium in lucht; c) ontwikkeling van een atmosferisch-chemisch transportmodel voor ammoniak en d) verbreding van de kennis over de atmosferisch-chemische processen van ammoniak. Het IMOU verrichtte onder andere metingen ammoniak (en ammonium, een van de atmosferische reactieproducten van ammoniak). Dat gebeurde op vijf plaatsen in Nederland. Hierbij werd gebruik gemaakt van een door de Zweedse onderzoeker Ferm ontwikkelde en door het ECN uitgebreide methode, de zogeheten denuder.<sup>9</sup> Deze methode werkte goed en was simpel van opzet. Het was een buisje met een coating waardoorheen lucht werd geleid. Ammoniak in de lucht werd opgenomen door de coating; de coating werd vervolgens geanalyseerd. De methode was echter ook bewerkelijk, vereiste veel menskracht, was storingsgevoelig en leverde (slechts) daggemiddelde

concentraties op. Eigenlijk was het meer een methode voor kleinschalig onderzoek en niet voor langdurige metingen in bijvoorbeeld een meetnet.

#### *Wanhopig op zoek naar meetresultaten*

Er waren dus enige tijd metingen van ammoniak in lucht verricht en die hadden zeker waardevolle informatie opgeleverd.<sup>10</sup> Maar het ook was duidelijk geworden dat deze metingen zowel in ruimte als in tijd veel te beperkt waren geweest om het probleem met ammoniak voldoende in detail te kunnen kwantificeren. Voor een goede ruimtelijke vaststelling van ammoniak in de Nederlandse buitenlucht op basis van metingen zouden waarschijnlijk veel meer meetstations nodig kunnen zijn. Het onderzoek aan het IMOU was kortdurend geweest en kreeg geen vervolg. Het waren in deze tijd – we praten nog steeds over de tweede helft van de jaren tachtig – daarom vooral vooralsnog atmosferisch-chemische verspreidingsmodellen die werden gebruikt om de concentraties van ammoniak en ammonium in de buitenlucht en de depositie op de bodem te berekenen. Dit gaf op zich al genoeg reden tot zorg. De berekeningen toonden aan dat 30% van de zure depositie door ammoniak werd veroorzaakt; hiervan kwam 70% van Nederlandse bronnen.<sup>11</sup> Getallen die beleidsmatig zeker niet konden genegeerd.<sup>12</sup> Het werd steeds duidelijker welke omvangrijke bijdrage deze emissies van ammoniak mogelijk leverden aan milieuproblemen in Nederland zelf.<sup>13</sup>

Metingen van ammoniak in de lucht werden dus niet meer verricht. De behoefte aan een beter en vooral door metingen onderbouwd inzicht in de ammoniakproblematiek was echter onverminderd hoog. Het ministerie VROM stelde dat er hoe dan ook zou moeten worden gemeten. Berekeningen met een atmosferisch-chemisch transportmodel waren weliswaar waardevol, maar er was behoefte aan een validatie van de uitkomsten van die modellen. Het RIVM was volgens het ministerie van VROM de eerst aangewezen organisatie om een meettechnische oplossing te bedenken. Dit instituut bedreef immers een meetnet voor de luchtkwaliteit en bovendien had het RIVM al een decennialange ervaring met luchtkwaliteitsmetingen. Alleen was er geen robuuste, betrouwbare én automatische meetmethode voor ammoniak. De meetmethoden voor andere belangrijke vormen van luchtverontreiniging, zoals zwaveldioxide, stikstofoxiden en ozon, hadden sinds de jaren zestig een technologische ontwikkeling doorgemaakt waarbij bewerkelijke, natchemische methoden waren vervangen door simpele en robuuste optische technieken. Deze technieken werden ook commercieel aangeboden. Een dergelijke ontwikkeling was bij ammoniak tot dan toe achterwege gebleven. Er was daarvoor ook nooit een dwingende noodzaak geweest. Het RIVM werd daarmee met een moeilijke opdracht opgezadeld. Het is dan ook niet verwonderlijk dat het RIVM aanvankelijk terughoudend reageerde op het verzoek van VROM om ammoniakmetingen uit te voeren.<sup>14</sup> Het RIVM stelde zich op het standpunt dat met de uitkomsten van berekeningen met atmosferisch-chemische modellen voldoende inzicht in de rol van ammoniak beschikbaar was gekomen. Dit was echter een onhoudbaar standpunt, want er was juist behoefte om de uitkomsten van de berekeningen met transportmodellen te valideren met meetresultaten.

#### *Ammoniak is niet te meten*

Er waren allerhande meettechnieken voor ammoniak in de atmosfeer beschikbaar. Maar het waren vooral methoden die bedoeld waren voor onderzoeksdoeleinden. Bovendien vereisten ze veel menskracht, waren niet gevoelig genoeg en/of waren kostbaar in aanschaf en onderhoud. En bovenal: ze konden niet in een meetnet voor systematische metingen worden ingezet, vooral omdat aan de vereiste van langdurige, storingsvrije werking niet kon worden voldaan. Maar er was nog een ander, meer fundamenteel probleem: ammoniak heeft een grote affiniteit voor water. Dat betekent dat meetapparatuur die met (lange) slangen en aanvoerbuizen voor de aanvoer van de op ammoniak te onderzoeken lucht naar de meetapparatuur werkt, problemen zal opleveren voor een goede meting. Ammoniak zal onderweg naar de meeteenheid, ongeacht hoe de meting zal plaatsvinden, al deels verloren zijn gegaan door adsorptie aan wanden van slangen en buizen. Er hoeft maar het minste vocht aanwezig te zijn en een deel van de ammoniak gaat verloren. Daarom waren in het verleden ook meetmethoden ontwikkeld die contactloos konden meten, bijvoorbeeld spectroscopische technieken.<sup>15</sup>

Nu waren er inmiddels door de druk van het ministerie VROM wel de nodige initiatieven in Nederland genomen om nieuwe meetmethoden voor ammoniak in lucht te ontwikkelen of om bestaande methoden te verbeteren. Zo werkte de groep van Bićanić in Wageningen aan een methode waarbij geluid als detectiemethode werd onderzocht, de foto-akoestische methode.<sup>16</sup> Verder werd er gewerkt aan zogeheten thermodenuders, dat wil zeggen apparaten waarbij lucht enige tijd door een buis met een absorberende

coating wordt geleid, waarbij ammoniak door de coating werd geabsorbeerd. Na enige tijd wordt de buis tot een hoge temperatuur verhit om het geabsorbeerde ammoniak in korte tijd weer vrij te maken. Dit kan dan vervolgens met een omgebouwde monitor voor stikstofoxiden eenvoudig worden gemeten. De thermodenuder diende hierbij in feite als een soort concentreringsapparaat. Eén variant werd ontwikkeld in de groep van Römer bij de Keuringsdienst voor Elektrische Materialen Arnhem (KEMA). Bij het Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN) werkte Keuken aan een vergelijkbaar systeem.<sup>17</sup> Het bleven echter bewerkelijke, storingsgevoelige methodes en ze gaven uurgemiddelde informatie over ammoniakconcentraties. In een later stadium zou het RIVM nog onderzoek financieren naar de bruikbaarheid van een optische techniek, de Laser Cavity Ring Down methode. En dan was er nóg een andere optische methode; deze was gebaseerd op Differential Optical Absorption Spectrometry (DOAS). Een DOAS-apparaat was, onder de naam OPSIS, zelfs commercieel verkrijgbaar, maar had als nadeel dat de methode relatief ongevoelig was.<sup>18</sup>

Slanina, in de jaren tachtig hoofd van de groep Analytische Chemie bij het ECN, realiseerde zich de problemen met de bestaande systemen terdege en vroeg zich af of er misschien een denuderachtig systeem met *directe* analyse zou kunnen worden ontwikkeld. ECN had al vroeg ervaring opgedaan met droge denuders.<sup>19</sup> Nu was Slanina bij het ECN de man van de ideeën en met name Otjes was de man die een fysieke en werkbare vorm gaf aan de ideeën. Zo bedacht Otjes dat de droge coating een belemmering was voor een real time analyse, waarna hij met het idee van een natte coating gekoppeld aan een detector kwam. Op basis hiervan zou een soort continu functionerend doorstroomsysteem kunnen worden bedacht. Het vergde vervolgens nog heel wat tijd en hoofdbrekens voordat een goed functionerend apparaat was ontwikkeld. Het uiteindelijke apparaat was gebaseerd op een eerder ontwikkeld nat systeem waarmee naast ammoniak ook zwaveldioxide en stikstofoxiden bemonsterd en geanalyseerd konden worden. Speciaal voor ammoniak werd hieruit de Ammonia Measurement by ANualar Denuder sampling with on-line Analysis, kortweg AMANDA, ontwikkeld. Dit apparaat zou in de wandeling de naam ‘natte denuder’ krijgen. De AMANDA maakte slim gebruik van de al genoemde sterke affiniteit van ammoniak voor water. In het apparaat wordt namelijk lucht door een roterende buis met een dunne, licht zure waterlaag geleid. Deze vloeistof absorbeert ammoniak uit de langsstromende lucht. De vloeistof wordt continu en afgepompt en vervolgens wordt na een scheidingsstap met een simpele geleidbaarheidsmeting de uiteindelijke bepaling gedaan.<sup>20</sup> Het principe oogt simpel, maar de AMANDA mag toch wel als een analytisch technisch hoogstandje worden beschouwd.

#### *De gruwel van de natte chemie*

De meeste van de hiervoor al genoemde methodes om ammoniak in de lucht te meten waren onvoldoende uitontwikkeld om, in ieder geval op korte termijn, voor structurele metingen in een meetnet ingezet te kunnen worden. Dit gold ook voor de AMANDA.<sup>21</sup> Geen van de methoden voldeed aan alle operationele eisen, die aan meetapparatuur in een luchtmeetnet worden gesteld, zoals op het terrein van de storingsgevoeligheid en de onderhoudstermijn. Het was onder de zware druk van het ministerie VROM dat het RIVM gedwongen werd om toch een keuze te maken: er moest en zou gemeten worden. De keuze zou uiteindelijk op de natte denuder, de AMANDA dus, vallen als de minst slechte methode. Een opmerkelijk detail hierbij was nog dat het ECN zich aanvankelijk tegen de inzet van natte denuders in het luchtmeetnet verzette. Het ECN stelde dat het apparaat was ontworpen voor onderzoeksdoeleinden en geloofde niet dat het apparaat geschikt zou zijn voor gebruik in een meetnet.<sup>22</sup> Uiteindelijk kon men zich vinden in de afspraak dat de techniek van de natte denuder slechts ‘tijdelijk’ zou worden gebruikt. Als uiting van deze tijdelijkheid heette het in te richten ammoniakmeetnet dan ook interim-meetnet ammoniak. Tegelijk met de inrichting van het ammoniakmeetnet met natte denuders zou namelijk een vervolgonderzoeks- en ontwikkeltraject worden gestart, dat op termijn zou moeten leiden tot een ammoniakmonitor die beter geschikt zou zijn voor inzet in een meetnet. Hiervoor had het RIVM het oog laten vallen op de door de KEMA ontwikkelde thermodenuders. Hoe dan ook: in 1992 was in de vorm van de natte denuder ook de natte chemie in het luchtmeetnet teruggekeerd. En juist van de natte chemie had men in het Nederlandse luchtmeetnet halverwege de jaren tachtig met opluchting afstand genomen ten gunste van meetsystemen die op eenvoudige, optische principes waren gebaseerd. En nu dus toch weer natte chemie. Op dat moment wist niemand hoe lang dat zou gaan duren.

De gekozen opzet vormde een het groot risico; daar waren zowel het ECN als het RIVM zich van bewust. Zo vergden de AMANDA's wekelijks onderhoud. Bovendien waren ze stand alone, dat wil zeggen dat het technisch functioneren niet zoals met de andere apparaten in het LML, op afstand kon worden

gecontroleerd. Om het risico van het mogelijk tekort aan voldoende operationele prestaties van de natte denuders te verkleinen, werd daarom voor het ammoniakmeetnet een aparte organisatiestructuur binnen de structuur van het LML in het leven geroepen. Zo werden voor het ammoniakmeetnet speciaal een aantal medewerkers aangesteld. Deze hebben vervolgens een aantal jaren vrijwel niets anders gedaan dan het meetnet van acht meetstations in bedrijf houden. Nooit is in de geschiedenis van het Nederlandse luchtmeetnet zo'n arbeidsintensief onderdeel bedreven. Het was de verdienste van deze technici dat het meetnet zijn vruchten afwierp. Het rendement van het ammoniakmeetnet, dat wil zeggen het aantal meetresultaten dat beschikbaar kwam, steeg na een inwerkperiode boven verwachting al snel tot boven de 95% van het maximale aantal uurwaarden in een jaar en zou in de loop van de tijd op dat niveau blijven.<sup>23</sup> De ontwikkeling met de als definitief bedoelde, vervangende methode van de thermodenuders faalde. De KEMA slaagde er niet om in de afgesproken termijn een operationeel inzetbaar apparaat te leveren dat aan alle functionele eisen voldeed. De AMANDA was en bleef in het meetnet.

### *Epiloog*

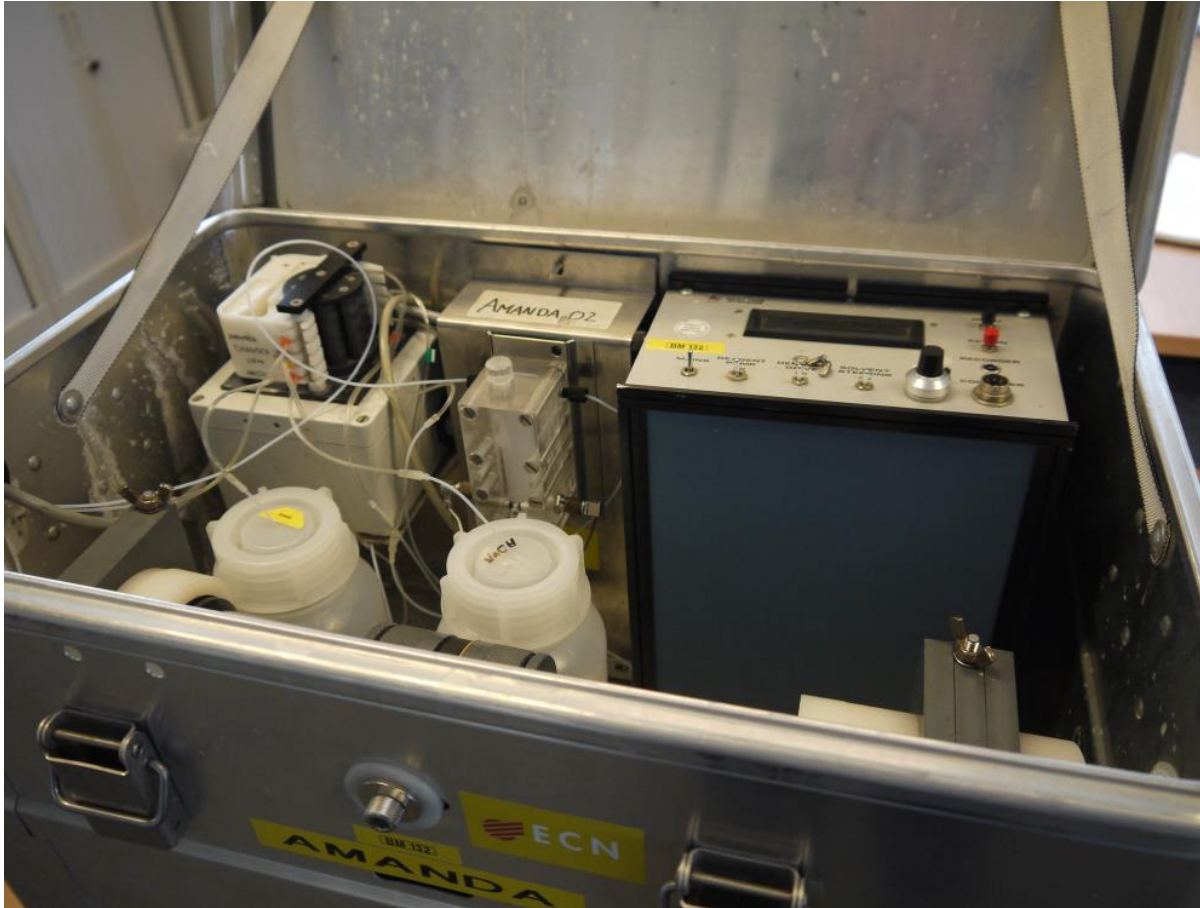
De ervaringen met de AMANDA zouden na een aantal jaren leiden tot AMOR (Ammonia Monitor), in feite een AMAMDA-plus. De nieuwe AMANDA had in plaats van wekelijks vierwekelijks onderhoud nodig en was bovendien meer geïntegreerd in de infrastructuur van het LML waardoor het technisch functioneren op afstand kon worden beoordeeld. De AMANDA zou uiteindelijk van 1992 tot 2016 in bedrijf zijn; een respectabele prestatie voor een 'onderzoeksinstrument' dat slechts 'tijdelijk' in het LML zou worden ingezet. Met ingang van 2016 is de rol van de AMANDA-plus in het LML overgenomen door een nieuw, op het RIVM ontwikkeld meetsysteem. Dit is gebaseerd op een optische techniek: de mini-DOAS.<sup>24</sup> Daarmee is dan ook voor ammoniak uiteindelijk de technologische cyclus van de ontwikkeling van veel luchtmeetapparatuur, dat wil zeggen van natte chemie naar optische methode, doorlopen.<sup>25</sup>

### *Dankbetuiging*

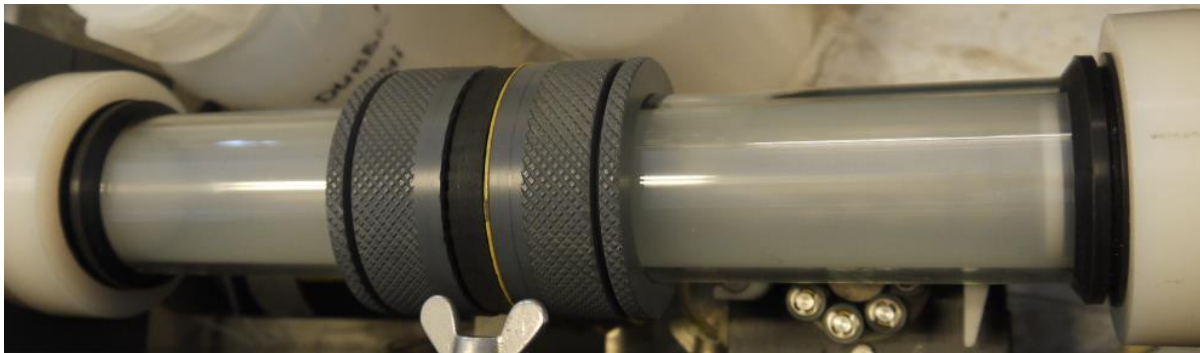
Dit artikel is mede gebaseerd op gesprekken met René Otjes, senior onderzoeker bij het Energieonderzoek Centrum Nederland en ontwikkelaar van de AMANDA, Menno Keuken, voormalig onderzoeker bij het Energieonderzoek Centrum Nederland en ontwikkelaar van de ECN-thermodenuder, Bernard van Elzacker, voormalig medewerker van het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) en in de eerste helft van de jaren negentig projectleider voor de introductie van de AMANDA in het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit, en Willem Asman, voormalig lid van de Groep Chemie van de Atmosfeer van het Instituut voor Meteorologie en Oceanografie van de Rijksuniversiteit Utrecht en voormalig medewerker van het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. Asman stond aan de wieg stond van de atmosferisch-chemische modellering van ammoniak in Nederland. Geert van Uden, een van de technici van het toenmalige interim-meetnet ammoniak, attendeerde de auteur erop dat er mogelijk nog een AMANDA bestond. René Otjes heeft zich ingespannen om een complete AMANDA bij elkaar te 'vinden'. Irma Lambrechts (RIVM) was behulpzaam bij het opsporen van materiaal in het semi-statisch archief van het RIVM. De directeur-generaal van RIVM, André van der Zande, was zo vriendelijk om toestemming te geven voor de inzage van het archiefmateriaal.

### *Over de auteur*

Ed (Egbert) Buijsman heeft van 1978 tot aan zijn pensionering eind 2014 gewerkt op diverse deelgebieden van de luchtverontreiniging, onder andere als onderzoeker, correspondent, redacteur, publicist en van 1990 tot 1996 als hoofd van het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit. Hij publiceerde twee boeken over het luchtkwaliteitsmeetnet in Nederland: 'Er zij een meetnet. Een geïllustreerde geschiedenis van het luchtmeetnet van het RIV(M)' (Houten 2003) en 'De luchtkwaliteitsmeetnetten van het RIV en het RIVM' (Rotterdam 2013). Momenteel werkt hij aan een boek over de geschiedenis van de luchtverontreiniging in Nederland. E-mail: ed.buijsman@xs4all.nl.

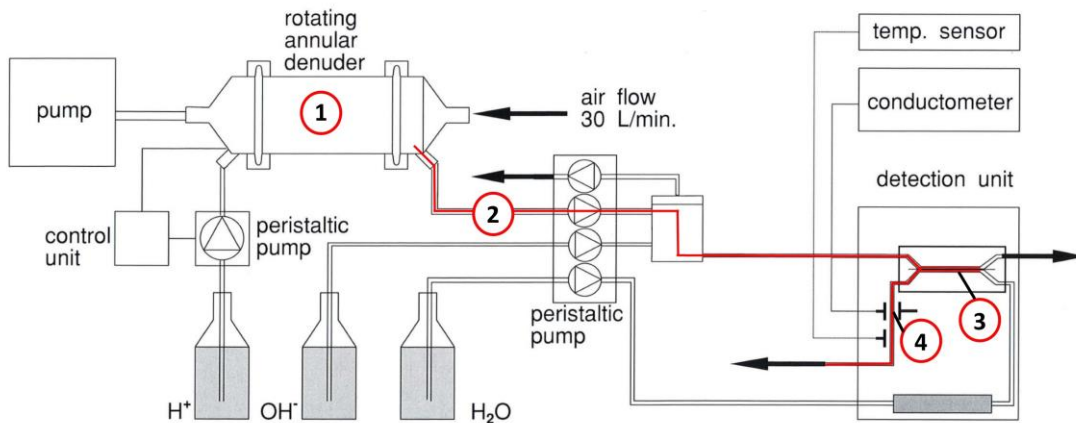


1. Interieur van de AMANDA, eigenlijk een chemisch laboratorium in het klein met slangetjes, pompen en flessen met chemicaliën. In het midden achter de detector waar de feitelijke bepaling gebeurt; rechts achter de regelelektronica. Het geheel bevindt zich in een aluminium behuizing van circa 60 x 40 x 30 cm. Foto auteur.

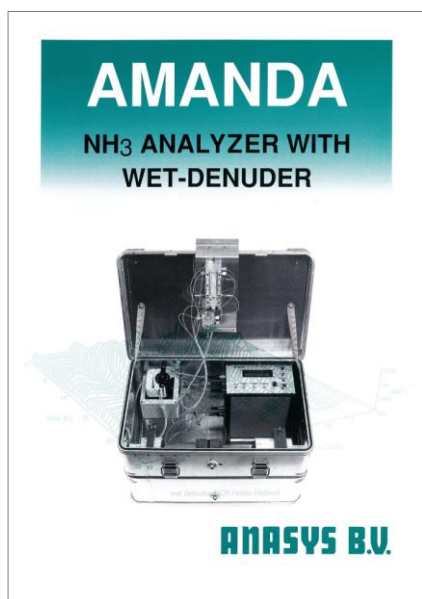


2. Het hart van de AMANDA, een roterende glazen buis met aan de binnenzijde een vloeistoflaag. De lucht met ammoniak wordt door de buis geleid en het ammoniak wordt opgenomen in de vloeistofstroom. Foto auteur.





3. Schematische opbouw van de AMANDA. De lucht wordt door een roterende buis (1) geleid; zie ook afbeelding 2. Ammoniak uit de lucht wordt opgenomen in de vloeistoflaag aan de binnenkant van de buis. De vloeistof wordt voortdurende afgepompt (2) en naar de membraamscheiding (3) geleid, waar ammoniak door het membraam diffundeert en aan de andere zijde in een vloeistofstroom wordt opgenomen. Ten slotte vindt de meting (4) door middel van geleiding plaats.



4. Het bedrijf ANASYS bracht de eerste AMANDA commercieel op de markt, maar het zou geen succes worden. Er bleek elders in Europa nauwelijks behoefte om continu ammoniak in een meetnet te meten. Dit is wel enigszins merkwaardig, omdat ernstige problemen met ammoniak zich destijds ook op andere plaatsen in Europa, zoals delen van Frankrijk, Denemarken en Duitsland, voordeden. Het apparaat kostte in de orde van f 50.000. Afbeelding collectie R. Otjes.



## Noten

- <sup>1</sup> Zie voor achtergronden E. Buijsman, *Er zij een meetnet... Een geïllustreerde geschiedenis van het luchtmeetnet van het RIV(M)* [Luvo-reeks 1] (Bilthoven 2003) en E. Buijsman, *De luchtkwaliteitsmeetnetten van het RIV en het RIVM* (Houten 2013).
- <sup>2</sup> Nota bene in een krantenartikel, omdat Odén aanvankelijk in de wetenschappelijke wereld zijn verhaal niet kwijt kon: S. Odén, 'Nederbördens försurning', *Dagens Nyheter*, 24 oktober 1967. En daarna alsnog in een wetenschappelijke publicatie: S. Odén, *Nederbördens och luftens försurning, dess orsaker, förlopp och verkan i olika miljoër* (De verzuring van lucht en neerslag en de gevolgen ervan voor het milieu) [Bulletin no 1] (Stockholm 1968).
- <sup>3</sup> Voor een uitgebreide behandeling van het probleem van de zure regen zie onder andere E. Buijsman 'Gisteren vandaag morgen. Een terugblik op het probleem van de zure regen', *Studium* 4 (2010) 251–268; E. Buijsman, J.J.M. Aben,, J.-P. Hettelingh, H. van Hinsberg, R.B.A. Koelemeijer & R.J.M. Maas, *Zure regen. Een analyse van dertig jaar Nederlandse verzuringsproblematiek* (Bilthoven 2010). Voor een indruk van de stand van de kennis op dit gebied in het begin van de jaren tachtig zie bijvoorbeeld E. Buijsman, W.A.H. Asman, & L.A. Conrads, *Ons leven verzuurt de neerslag* (Utrecht 1980); E. Buijsman, *Zure regen: atmosferische processen* (Utrecht 1982).
- <sup>4</sup> S. Odén, 'The acidity problem - an outline of concepts', *Water, Air, and Soil Pollution* 6 (1976) 137–166.
- <sup>5</sup> N. van Breemen, P.A. Burrough, E.J. Velthorst, H.F. van Dobben, T. de Wit, T.B. Ridder & H.F.R. Reijnders, 'Soil acidification from atmospheric ammonium sulphate in forest canopy throughfall', *Science* 299 (1982) 548–550.
- <sup>6</sup> Buijsman et al. (no 3) 14.
- <sup>7</sup> E. Buijsman, *Emissie van ammoniak in Nederland* [Publikatiereeks Lucht 22] ('s Gravenhage 1984); E. Buijsman, J.F.M. Maas & W.A.H. Asman, *Een gedetailleerde ammoniakemissiekaart van Nederland*. [Publikatiereeks Lucht 41] ('s Gravenhage 1984).
- <sup>8</sup> E. Buijsman & G. Eussen, *Ammoniak in de atmosfeer* (Utrecht 1980); H.S.M.A. Diederer, J.C. den Hartog, J.C. Th. den Hollander, J. Kaayk & F.L. Schulting, *Niveaus van luchtverontreiniging gemeten over de periode januari 1979-maart 1981* (Delft 1981).
- <sup>9</sup> H. Ferm, 'Method for the determination of atmospheric ammonia', *Atmospheric Environment* 13 (1979) 1385–1393.
- <sup>10</sup> J.W. Erisman, A.W.M. Vermetten, W.A.H. Asman, W. Mulder, J. Slanina & A. Waijers-Ypelaan, *Ammoniak en ammonium concentraties in de Nederlandse buitenlucht*, (Utrecht 1986; A.W.M. Vermetten, W.A.H. Asman, E. Buijsman, W. Mulder, J. Slanina & A. Waijers-Ypelaan, 'Concentration of NH<sub>3</sub> and NH<sub>4</sub><sup>+</sup> over The Netherlands', *Waldschäden, Einflussfaktoren und ihre Bewertung* (Düsseldorf 1986) 241–251.
- <sup>11</sup> W.A.H. Asman, E. Buijsman, A. Vermetten, H.M. ten Brink, R.J. Heijboer, A.J. Janssen & J. Slanina, *Import en export van zuur in Nederland* (Utrecht 1986); RIVM, *Luchtkwaliteit Jaarverslag 1986* (Bilthoven 1988) 86–89.
- <sup>12</sup> Asman, een van de leden van de Groep Atmosferische Chemie van het IMO, zou op het terrein van de modelmatige benadering van atmosferisch ammoniak baanbrekend werk verrichten. Zie voor een vroeg resultaat W.A.H. Asman, *Atmospheric behaviour of ammonia and ammonium* (Wageningen 1987).
- <sup>13</sup> J.W. Erisman, *Ammonia emissions in the Netherlands in 1987 and 1988* (Bilthoven 1989).
- <sup>14</sup> Buijsman (no. 1) 167.
- <sup>15</sup> Zie voor de stand van de techniek bijvoorbeeld R.M. Harrison & R. Perry, *Handbook of air pollution analysis* (Londen 1986). De toenmalige spectroscopische technieken kenden overigens alle bezwaren die hiervoor zijn opgesomd.
- <sup>16</sup> H. Sauren, E. Gerkema, D. Bičanić & H. Jalink, 'Real-time and in situ determination of ammonia concentrations in the atmosphere by means of intermodulated Stark resonant CO<sub>2</sub> laser photoacoustic spectroscopy', *Atmospheric Environment*, 27:A (1993) 109–112.
- <sup>17</sup> Het belangrijke verschil lag in het absorbers. ECN werkte met wolframoxide en de KEMA met vanadiumpentoxide als absorbers. Daarnaast waren er verschillen in de technische uitvoering. Zie ook: M.P. Keuken, *The determination of acid-deposition-related compounds in the lower atmosphere* (Amsterdam 1989); M.P. Keuken, A. Wayers-Ijpelaar, J.J. Mols, R.P. Otjes & J. Slanina, 'The determination of ammonia in ambient air by an automated thermodenuder system', *Atmospheric Environment* 23 (1989) 2177–2185.
- <sup>18</sup> De provincie Limburg heeft met deze apparatuur nog wel onderzoek gedaan, maar dat lukte (voor ammoniak) alleen in situaties met zeer hoge concentraties, zoals in bepaalde periodes wanneer in de Peel grote hoeveelheden mest werden uitgereden.
- <sup>19</sup> Zie bijvoorbeeld J. Slanina, L. van Lamoen-Doornebal, W.A. Lingerak, W. Meilof, D. Klockow, & R. Niessner 'Application of a thermodenuder analyser to the determination of H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HNO<sub>3</sub> and NH<sub>3</sub>', *International Journal of Environmental Analytical Chemistry* 9 (1981) 59-70.
- <sup>20</sup> Jakob (Sjaak) Slanina (1942-2009) was van oorsprong analytisch-chemicus; hij promoveerde in 1972 op het proefschrift 'Enige automatische element-analyses van kleine monsters met behulp van modulair opgebouwde titratoren' aan de Rijksuniversiteit Utrecht. Van 1972 tot 2004 was Slanina verbonden aan het Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN); sinds 1984 als leider van de groep Analytische Chemie binnen de afdeling Chemie/Materiaalkunde. Hij was van 1995 tot 2004 buitengewoon hoogleraar ontwikkeling van meetmethoden voor atmosferisch onderzoek aan de universiteit van Wageningen en vanaf 2005 hoogleraar milieukunde aan de universiteit van Peking. Het belang van het werk van de groep van Slanina bij ECN op het gebied van de ontwikkeling van meetmethoden voor stoffen in de atmosfeer kan nauwelijks worden overschat. Slanina was de man van de ideeën en

met name Otjes was de man die fysieke en werkbare vorm gaf aan de ideeën. Naast de AMANDA en de AMOR ontwikkelde deze groep tal van vernuftige en innovatieve apparaten voor atmosferisch-chemisch onderzoek.

<sup>21</sup> E.M. van Putten, M.G. Mennen, T. Regts & J.W. Uiterwijk, *Performance study of four automatic ammonia monitors under controlled conditions* (Bilthoven 1994); M.G. Mennen, B.G. van Elzakker, E.M. Van Putten, J.W. Uiterwijk, T.A. Regts, J. van Hellemond, G.P. Wyers, R.P. Otjes, A.J.L. Verhage, L.W. Wouters, C.J.G. Heffels, F.G. Römer, L. van den Beld & J.E.H. Tetteroo, 'Evaluation of automatic ammonia monitors for application in an air quality monitoring network', *Atmospheric Environment* 30 (1996), 3239–3256.

Zie ook Buijsman (no. 1), 61–64, 127.

<sup>22</sup> G.P. Wyers, R.P. Otjes & J. Slanina, 'A continuous-flow denuder for the measurement of ambient concentrations and surface-exchange fluxes of ammonia', *Atmospheric Environment* 27:A (1993), 2085–2090.

<sup>23</sup> E. Buijsman, J.M.M. Aben, B.G. van Elzakker & M.G. Mennen, 'An automatic atmospheric ammonia network in het Netherlands. Set-up and results', *Atmospheric Environment* 32 (1998), 317–324; B.G. van Elzakker, E. Buijsman, G.P. Wyers & R.P. Otjes, 'The measurement of ammonia in the National Air Quality Monitoring Network (LML): (1) instrumentation and network set-up', *International Conference on Atmospheric Ammonia: Emission, Deposition and Environmental Impacts* (Oxford 1996).

<sup>24</sup> H. Volten, J.B. Bergwerff, M. Haaime, D.E. Lolkema, A.J.C. Berkhout, G.R. van der Hoff, C.J.M. Potma, R.J. Wichink Kruit, W.A.J. van Pul & D.P.J. Swart, Two instruments based on differential optical absorption spectroscopy (DOAS) to measure accurate ammonia concentrations in the atmosphere. *Atmospheric Measurement Techniques* 5 (2012) 413–427.

<sup>25</sup> Over deze technologische ontwikkeling zie bijvoorbeeld A. Maas & E. Buijsman, 'De symboliek van het snuffelen. Hoe een luchtverontreinigingsmonitor uitgroeide tot nationaal symbool', *Studium* 7:2 (2014) 97–104.