

Rapport 500037012/2006

Het tijdelijke meetnet “Ammoniak in de natuur”
Opzet en voorlopige resultaten van het eerste half jaar

H. Noordijk

Met medewerking van J.A. van Jaarsveld, A.P. Stolk,
W.A.J. van Pul en A. van Hinsberg

Contact: H. Noordijk
Milieu- en Natuurplanbureau (MNP)
Erik.Noordijk@mnp.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van de directie MNP in het kader van MNP-project M/500037 “Verzuring en vermesting”

Abstract

The temporary monitoring network ‘Ammonia in Dutch nature reserves’ Monitoring setup and preliminary results of the first six months

The Netherlands Environmental Assessment Agency (MNP) has initiated a national monitoring network on ammonia concentrations in Dutch nature reserves in 2005. The network is operated by the National Institute on Public Health and Environment (RIVM). The focus of the network is on the reserves located on sandy soils to which the EU Birds and Habitats Directives apply. It includes large and small reserves, coastal and inland areas, and heavily polluted as well as relatively remote areas.

The results of the first six months appear reliable; they also provide a basis for further analysis. In general, these measurements agree well with model calculations. The decrease in ammonia concentrations deeper in the nature reserves is, however, more pronounced in the measurements than in model results. In moist environments, concentrations are sometimes higher than expected. Most nature areas (> 400 ha.) show an unfamiliar seasonal pattern, with low concentrations in summer. Small reserves (< 150 ha.), however, show the same seasonal pattern already known from agricultural areas.

Keywords:

Ammonia, atmospheric measurements, eutrophication, Bird- and Habitats Directive, Natura 2000

Voorwoord

Dit rapport geeft de eerste resultaten weer van een tijdelijk meetnet, opgezet om een representatief beeld te vormen van ammoniakconcentraties in de daarvoor gevoelige Nederlandse natuur. De opdrachtgever hiervoor is de directie van het Milieu- en Natuurplanbureau (MNP). Dit meetnet concentreert zich op de onder Europese wetgeving vallende Vogel- en Habitatrictlijngebieden, en dan wel die gebieden die liggen op voor verzuring en vermesting gevoelige zandgronden.

De inspanning die nodig is om over heel Nederland in deze natuurgebieden metingen te verrichten, zou niet van de grond zijn gekomen zonder de bereidwillige medewerking van de betrokken terreinbeherende organisaties en vrijwilligers. Namens het MNP en het RIVM wil de auteur hierbij allen die in het veld hieraan bijdragen hartelijk danken voor hun maandelijks inspanning.

Inhoud

SAMENVATTING	9
1. INLEIDING	11
2. OPZET VAN HET MEETNET	13
2.1 Het beoogde doel	13
2.2 Organisatie van het meetnet	13
2.3 Keuze van de natuurgebieden	15
2.4 De inrichting van meetpunten binnen een gebied	18
3. DE EERSTE RESULTATEN VAN HET MEETNET	21
3.1 Algemene resultaten	21
3.2 Analyse van ruimtelijke variaties	25
3.3 Seizoensinvloeden	28
3.4 Invloed van natuurlijke factoren	30
3.5 Vergelijking met modelberekeningen	34
4. VOORLOPIGE CONCLUSIES	39
5. AANBEVELINGEN VOOR CONTINUERING EN UITBREIDING IN 2006	41
6. NAWOORD	43
LITERATUUR	45

Samenvatting

In een samenwerkingsverband van MNP, RIVM en terreinbeherende organisaties zijn binnen 22 Vogel- en Habitatrichtlijngebieden luchtconcentraties van ammoniak gemeten. Doel van de metingen is het in kaart brengen van het gedrag van ammoniak in kwetsbare natuurgebieden, dit ter validering van verspreidingsmodellen die gebruikt worden om de milieudruk in natuurgebieden te bepalen. Daarnaast kunnen MNP-uitspraken over onder andere effectiviteit van zonering ermee worden getoetst.

De betrokken natuurgebieden liggen in de duinen en op zandgronden en zijn daardoor alle kwetsbaar voor ammoniakdepositie. De in het meetnet opgenomen natuurgebieden dekken heel Nederland van de Waddeneilanden tot Limburg. Zowel de zwaarst belaste als meest schone regio's zijn vertegenwoordigd. Per natuurgebied zijn gemiddeld 3 tot 4 meetlokaties opgenomen om de interne variatie te beschrijven.

Deze rapportage geeft een overzicht van de metingen uit het eerste half jaar. Het doel ervan is informatievoorziening ten behoeve van de betrokken terreinbeheerders en andere belanghebbenden. Daarnaast is het een vastlegging van de presentatie van deze gegevens tijdens het symposium 'Ammoniak in de Nederlandse natuur', 18 november 2005, georganiseerd door MNP en RIVM.

Enkele voorlopige conclusies kunnen al worden getrokken. De organisatie van het meetnet heeft goed gelopen. De waarnemingen zijn betrouwbaar en zij bieden mogelijkheden om de onderzoeksvragen te analyseren. De metingen vertonen over het algemeen ook een redelijk goede overeenstemming met modelberekeningen.

Hoewel het algemene patroon aardig overeen komt met modelberekeningen, lijken de absolute concentraties aan de rand van natuurgebieden en in kleine natuurgebieden wel vaak hoger te zijn dan verwacht, terwijl dieper de natuur in de concentraties juist lager zijn dan berekend. De ammoniakconcentraties in kleine natuurgebieden (<150 hectare) vertonen, zoals verwacht, hetzelfde seizoensverloop in voorjaar en zomer als het bekende verloop in het agrarische gebied. Grotere natuurgebieden (> 400 hectare) hebben echter een tot dusver onbekend, afwijkend seizoensverloop met duidelijk lagere concentraties in de zomer. Drassige omstandigheden, zoals nabij de Waddenzee en in de Groote Peel, lijken tot hogere ammoniakconcentraties te leiden dan modelmatig verwacht.

1. Inleiding

Binnen het MNP-project 'Scanning en Scouting' werd geld beschikbaar gesteld voor een tijdelijk meetnet dat een jaar zou kunnen functioneren. Hiermee is een tijdelijk meetnet voor ammoniak in de natuur ingericht dat van start ging op 28 februari 2005, waarvan dit rapport het eerste half jaar aan metingen samenvat.

Van de drie verzurende en vermestende stofgroepen (zwaveloxiden, stikstofoxiden en ammoniak/ammonium) heeft ammoniak de meeste gevolgen voor de Nederlandse natuur. Het heeft zowel verzurende als vermestende uitwerkingen, het komt in grote hoeveelheden vrij bij agrarische activiteiten, vooral in de nabijheid van grote stalcomplexen. Daarnaast worden de negatieve gevolgen sterker geconcentreerd in de lokale omgeving dan bij zwaveldioxide en stikstofoxiden omdat ammoniak veel sneller uit de lucht neerslaat. Ammoniak vanuit de Nederlandse landbouw draagt voor ruim de helft bij aan de totale depositie van vermestende stikstofverbindingen in de Nederlandse natuur. De bijdragen van het buitenland en van het Nederlands verkeer zijn ook substantieel, maar duidelijk beperkter.

Er zijn grote ruimtelijke verschillen in de concentratie van ammoniak doordat ammoniak zich verhoudingsgewijs niet ver verspreidt en er veel kleine, geconcentreerde bronnen van ammoniak (stallen) zijn die lokaal en regionaal in clusters voorkomen. De concentraties in gebieden met intensieve veeteelt, zoals de Peel en de Gelderse Vallei en in mindere mate de Achterhoek, zijn ongeveer tien keer hoger dan aan de kust. Door de sterke ruimtelijke variatie is het onmogelijk om met een meetnet een landsdekkend beeld van ammoniak te verkrijgen. Een dergelijk meetnet zou duizenden meetpunten moeten bevatten. Tot dusver is er daarom geen meetnet dat de concentratie van ammoniak systematisch over geheel Nederland in kaart brengt. Metingen zijn slechts op incidentele basis uitgevoerd om verschillen tussen gemeten en berekende ammoniakconcentraties in beeld te brengen (Van Pul et al., 2004). Daarbij is op een groot aantal lokaties in agrarische gebieden gedurende een aantal maanden of een jaar ammoniak gemeten.

De strategie die de afgelopen twintig jaar is gevolgd, gaat om deze redenen uit van modelberekeningen die het gehele patroon van ammoniak over Nederland in kaart brengen, waarbij een beperkte, zorgvuldig gekozen set van meetlokaties op continue basis meetgegevens voortbrengt die dienen ter ijking van de modelberekeningen. In de regel wordt voor de berekeningen het OPS-model toegepast (Van Jaarsveld, 1995). Binnen het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit (LML) zijn er acht lokaties, min of meer representatief voor de totale ruimtelijke variatie, waar de afgelopen tien jaar continu ammoniak is gemeten, het merendeel gesitueerd in een agrarische omgeving.

Er zijn dus maar weinig metingen van ammoniak in de natuur beschikbaar, terwijl juist daar de nadelige effecten van ammoniak optreden. Het 'tijdelijke meetnet ammoniak in de natuur' heeft daarom als doel om het gedrag van ammoniak in kwetsbare natuur op basis van metingen in kaart te brengen.

2. Opzet van het meetnet

2.1 Het beoogde doel

Het doel van het meetnet is het in kaart brengen van het gedrag van ammoniak in kwetsbare delen van de Nederlandse natuur, dit ter toetsing van de gangbare modelberekeningen. De kwetsbare gebieden zijn geselecteerd uit meer dan 160 natuurgebieden die onder de Europese Vogel- en Habitatrichtlijn (VHR) vallen. Deze gebieden hebben vanuit Nederlandse of Europese optiek extra bescherming nodig, wat door de richtlijnen een wettelijk bindende status heeft verkregen. De informatie die het meetnet oplevert, wordt gebruikt om de milieukwaliteit voor die gebieden in beeld te brengen. De voor het meetnet geselecteerde gebieden liggen alle op zandgronden, omdat de natuur daar gevoeliger is voor eutrofiëring en dus voor depositie van ammoniak. In de praktijk gaat het om de duinstrook langs de kust en het zuiden en oosten van Nederland.

Bij de selectie van de natuurgebieden zijn een aantal criteria gehanteerd. Allereerst moet het mogelijk zijn om in dat gebied representatieve metingen te verrichten. Daarvoor is per meetlokatie de aanwezigheid nodig van open terrein, zoals heide of gras, met een minimale aaneengesloten omvang van enkele hectaren. De bezoekdruk op het gebied speelt een rol (vandalisme), evenals de bereidheid van de beheerder om mee te werken. Daarnaast is het de bedoeling dat de totale set aan gebieden de geografische spreiding van de natuur op zandgronden dekt, evenals de hoge variatie in de concentraties van ammoniak. Verder is het gewenst om een indruk te krijgen van de invloed van gebiedskarakteristieken op de uiteindelijke belasting met ammoniak. Het meetnet richt zich hierbij vooral op de omvang van het gebied, de vorm (compact-gesloten versus gefragmenteerd-open) en de aard van het gebied (duinen, botanisch grasland, heidevelden, bosrijke omgeving etc.).

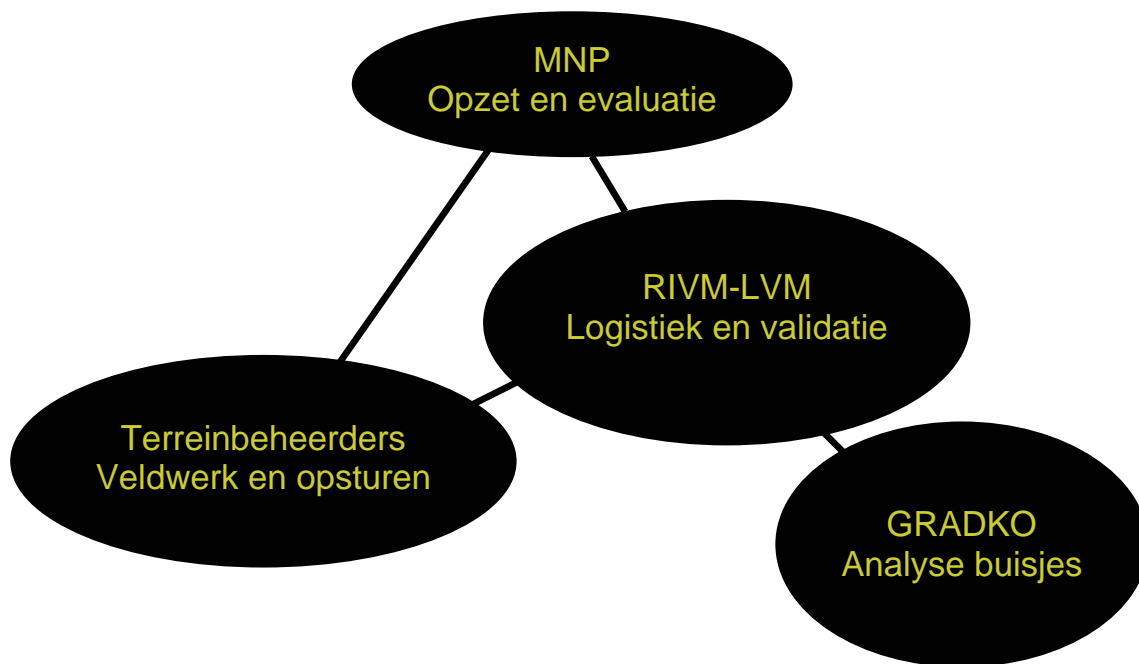
2.2 Organisatie van het meetnet

Om een dergelijk meetnet op een traditionele wijze te organiseren, zou een personele inspanning vereist zijn die het budget ver te boven gaat. Om aan het beoogde doel tegemoet te komen zijn er minstens 20 natuurgebieden met ieder enkele meetlokaties vereist. Vooral de reisafstanden naar verderaf gelegen gebieden en de toegankelijkheid van de natuurterreinen zouden een probleem gaan vormen. De gekozen meetmethode, gebaseerd op zogenoemde passieve samplers, vereist echter weinig handelingen en neemt nauwelijks ruimte in, waardoor de mogelijkheid ontstaat om via de postdienst werkzaamheden door terreinbeheerders te laten uitvoeren.

Passieve samplers bestaan uit een buisje waarvan de inhoud door middel van een membraan in contact staat met de omgeving. Bovenin hangt een druppel absorptievloeistof die alle binnengekomen ammoniak bindt (Thijsse et al., 1998). Deze samplers hangen dan een maand lang in het veld, waarna zij worden vervangen en hun inhoud op ammoniak wordt geanalyseerd. Het verwisselen van de samplers is een vrij eenvoudige handeling.

De organisatie van het meetnet is verdeeld over een groot aantal betrokkenen (Figuur 1). Het MNP heeft de gebieden geselecteerd, bezocht en daarbinnen in overleg met de betrokken terreinbeheerders de lokaties van de meetpunten vastgelegd. Deze terreinbeheerders

verzorgen de maandelijkse verwisseling van de samplers en de terugzending ervan. De betrokken terreinbeheerders zijn Staatsbosbeheer, Natuurmonumenten, Duinwaterbedrijf Zuid-Holland, Het Limburgs Landschap en de gemeente Someren. Staatsbosbeheer en Natuurmonumenten nemen ieder bijna de helft van de 22 geselecteerde natuurgebieden voor hun rekening, de overige terreinbeheerders zijn ieder met één gebied betrokken.



Figuur 1. De organisatie van het meetnet

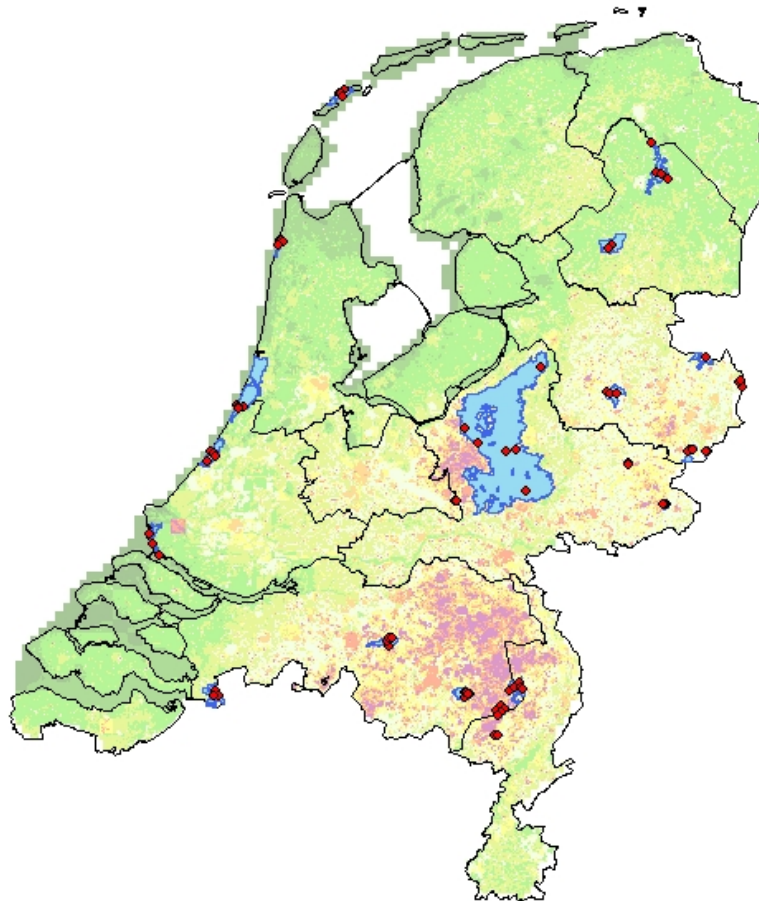
De leverantie en analyse van de passieve samplers wordt gedaan door de firma Gradko, gevestigd in Engeland. Deze bereidt maandelijks de passieve samplers voor en stuurt deze naar het Laboratorium voor Milieumetingen van het RIVM. De bemonsterde exemplaren van de maand ervoor worden enkele weken later ontvangen en geanalyseerd. Het RIVM neemt de verdere logistiek van het meetnet op zich. Dit betekent in praktijk het ontvangen en naar de terreinbeheerders versturen van de samplers met bijbehorende hulpmiddelen, het retourneren van de bemonsterde samplers naar Gradko en daarnaast kwaliteitscontrole, validatie en opslag van de uiteindelijke analyseresultaten.



Een passieve sampler in het veld bij Springendal

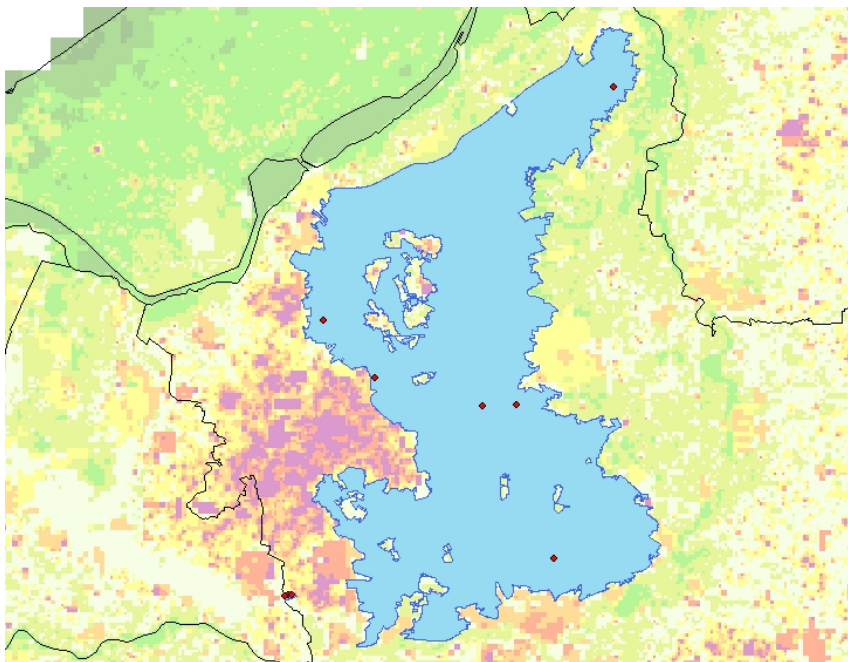
2.3 Keuze van de natuurgebieden

Zoals hiervoor gesteld, worden de natuurgebieden geselecteerd uit ruim 160 Vogel- en Habitat-richtlijngebieden met als tweede criterium dat zij op zandgronden moeten liggen. Dit betekent in praktijk dat gezocht is naar duingebieden langs de kust en naar natuurgebieden in de oostelijke en zuidelijke provincies, met uitzondering van Zuid-Limburg. Om het meetnet representatief te laten zijn voor het landelijke beeld, is gezocht naar een zo groot mogelijke ruimtelijke dekking. Figuur 2 geeft een beeld van de geselecteerde natuurgebieden met daarbinnen de meetlokaties, met als achtergrond een kaart van de depositie van ammoniak, gebaseerd op modelberekeningen. Langs de kust is een continue reeks van gebieden geselecteerd van de grens met Zeeland (Voorne's duin) tot de Waddenzee (Vlieland). In het binnenland loopt de ruimtelijke dekking van het noorden van Drenthe (Drentse Aa) tot in het Brabants-Limburgse Peelgebied en de Belgische grens bij Antwerpen (Ossendrecht). Hierbij is rekening gehouden met de verschillen in lokale belasting door ammoniak. Er is gekozen voor een evenredige dekking over gebieden met hoge belasting (Peelgebied, Gelderse Vallei, delen van de Achterhoek), lage belasting (duinen, West-Brabant, Drenthe) en gebieden met gemiddelde belasting (Midden-Brabant, overig Gelderland en Overijssel).



Figuur 2. Het ammoniakmeetnet: geselecteerde natuurgebieden (blauw) met meetlocaties (rode stippen)

De kleurschakering van groen (weinig) naar rood (veel) geeft de berekende hoeveelheid ammoniak weer

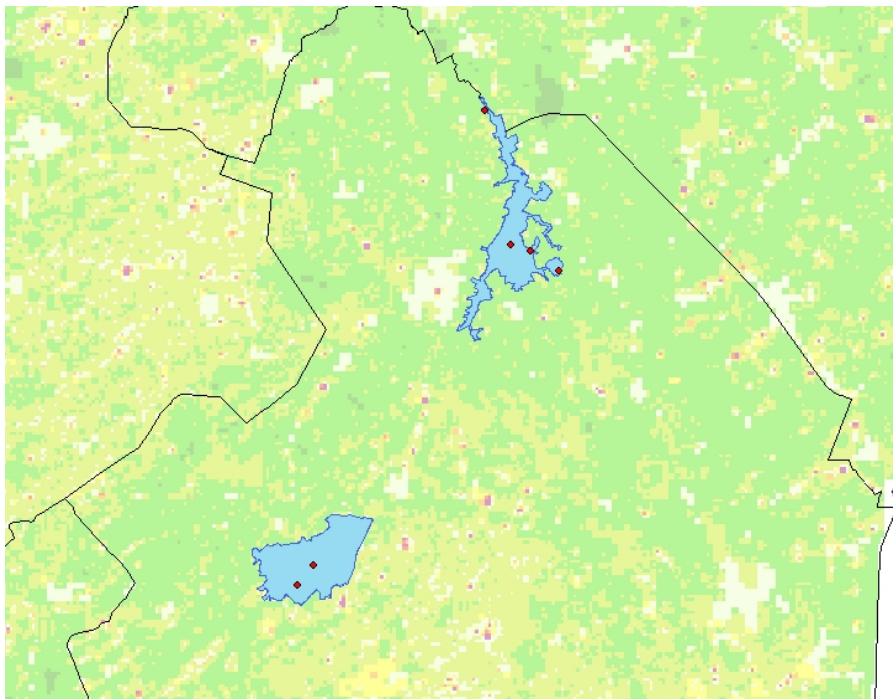


Figuur 3. Het grootste natuurgebied (de Veluwe, 90.000 ha, 6 meetpunten) en het kleinste (Bennekomse Meent, 15 ha, 3 meetpunten)

De kleurschakering van groen (weinig) naar rood (veel) geeft de berekende hoeveelheid ammoniak weer

Naast deze ruimtelijke dekking en variatie in belasting, zijn ook andere selectiecriteria meegenomen. Zo is er gestreefd naar een zo groot mogelijke variatie in omvang en vorm van de betrokken natuurgebieden. Kleine gebieden zijn kwetsbaarder voor depositie dan grotere gebieden omdat dieper in de natuur lagere concentraties aanwezig zijn door tussentijdse depositie van ammoniak en opmenging van ammoniakrijke lucht met hogere luchtlagen. Het kleinste gebied, de Bennekomse Meent, en het grootste gebied, de Veluwe, omspannen een spreiding van 15 tot 90.000 hectare (zie Figuur 3).

Afgezien van de omvang, het aantal hectares natuur, speelt ook de vorm van het natuurgebied naar verwachting een belangrijke rol. Compacte, aaneengesloten natuurgebieden hebben per hectare natuur gemiddeld een grotere afstand tot de rand waar ammoniakemissies plaatsvinden dan meer open, verbrokkelde structuren. De twee Drentse natuurgebieden, de Drentse Aa en het Dwingelderveld die beide hetzelfde oppervlak hebben, illustreren dit verschil in vorm (Figuur 4).



Figuur 4. Een compact (Dwingelderveld, 3500 ha, ZW Drenthe) en een opener (Drentse Aa, 4000 ha, N-Drenthe) natuurgebied

De kleurschakering van groen (weinig) naar rood (veel) geeft de berekende hoeveelheid ammoniak weer

Het budget is toereikend voor het inrichten van circa 70-80 meetpunten. Gezien het minimum aantal van 3-4 meetpunten dat per gebied nodig is om dit in grote trekken te karakteriseren, is het totale aantal mee te nemen natuurgebieden beperkt tot ongeveer 20. Er is gestreefd naar een zodanig uitgebalanceerde selectie dat het meetnet in staat is om inzicht te verschaffen in alle hiervoor genoemde variabelen.

2.4 De inrichting van meetpunten binnen een gebied

De lokaties die binnen een natuurgebied worden gekozen om als meetpunt te dienen, moeten voldoen aan een reeks van criteria. Door de vaak complexe situatie in het veld is de uiteindelijke afweging niet in enkele simpele regels samen te vatten. Wezenlijk is, dat het meetpunt gesitueerd is in een open terrein (vaak gras of heide) met een omvang van enkele hectaren, waarbij het monsterbuisje zelf redelijk vrij in de lucht hangt. Omringende bomen verlagen namelijk de gemeten concentratie ammoniak doordat daar depositie plaatsvindt, waardoor dan niet duidelijk is hoe de meting geïnterpreteerd moet worden. Ook naar de grond toe neemt de concentratie ammoniak sterk af door depositie, mits er op de grond geen bronnen aanwezig zijn zoals de mest in het agrarisch gebied. Daarom worden alle metingen zoveel mogelijk op dezelfde hoogte, ongeveer anderhalf tot twee meter, uitgevoerd. Een berk, grove den, paal of zelfs een zeer jonge boom is vaak al toereikend om een meetpunt mee in te richten.



Een geschikte meetlocatie: een open veld en een ophangpunt met vrije luchtaanvoer



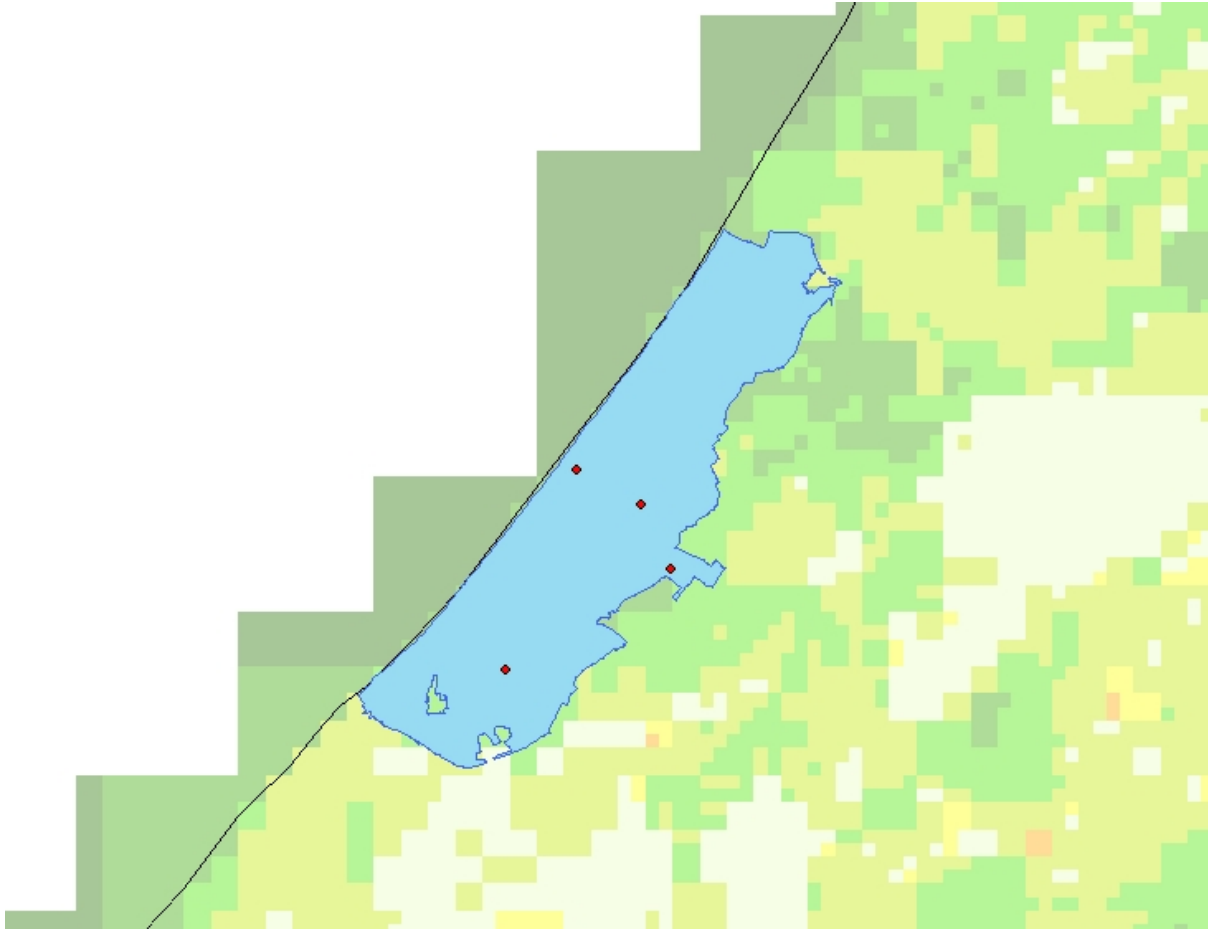
Er is weinig nodig voor de ophanging van een passieve sampler

Naast deze technische criteria, is er ook rekening gehouden met de bereikbaarheid van het meetpunt. Voor de terreinbeheerder is het vaak handig wanneer de meetpunten op de route liggen van de grondwater-peilbuismetingen. Van deze meetlokaties zijn er tienduizenden in Nederland aanwezig, en zij worden bijna alle op de 28^e van elke maand opgenomen door de terreinbeheerders. Vanuit het oogpunt van efficiëntie is dit tijdstip en vaak ook de waterpeilbuisroute in de uitvoering van het ammoniakmeetnet meegenomen. Tegenover de bereikbaarheid staat het risico op vandalisme, waardoor sommige natuurgebieden en lokaties afvallen. Ook is er tot dusver uit logistieke overwegingen gestreefd naar slechts één terreinbeheerder per natuurgebied, waardoor de mogelijkheden beperkt zijn tot die delen van het natuurgebied die in het bezit zijn van de betrokken terreinbeheerder.

Na deze technische en organisatorische criteria hebben de meetpunten antwoord te geven op de vragen waarom het uiteindelijk gaat. Zij dienen zo gekozen te zijn, dat zij een representatief, zo mogelijk gebiedsdekkend beeld voortbrengen. Belangrijk hierin is het verwachte patroon van ammoniakconcentraties. Deze verwachting is op basis van overheersende windrichting en de lokaties van plaatselijke bronnen (stallen) ter plekke vastgesteld of via modelberekeningen ingeschat. Modelberekeningen zijn belangrijker bij grotere gebieden, gevoelsmatige inschatting ter plekke speelt vooral een rol bij kleine gebieden omdat daar de resultaten van berekeningen vaak te grof of onzeker zijn.

De uiteindelijk gekozen lokaties zijn de resultante van al deze afwegingen. In de duinen is meestal gekozen voor een dwarsdoorsnede van zeereep naar landzijde met drie meetpunten en een eind verderop halverwege tussen zee en binnenland een vierde meetpunt (Figuur 5). Deze dwarsdoorsnede brengt het effect van zeewind op ammoniak, dat tot dusver onbekend

is, en de afstand tot bronnen in het binnenland in kaart. Het vierde meetpunt is ter controle van de representativiteit van de gekozen dwarsdoorsnede voor het gehele gebied. Vergelijkbare overwegingen spelen ook in de overige natuurgebieden, maar door de complexere situatie aldaar wisselt de onderlinge samenhang tussen de verschillende meetpunten sterk.



*Figuur 5. Meetlokaties in het duingebied Meyendel (4000 ha) ten noorden van Den Haag
De kleurschakering van groen (weinig) naar rood (veel) geeft de berekende hoeveelheid ammoniak weer*

3. De eerste resultaten van het meetnet

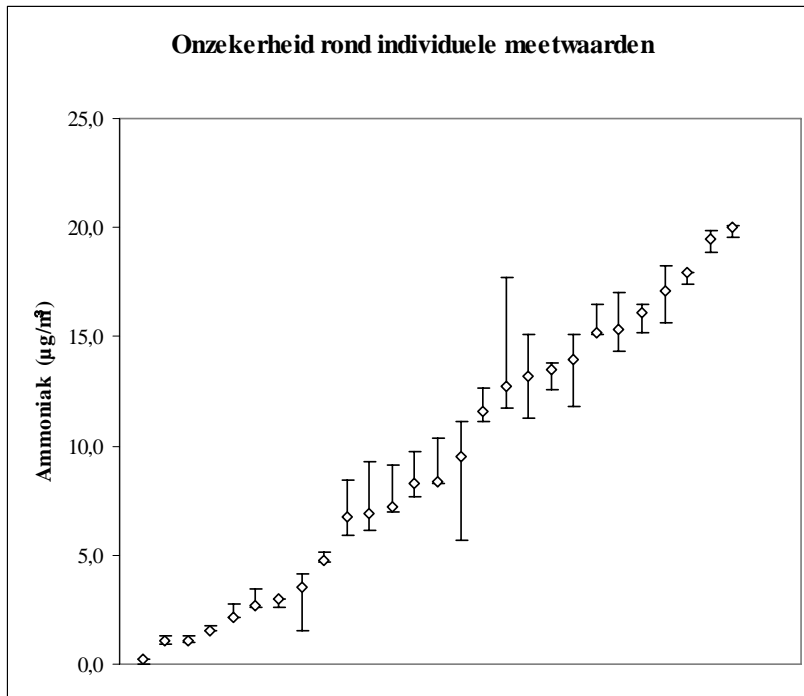
3.1 Algemene resultaten

De hier gepresenteerde metingen zijn het resultaat van een half jaar meten: van 28 februari tot 28 augustus 2005. Een dergelijke periode is nog vrij kort om tot gedetailleerde uitspraken te komen. De resultaten zijn alleen representatief voor het voorjaar en de zomer, over de situatie in herfst en winter kan nog geen uitspraak worden gedaan. Daarnaast kunnen de specifieke meteorologische omstandigheden uit deze periode, zoals windrichting, windsnelheid en regenval, de metingen systematisch doen afwijken van wat over een langere periode gemiddeld gemeten zou worden. Ook spelen toevalsfactoren, uitval van metingen door vandalisme, ongelukjes enzovoorts en de nauwkeurigheid van individuele metingen binnen deze korte periode een duidelijke rol.

De nauwkeurigheid van de meetmethode

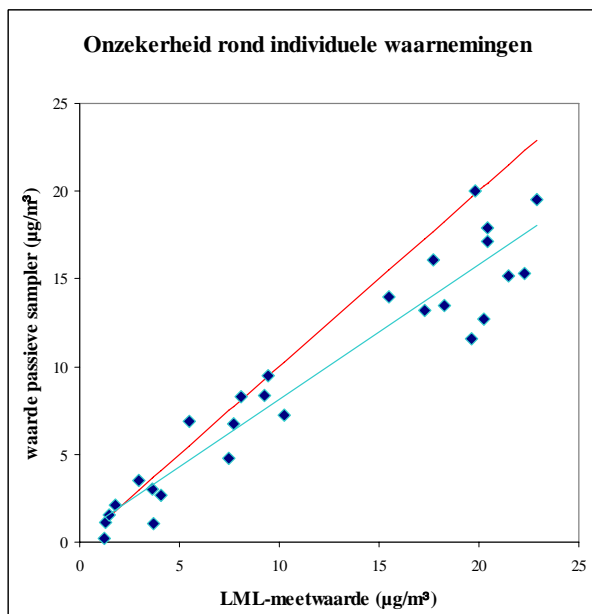
De betrouwbaarheid van de methode wordt vastgesteld op 5 lokaties waar het Landelijke Meetnet Luchtkwaliteit van het RIVM reeds jaren ammoniak (NH₃) meet. Het gaat om de volgende lokaties: Vreedepel (Peelgebied), De Zilk (Kennemerduinen), Zegveld (Groene Hart), Wekerom (Gelderse Vallei) en Valthermond (Drenthe). Deze zijn representatief voor de te verwachten totale spreiding in de gemeten waarden van het natuurmeetnet en daardoor geschikt voor de ijking ervan. Per lokatie worden vlakbij de aanzuigopening van de reguliere apparatuur maandelijks 3 passieve samplers naast elkaar opgehangen. In het ideale geval zouden zij drie keer tot dezelfde waarde als die van het LML leiden.

Figuur 6 geeft een indruk van de onderlinge spreiding in de gemeten waarden per drietal die op een gegeven lokatie gedurende een maand bijeen hebben gehangen. Idealiter zou elk drietal drie keer dezelfde waarde opleveren. In de meeste gevallen ligt de werkelijk gemeten laagste, middelste en hoogste waarde minder dan één µg/m³ uit elkaar. In enkele procenten van de gevallen zijn er afwijkingen tot enkele µg/m³. Gezien het feit dat er een halfjaar is gemeten met dus slechts 6 metingen per lokatie (of minder bij uitval), kan door sommige uitschieters het gemiddelde over de meetperiode tot ongeveer 1 µg/m³ afwijken. Zulke extreme uitschieters zijn wel goed herkenbaar, en deze afwijkingen moeten worden meegenomen in de beschouwing van de resultaten van het meetnet.



Figuur 6. De spreiding door toevalsonnauwkeurigheden per drietal metingen, gerangschikt naar oplopende concentratie

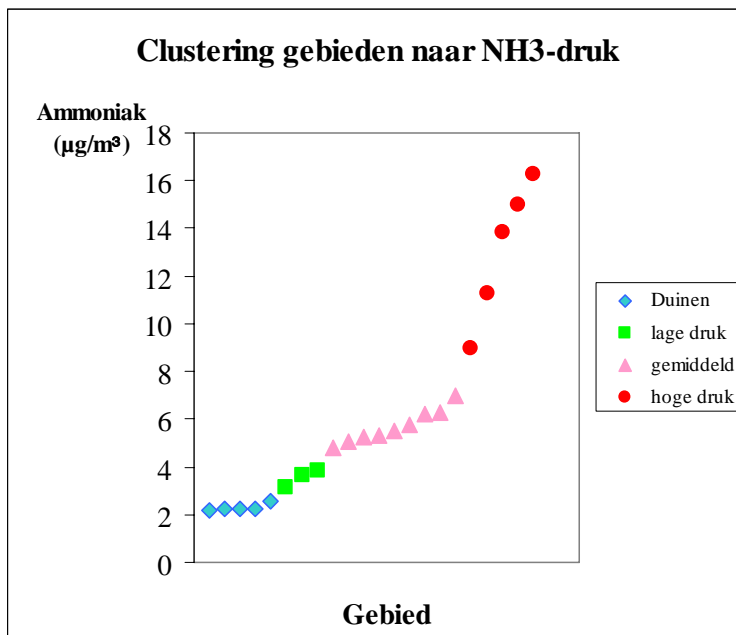
De passieve samplers vertonen wel een systematisch onderschatting van de concentratie bij vergelijking met de meetpunten uit het LML. In Figuur 7 zijn de middelste waarnemingen van elk drietal samplers uitgezet tegen de waarde van het betreffende LML-station. Omdat de LML-waarde geijkt en daarmee betrouwbaarder is dan de samplers, dienen de metingen voor deze onderschatting te worden gecorrigeerd. De gemeten waarde is ongeveer 78% van de LML-waarde, onafhankelijk van het concentratieniveau, en alle hier gepresenteerde waarden zijn voor deze onderschatting gecorrigeerd.



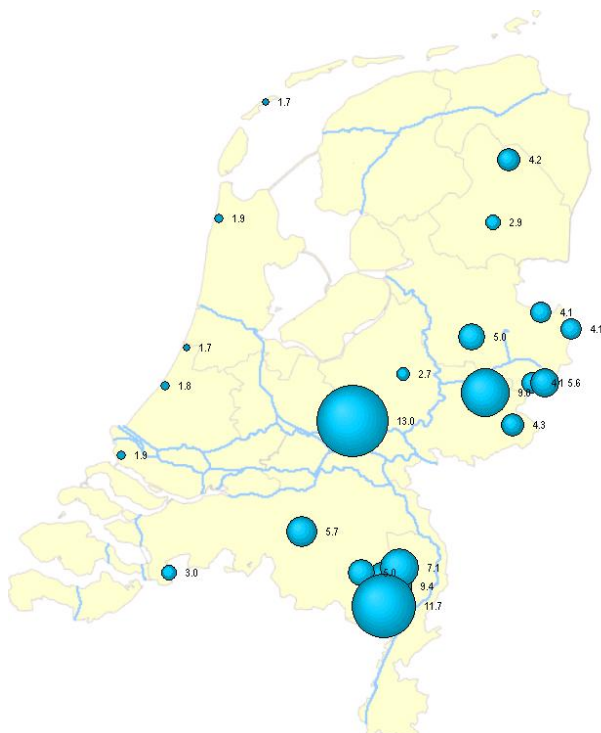
Figuur 7. De systematische afwijking van passieve samplers ten opzichte van het LML-meetnet

Algemene indruk

Per natuurgebied zijn de metingen over het afgelopen halfjaar gemiddeld, deze gemiddelde waarden zijn van laag naar hoog gerangschikt in Figuur 8. De spreiding van deze gebiedsgemiddelden loopt van 2 tot $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$, wat redelijk goed overeenkomt met de op basis van bestaande kennis verwachte spreiding over heel Nederland (1 tot $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Van Pul et al., 2004). Ook geografisch gezien is de variatie in de concentraties in overeenstemming met de verwachting (Figuur 9). De laagste concentraties vinden we langs de kust en de hoogste in het Brabants-Limburgse Peelgebied, de Gelderse Vallei en in mindere mate in de Achterhoek.

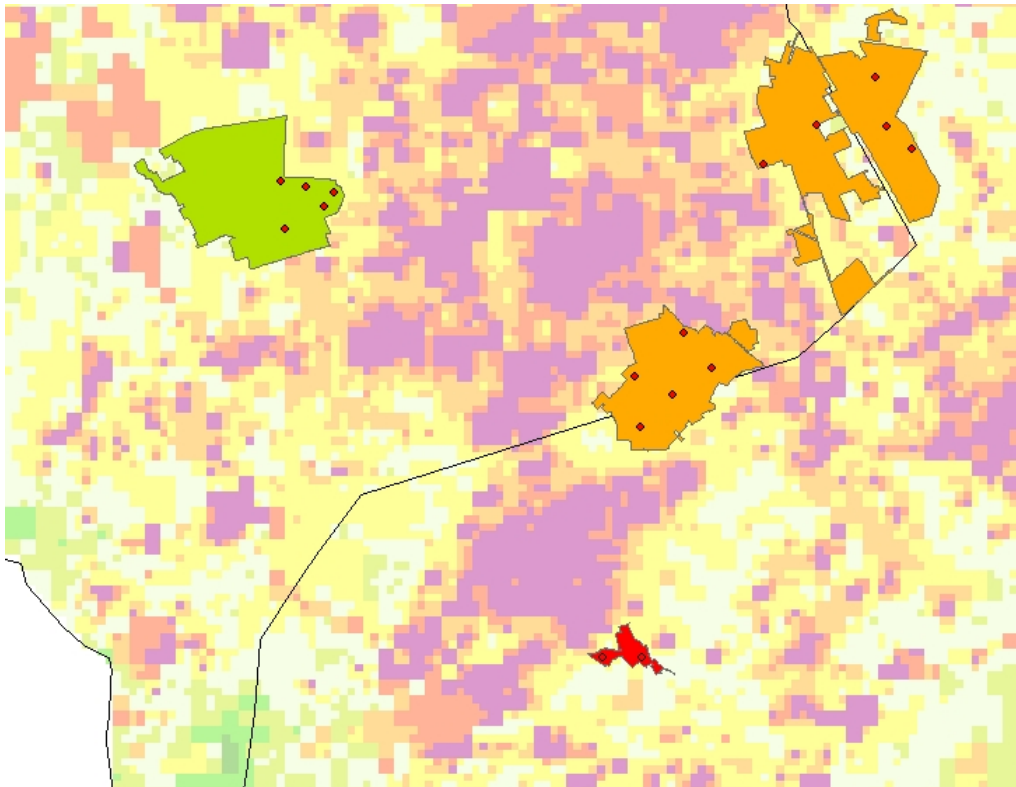


Figuur 8. Gebiedsgemiddelde concentraties, gesorteerd van laag naar hoog



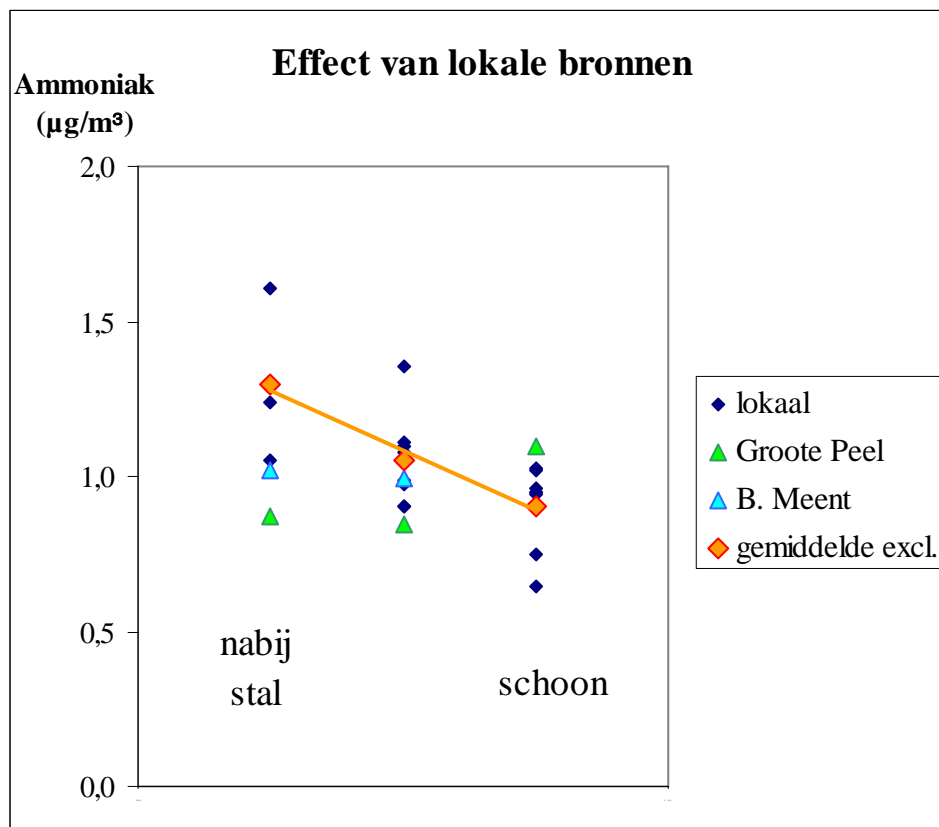
Figuur 9. De geografische verdeling van gebiedsgemiddelde concentraties (in $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Wanneer we de gebiedsgemiddelden meer in detail beschouwen, zijn de resultaten nog steeds in grote trekken in overeenstemming met de verwachting. Figuur 10 toont een uitsnede van het Peelgebied met vier voor het meetnet geselecteerde natuurgebieden, te weten de Strabrechtse Heide (links boven), de Mariapeel (rechts boven), de Groote Peel (midden) en het veel kleinere Sarsven (midden onder). Deze gebieden zijn, evenals in de eerdere figuren, weergegeven met de berekende lokale depositie als achtergrond. De laagste concentraties vinden we op de Strabrechtse Heide die is gesitueerd in een omgeving waar naar verhouding niet zoveel ammoniak wordt geëmitteerd. De qua grootte vergelijkbare Mariapeel en Groote Peel zijn ongunstiger gelegen, en daar zijn de concentraties dan ook hoger. De hoogste gebiedsgemiddelde concentratie vinden we echter in het Sarsven, dat door zijn geringe omvang veel kwetsbaarder is voor de hoge emissies die in de omgeving plaatsvinden.



*Figuur 10. Concentraties in de natuurterreinen in het Brabants-Limburgse Peelgebied
De kleurschakering van groen (weinig) naar rood(veel) geeft de berekende hoeveelheid ammoniak weer*

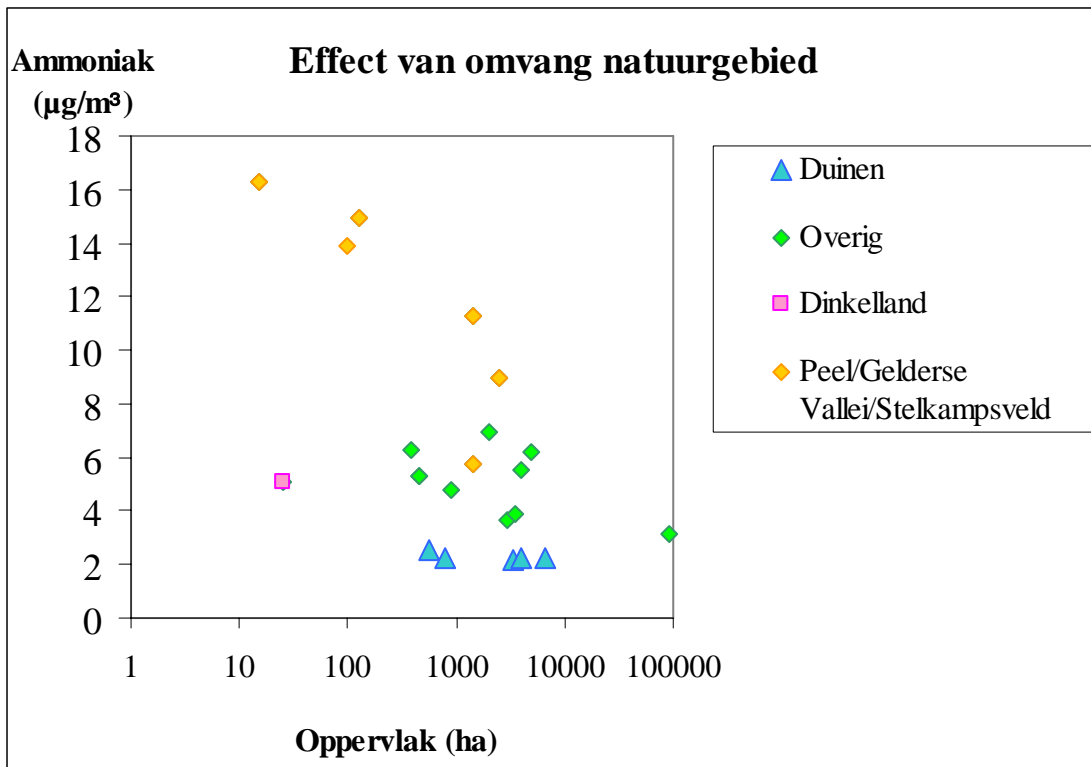
Figuur 11 laat zien in hoeverre de bij terreinbeheerders bekende bronnen, zoals stallen, de uiteindelijke metingen beïnvloeden. In deze figuur zijn de metingen uit die natuurgebieden meegenomen, waarbinnen een duidelijk onderscheid werd verwacht tussen schonere delen en plaatsen waar hogere concentraties verwacht werden. Per natuurgebied is het gemiddelde van de metingen in deze verschillende deelgebieden weergegeven. Meestal is er een duidelijke afname te zien vanuit de concentraties nabij stallen naar de schonere delen van de betrokken natuurgebieden. Uitzonderingen hierop vormen de Bennekomse Meent, het kleinste gebied met afstanden tussen de meetpunten van slechts enkele honderden meters waarbinnen nauwelijks variatie in de concentratie is terug te vinden, en de Groote Peel. Op het laatste gebied wordt nog teruggekomen.



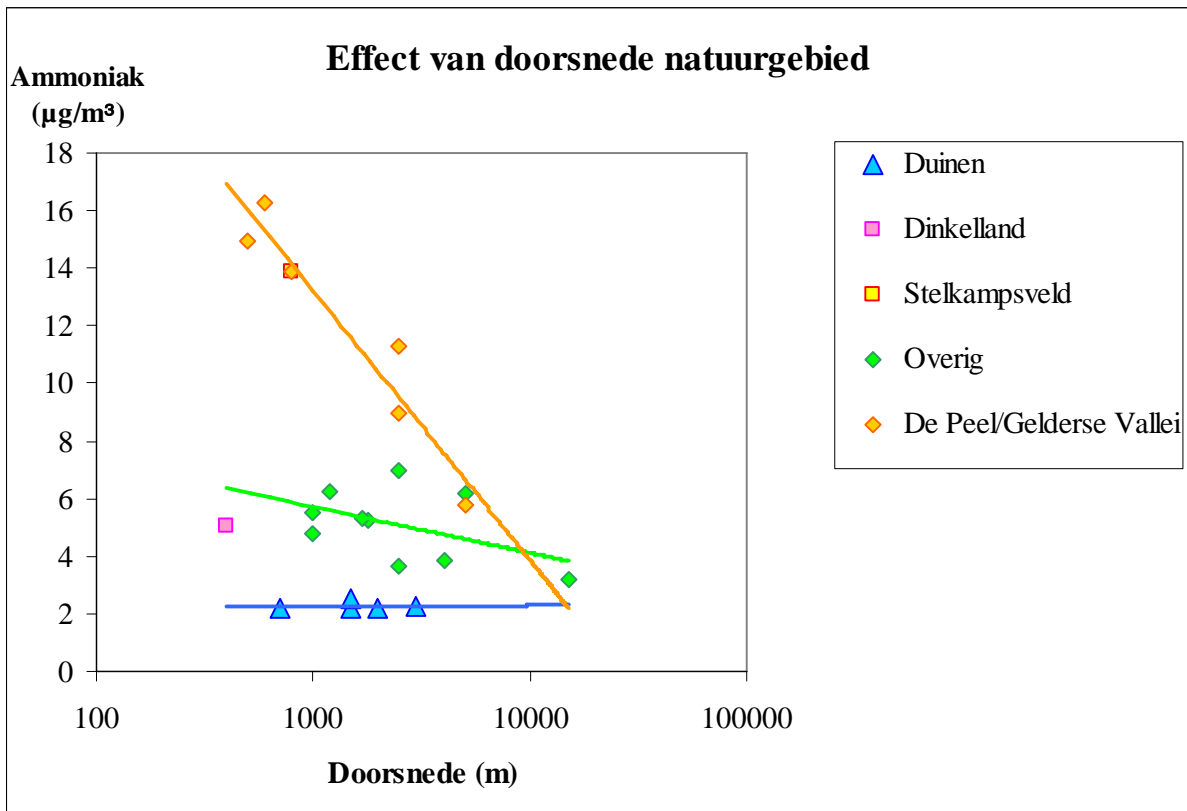
Figuur 11. Concentratieverschillen ten gevolge van de bij terreinbeheerders bekende lokale bronnen

3.2 Analyse van ruimtelijke variaties

Het oppervlak van het natuurgebied speelt een grote rol in de uiteindelijke concentratie, naast de omvang van de ammoniakemissies in de wijde omtrek. Onder het oppervlak wordt hier verstaan het aantal hectares van het totale natuurgebied, wat vrijwel altijd gelijk is aan het oppervlak van onder de Vogel- of Habistatrichtlijn gesteld gebied. Kleinere natuurgebieden ondervinden gemiddeld hogere concentraties dan de grotere en dat effect is het sterkst in een omgeving met hoge ammoniakemissies, zoals het Peelgebied en de Gelderse Vallei (Figuur 12). Dat kleine gebieden echter ook relatief schoon kunnen zijn, tonen de natuurgebiedjes Punthuizen en Stroothuizen (20 respectievelijk 30 ha), onderdeel van Dinkelland in Twente. Belangrijke factoren daar zijn de vrij schone omgeving met weinig intensieve agrarische activiteit en mogelijk ook de grote afwisseling van kleine natuurgebieden met stukjes agrarisch terrein. Opmerkelijk is de geringe variatie in concentratie binnen de duingebieden langs de kust. Modelberekeningen doen namelijk verwachten dat de concentraties in de zuidelijker duinen enkele malen hoger zouden zijn dan in het noorden, waar de afstand tot emissiegebieden groter is. Niet alleen de omvang van het gebied, maar ook de ligging aan de kust over het traject van Zeeland tot de Waddenzee lijkt weinig uit te maken.



Figuur 12. Effect van het oppervlakte natuur op de concentratie ammoniak

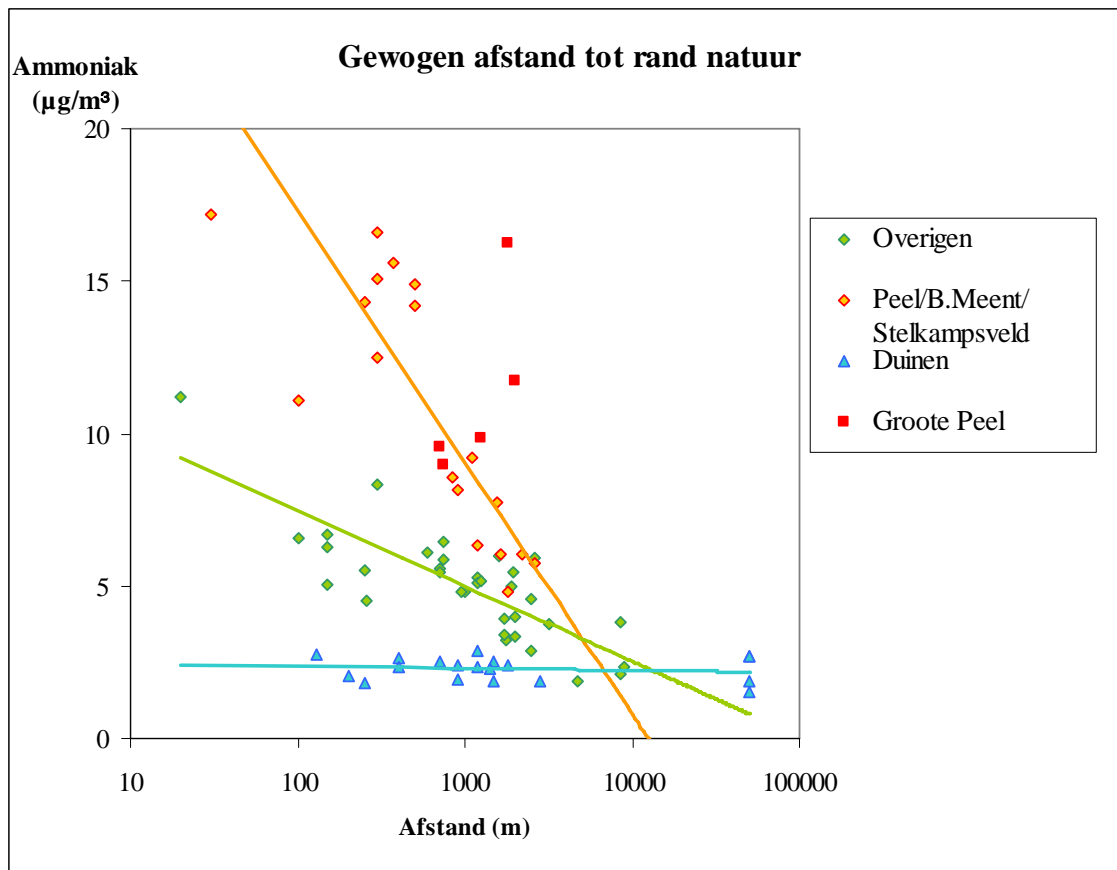


Figuur 13. Effect van de doorsnede van het natuurgebied op de concentratie ammoniak

Naast het oppervlak en de emissies in de omgeving, speelt ook de vorm van het gebied een rol. Naar verwachting zullen compacte, gesloten gebieden schoner zijn dan langgerekte of meer versnipperde gebieden omdat de afstand tot agrarisch gebied gemiddeld dan groter is. Een voorbeeld hiervan is het verschil tussen de Drentse Aa en het Dwingelderveld. Beide gebieden zijn vrijwel gelijk in aantal hectares, maar verschillen sterk in vorm (Figuur 4). Het resultaat daarvan is dat in het iets kleinere Dwingelderveld (3500 ha), dat in een omgeving ligt met wat hogere emissies, de concentratie toch duidelijk lager is ($3,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$) dan bij de Drentse Aa (4000 ha, $5,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Waarschijnlijk is dit verschil het gevolg van de meer open structuur van dit laatste gebied waardoor de afstanden tot agrarisch gebied een stuk kleiner zijn. Wanneer de gebiedsgemiddelde concentraties worden uitgezet tegen de doorsnede in plaats van het oppervlak van het natuurgebied, zien we dat het onderscheid tussen de meer en minder belaste gebieden iets scherper tot uitdrukking komt (Figuur 13). Zo heeft het Dwingelderveld een doorsnede van ongeveer 4 km, waar het gebied van de Drentse Aa gemiddeld een dwarsdoorsnede van ongeveer 1 km heeft en dus duidelijk gevoeliger zal zijn voor invloeden van buiten.

De belangrijkste drijvende krachten achter de ruimtelijke effecten zijn de hoeveelheid emissies in de wijdere omtrek en de afstand die de lucht door de natuur heeft afgelegd voor aankomst bij het meetpunt. Deze afstand is afhankelijk van de lokatie binnen het natuurgebied en de windrichting. Voor alle meetpunten is een indicatie van deze afstand afgeleid door twee afstanden tot de rand van de natuur te bepalen: de gemiddelde afstand in de zuidwesthelft (van zuidoost tot noordwest) en de gemiddelde afstand in de noordoosthelft. Gezien de overheersende windrichting wordt als gewogen maat het gemiddelde van beide secties gehanteerd tenzij de gemiddelde afstand in de zuidwesthelft kleiner is, dan wordt de zuidwesthelft aangehouden als gewogen afstand.

Met een gewogen afstand van minimaal enkele kilometers tot het agrarisch gebied is er weinig verschil tussen de concentraties van verschillende gebieden, maar op kortere afstanden zijn er drie groepen van meetlocaties te onderscheiden (Figuur 14). Allereerst is er de groep van metingen in gebieden met hoge emissies (de Peel, de Bennekomse Meent in de Gelderse Vallei en Stelkampsveld in de Achterhoek). Hoe korter de afstand tot de buitenrand van de natuur des te hoger de concentratie. De tweede groep is die van de duinen, waar de afstand tot de rand van agrarisch gebied vrijwel geen invloed heeft op de concentraties. Ook de ligging ten opzichte van de grote brongebieden speelt geen merkbare rol in de hoogte van de concentraties aan zee. Zelfs Vlieland, dat met enkele tientallen kilometers afstand van agrarische gebieden geheel rechts in de figuur is weergegeven, kent dezelfde concentraties als alle andere duingebieden in Noord- en Zuid-Holland. De derde groep wordt gevormd door de overige gebieden, die een minder sterke concentratietoename met kortere afstand laten zien dan de metingen in gebieden met hoge emissies. Evenals in Figuur 11 wijken ook hier de metingen in de Groote Peel af van de verwachting: bij een grotere afstand tot de emissies, dieper het gebied in dus, neemt de concentratie flink toe in plaats van een afname ervan.

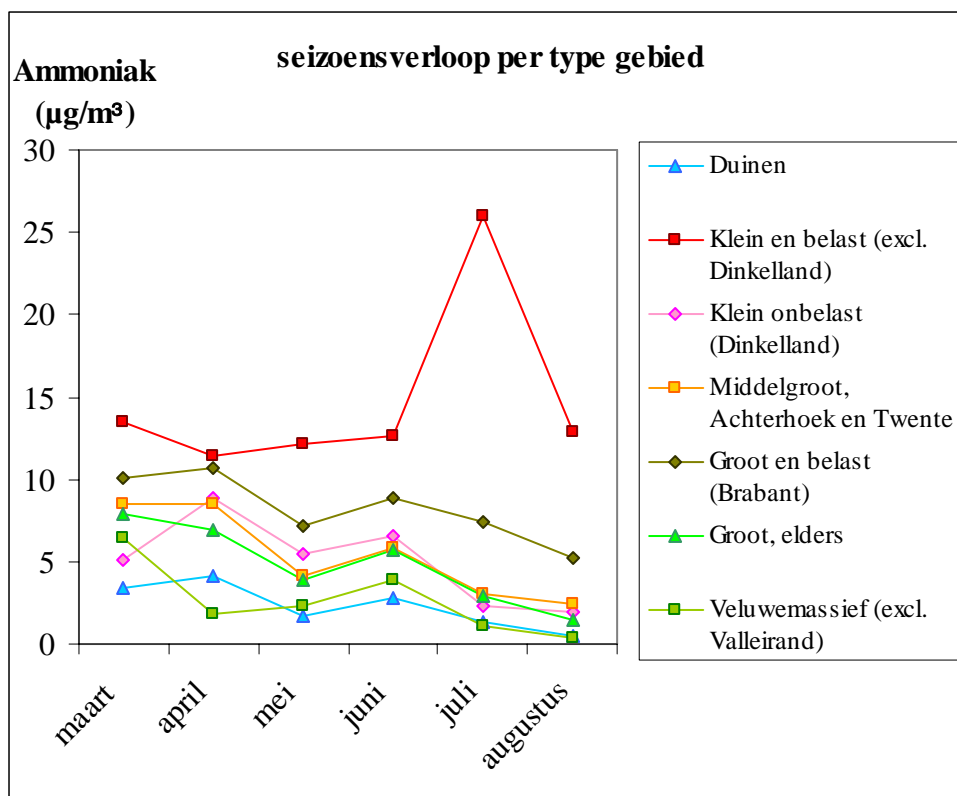


Figuur 14. Invloed van de (gewogen) afstand tot de rand van de natuur op de gemeten concentratie

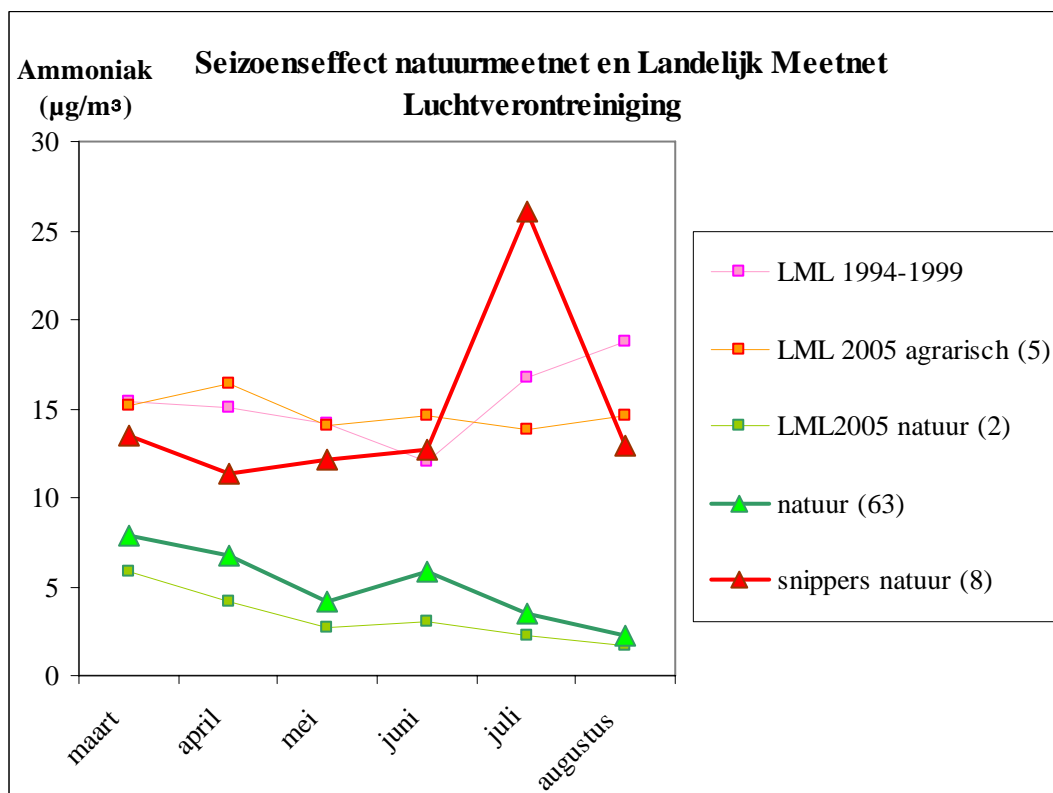
3.3 Seizoensinvloeden

Het gemeten seizoensverloop van maart tot augustus 2005 levert in bijna alle natuurgebieden hetzelfde beeld op (Figuur 15). In het vroege voorjaar zijn de concentraties het hoogst, en verder het jaar in nemen de concentraties vrij monotoon af. Een uitzondering hierop vormt de maand mei, deze vertoont in bijna alle gebieden een dip naar beneden ten opzichte van de concentraties in de omliggende maanden. Opmerkelijk is het afwijkende beeld van drie van de vier kleinste gebieden. Deze drie gebieden, Sarsven, Bennekomse Meent en Stelkampsveld, gelegen in de drie meest belaste gebieden van Nederland (de Peel, Gelderse Vallei en de Achterhoek), vertonen een vrij constante concentratie met alle drie een hoge piek in juli.

Deze metingen kunnen vergeleken worden met de reguliere meetreeksen van het LML. Deze zijn afkomstig van vijf lokaties in agrarisch gebied en twee andere in natuurlijk gebied (Huijbergen en De Zilk, de LML-lokatie Eibergen is vanwege ongunstige meetcondities buiten beschouwing gelaten). De twee LML-lokaties in de natuur vertonen over dezelfde periode hetzelfde beeld als het gemiddelde van alle natuurgebieden, de kleinste gebieden uitgezonderd (Figuur 16). Zowel de hoogte van de concentratie als het verloop over de maanden heen komt in beide reeksen goed overeen. Het afwijkende patroon van de kleinste natuurgebieden lijkt veel op dat van het agrarisch gebied. De concentraties zijn vrijwel even hoog en ook is het verloop over de maanden vlakker met, gemiddeld over de jaren heen, een toename in de zomer.



Figuur 15. Seizoensinvloeden in de gemeten concentraties



Figuur 16. Seizoensinvloeden, gemeten met passieve samplers en in het LML

Tussen haakjes staan het aantal meetlocaties gegeven.

De vergelijking met de metingen uit het LML wekt de indruk dat in heel kleine natuurgebieden de concentraties zich gedragen als agrarisch gebied wanneer de omgeving verhoogde emissies heeft. Grotere gebieden tonen een duidelijk afwijkend 'natuurlijk' seizoensverloop, ook in gebieden met hoge belasting zoals de Peel. Het kan zijn dat dit afwijkende seizoensverloop het gevolg is van filtering door depositie in natuurgebieden, maar mogelijk draagt ook een sterke opmenging naar hogere luchtlagen boven natuurgebieden bij aan het verschil. Op zich is dit resultaat volgens verwachting, maar de winst van het meetnet is dat deze invloed van de omvang nu scherper kan worden vastgesteld. De scheiding tussen deze twee groepen gebieden lijkt te liggen bij een omvang van enkele honderden hectaren. De kleine, zich agrarisch gedragende gebieden hebben een omvang van 15-125 ha, alle andere natuurgebieden hebben een omvang vanaf 400 ha. Een uitzondering hierop zijn de lokaties Punthuizen en Stroothuizen in Dinkelland (in Twente nabij de Duitse grens). Deze gedragen zich net zo als de grotere natuurgebieden, hoewel ook deze natuurterreinen zeer klein zijn (ongeveer 20 ha). De emissies in die omgeving zijn duidelijk lager, maar mogelijk speelt ook het Twentse coulissenlandschap een rol met haar kleinschalige afwisseling van stukken bos en agrarisch gebied met weinig intensieve veeteelt. Mogelijk brengt dit landschappelijke geheel een seizoensverloop in ammoniakconcentraties voort dat meer lijkt op het natuurlijke verloop dan het agrarische beeld, dit vraagt echter om vervolgonderzoek. Ook is het gemeten seizoensverloop beperkt tot de periode maart-augustus, doormeten over een langere periode is noodzakelijk om hier beter zicht op te krijgen.

3.4 Invloed van natuurlijke factoren

Hoewel het in alle gevallen om kwetsbare natuur op zandgronden gaat, zijn er grote verschillen tussen de geselecteerde gebieden. Het meetnet omvat de duinen langs de zee (Figuur 17), grote droge heidevelden (Figuur 18) maar ook vochtige heide en moerasachtige gebieden (Figuur 19) en vochtige kleinschalige landschappen met voormalige agrarische bestemming (Figuur 20). Enkele waargenomen effecten wekken de indruk dat natuurlijke factoren, vooral het droogvallen van wateroppervlak, ook invloed hebben op de gemeten concentraties.

De duinen vormen de meest homogene subgroep binnen het meetnet met een heel eigen karakteristiek door de aanwezigheid van zeewind. De dwarsdoorsneden door de duingebieden tonen lagere concentraties aan de zeezijde vergeleken met meer landinwaarts (Figuur 21). Duidelijke effecten van zeewind of van zeezoutaërosol in de lucht op de meting zijn niet aangetoond. Wel wordt op het strand van de Kennemerduinen gemiddeld ongeveer $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ hogere concentraties gemeten ten opzichte van enkele honderden meters landinwaarts, dit is de enige meetlocatie op een afstand van slechts enkele tientallen meters tot de branding. Gezien de zeer hoge concentraties aërosol op het strand, mag verwacht worden dat de metingen elders in de duinen niet wezenlijk hierdoor zullen zijn beïnvloed. De aanwezigheid van zeezoutaërosol zal zeker niet tot lagere meetwaarden aanleiding geven, zodat de lagere concentratie aan de zeezijde die doorgaans wordt gemeten, waarschijnlijk reëel is.



Figuur 17. Voorne's Duin



Figuur 18. Stelkampsveld

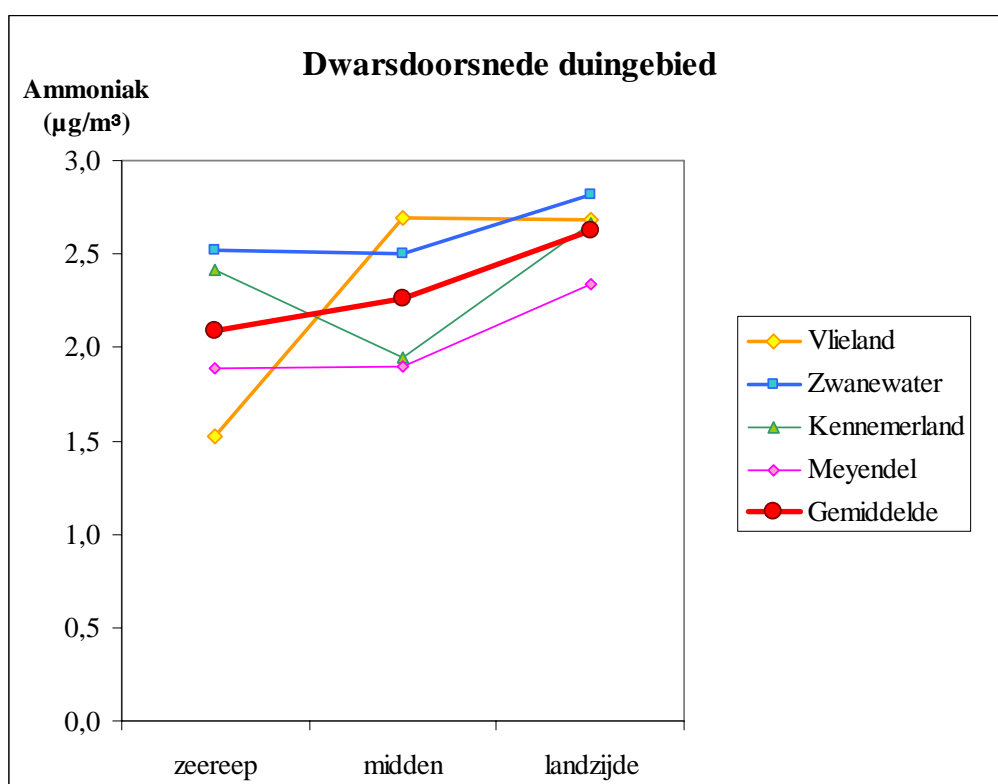


Figuur 19. Sallandse Heuvelrug



Figuur 20. Drentse Aa

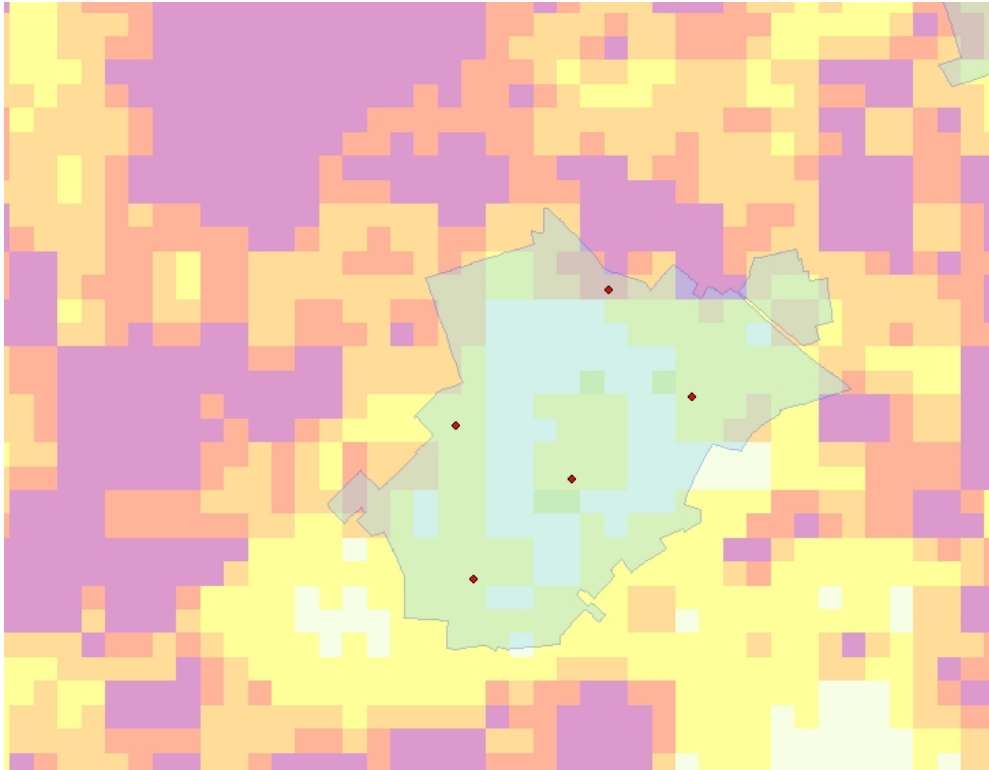
Een opmerkelijke concentratiegradiënt is zichtbaar in de metingen afkomstig uit Vlieland. In het midden en aan de wadzijde is de concentratie bijna twee keer zo hoog als aan de zeezijde. Het waargenomen patroon wordt wel beïnvloed door één enkele maandgemiddelde waarde in het middelste meetpunt, zonder deze ene maand is er sprake van een continue stijging van zee- naar wadzijde. Dit patroon is in het voorjaar sterk aanwezig maar verdwijnt in de loop van de zomer. De uitgezette dwarsdoorsnede over het eiland heeft een lengte van slechts ongeveer 1300 meter. Bijna een verdubbeling van de concentratie over deze relatief korte afstand is alleen mogelijk wanneer een flinke bron in de directe nabijheid aanwezig is. Bronnen van het vasteland of van andere eilanden zijn veel te ver verwijderd om dit patroon te kunnen veroorzaken. Nader onderzoek ter plaatse zal moeten uitmaken of deze gradiënt het gevolg is van bronnen op Vlieland zelf of van elders, bijvoorbeeld de Waddenzee, en of het hier waargenomen seizoensverloop zich het volgende jaar herhaalt.



Figuur 21. Ammoniakconcentraties in dwarsdoorsneden door duingebieden

Naast Vlieland is er ook een onverwacht ruimtelijk patroon waargenomen in de Groote Peel. Het plaatselijke meetnet bestaat uit twee lokaties in het zuidwesten, waar de meeste lucht uit de agrarische omgeving komt binnenwaaien, een lokatie in het noorden nabij een groot stallencomplex waar de hoogste concentratie wordt verwacht, en twee lokaties in het noordoosten en het centrum waar de laagste concentraties worden verwacht (Figuur 22). De metingen zijn hier volstrekt in tegenspraak met de verwachting. De drie lokaties in het zuidwesten en noorden tonen nauwelijks verschil met metingen tussen de 9 en $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. In het noordoosten werd echter een gemiddelde concentratie van bijna $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ waargenomen en in het centrum van de Groote Peel zelfs ruim $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$, vooral door hogere concentraties in april en mei en een zeer hoge piek in juli. In de drie andere maanden is de concentratie op deze twee lokaties vergelijkbaar met de overige. Afgezien van de piek in juli lijkt dit patroon

op wat op Vlieland werd waargenomen. Evenals op Vlieland zal ook hier nader onderzoek ter plaatse moeten uitmaken wat de oorzaak van dit onverwachte ruimtelijke patroon is. Wellicht spelen drassige omstandigheden door gedeeltelijk droogvallende vennen en omzettingen in de bodem hierbij een rol, maar daar is op dit moment nog geen uitsluitsel over te geven.



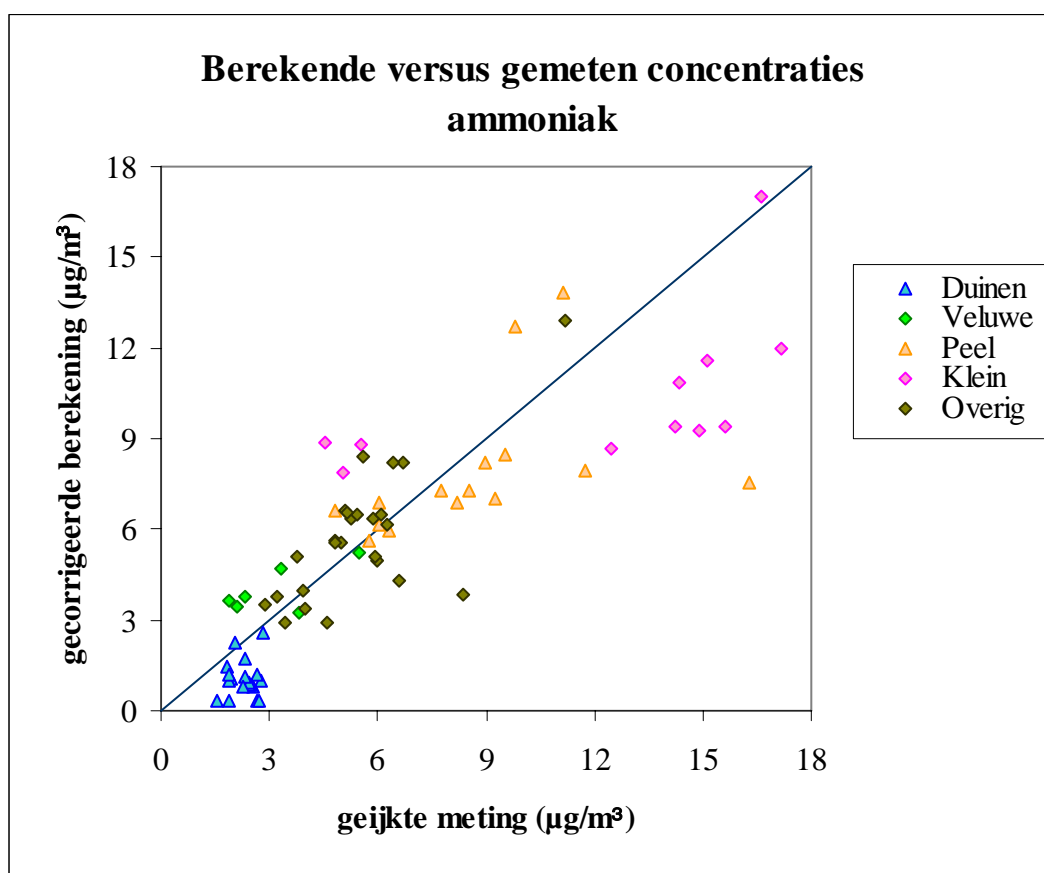
*Figuur 22. De meetlokaties in de Groote Peel
De kleurschakering van groen (weinig) naar rood(veel) geeft de berekende hoeveelheid ammoniak weer*

3.5 Vergelijking met modelberekeningen

De vraag is nu in hoeverre deze metingen overeenkomen met het beeld dat tot dusver via modelberekeningen werd vastgesteld. Over dezelfde periode als deze reeks van metingen, de maanden maart tot en met augustus 2005, is de concentratie van ammoniak berekend met het OPS-model. Deze concentraties zijn berekend voor de exacte lokaties waar de meetpunten zich bevinden, en zij zijn gebaseerd op de meteorologische omstandigheden die in deze maanden zijn opgetreden. De emissies hebben betrekking op de situatie van enkele jaren geleden, deze zijn met een nauwkeurigheid van 500x500 meter meegenomen in de berekeningen. Dit betekent dat er afwijkingen kunnen optreden binnen afstanden kleiner dan enkele honderden meters. Om de metingen en berekeningen goed met elkaar te kunnen vergelijken, zijn zij beide 'geijkt' op de reguliere meetreeksen uit het LML. Voor de metingen is deze ijking besproken onder 3.1, bij de modelberekeningen staat het verschil met de LML-metingen bekend als het zogenaamde ammoniak-gat.

In grote lijnen komen berekeningen en metingen goed met elkaar overeen (Figuur 23), de door het model verklaarde variantie bedraagt 84%. Op een specifieke lokatie kan er een duidelijke afwijking optreden, maar deze blijft in alle gevallen binnen een factor 2 ten opzichte van de meetwaarde. Er zijn wel enkele systematische afwijkingen tussen de

modelberekeningen en de metingen. Om te beginnen wordt de concentratie in de duinen systematisch onderschat. Het model berekent een spreiding van 0,3 (Vlieland) tot 1,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, een enkele uitschieter uitgezonderd, waar de metingen vrijwel alle binnen de 2 tot 3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ liggen. Afgezien van deze systematische afwijking is de concentratie over de gehele Nederlandse kustlijn ook opmerkelijk constant. Op dit moment is nog onduidelijk wat de oorzaken hiervan zijn. Een verstoring van de metingen door zeezoutaërosol lijkt niet het geval te zijn, gezien de overwegend lagere concentraties aan de zeezijde. De mogelijkheid dat de zee zelf als bron van ammoniak optreedt en zo over de gehele kustlijn een constante, hoger dan verwachte concentratie veroorzaakt, is vooralsnog erg hypothetisch van karakter. Men kan zich ook afvragen of de lucht boven zee componenten bevat die de meting verstoren, hoewel op dit moment alleen van ammoniumverbindingen bekend is dat zij daartoe in staat zijn.



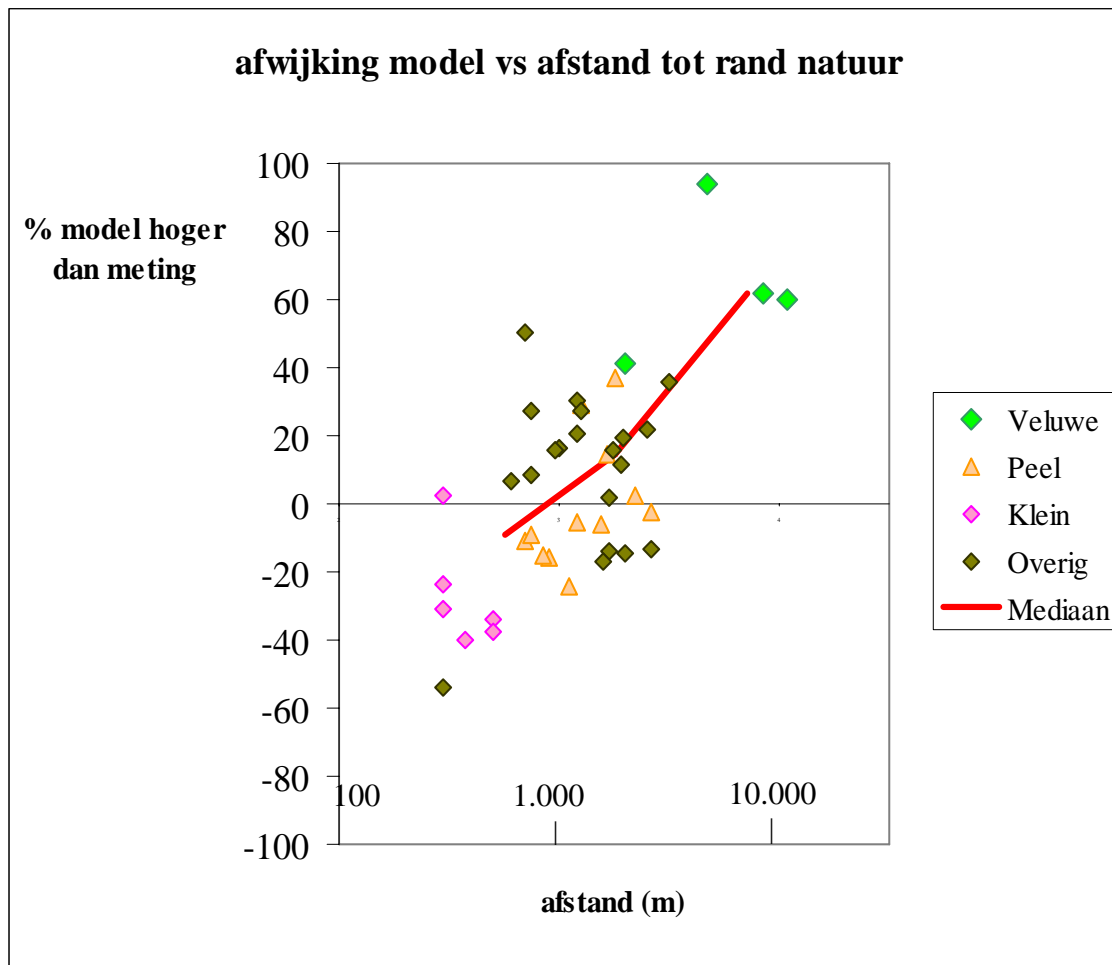
Figuur 23. Vergelijking van berekende en gemeten concentraties ammoniak

Een tweede systematische afwijking die herkenbaar lijkt, betreft de omvang van het natuurgebied. De gemeten concentraties zijn in vrijwel alle kleine natuurgebieden duidelijk hoger dan de modelberekeningen. De paar uitzonderingen op deze regel, waar de meting lager is dan de berekening, zijn afkomstig uit Punthuizen en Stroothuizen. Deze afwijking is deels het gevolg van een onnauwkeurigheid in het emissiebestand, en in het algemeen zijn hier de afstanden tot de rand van de natuur zo klein dat de rekenstructuur (gebaseerd op 500x500 m emissiecellen) kunstmatige verstoringen kan geven. In Punthuizen ligt de meetlocatie vrijwel in het centrum van een rekencel met emissie, deze lokatie vertoont dan ook de grootste afwijking tussen model en meting. Ook lijkt een door plaatselijke

terreinkenmerken verhoogde lokale depositie een rol te spelen. De overige kleine natuurgebieden in het meetnet tonen echter gemeten concentraties die hoger zijn dan berekend. Binnen de Veluwe, het grootste natuurgebied, zijn de berekende concentraties uiteraard lager dan in de kleine gebieden omdat de afstand tot bronnen dan groter wordt, maar de gemeten concentraties zijn daar nog lager dan verwacht, vooral voor de meetpunten die verder verwijderd zijn van de rand van de Gelderse Vallei. Het geheel wekt de indruk dat de concentraties vanaf de rand de natuur in sterker afnemen dan de modelberekeningen aangeven.

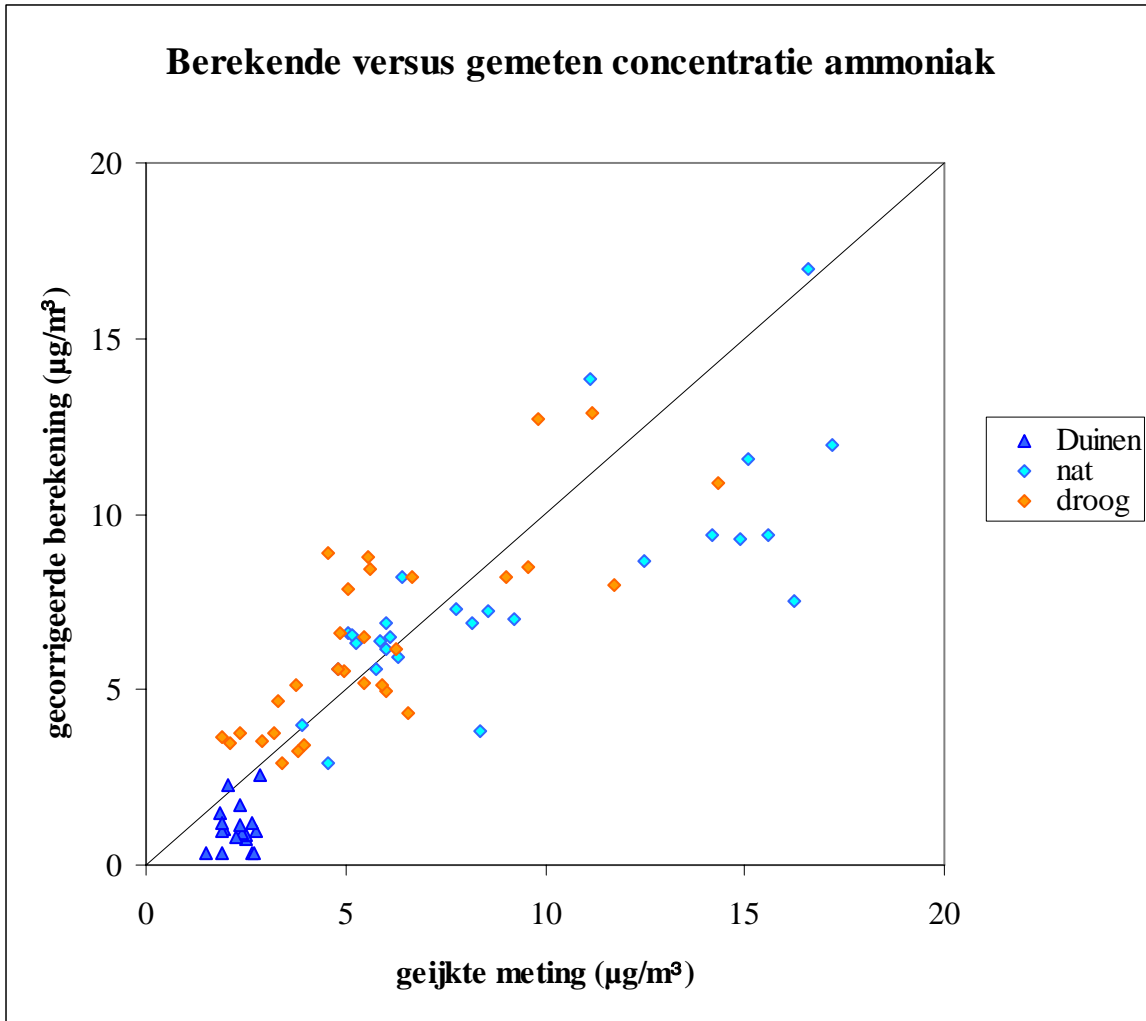
Deze indruk is getoetst door de afwijking tussen model en meting af te zetten tegen de gewogen afstand van het meetpunt tot de rand van het natuurgebied. Ook dan is een toenemende overschatting van het model dieper de natuur in zichtbaar (Figuur 24). In deze figuur zijn enkele meetpunten weggelaten: de duinen gezien de afwijkende fenomenologie aldaar, alle meetpunten met een afstand tot de rand van minder dan 300 meter omdat dan een rekentechnische onzekerheid wordt geïntroduceerd vanuit het emissiebestand, en enkele metingen waarvan duidelijk is dat zij gedomineerd worden door andere factoren, zoals die in de Grootte Peel.

Onbekend is welke oorzaken er zijn voor de ogenschijnlijk toenemende overschatting van het model dieper de natuur in. Mogelijk is de depositie, en daarmee de filterende werking van de natuur, hoger dan verwacht, maar ook is het niet uit te sluiten dat door verhoogde terreinruwheid de uitwisseling met hoge (schonere) luchtlagen boven natuurgebieden sterker zou kunnen zijn dan het model veronderstelt. Voorzichtigheid is hier echter op zijn plaats, want ook andere factoren kunnen deze ogenschijnlijke overschatting veroorzaken, waarvan hierna een voorbeeld zal worden gegeven. Daarnaast geeft Figuur 24 ook aan dat de afwijkingen van het model ten opzichte van de meting hooguit een factor 2 bedragen, en doorgaans veel minder dan dat. Ook de meetpunten die niet in deze figuur zijn meegenomen wijken niet meer dan een factor 2 af. De waargenomen sterke afname van concentraties dieper de natuur in toont dat zonering rond de natuur, waardoor de afstand tot bronnen groter wordt, zin heeft om de belasting van de natuur door ammoniak te verminderen.



Figuur 24. De afwijking van modelberekeningen ten opzichte van metingen als functie van de gewogen afstand tot de rand van de natuur

Zoals gezegd zijn er mogelijk nog andere factoren die systematische verschuivingen in Figuur 23 veroorzaken. Een voorbeeld hiervan is de mogelijke invloed van de drassigheid van het natuurgebied, wat wellicht in de Grote Peel en het Waddengebied tot verhoogde concentraties heeft geleid. Alle meetlocaties zijn hiertoe onderscheiden in 'natte' en 'droge' lokaties, dit op basis van visuele inspectie van de ter plekke gemaakte foto's op het soort vegetatie en de aanwezigheid van plassen. Figuur 25 wekt de indruk dat de gemeten concentraties in natte gebieden wat verhoogd zijn ten opzichte van de modelberekening, dit lijkt niet het geval te zijn voor de droge gebieden.



Figuur 25. Berekende en gemeten concentraties ammoniak in droge en natte gebieden

4. Voorlopige conclusies

Gezien de korte periode waarin gemeten is, zijn deze conclusies nog sterk indicatief van karakter.

1) Algemene werking meetnet

Van een half jaar zijn nu metingen binnen. De organisatie van het meetnet heeft goed gelopen. Door de samenwerking tussen terreinbeheerders, RIVM en MNP is op een relatief goedkope manier veel informatie verzameld. De waarnemingen zijn betrouwbaar en zij bieden mogelijkheden om de onderzoeksvragen te analyseren.

2) Relatie met MNP-uitspraken

De metingen vertonen over het algemeen een redelijk goede overeenstemming met modelberekeningen. Hoge concentraties worden gemeten in gebieden als de Peel en de Gelderse Vallei en lage concentraties in de duinen en het noorden van Nederland. Uitspraken van onder andere het MNP, RIVM en TNO over ruimtelijke variatie tussen regio's en binnen natuurgebieden blijken valide, zo neemt de concentratie duidelijk af met de afstand tot brongebieden.

3) Scherpere concentratiegradiënt in de natuur

Hoewel het algemene patroon aardig voorspeld wordt met het model, lijken de absolute concentraties aan de rand van natuurgebieden en in kleine natuurgebieden vaak hoger te zijn dan verwacht, terwijl dieper de natuur in de concentraties juist lager zijn dan verwacht. De verschillen tussen model en meting kunnen oplopen tot een factor 2, met name in heel kleine en grote natuurgebieden. Deze scherpere concentratiegradiënt kan echter deels veroorzaakt zijn door afwijkende plaatselijke omstandigheden, zoals nattere omstandigheden in kleinere natuurgebieden (zie ook 5).

4) Effect gebiedsgrootte

Uit het seizoensverloop van dit half jaar blijkt dat de ammoniakconcentratie in kleine natuurgebieden (< 150 hectare) zich hetzelfde heeft gedragen als in agrarisch gebied, kenmerkend is de toename in de zomer. In tegenstelling daarmee nam in grotere natuurgebieden (> 400 hectare) de ammoniakconcentratie juist af gedurende het zomerseizoen. Mogelijk verlopen processen zoals de interne buffering in grotere natuurgebieden anders dan in kleine gebieden (zie ook 3), verder onderzoek is nodig om hier meer duidelijkheid in te krijgen.

5) Lokale bronnen in de natuur?

Hoewel doorgaans de metingen en modeluitspraken goed met elkaar in overeenstemming zijn, vallen wel lokale verschillen op. Metingen in de duinen, vooral nabij de Waddenzee en midden in de Groote Peel, laten tot dusver hogere ammoniakconcentraties zien dan verwacht met het rekenmodel, waarbij drassige omstandigheden een rol lijken te spelen. Mogelijk is sprake van (re-)emissies van ammoniak. Onduidelijk is of deze verhoging in de komende metingen aanwezig blijft. Dit vraagt om nader onderzoek naar mogelijke processen of emissiebronnen die nu niet in de modellen zijn opgenomen.

5. Aanbevelingen voor continuering en uitbreiding in 2006

Voorgesteld wordt om het meetnet op dezelfde basis te continueren, zij het met enkele aanpassingen in meetlocaties. Het draagvlak hiervoor is groot bij vrijwel alle betrokken terreinbeheerders, die een belangrijk deel van het uitvoerende werk verrichten. Continuering betekent dat de conclusies krachtiger worden omdat toevallige meteorologische fluctuaties dan minder invloed hebben. Ook zijn er dan meer validatiemogelijkheden, vooral bij seizoengerelateerde effecten. Het lijkt zinvol om de inmiddels opgedane kennis te gebruiken voor enkele beperkte aanpassingen van de meetstrategie. De voorgestelde veranderingen zijn:

A) Effect gebiedsgrootte

De set van zeer kleine natuurgebieden is beperkt. Het omvat slechts vier natuurgebiedjes en de conclusies zijn daardoor gevoelig voor toevalsfactoren. Uitbreiding met vijf extra kleine gebiedjes ofwel tien meetpunten is zinvol. Hiermee wordt beter inzicht verkregen in de minimale omvang die natuurgebieden nodig hebben om op enigszins natuurlijke wijze te kunnen fungeren.

B) Drassige gebieden

Extra metingen rond de Waddenzee (één of twee extra gebieden, tien meetpunten) en in de Groote Peel (4 meetpunten) zouden meer inzicht kunnen verschaffen in de mogelijkheid dat daar emissies plaatsvinden.

C) Afwijkende concentratiegradiënt

Om het verschil tussen de modelberekeningen en de metingen beter te analyseren, is het zinvol om in enkele gebieden vanaf de rand een complete dwarsdoorsnede door te meten. Het meest effectief is om het bestaande meetnet hiertoe in drie gebieden uit te breiden, namelijk de Strabrechtse Heide (het Peel-gebied), de Veluwe (invloed Gelderse Vallei) en het Dwingelderveld (Drenthe). Dit kan belangrijke input genereren voor eventuele toekomstige aanpassingen van het OPS-model en daarmee wezenlijke invloed hebben op toekomstige berekeningen door onder andere MNP en RIVM. In totaal betekent dit tien meetpunten extra.

Naast deze aanbevelingen voor het meetnet, is het zinvol om de modelberekeningen te verbeteren. De emissiegegevens zijn beschikbaar op een ruimtelijke schaal van 500x500 meter. Vooral voor de kleinere natuurgebieden en de lokaties aan de rand van de natuur zijn gedetailleerder emissiegegevens wenselijk. Verder kan het zinvol zijn om aandacht te besteden aan de benaderingswijze waarmee het OPS-model concentraties en deposities berekent.

6. Nawoord

Ongeveer gelijktijdig met het uitbrengen van dit rapport is besloten om het meetnet een tweede jaar te laten functioneren en de aanbevolen uitbreidingen over te nemen. Het meetnet is nu uitgebreid van 76 naar 116 lokaties en omvat nu 29 in plaats van 22 natuurgebieden.

Als extra kleine gebieden zijn opgenomen De Borkeld, het Boetelerveld, het Wooldse Veen, Boschhuizerbergen en het Needse Achterveld. Dwarsdoorsneden zijn gerealiseerd door intensivering in de Veluwe, het Dwingelderveld, de Sallandse Heuvelrug en de Strabrechtse Heide. Voor de drassige situaties zijn er extra lokaties opgenomen op Vlieland en in de Groote Peel en zijn twee dwarsdoorsneden op de Boschplaat (Terschelling) toegevoegd.

Naast deze effectuering van de hiervoor beschreven aanbevelingen zijn er ook twee lokaties opgenomen binnen het enige zandige natuurgebied van Zuid-Limburg; de Brunssumerheide. Door de verwijderde ligging van Zuid-Limburg en de omringing door het buitenland is het kennisniveau van de ammoniakconcentraties daar onzekerder dan elders in Nederland, wat met deze uitbreiding wordt ondervangen. Verder zijn er extra lokaties opgenomen bij de A50 (Rozendaalse Heide) en de A1 (De Borkeld). Daar wordt met drie meetpunten vanaf de vangrail de natuur in de gradiënt gemeten ten gevolge van ammoniakemissies door het verkeer (een bijverschijnsel van de driewegkatalysator).

Literatuur

Jaarsveld J.A. van (1995) Modelling the long-term atmospheric behaviour of pollutants on various spatial scales. PhD thesis Utrecht University.

Pul, W.A.J. van, H. van Jaarsveld, T. vd Meulen en G. Velders, 2004. Ammonia concentrations in the Netherlands: spatially detailed measurements and model calculations. *Atmospheric Environment* 38: 4045-4055.

Thijsse, Th.R., J.H. Duyzer, H.L.M. Verhagen, G.P. Wyers, A. Wayers en J.J. Möls, 1998. Measurement of ambient ammonia with diffusion tube samplers. *Atmospheric Environment* 32: 333-337.