

Stikstofdepositie en bronnenonderzoek Maasvlakte 2

Hensen, A.
Bulk, W.C.M. van den
Dinther, D. van
Frumau, K.F.A.

Maart 2017
ECN-E--17-082



Verantwoording

Deze rapportage bevat de resultaten van onderzoek in het kader van het ontwikkelen van een meetstrategie voor het volgen van effecten van stikstofuitstoot vanaf een groeiend in bedrijf komende Maasvlakte 2 en het omliggend gebied. Het betreft enerzijds voortzetting van concentratiemetingen met het oog op trendanalyse in de concentratie depositieniveaus van verschillende stikstofcomponenten en anderzijds additionele ammoniakconcentratiemetingen ter verklaring van de hoogte van de stikstofdepositie op het meetpunt Hoek van Holland.

Hoofdstuk 2 beschrijft de resultaten van de concentratiemetingen en de berekende stikstofdepositie in zowel Natura 2000 gebieden ten zuiden en noorden van de tweede Maasvlakte als op de tweede Maasvlakte zelf. Het gaat hierbij om voortzetting van de metingen tot eind 2016 op tien van de 19 stations die vanuit Rijkswaterstaat (Rws) operationeel waren vanaf 2011 tot halverwege 2015. De data van deze voortzetting zijn vergeleken met de eerdere dataset om eventuele trends in stikstofconcentraties en stikstofdepositie te kunnen zien. Dit werk valt onder ECN projectnummer 5.4352 met als formeel opdrachtgever het Havenbedrijf Rotterdam N.V. (HbR). De metingen op de 10 meetstations werden uitgevoerd in samenwerking met SWECO en de wateranalyses werden uitgevoerd door de WUR. Toegang tot meetsites werd gefaciliteerd door DUNEA, Stichting Zuid-Hollands Landschap, Havenbedrijf Rotterdam en EVIDES.

Hoofdstuk 3 beschrijft de aanvullende ammoniakmetingen ten behoeve van bronnenonderzoek verricht in 2016 met als formeel opdrachtgever Rijkswaterstaat, Dienst Water, Verkeer en Leefomgeving Lelystad onder ECN projectnummer 5.4040. Dit betrof ammoniakconcentratiemetingen met een hoge tijdsresolutie uitgevoerd met de Airrmonia. Voor deze metingen werd gebruik gemaakt van de faciliteiten van DCMR nabij Hoek van Holland. Onderdeel van deze opdracht zijn ook de mobiele metingen van ammoniak, zowel met de meetwagen als op een schip. Gezien de grote verwevenheid van de inhoud van de onderzoeken en het gezamenlijk inhoudelijk opdrachtgeverschap van Rijkswaterstaat, gemeente en HbR is ervoor gekozen de resultaten van beide opdrachten in twee Hoofdstukken in één rapport te verwerken.

“Hoewel de informatie in dit rapport afkomstig is van betrouwbare bronnen en de nodige zorgvuldigheid is betracht bij de totstandkoming daarvan kan ECN geen aansprakelijkheid aanvaarden jegens de gebruiker voor fouten, onnauwkeurigheden en/of omissies, ongeacht de oorzaak daarvan, en voor schade als gevolg daarvan. Gebruik van de informatie in het rapport en beslissingen van de gebruiker gebaseerd daarop zijn voor rekening en risico van de gebruiker. In geen enkel geval zijn ECN, zijn bestuurders, directeuren en/of medewerkers aansprakelijk ten aanzien van indirecte, immateriële of gevolgschade met inbegrip van gederfde winst of inkomsten en verlies van contracten of orders.”

Abstract

This report discusses the results of two research projects that aim to develop a strategy for monitoring effects of nitrogen emissions from Maasvlakte 2 (new developing harbor area in Rotterdam) and the surrounding area.

The first part is a continuation of monthly averaged nitrogen concentration measurements that is used to evaluate the trends in different in concentration levels for different chemical compounds that contribute to nitrogen deposition. The other part covers additional ammonia concentration measurements at high frequencies (minute) to explain the level of nitrogen deposition at the Hoek van Holland measuring point.

Chapter 2 describes the results of the monthly averaged nitrogen concentration measurements and the, though inferential modelling calculated nitrogen deposition in Natura 2000 areas both south and north of Maasvlakte 2. The measurements until the end of 2016 cover 10 of the 19 stations that were operational from 2011 until mid 2015. The data were compared with the previous data set to see potential trends in concentrations and nitrogen deposition. This work is part of ECN project number 5.4352 with the formal commissioner Port Authority Rotterdam N.V. The measurements at the 10 measurement stations were conducted in cooperation with SWECO and the water analyzes were carried out by the WUR. Access to measurement sites was facilitated by DUNEA, Foundation of South Holland Landscape, Port of Rotterdam and EVIDES.

Chapter 3 describes the additional ammonia measurements for source apportionnement conducted in 2016 with the formal commissioner Rijkswaterstaat, service Water, Traffic and Environment Lelystad under ECN project number 5.4040. This involved high-resolution ammonia concentration measurements with the Airrmonia. For these measurements, DCMR facilities near Hoek van Holland were used. This project also included mobile measurements of ammonia, both with the measuring van and on a ship.



Inhoudsopgave

	Samenvatting	5
1	Inleiding	9
2	Stikstofdepositie	11
2.1	Inleiding	11
2.2	Methodiek	11
2.3	Resultaten	19
2.4	Discussie	44
3	Bronnenonderzoek	48
3.1	Inleiding	48
3.2	Opstellingen	49
3.3	Resultaten	52
3.4	Discussie	81
4	Conclusies	83
	Literatuur	89
	Bijlagen	
A.	Vergelijking ammoniakconcentraties denuders en Airmonia	91
B.	NH ₃ Pieken	93
C.	Algenmetingen	95



Samenvatting

Rijkswaterstaat heeft voor het Monitoring- en Evaluatie Programma (MEP) Duinen in de periode 2011-2014 de nulmeting (T=0) stikstofdepositie uit laten voeren in het kader van de evaluatieplicht voor het besluit Bestemmingsplan Maasvlakte 2 (MV2). Daarin is gekeken wat de uitgangssituatie is zonder gebruik MV2. Dit om in een latere fase te kunnen evalueren of de effecten zijn zoals voorspeld in MER en PB op bestaande duinen in de 'Natura 2000'-gebieden.

In die periode zijn maandgemiddelde metingen op 19 stations uitgevoerd. De metingen hebben veel inzicht gegeven in de hoogte van concentratieniveaus, de jaarlijkse depositie, het ruimtelijk patroon en de chemische samenstelling. De gemeten waarden zijn vergeleken met de huidige GCN/GDN-waarden en met de niveaus zoals gehanteerd in het MER (2007) die waren gebaseerd op de toenmalige gehanteerde GCN/GDN-achtergrondwaarden. Met name de gemeten hoge waarden bij Hoek van Holland en de verschillen tussen deze meetwaarden en het huidige GCN/GDN waren aanleiding voor nader verklarend onderzoek. Een deel van de verklaring werd al gerapporteerd in het T0-datarapport (Mouissie, 2014, 2015) en zit in de verschillen in aannames in de GDN-modellen over eigenschappen van het terrein (bijvoorbeeld de ruwheid). Omdat daarmee niet alle verschillen verklaarbaar waren is dit vervolgonderzoek uitgevoerd om meer inzicht te krijgen in de relatie tussen de depositie en de omliggende brongebieden.

In 2015-2016 zijn daarom in een gecombineerde opdracht van Rijkswaterstaat, Havenbedrijf Rotterdam en de gemeente Rotterdam de maandgemiddelde metingen op 10 van de 19 stations gecontinueerd. Daarnaast zijn continu NH₃-metingen met een half uur tijdresolutie uitgevoerd op de DCMR-meetpost bij Hoek van Holland. Bij deze metingen worden pieken in de concentraties gekoppeld aan de op dat moment optredende windrichting. Daarmee zien we in welke windrichting een bron moet liggen en kunnen we dat vergelijken met bekende broninformatie. In aanvulling daarop is twee keer met een mobiel NH₃-meetsysteem rondgereden door het Westland, het bestaande havengebied en op MV1 en MV2 om te zoeken naar specifieke ammoniakbronnen. Ook zijn benedenwinds van een aalscholverkolonie mobiele ammoniakmetingen uitgevoerd en zijn ammoniakmetingen vanaf een schip uitgevoerd,

met het oog op mogelijke stikstofbronnen op zee. Dit onderzoek heeft daarmee een dus een bredere scope dan alleen het vastleggen van de uitgangssituatie voor MV2. Het ging ook om het verklaren van verschillen met de GCN/GDN.

De deposities die in de T0-rapportage zijn opgenomen zijn in deze rapportage gecorrigeerd voor een omrekenfout bij de natte depositie analyseresultaten. Hierdoor zijn alle berekende depositiegetallen toegenomen ten opzichte van het eerder uitgebrachte T0-rapport (afhankelijk van het station tussen de 5% en 20% voor totaal depositieniveau).

Op basis van het uitgevoerde onderzoek kunnen verschillende conclusies getrokken worden over de ontwikkelingen in de regio, die van belang zijn voor de beoordeling van de 0-situatie voor MV2:

- De voortgezette metingen (maandgemiddelde gegevens) laten zien dat voor NO_x de daling van de concentraties op de MV2 stations achterblijft t.o.v. de landelijke daling van de concentraties van rond de -1µg/m³ NO₂ per jaar. Voor NH₃ nemen de concentraties op de meetpunten enigszins toe. Deze trend wordt ook landelijk waargenomen.
- De maandgemiddelde concentraties op de meetstations gelegen op MV2 laten, in tegenstelling tot de andere stations, zien dat bij bepaalde windrichtingen, bij een toename van NO_x ook NH₃ toeneemt. Dat is een indicatie dat bronnen van NO_x en NH₃ gezien vanaf die meetpunten in dezelfde richting liggen.
- Met de continue metingen van NH₃ zien we bij Hoek van Holland een tamelijk egale verdeling van de bijdragen van de deposities vanuit de verschillende windrichtingen. De gemiddelde bijdrage aan de depositie vanuit zuidwestelijke richting is wat groter dan uit andere richtingen, met name door de hogere windsnelheden (meer turbulentie) uit die hoek. Vanuit die richting worden ook piekbijdragen waargenomen met als mogelijke verklaring de vergunde activiteiten rond het Beerkanaal (MV1), waaronder laad-/los verliezen van ammoniak bij de kolencentrales. Natuurlijke bronnen zoals algensterfte zijn echter ook niet uit te sluiten (zie hierna). Als in de toekomst op MV2 meer activiteiten plaatsvinden is een scheiding in herkomstgebied (MV1 of MV2) moeilijker te maken vanaf meetpunt Hoek van Holland. Dit onderscheid is voor beantwoording van de vragen uit het MEP van cruciaal belang. Voor de Natura 2000 gebieden is het minder relevant waar het stikstof vandaan komt.
- Met de mobiele metingen zijn op MV2 geen evidente ammoniakpieken en dus geen mogelijke emissies waargenomen. Dat strookt met het huidig niveau van ingebruikname. Op verschillende andere plekken in het bestaande havengebied zijn wel duidelijke pieken waargenomen, de meeste uit reeds bekende bronnen.
- De metingen vanaf het schip van Rws laten duidelijk verhoogde algenhoeveelheden in het water in de Princes Margriethaven en de Maasmond te zien. Het (zee)water in de Princes Margriethaven en de Maasmond is daarom potentieel een bron voor NH₃ binnen het MV1- en MV2-gebied. Vergelijkbare omstandigheden zijn te verwachten in het Beerkanaal (MV1).

In bredere wetenschappelijke zin zijn de volgende zaken te concluderen.

Maandgemiddelde metingen:

- De voortzetting van de maandgemiddelde metingen op de 10 stations bestendigen het depositiebeeld uit de T=0 fase; er is een duidelijk meetbaar en over de jaren

consistent patroon in de stikstofdepositie langs de kust waarneembaar. De stikstofdepositie is relatief laag op Goeree en Oostvoorne, het hoogst bij Hoek van Holland en neemt vervolgens weer af naar het noorden. Dit zelfde patroon is in de concentratiegetallen waarneembaar waarbij in dat geval Hoek van Holland minder geprononceerd is, de hoge ruwheid op het meetpunt Hoek van Holland versterkt het beeld van de gradiënt in het depositiepatroon.

- De jaarlijkse depositie verschilt aanzienlijk per plek tussen 0,7–3,9 kmol N/ha/j met een bandbreedte van 10-30% rond het meerjarengemiddelde. De depositiewaarden liggen over het algemeen iets hoger, maar wel in dezelfde orde van grootte, als GDN. Op Hoek van Holland zijn de depositiewaarden echter aanzienlijk hoger dan die volgens GDN, een deel van de verklaring daarvoor ligt in de hogere terreinruwheid nabij het meetpunt, dan waarvan de GDN uitgaat. De metingen liggen op vrijwel alle meetlocaties boven zgn. kritische depositiewaarde van 1,1 kmol N/ha/jaar voor het habitatype Grijze Duinen (H2130A). Niet alle meetlocaties liggen overigens in Grijs Duin.
- Er spelen verschillende chemische componenten een rol. Droge depositie van ammoniak is erg prominent met 20-50% bijdrage, afhankelijk van de locatie. Op Hoek van Holland is de bijdrage van ammoniak 45-50%. De metingen op de tien stations laten zien dat de depositie van ammoniak in de in 2015-2016 stijgt ten opzichte van voorgaande jaren. Dat is ook op stations van RIVM in Nederland geconstateerd.

Metingen met hoge tijdsresolutie (Hoofdstuk 3):

- De hoogste ammoniakconcentraties op het meetpunt Hoek van Holland zijn gemeten bij afluende wind als gevolg van bronnen landinwaarts. Daarin zien we episoden met langdurige verhoging waarbij de concentratieniveaus mede bepaald worden door het achterland (landbouw gerelateerde emissies), maar ook daarbovenop kortdurende pieken die van dichtbij moeten komen, dat gebeurt met name vanuit de richting 90-190 graden (oost t/m zuid dus het binnenland) met de hoogste pieken rond de 140 (in de richting Hoek van Holland → Rotterdam) en 170 graden (zuid vanaf Hoek van Holland).
- Op verscheidende locaties in de het bestaande havengebied werden tijdens de mobiele metingen ammoniakpieken waargenomen bij onder meer een kunstmestproducent en vuilverbranding ten oosten van de meetlocatie. Dit betrof bekende emittenten van ammoniak.
- Op basis van de continue meetreeks van ammoniakconcentraties is voor Hoek van Holland de bijdrage aan depositie door ammoniak voor de verschillende windrichtingen bepaald. Dat is gedaan door de concentratiemeting op elk moment met een depositiesnelheid te vermenigvuldigen die op basis van de meteorologische condities wordt bepaald.
 - Pieken (circa 20% van de metingen) zijn voor ongeveer de helft van de totale depositie verantwoordelijk. Dat geeft aan dat het specifiek kijken naar die pieken als bron verstandig is. De analyse kan wel de richting waarin de bron zich bevindt aangeven maar niet de exacte afstand. Een piek die een of twee uur duurt of duidelijk gerelateerd is aan een draaiende windrichting komt van 'dichtbij', maar dat kan een relatief kleine bron op 1 km of een grotere bron op 20 km afstand zijn. Combinatie met een pluimmodel en combinatie met bekende bronnenregistraties lijkt een logische vervolgstap.

- Uit drie windsectoren, Westland (20°-100°), Bestaand Rotterdams gebied ten zuidoosten van Hoek van Holland (120°-190°) en Botlek ten zuidwesten van Hoek van Holland (190-230°) zien we vergelijkbare bijdragen aan het depositieniveau van ongeveer 20%.
- Uit de windrichting Maasvlakte 1-2 tezamen (230°-270°) en windrichting van Noordzee (280°-360°) is de bijdrage iets lager dan uit de andere sectoren: 15%. Potentieel zien we hier emissie die gerelateerd is aan scheepvaart, algen of bodemprocessen vanuit de Maasmond of Haringvlietmond, de relatief warme Princes Margriethaven (mogelijk ook het Beerkanaal) en de Noordzee. In aanvulling hierop laten de metingen aan boord van het schip hoge algenconcentraties in de Princes Margriethaven en in de Maasmond zien. De gemeten NH₄-gehalten in het water zijn duidelijk hoger dan op andere kuststations, wat verklaarbaar is door de aanvoer van stikstof via de rivieren vanuit het achterland.
- De mobiele metingen rondom de aalscholverkolonie op het Breede Water tonen een duidelijk meetbare ammoniakpluim maar deze metingen waren nog onvoldoende om een emissiegetal uit te rekenen. Een verwachte NH₃-emissie door vogels (meeuwen en aalscholvers) op de Splitsingsdam en van de meeuwenkolonie op de 'Kleine Beer' in de Nieuwe Waterweg is niet meetbaar gebleken, er zaten relatief weinig vogels op deze locaties op de meetdag.

Afsluitend

Het uitgevoerde T0-onderzoek en vervolgonderzoek laat de complexe werkelijkheid in deze regio zien. De combinatie van continue en maandmetingen, windrichtingen, chemische samenstelling zijn gebruikt om te kijken naar de ruimtelijke verdeling en het relatief belang van verschillende herkomstgebieden van de verschillende stikstofcomponenten met een nadruk op ammoniak. Het 6-jarig onderzoek heeft daarmee veel nieuwe inzichten opgeleverd over de depositie in deze regio, maar we hebben nog niet een volledige en sluitende verklaring voor de bronnen en oorzaken van de (hoge) depositie.

1

Inleiding

Bij de uitbreiding van de Rotterdamse haven met de aanleg van de tweede Maasvlakte (MV2) ontstaat een nieuw haven en industriegebied waar zich allerlei activiteiten ontwikkelen die, naast positieve effecten op sociaaleconomisch gebied, ook leiden tot extra uitstoot van gas en deeltjes naar de lucht. Deze stoffen worden met de wind meegevoerd en komen mede terecht in natuurgebieden. De belangrijkste reactieve stikstofcomponenten zijn ammoniak (NH_3) en stikstofoxiden (NO_x). Verder zijn salpeterzuur (HNO_3) en salpeterigzuur (HNO_2) van belang. Ammonium (NH_4^+) en nitraat (NO_3^-) zijn twee belangrijke componenten die als deeltjes in de lucht voorkomen.

Het Monitoring- en Evaluatieprogramma (MEP) Duinen heeft in de jaren 2011-2014 invulling gegeven aan de T=0 fase in het kader van evaluatieplicht voor het besluit Bestemmingsplan Maasvlakte 2. De duingebieden in kwestie zijn de 'Natura 2000'-gebieden 'Solleveld & Kapitelduinen' en 'Voornes Duin'. Het 'MEP Duinen'-project had als doel de nulmeting uit te voeren aan de stikstofdepositie en de kwaliteit van de duinhabitattypen. Dit naar aanleiding van de uitgangspunten die in het MER Bestemming Maasvlakte 2 (Sarink & Elings, 2007) en passende beoordeling (Heinis et al., 2007) zijn gedaan. Tevens heeft het MEP als doel te onderzoeken of de uitgevoerde compensatie (Spanjaards Duin) ook leidt tot voldoende compensatie voor het feitelijk verlies van duinareaal door toegenomen stikstofdepositie.

In de T=0 fase is de uitgangssituatie vastgelegd en geanalyseerd. Deze fase was oorspronkelijk gepland voor de periode 2011-2013 maar is verlengd tot en met december 2014 omdat de activiteiten op MV2 toen pas van start gingen. De metingen op 19 stations tijdens de T=0 fase van de Meetstrategie-duinen werden uitgevoerd door een consortium van Grontmij, ECN, Alterra en WUR.

In de T=0 fase is naast rapportering van de referentiesituatie tevens de meetbaarheid van het toekomstig signaal van MV2 ten opzichte van diverse ruisfactoren onderzocht. Eén van de conclusies uit dat onderzoek was dat het detecteren van een trend in de stikstofdepositiedata op basis van een aaneengesloten meetreeks een beduidend hogere kans van slagen heeft dan een vergelijking tussen twee datasets van ieder een paar jaar zonder tussenliggende data. Belangrijke rede is de interjaarlijkse variabiliteit van de stikstofdepositiegetallen (omdat de wind over het jaar steeds uit andere

richtingen komt). Daarnaast zijn er veranderingen in de tijd van zowel de bronnen op de Maasvlakte als de ontwikkeling van andere brongebieden.

Hoofdstuk 2 van de voorliggende rapportage gaat in op de continuering vanaf medio 2015 tot eind 2016 van stikstofdepositiemetingen rond de MV2 zoals deze voorheen hebben plaatsgevonden in de T=0 fase (2011-2014, datarapport T=0-monitoring, in het kader MEP-duinen). Deze metingen zijn, sinds medio 2015 uitgevoerd op 10 van de 19 stations in de T=0 fase.

In Hoofdstuk 3 worden zowel de metingen van een continu metende ammoniakmonitor op Hoek van Holland als de mobiele ammoniakmetingen besproken. Aanleiding voor deze twee typen ammoniakmetingen was om een verklaring te vinden voor de relatief hoge concentraties ammoniak die op de stations bij Hoek van Holland in de periode 2011-2015 werden waargenomen.

2

Stikstofdepositie

2.1 Inleiding

Dit Hoofdstuk behandelt de metingen van de natte depositie en de concentratiemetingen die gebruikt worden om de droge depositie uit te rekenen voor de verschillende stikstofcomponenten in verschillende duingebieden en op MV2. Hiervoor worden de gegevens van 10 stations gebruikt die gecontinueerd zijn na het afronden van de T=0 fase van het 'MEP Duinen'-project. Het Hoofdstuk resumeert de methode en bespreekt twee correcties op de eerder in het T=0-rapport gerapporteerde data. Het betreft een correctie om gaten in de tijd te vullen en een correctie op de natte depositiegetallen.

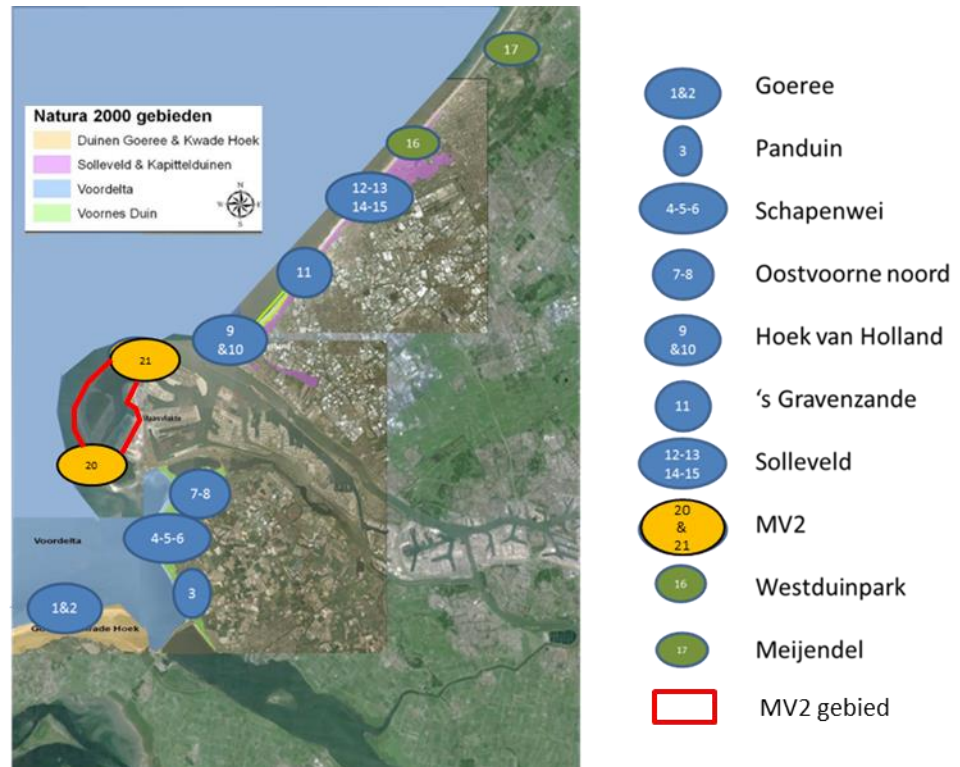
2.2 Methodiek

Depositie van stikstof vindt zowel plaats onder droge omstandigheden (droge depositie) als onder natte omstandigheden met regen (natte depositie). Daarbij is de verhouding tussen de droge en natte depositie generiek over Nederland ongeveer 2:1. Om zowel de droge als de natte depositie te bepalen zijn verschillende meetsystemen ingezet.

De metingen ten behoeve van de droge depositie zijn gestart in 2011 op 15 locaties. Vanaf 2013 tot en met juni 2015 zijn de metingen verricht op in totaal 19 locaties. Vervolgens zijn de metingen na juni 2015 tot eind 2016 voortgezet op 10 locaties, te weten de locaties 1, 5, 7, 9-12, 14, 20 en 21. Figuur 1 geeft een overzicht van de verschillende meetlocaties. Op alle meetlocaties zijn de concentraties van gassen en aerosolen bepaald door meting met delatadenuders (Figuur 2) met uitzondering van NO₂. De concentratie van NO₂ is bepaald met passieve samplers. De metingen ten

behoefte van de natte depositie hebben plaatsgevonden op 9 locaties (zie Paragraaf 2.2.1).

Daar waar nodig zijn de meetlocaties voorzien van een afrastering. Dit is met name om rondlopende dieren (en mensen) te verhinderen de meetopstelling te verstoren. Echter, aangezien ammoniak door de atmosfeer getransporteerd wordt, zal de afrastering niet geheel voorkomen dat lokale concentratiepieken kunnen ontstaan door mest van rondlopend vee.



Figuur 1: Overzicht ligging ECN meetpunten, inclusief namen en nummering, blauw: set metingen gestart in 2011, geel: meetstations gestart in 2012 op MV2, groen: extra metingen in de 'staart van de pluim' gestart in 2012.

2.2.1 Natte depositie

De natte depositie wordt gemeten met bulk dan wel wet-only regenvangers. De bulk regenvangers staan altijd open en vangen deels dus ook droge depositie op. De wetonly regenvangers staan alleen open bij neerslag en vangen dus alleen natte depositie op. Dit laatste levert een nauwkeurigere meting van de totale natte depositie op. Daar staat tegenover dat wet-only -depositiemetingen aanzienlijk duurder zijn ten gevolge van het complexere monsternameapparaat. Op basis van deze overweging is er gekozen om op een beperkt aantal locaties de metingen met zowel bulk als 'wet only'-vangers uit te voeren en op de andere locaties alleen een bulk of een wet-only-vanger te installeren. Op de locaties 1, 7, 11, 12, 15, 20 en 21 werd met een bulk sampler de regen opgevangen en op locaties 5, 10 en 15 werd met een wet-only instrument de regen opgevangen.



Figuur 2: Voorbeeld van een meetopstelling met van links naar rechts, een wet-only regenvanger, een bulk depositievanger, de 220V aansluiting, de paal met meteostation (bovenop) en deltadener (kast in het midden).

Op twee locaties (Goeree en Solleveld) stonden vanaf 2011 tot juni 2015 zowel een bulk als een wet-only systeem naast elkaar. Na juni 2015, is deze vergelijking enkel voortgezet op de locatie Solleveld. Deze metingen met twee systemen dienen als ijking om te kunnen bepalen welke verhouding er is tussen de metingen met het (goedkope) bulkmeetsysteem en het (duurdere) wet-only meetsysteem (zie Paragraaf 2.3). De deltadenuders en watermonsters zijn, tot halverwege 2016, maandelijks opgehaald en gewisseld door een medewerker van Grontmij (later overgegaan in Sweco). Hierna heeft ECN deze maandelijks wisselwerkzaamheden overgenomen. De monsters zijn vervolgens verzameld en gewogen bij ECN. De deltadenuders zijn geanalyseerd door ECN en de watermonsters door WUR in Wageningen. De componenten die in de watermonsters zijn bepaald zijn weergegeven in Tabel 1.

Tabel 1: Chemische bepalingen uitgevoerd in de natte depositiemetingen (bulk en wet-only) met tevens een uitleg waarom deze zijn uitgevoerd.

Component	Eenheid	Uitleg
Regen	mm	
EC	$\mu\text{S}/\text{cm}$	Geleidbaarheid
Cl	mg/l	Chloride, langs de kust met name afkomstig van zeezout
Ca	mg/l	Calcium, kation wisselt uit met bijvoorbeeld NH_4
K	mg/l	Kalium, kation wisselt uit met bijvoorbeeld NH_4
Mg	mg/l	Magnesium, kation wisselt uit met bijvoorbeeld NH_4
Na	mg/l	Natrium, langs de kust met name afkomstig van zeezout
P- PO_4	mg/l	Fosfaat, goede indicator voor vogelpoep
S- SO_4	mg/l	Sulfaat bijvoorbeeld afkomstig van zware stookolie & raffinage
pH		zuurgraad van de regen
N- NH_4	mg/l	Ammonium, van ammoniak afkomstig
N- NO_3	mg/l	Nitraat, afkomstig van bijvoorbeeld NO_x -emissies
Nts	mg/l	Totaal stikstofgehalte

2.2.2 Droge depositie

De droge depositie wordt bepaald aan de hand van een inferentiemethode. Dit is een indirecte methode om de droge depositie te bepalen. Directe depositiemetingen waren vanwege de hoge kosten niet haalbaar (bijv: locaties met 220V nodig). De inferentiemethode maakt gebruik van de relatie tussen concentratie (de hoeveelheid gas of deeltjes in de lucht) en het neerwaartse transport volgens een eenvoudige formule:

$$\text{Depositie} = \text{Concentratie} \times \text{Depositiesnelheid}$$

Hierbij zijn de maandgemiddelde concentraties op één hoogte gemeten met behulp van deltadenuders. De depositiesnelheid wordt per half uur uitgerekend (zoals hieronder beschreven) en dan maandgemiddeld. Door die te combineren met het gemeten concentratieniveau worden de droge depositie waarden berekend.

De depositiesnelheid (V_d) kan worden bepaald door drie processen die, in analogie met elektronica, als een weerstand werken. De concentratie is het equivalent van de spanning. De weerstanden tussen het punt waar deze gemeten wordt en de bodem bepalen de stroom, oftewel de depositie. Indien de weerstanden hoog zijn, wordt er weinig gedeponeerd, indien de weerstand laag is vindt depositie 'makkelijker' plaats. In formule:

$$V_d = 1 / (R_a + R_b + R_c)$$

Hierin is R_a de 'atmospheric resistance' afhankelijk van de ruwheid van het terrein om het meetpunt heen. Feitelijk beschrijft deze parameter hoe makkelijk lucht van grotere hoogte naar het aardoppervlakte toe gemengd wordt. Voor het berekenen van de depositiesnelheden voor de Maasvlaktestations is uitgegaan van een ruwheid van 0,01 m (kale zandvlakte). Voor de overige meetstations (1/5/7/9/10/12/14) is respectievelijk 0,16/0,2/0,2/0,2/0,7/0,1/0,1 m als ruwheid gebruikt. Voor al deze locaties is aangenomen dat de bodem bedekt is met gras.

R_b beschrijft het diffuse deel van transport vlakbij de vegetatie; deze hangt af van de windsnelheid en van de chemische component. R_c beschrijft hoe gemakkelijk een chemische stof door gewas of bodem wordt opgenomen. Zo wordt ammoniak sneller en gemakkelijker opgevangen door het oppervlak dan bijvoorbeeld stikstofoxides. Meer uitleg over R_a , R_b en R_c is te vinden in het kader op blz. 16.

Voor het berekenen van de R_a , R_b en R_c weerstanden wordt gebruik gemaakt van de DEPAC (DEPosition of Acidifying Compounds)-module, zoals dat ook in de recente versies van het Operationele Prioritaire Stoffen model (OPS) van het RIVM gebruikt wordt voor onder andere het berekenen van de Grootschalige Depositiekaarten Nederland (GDN) voor stikstof (Van Zanten et al., 2010).

De formules waarmee R_a , R_b en R_c (en dus de depositiesnelheden) worden afgeleid, zijn in de wetenschappelijke literatuur beschreven en bepaald met meer geavanceerde meetsystemen. Die metingen zijn echter niet beschikbaar voor duingebieden. Het gevolg hiervan is dat de schatting voor een dergelijke meting voor een locatie en één

maand, een onzekerheidsmarge kan hebben in de orde grootte van 50-100%. Zolang deze onzekerheid willekeurig is, kunnen we met voldoende meetstations en 12 meetperiodes per jaar per station uiteindelijk toch een uitspraak doen over wat er gebeurt ten gevolge van emissies uit verschillende brongebieden. Door op de meetpunten de verdeling van de windrichting en de windsnelheid in een maand te koppelen aan de gemeten concentraties kan aangegeven worden wat de meest waarschijnlijke zoekrichting en/of locaties zijn van belangrijke bronnen. De concentraties van de verschillende chemische stoffen helpt om broncategorieën van elkaar te onderscheiden. Uiteraard geldt daarbij dat hoe meer a priori informatie er beschikbaar is omtrent locatie en emissiesterkte van verschillende bronnen, hoe makkelijker deze evaluatie gaat.

Onzekerheden

Willekeurige onzekerheden zijn onzekerheden die ruis introduceren op het signaal dat je probeert te laten zien, een onzekerheid in het afwegen van vloeistof op een lab een onzekerheid in de gasmeter, de ene maand is er een fout op de meting naar de ene kant, de andere keer naar de andere kant. Gemiddeld komt dat op nul uit. Dit soort fouten zijn in een foutenanalyse goed door te rekenen, veel meten helpt hierbij .

Systematische fouten

Deze zijn veel moeilijker om mee om te gaan en meer meten hoeft niet per se te helpen. Als we een aanname doen in de manier waarop de depositiesnelheid wordt berekend, dan werkt dat door op alle monsters en overal op dezelfde manier. Bij een andere aanname komt er iets anders uit. Bij het bestuderen van de resultaten van het ene versus het andere meetstation hoeft dat geen probleem te zijn. Met het doen van aannames worden systematische fouten (klein of groot geïntroduceerd) daarmee raak je één stap verwijderd van de fysisch/chemische werkelijkheid. Hoe meer stappen er genomen worden op basis van aannames, hoe verder de gekozen werkelijkheid potentieel raakt van de fysisch/chemische werkelijkheid .Hoe meer gemeten 'waarheid' in het systeem zit hoe kleiner de kans op die systematische fouten.

In dit project zijn systematische fouten een potentieel probleem bij het vergelijken van absolute niveaus tussen locaties. De ene locatie zal bijv. meer lijken op gras (waar alle aannames op gebaseerd zijn) dan de ander. Tussen de stations kan er een daardoor een systematische onzekerheid zijn. Hetzelfde geldt ook voor de meteo in een micro-omgeving die niet overal met dezelfde nauwkeurigheid bekend is. Dat maakt de meetexcursie echter allerminst zinloos, de sythematische fouten zijn in ieder geval al minder dan bij op berekeningen gebaseerde getallen.

Wat rest is de vraag of de combinatie van willekeurige en systematische onzekerheden dusdanig groot is dat een bijdrage van MV2 in de toekomst wel of niet te duiden zal zijn. Dat hangt in sterke mate samen met hoe hoog het emissieniveau op MV2 gaat worden. En ook dat is onzeker.

In dit project is de droge depositie bepaald door de berekende depositiesnelheid voor de verschillende componenten te vermenigvuldigen met de gemeten concentratie. De gemeten concentraties voor HNO₃ zijn gecorrigeerd voor interferentie met NO₂. Onderzoek naar deze interferentie bij deltadenuders heeft onlangs een correctiefactor van 0,45 opgeleverd (Tang et al, 2015). Het blijkt dat deze goed vergelijkbaar is met de correctie die voor 2016 in dit project werd gebruikt, namelijk met behulp van de NO₂-meting. De componenten die met behulp van de deltadenuders zijn bepaald zijn weergegeven in Tabel 2 en Tabel 3.

Tabel 2: Chemische bepalingen voor de droge depositiemetingen bepaald uit gasconcentraties.

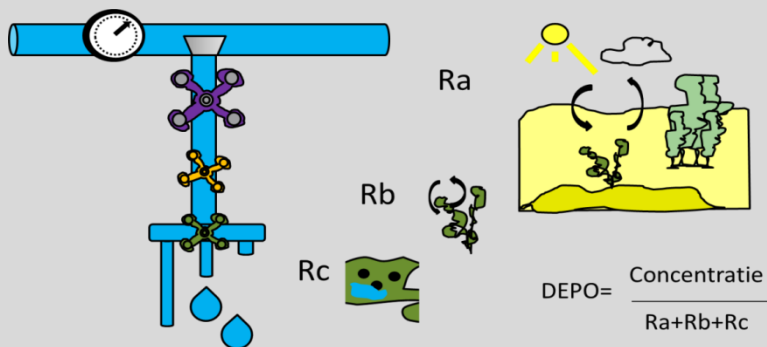
Gassen		Beschrijving	Omdat
NH ₃	µg/m ³	Ammoniak	Belangrijk voor stikstofdepositie op vegetatie; bron: met name landbouwactiviteiten
HCl	µg/m ³	Zoutzuur	Verzurend; bron: met name industrie
HNO ₂	µg/m ³	Salpeterigzuur	Verzurend en stikstofdepositie; bron: industrie en reactie met NO _x in de atmosfeer
HNO ₃	µg/m ³	Salpeterzuur	Verzurend en stikstofdepositie; bron: industrie en reactie met NO _x in de atmosfeer
SO ₂	µg/m ³	Zwavel dioxide	Bronnen: scheepvaart en deel raffinage;
NO _x	µg/m ³	Stikstofdioxide	N-depositie en Ozonvorming; bron: verbrandingsmotoren N-depositie

Tabel 3: Chemische bepalingen voor de droge depositiemetingen bepaald uit deeltjesconcentraties.

Deeltjes		Beschrijving	Omdat
Ca ²⁺	µg/m ³	Calcium	Basische kationen; wisselen uit met NH ₄
Mg ²⁺	µg/m ³	Magnesium	Idem
K ⁺	µg/m ³	Kalium	Idem
Na ⁺	µg/m ³	Natrium	Natrium Chloride is belangrijkste deel van zeezout
Cl ⁻	µg/m ³	Chloride	Idem
NH ₄ ⁺	µg/m ³	Ammonium	Belangrijk onderdeel van fijnstof; bronnen: landbouw
NO ₃ ⁻	µg/m ³	Nitraat	Belangrijk onderdeel van fijnstof; bronnen: verbrandingsmotoren.
SO ₄ ²⁻	µg/m ³	Sulfaat	Belangrijk onderdeel van fijnstof; bronnen: raffinage en scheepvaart, tevens deels natuurlijk.

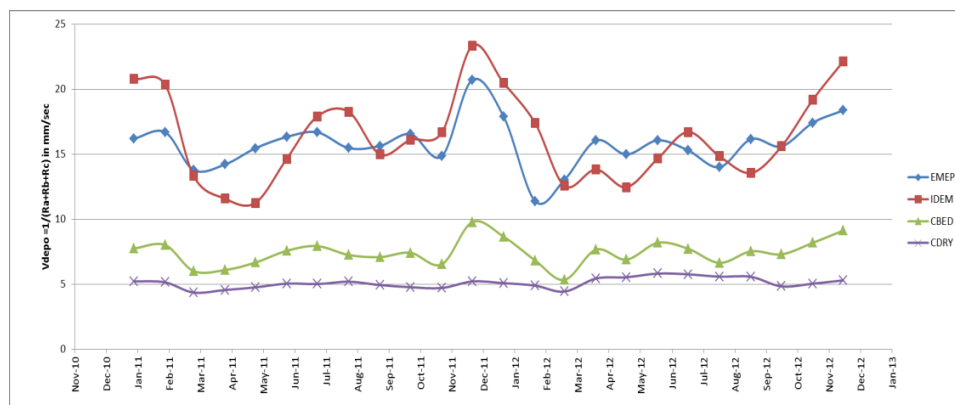
Wetenschap versus gekozen werkelijkheid

De hoeveelheid gas of deeltjes in de atmosfeer is als druk in een waterleiding (=concentratie). Vanaf die leiding, die in de atmosfeer overeen zou komen met lucht die over een oppervlak stroomt, zijn er drie kranen. Dat zijn weerstanden die bepalen hoeveel er aan druppels (= depositie) op het oppervlak terecht komt. Afhankelijk van de stand van de kranen is de weerstand hoog of laag en verandert, ook bij gelijke druk, de stroom van het water naar het oppervlak. In de atmosfeer is de eerste weerstand Ra. Deze wordt bepaald door de turbulentie boven het oppervlak. Ra geeft aan hoe makkelijk gas uit hogere luchtlagen naar de vegetatie toe wordt gemengd. Het laatste stuk van dat transport is meer turbulent en wordt door diffusie gecontroleerd. De tweede weerstand is afhankelijk van de meteorologie en het soort gas en heet Rb. Als laatste, is de vegetatie meer ontvankelijk voor het ene gas dan voor het andere: via de huidmondjes of via het oppervlak. Huidmondjes staan verder open indien zonlicht en vocht beschikbaar zijn en de formules die Rc beschrijven houden daar rekening mee. Die zijn dus anders voor bos, gras of hele lage vegetatie.



Figuur 3: Schematische weergave van de relatie tussen concentratie in de lucht en depositie naar het oppervlak toe.

Experimenten wereldwijd zijn gebruikt om formules af te leiden die data zoals windsnelheid, temperatuur, zonlicht en vochtigheid vertalen in waarden voor Ra, Rb en Rc. Er zijn verschillende internationale modellen in gebruik. Die modellen zijn het lang niet altijd eens en dat komt dus door verschillen van inzicht en of verschillen in de onderliggende datasets. Er zijn modellen die ontwikkeld zijn voor bossen en uitgebreid zijn voor andere vegetatietypen et cetera. Flechard et al. (2011) hebben een vergelijking gedaan van een Europese set metingen met deltanuders net zoals die in dit project zijn gebruikt. De publicatie laat daar de verschillen tussen de modellen goed zien (zie Figuur 4). Massad et al. (2010) bediscussiëren een lijst met onderliggende aannames en beschikbare gegevens. De vergelijking in Figuur 4 is bedoeld om de onzekerheid in de verschillende droge depositie parameterisaties weer te geven. Een oude versie van de hiervoor genoemde DEPAC-parameterisatie is toegepast in het IDEM-model uit Figuur 4. Sinds de ontwikkeling van het IDEM-model zijn er echter verschillende aanpassingen aan de DEPAC module geweest, waardoor een goede vergelijking met de methodiek uit de huidige studie niet goed mogelijk is.



Figuur 4: Voorbeeld hoe verschillende modellen een andere depositiesnelheid voor SO₂ uitrekenen met als invoer de meteorologie zoals gemeten in 2011 en 2012.

2.2.3 Correcties ten opzichte van T=0 rapportage

In de afgelopen maanden zijn er twee aanpassingen gedaan aan de gegevens die ook de data van de T=0 beïnvloeden:

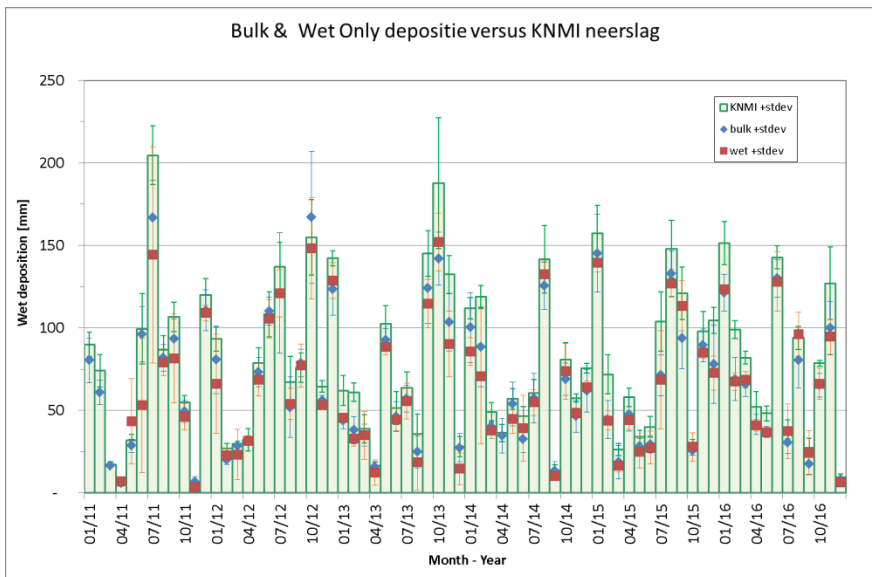
- In 2015 zijn er, door de discussie over hoe verder te gaan met deze metingen, een aantal maanden geweest zonder metingen (met andere woorden er is een gat in de data gevallen). Om dat jaar alsnog bruikbaar te maken voor analyse moet geschat worden wat de depositie in die maanden was om tot een jaarschatting te komen. Tot nu toe was dit opvullen van data niet uitgevoerd, omdat er maar weinig maanden met uitval waren en het opvullen van gaten een procedure is die een extra onzekerheid introduceert in de bepaling van de totale jaardepositie. In 2015 kon dit door het grote gat van 3 maanden niet anders. Met die keus is besloten ook de gaten in de rest van de dataset op te vullen. Dat is gedaan door data van een nabije locatie te gebruiken. Indien dit niet mogelijk bleek is een gemiddelde van de voorgaande en navolgende maand genomen. Een gat in de data dat op deze manier is gevuld heeft uiteraard een grotere onzekerheid dan een feitelijk gemeten getal.
- Bij de kwaliteitscontrole van de data is een fout gevonden in alle voorgaande natte depositieberekeningen. Deze fout heeft als gevolg dat de natte depositie van met name nitraat en in geringe mate die van ammonium werd onderschat. De natte depositieberekeningen zijn hierdoor ook voor alle voorgaande jaren opnieuw uitgevoerd in deze rapportage (zie Paragraaf 2.3). De totale stikstofdepositie is hierdoor met gemiddeld 0,2 kmol/ha omhoog gegaan. Dat komt neer op een correctie tussen de 5 en 20%, afhankelijk van het station.

2.3 Resultaten

2.3.1 Natte depositiemetingen

Hoeveelheden

De natte depositiemetingen op de verschillende locaties zijn qua hoeveelheden verzamelde neerslag vergeleken met drie neerslagstations van het KNMI (Goedereede, Oostvoorne en Hoek van Holland). Het resultaat van deze vergelijking is weergegeven in Figuur 5. Het is duidelijk dat, met name in de maanden met een aanzienlijke hoeveelheid neerslag, de spreiding tussen de verschillende locaties relatief groot is (hier uitgedrukt in de standaarddeviatie). Echter, de hoeveelheid neerslag over de maanden verzameld met de bulk en wet-only samplers komt over het algemeen goed overeen met die van het KNMI. Zoals verwacht vangen, over de gehele periode van 2011 tot en met oktober 2016, de bulksamplers (15%) en wet-only samplers (21%) minder neerslag op dan de KNMI-stations. Dit als gevolg van verdampingsverliezen gedurende één maand aan metingen en door windeffecten rond de samplers ten opzichte van officiële KNMI-neerslagmetingen aan de grond. Bulkmetingen bevatten gemiddeld 8% meer water dan de wet-only systemen.



Figuur 5: Hoeveelheden water opgevangen met de bulk en wet-only sampler systemen. De punten geven de gemiddelde hoeveelheden in de neerslagmonsters van de bulk (blauw) of wet-only samplers (rood) aan. De staafkolom is de gemiddelde neerslaghoeveelheid voor KNMI-stations nabij de ECN-samplers. De verticale lijnen geven de standaarddeviaties weer van respectievelijk de drie KNMI-neerslagstations, 7 à 10 bulk en 3 à 4 wet-only samplers die voor die maand beschikbaar zijn.

Chemische samenstelling

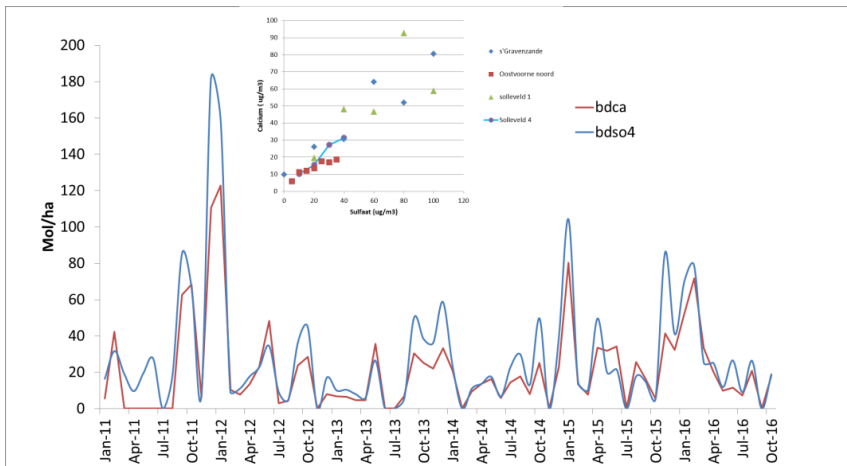
Er is een kwaliteitscontrole op de 700 watermonsters uitgevoerd. Daarbij is 8% van de data afgekeurd op basis van de ionenbalans en veldnotities. De gemiddelde ionenbalans, de verhouding tussen positieve en negatieve ionen, is na de kwaliteitscontrole gelijk aan 0,97. Een verhouding van bijna 1 geeft aan dat de metingen van de chemische samenstelling zoals is uitgevoerd, inderdaad een compleet beeld geeft van de samenstelling van het regenwater. De gemeten ratio natrium en chloride (zeezout) is in deze dataset 0,91. Dit ligt dichtbij de verwachte ratio natrium en chloride van 0,85 (Draaiers, 1993). Het feit dat zowel de ionenbalans als de ratio natrium en chloride bij de te verwachten waardes liggen geeft vertrouwen in de kwaliteit van de meetdata.

De bulk samplers vangen niet alleen de natte depositie op maar ook een stukje van de droge depositie. Om dat laatste stuk, dat met de denuders beter wordt gemeten, niet dubbel te tellen is een correctie nodig. Er is opnieuw bekeken hoe de bulk regenval data gecorrigeerd kunnen worden naar wet-only data. Hetzelfde is in 2012 ook gedaan, maar toen met minder maanden aan data. De correctie is bepaald aan de hand van de 5-jarige reeks van bulk- en wet-only-samplers op de locatie Solleveld. De bulknitraat getallen zijn 40% naar beneden gecorrigeerd en de ammonium getallen zijn met 10% naar beneden gecorrigeerd. Deze correcties zijn een paar procent groter dan gerapporteerd in de T=0 rapportage.

De depositiegetallen zijn met voorgaande rapportage veranderd naar aanleiding van een fout die tijdens de kwaliteitscontrole is gevonden. De rapportage van watermonsters bleek in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ N-NH₄ en N-NO₃ in plaats van $\mu\text{g}/\text{m}^3$ NH₄ en NO₃. De ammonium- en nitraatgetallen zijn ten opzichte van de T=0 rapportage naar boven aangepast. Deze correctie is het grootst voor nitraat. De totale stikstofdepositie is hierdoor met gemiddeld 0,2 kmol/ha omhoog gegaan. Dat betekent tussen de 5% meer (op Hoek van Holland) en 20% stikstofdepositie (op een station met een laag depositieniveau zoals bijvoorbeeld Goeree).

In het begin van T=0 was er een duidelijk event van hoge SO₄ depositie op 's Gravenzande zichtbaar. Het patroon in SO₄-depositie bleek goed te correleren met dat van calcium. Figuur 6 laat de SO₄ en Ca-depositie zien voor de gehele dataset voor 's Gravenzande. Op dit station komen de twee depositiesignalen zeer goed met elkaar overeen, op alle andere stations is de correlatie tussen de twee patronen minder. De correlatie op 's Gravenzande is hypothetisch te verklaren omdat bij ontzwaveling in de elektriciteitscentrales CaSO₄ (gips) als product vrijkomt. Het gaat daarbij om een vergunde emissie van 47 ton gips/jaar, de helft van het geëmitteerd fijnstof. Het lijkt erop dat het gebied tussen 's Gravenzande en Solleveld, in de zone ligt waar de pluim vanuit de hoge schoorstenen van de elektriciteitscentrale CaSO₄ deponert. Op de stations bij Hoek van Holland gaat de pluim van de elektriciteitscentrale waarschijnlijk over de meetinstrumenten heen. Het effect van de pluim is bij Solleveld Noord minder goed merkbaar. Een tweede hypothese is dat SO₄, gekoppeld aan SO₂ van scheepsvaart afkomstig is. Hier vindt echter geen ontzwaveling plaats, dus een correlatie met calcium is voor deze bron niet te verwachten. Calcium zit ook in zeewater, terwijl afbraak van biologisch materiaal in zee tot sulfaat zou kunnen leiden. Wanneer de zee de bron zou zijn voor sulfaat en calcium depositie zouden we verwachten dat we dit op alle stations

dichtbij zee zouden zien en niet alleen in 's Gravenzande en Solleveld 1. Indien het relevant gevonden wordt om te komen tot een sluitend bewijs dan zijn metingen met een hoger tijdplossend vermogen in combinatie met pluimberekeningen nodig.

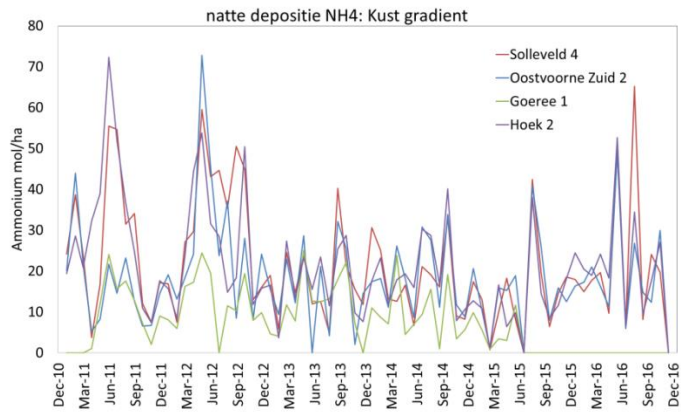


Figuur 6: Natte depositie van calcium (rood) en sulfaat (blauw) op het station bij 's Gravenzande. De grafiek (inzet) geeft de correlatie voor 4 stations, 's Gravenzande (blauw), Solleveld 1 (groen), Solleveld 4 (paars) en Oostvoorne Noord (rood), tussen sulfaat (x-as) en calcium (y-as) weer.

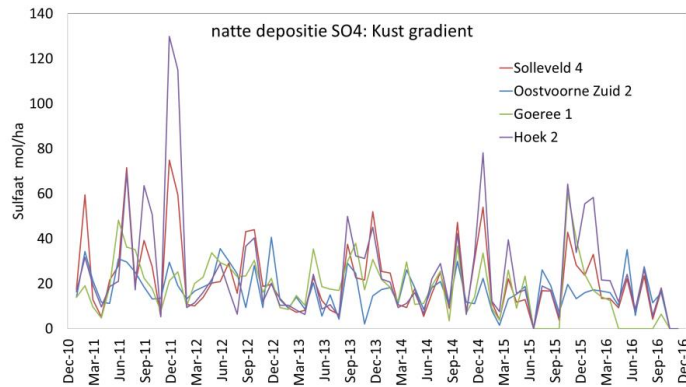
In Figuur 7, Figuur 8 en Figuur 9 zijn de natte depositiegegevens van ammonium, sulfaat en natrium weergegeven voor de gebieden Solleveld 4, Oostvoorne Zuid, Goeree 1 en Hoek 2 (deze station liggen langs de kust). Voor ammonium geldt dat er geen duidelijke kust-langse gradiënt zichtbaar is, de stations wisselen elkaar af met hogere en lagere depositie waarden. Ditzelfde geldt voor nitraat (hier niet getoond). Voor sulfaat zien we dat het gebied bij Hoek van Holland (inclusief 's Gravenzande) hogere depositieniveaus laat zien dan Oostvoorne. Voor natrium (onderdeel van zeezout) is de gradiënt langs de kust het sterkst. Hier zien we een duidelijke volgorde, met in Hoek van Holland de hoogste bijdrage uit zee gevolgd door Solleveld, Goeree en Oostvoorne.

De waarde van deze data zit met name in de mogelijkheid tot combinatie van de verschillende componenten. Als ervan uitgegaan wordt dat bijvoorbeeld ammoniak geëmitteerd wordt door afbraak van algen uit zee en redelijk homogeen verspreid is, dan verwachten we dat ammonium net als natriumdepositie het meest geprononceerd is op Hoek van Holland.

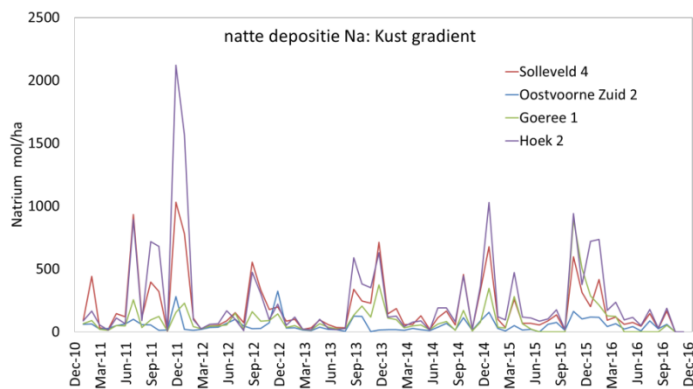
De combinatie van de data voor natrium en sulfaat (Figuur 8 en Figuur 9) geeft aan dat de bronnen voor sulfaat grotendeels in of bij zee liggen. Het patroon voor ammonium komt veel minder overeen met dat van natrium. Het gedeponeerde NH_4 komt dus waarschijnlijk meer van het land dan van zee. Kanttekening bij deze opmerking is dat de timing van de natrium- en ammoniumbijdrage niet noodzakelijk gelijk hoeft te zijn: in een episode met veel harde wind in de winter zal natrium uit het zeewater een piek geven, maar als er op dat moment geen algen zijn om af te breken zal er dan geen piek in ammonium voorkomen.



Figuur 7: Maandelijke natte depositiewaarden ammonium voor de gebieden Solleveld 4, Oostvoorne Zuid, Goeree 1 en Hoek 2.



Figuur 8: Maandelijke natte depositiewaarden sulfaat voor de gebieden Solleveld 4, Oostvoorne Zuid, Goeree 1 en Hoek 2.



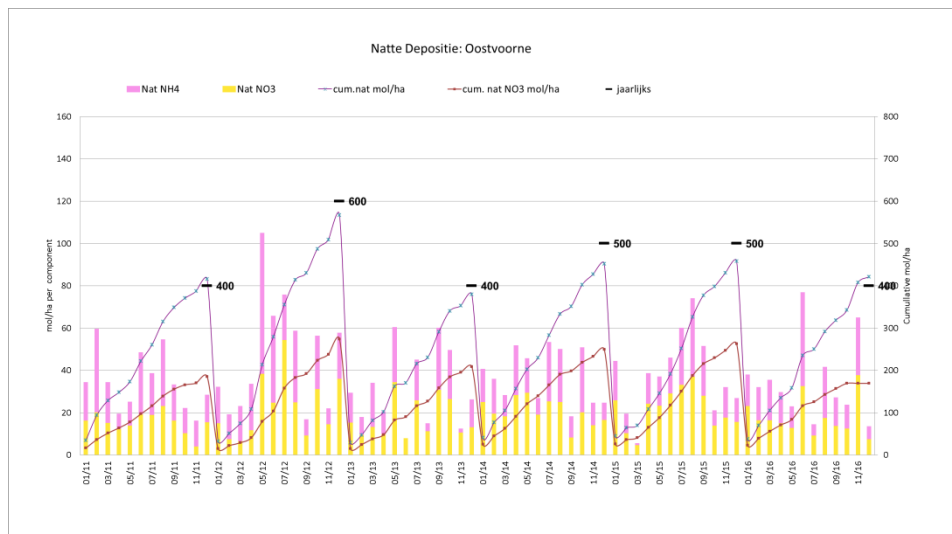
Figuur 9: Maandelijke natte depositiewaarden natrium voor de gebieden Solleveld 4, Oostvoorne Zuid, Goeree 1 en Hoek 2.

Totale natte depositie

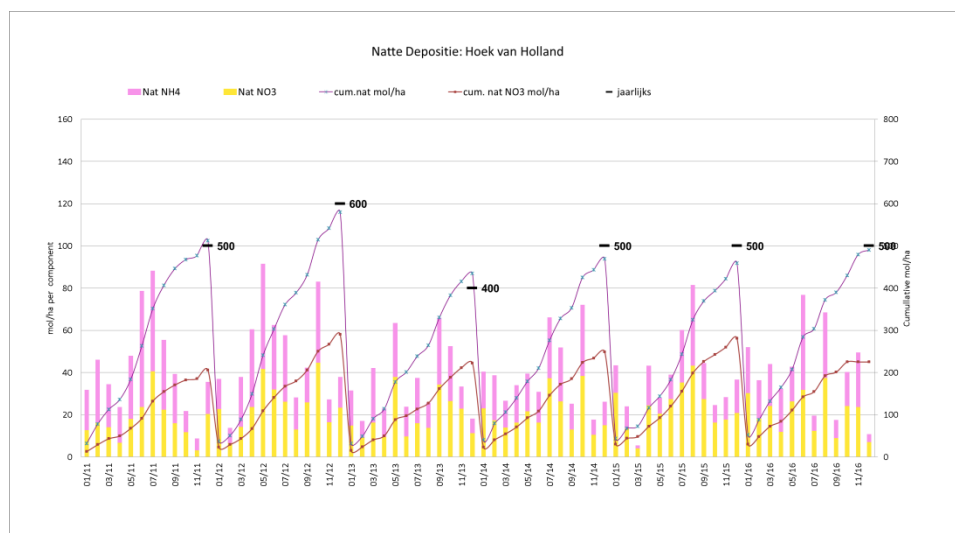
Omdat de natte depositiegegevens significant zijn veranderd ten opzichte van de voorgaande rapportage laten we in Figuur 10, Figuur 11 en Figuur 12 de totale natte depositie voor stikstofcomponenten zien voor respectievelijk de locaties Oostvoorne (meetpunten 5 en 7), Hoek van Holland (meetpunten 10 en 11) en Solleveld 1 & 4 (meetpunten 12 en 15). Voor iedere locatie is een gemiddelde genomen van twee gecorrigeerde bulk samplers en de wet-only sampler. Tevens is de totale natte stikstofdepositie per jaar bepaald voor deze drie gebieden (zie Tabel 4). Voor het jaar 2015 is de natte depositie voor de maand juli geschat. De natte depositie is zoals verwacht per jaar redelijk hetzelfde voor de drie gebieden (binnen 0,1 kmol/ha). Alhoewel er duidelijke verschillen van de ene naar de andere maand zijn veranderen de jaargemiddelde depositiegetallen weinig.

Tabel 4: Natte stikstofdepositie per jaar in kmol/ha

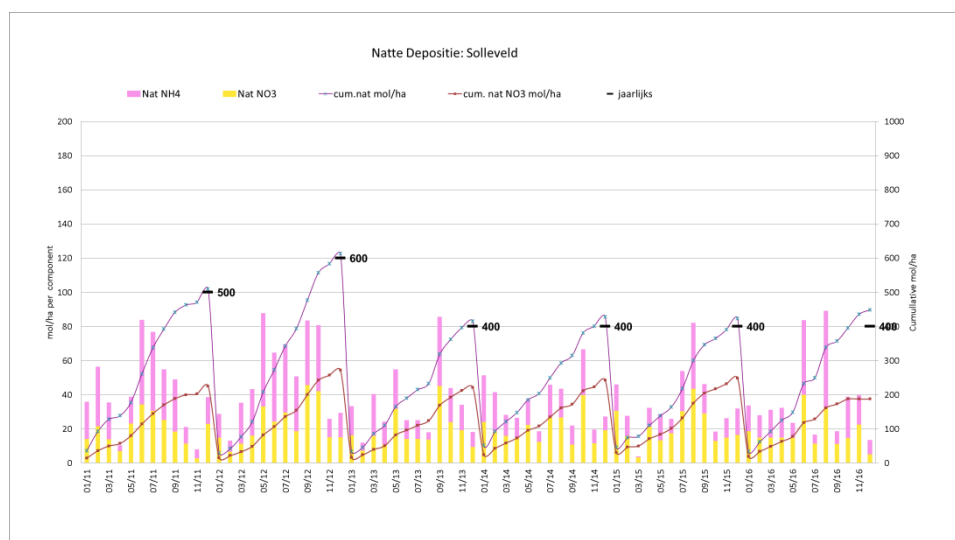
Natte N-depositie in kmol/ha	Oostvoorne	Hoek van Holland & 's Gravenzande	Solleveld
2011	0,4	0,5	0,5
2012	0,6	0,6	0,6
2013	0,4	0,4	0,4
2014	0,5	0,5	0,4
2015	0,5	0,5	0,4
2016	0,4	0,5	0,4



Figuur 10: Natte depositie van stikstof voor Oostvoorne gemiddeld over de twee stations.



Figuur 11: Natte depositie van stikstof voor Hoek van Holland gemiddeld over de twee stations.



Figuur 12: Natte depositie van stikstof voor Solleveld gemiddeld over de twee stations.

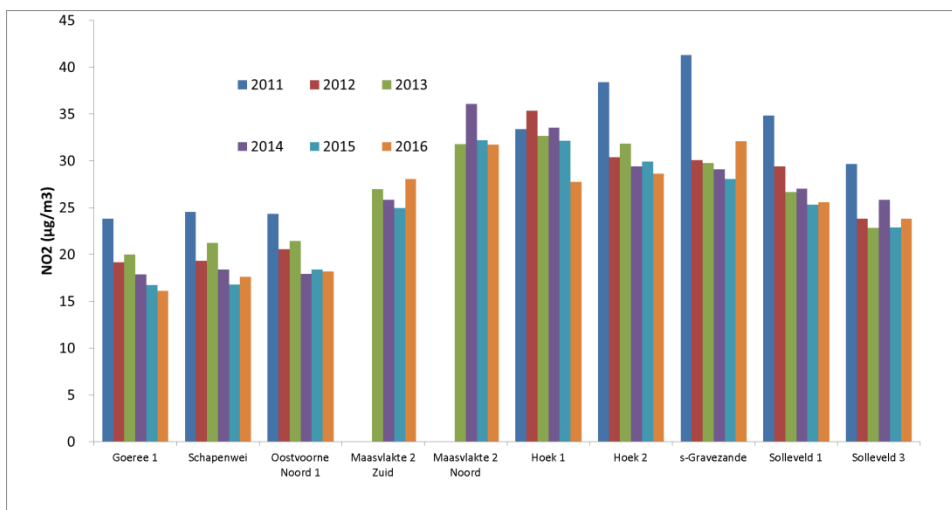
2.3.2 Concentratieingen

In 2011 zijn de verschillende onderdelen van de meetsystemen geplaatst. De voortgang van de meetresultaten tot eind 2016 zijn tussentijds op overleggen gepresenteerd en voor fase T=0 gerapporteerd. Er is een hoge datadekkingsgraad (95%) behaald voor alle chemische data. De apparatuur voor het meten van de concentraties van gassen en deeltjes (deltadenuders, zie Figuur 1) hebben naar behoren gewerkt, wat een consistente dataset heeft opgeleverd. Uit de concentratiemetingen wordt uiteindelijk de droge depositie berekend zoals beschreven in H2.2.2.

In 2016 is besloten gaten in de dataset te vullen en zo de jaarlijkse depositiegetallen te verbeteren. Dat is gedaan door data van een nabije locatie te gebruiken. Indien dit niet mogelijk bleek is een gemiddelde van de voorgaande en navolgende maand genomen. Het opvullen van gaten zorgt voor extra onzekerheid, maar het is de enige manier om de jaarlijkse depositiegetallen te verkrijgen.

Stikstofdioxide

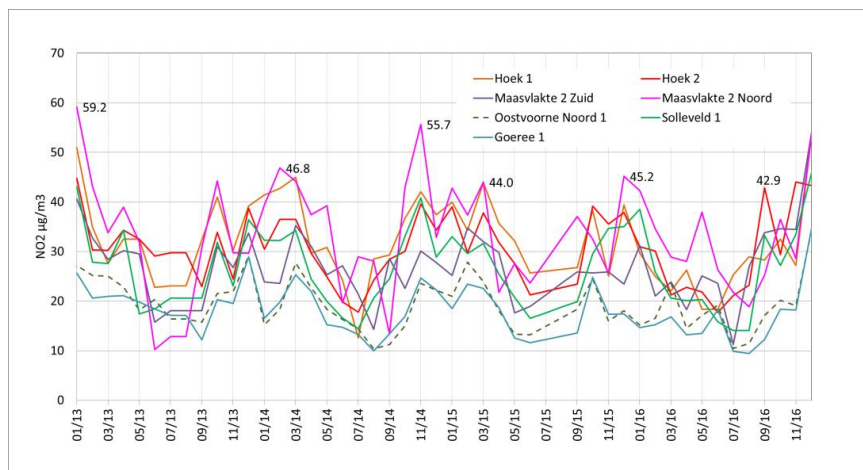
De gemiddelde NO₂-concentratieniveaus gemeten op de 10 stations is weergegeven in Figuur 13. Zichtbaar zijn lage waarden (rond de 20 µg/m³) aan de zuidkant van het havengebied, verhoogde concentratieniveaus (rond de 32 µg/m³) bij de MV2 en Hoek van Holland-stations en een afname van de concentratie vanaf Hoek van Holland richting Den Haag (naar rond de 25 µg/m³). Dit patroon is zichtbaar voor alle jaren inclusief 2015 en 2016.



Figuur 13: Kustlangse gradiënt van NO₂ jaargemiddelde concentratie voor 10 stations voor periode 2011-2016.

De hoogste NO₂-waarden werden jaargemiddeld meestal gemeten op het station Hoek van Holland 1, maar hier is evenals de meeste stations sprake van een dalende trend. De NO₂-concentraties op het station MV2 zuid en noord zijn in 2016 bijna niet gedaald en daarmee hoger dan die op Hoek van Holland. Ook op 's Gravelande meten we meer NO₂ dan op Hoek van Holland 1.

De concentratiemetingen kunnen ook per maand vergeleken worden, dat is gedaan in **Figuur 14** voor 7 stations. De laagste concentraties op de 10 stations worden gemeten op Goeree 1 en Oostvoorne zuid 2 en noord 1, de NO₂-concentratie op Solleveld 1 is duidelijk hoger dan op deze drie stations. De hoogste NO₂-concentraties zien we op het meetpunt MV2 noord. De Hoek van Holland stations (Hoek 1 en 2) liggen tussen Solleveld en MV2 in. De pieken in NO₂-concentraties zijn vrijwel allemaal in de winter. Voor een aantal pieken zijn de getallen van MV2 noord en het nabij gelegen Hoek 1 meetpunt, zoals te verwachten vergelijkbaar.

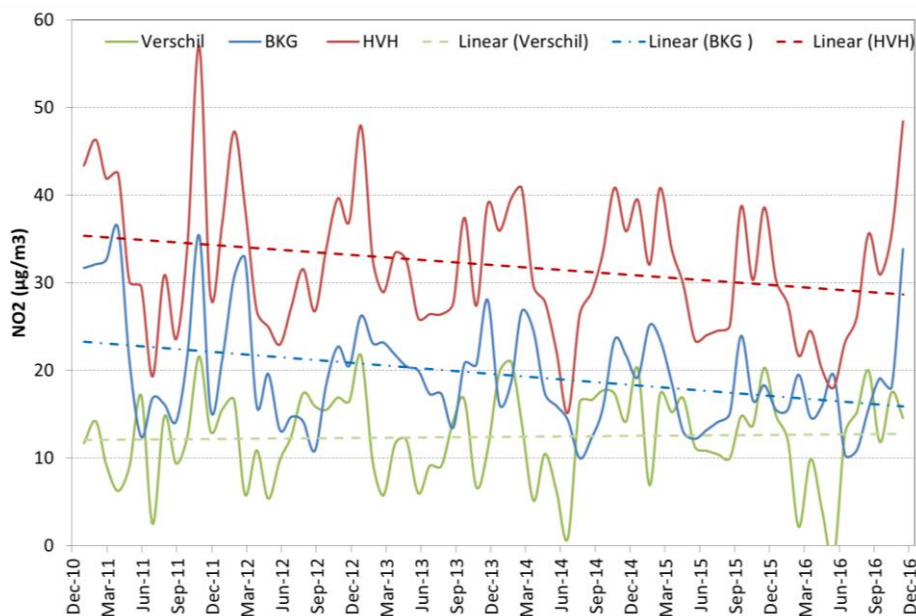


Figuur 14: NO₂-maandconcentraties voor 7 stations.

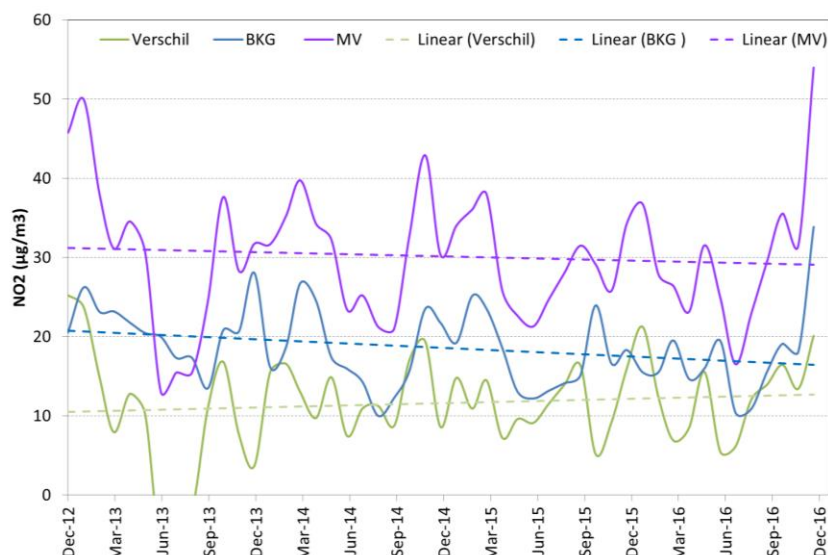
Met vijf jaar data beschikbaar, ontstaat de mogelijkheid trendanalyse te doen op de gemeten data (zie Figuur 15 voor NO₂). Het gemiddelde van de stations met de laagste concentraties Oostvoorne Zuid 2, Noord 1 en Goeree 1 is als achtergrondwaarde gebruikt. In deze achtergrond zien we een dalende trend van ongeveer $-1,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per jaar (Figuur 15 en Tabel 5). Deze daling is in lijn met de observaties van de metingen uit het landelijk meetnet luchtkwaliteit. Daarover rapporteert Hoogerbrugge et al. (2016): “De NO₂-concentraties op regionale achtergrondstations daalden in de periode 1993-2015 van 24 naar 14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Op stedelijke achtergrond- en verkeersbelaste stations daalden NO₂-concentraties in de periode 2004-2015 significant met (gemiddeld) $0,9 \pm 0,1$ en $1,1 \pm 0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per jaar. (<http://www.clo.nl/indicatoren/nl0231-stikstofdioxide>).” In Tabel 5 is een dalende trend te zien op de twee stations bij Hoek van Holland ($-1,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (zie **Figuur 15**) maar de onzekerheid is groter dan in de trend op de andere stations. Het verschil tussen de metingen op Hoek van Holland en de achtergrondstations is gelijk gebleven (met inachtnaam van de dynamiek van het signaal). Op het oog is er in de groene lijn wel eerder een toename dan een afname van het verschil te zien. Met andere woorden, de daling op Hoek van Holland gaat net iets minder snel dan op de andere stations. Bij de stations op MV2 is dit effect duidelijker te zien.

Tabel 5: Overzicht van de jaargemiddelde concentraties van NO₂ voor alle stations voor alle jaren. In de laatste kolom is de trend weergegeven. In de laatste kolom staat de r² van een lineaire fit in Excel. Groen: trend heel duidelijk (r²>0.9), oranje: trend minder eenduidig (0.9>r²>0.5), geel: eigenlijk geen trend te zien (r²<0.5).

NO2 concentratie in [µg/m3]	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Trend ug/m3 per jaar	kwaliteit lineair fit (R2)
Goeree 1	23	19	20	18	17	16	-1.3	0.92
Goeree 2	24	20	21	18			-1.7	1.00
Oostvoorne Panduin	23	18	21	18			-1.3	1.00
Oostvoorne Zuid 1	24	21	22	20			-1.3	1.00
Oostvoorne Zuid 2	24	19	21	18	17	18	-1.2	0.72
Oostvoorne Zuid 3	23	19	22	17			-1.5	1.00
Oostvoorne Noord 1	24	20	22	18	19	18	-1.1	0.51
Oostvoorne Noord 2	21	17	19	17			-0.9	1.00
Maasvlakte 2 Zuid			27	26	25	28	0.3	0.11
Maasvlakte 2 Noord			31	36	33	32	-0.1	0.01
Hoek 1	33	35	33	33	33	28	-0.9	0.55
Hoek 2	38	30	32	29	31	29	-1.3	0.50
s-Gravezande	41	30	30	29	29	33	-1.3	0.34
Solleveld 1	35	29	27	27	26	26	-1.5	0.88
Solleveld 2	30	25	24	25			-1.6	1.00
Solleveld 3	29	24	23	26	24	24	-0.7	0.03
Solleveld 4	30	25	22	25			-1.8	1.00
Westduinpark			22	25				
Meijendell			20	21				



Figuur 15: Trend in de NO₂-concentratie voor Hoek van Holland (rode lijn) over de periode 2011-2016 ten opzichte van de trend op drie stations met de laagste metingen (BKG: achtergrond, blauwe lijn). Het verschil tussen de achtergrond en Hoek van Holland is in groen weergegeven.



Figuur 16: Trend in de NO₂-concentratie voor Maasvlakte 2 (paarse lijn) over de periode 2013-2016 ten opzichte van de trend op drie stations met de laagste metingen (BKG: achtergrond, blauwe lijn). Het verschil tussen de achtergrond en MV2 is in groen weergegeven.

Figuur 16 laat dezelfde analyse als hierboven zien en vergelijkt de gegevens op de achtergrondstations met die op de twee MV2-stations. De groene lijn geeft weer het verschil aan. De toename van het verschil geeft aan dat de landelijke daling van NO₂ op MV2 maar ten dele wordt gevolgd. Mogelijke verklaring is dat de lokale bijdrage vanuit het MV1-2-gebied stijgt. Een andere mogelijkheid is dat het komt door het verschil in autonome daling tussen sectoren die nog niet aan BBT voldoen en de industrie, die grotendeels wel aan BBT voldoet en dus langzamer daalt.

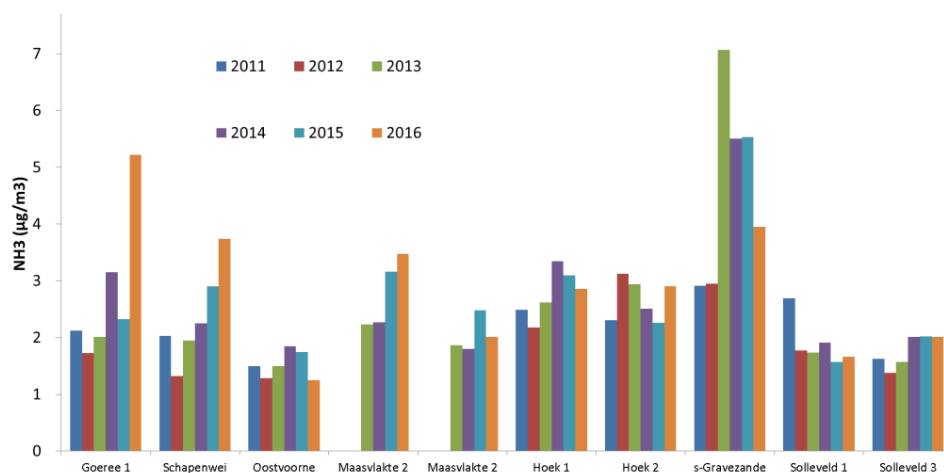
Aangezien de MV2 reeks slechts beschikbaar is vanaf 2013 en er maar één datapunt per maand wordt verzameld, is de trend minder duidelijk. In algemene zin maken langere datasets de trendanalyse robuuster (zie Figuur 15 in vergelijking tot Figuur 16).

Ammoniak

In Figuur 17 is de kustlangse gradiënt voor jaargemiddelde ammoniakconcentraties weergegeven. Figuur 18 toont de maandmetingen van ammoniak voor een aantal stations zodat ingezoomd kan worden op de jaarverschillen en mogelijke bronherkenning.

De verhoogde NH₃-concentraties op 's Gravenzande vanaf 2013 wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de introductie van grazers nabij het meetpunt. Al in de T=0 fase is geconstateerd dat dit station voor ammoniak een sterk lokaal signaal laat zien, maar omdat dit station voor alle andere componenten (SO₂ en NO_x) gunstig ligt voor de bepaling van de kustlangse gradiënt, is dit station ook in 2016 meegenomen. We zien in 2016 een duidelijke verhoging bij Goeree 1 en bij Schapenwei (Oostvoorne Zuid 2). Op de helft van de stations zien we in 2016 een stijging van de jaargemiddelde concentratie (zie Figuur 17). Een reden voor dit vervolgonderzoek was de constatering dat NH₃ op de Hoek van Holland 1 en 2 zo'n belangrijke rol heeft.

In dat kader zien we dat ook in 2015-2016 daar een hogere ammoniakconcentratieniveau gemeten wordt dan op Oostvoorne Noord 1 en Solleveld 1.

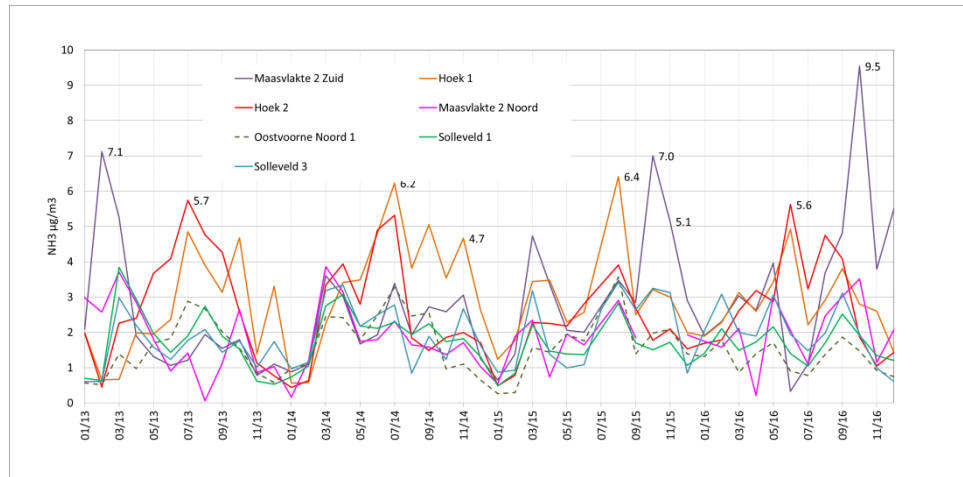


Figuur 17: Kustlengse gradiënt van NH₃-jaargemiddeldeconcentratie voor 10 stations voor periode 2011-2016.

Figuur 18 laat de concentratieniveaus van maand tot maand zien voor een aantal stations voor de periode 2013-2016. We zien dat de laagste concentraties voor NH₃ gemeten worden op Solleveld 1 en 3 en Oostvoorne Noord 1. In 2016 is sprake van een aantal hoge ammoniakpieken, met name in juni.

Bij het station Schapenwei wordt dit mogelijk veroorzaakt door een aalscholverkolonie. Voor Goeree 1 is één zeer hoge concentratie gemeten in juni 2016. Zie discussie hieronder.

Figuur 18 geeft een aantal keer verhoogde ammoniakconcentraties (=pieken) weer op de MV2 zuid en Hoek van Holland stations. Voor de pieken in de grafiek is gekeken hoe de windroos er die maand uitzag. De windrozen zijn in Figuur 19 op de meetstations geplott.



Figuur 18: De maandelijkse ammoniakconcentraties voor 7 stations. Voor de maanden met hoge concentratie op één van de stations is een datalabel toegevoegd.

Conclusies voor NH₃ zijn dat:

- De laagste concentraties worden gemeten op Solleveld 1 en Oostvoorne Noord 1.
- In 2016 zien we een stijging van NH₃ in juni en oktober (zie Figuur 18) op Goeree 1, Schapenwei en MV2 Zuid. Deze zijn duidelijk sterker verhoogd ten opzichte van andere jaren en de andere stations.
- Hoek 1 en 2 laten hogere NH₃-concentratieniveaus zien dan Oostvoorne Noord 1 en Solleveld 1. Op MV2 zuid zien we een opgaande trend.

Windroos met verdeling van de windrichting per maand

De windroos die in Figuur 19 op de meetstations zijn getekend, laten zien hoe vaak de wind in die maand uit een bepaalde richting komt. Het is dus niet het patroon van de NH₃-concentratie zelf. We meten voor NH₃ één getal dat representatief is voor de gemiddelde concentratie over de gehele maand. De windroos moet hier dus gezien worden als een 'kansverdeling'. Als we een hoge piek in NH₃ zien, is de kans het grootst dat de bron van die piek staat in de overheersende windrichting voor die maand. Maar dat geeft geen 100% zekerheid, het kan ook nog steeds een bron zijn uit een andere windrichting, maar de kans hierop is wel kleiner. Het is om dezelfde reden ook mogelijk dat een sterke tijdelijke bron niet wordt gezien, omdat de wind op dat moment net de andere kant op waait.



Figuur 19: Windrozen voor de gemeten en gemarkeerde ammoniakpieken uit Figuur 13.

Ammoniakpieken op het MV2 zuid station

Voor de NH_3 -piek in november 2015 op Maasvlakte Zuid geeft de windroos een maximum bijdrage in de windrichting vanaf zee. Dit zou op algensterfte of een ander natuurlijk proces vanaf zee kunnen duiden.

In de maand ervoor, oktober 2015 kwam de wind met name uit de oostnoordoosthoek en is de windroos vergelijkbaar met februari 2013. Voor deze twee maanden zien we pieken van respectievelijk 7 en $7,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ op het MV2 zuidstation. Terwijl op zowel Hoek van Holland als op Oostvoorne Noord geen hoge concentratie wordt waargenomen. Dat suggereert dat de bron in het Maasvlaktegebied ligt.

In de maand oktober 2016 komt de wind weer overwegend uit dezelfde richting als in februari 2013 en oktober 2015 en zien we opnieuw alleen een NH_3 -piek op het meetstation op Maasvlakte Zuid ($9,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Maar niet op Hoek van Holland en Oostvoorne Noord. Dat laatste sluit uit dat het om een grote bron op grote afstand is (bijvoorbeeld landbouwactiviteiten noord oost van havengebied). Waarschijnlijker is het dus dat het ammoniak uit het gebied in de driehoek tussen deze stations (Maasvlakte/Europoort) komt. Bekende bronnen in dit gebied zijn de elektriciteit centrales en de composteringsinstallatie.

Ammoniakpieken op Hoek van Holland en Goeree

In de maanden juli 2013, juli 2014, en juni 2016 zien we op Hoek van Holland 1 station en Hoek van Holland 2 ammoniakpieken van respectievelijk 5,7, 6,2 en $5,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$. In

deze drie maanden komt de wind dominant uit de noordwesthoek en dus over de Noordzeekust.

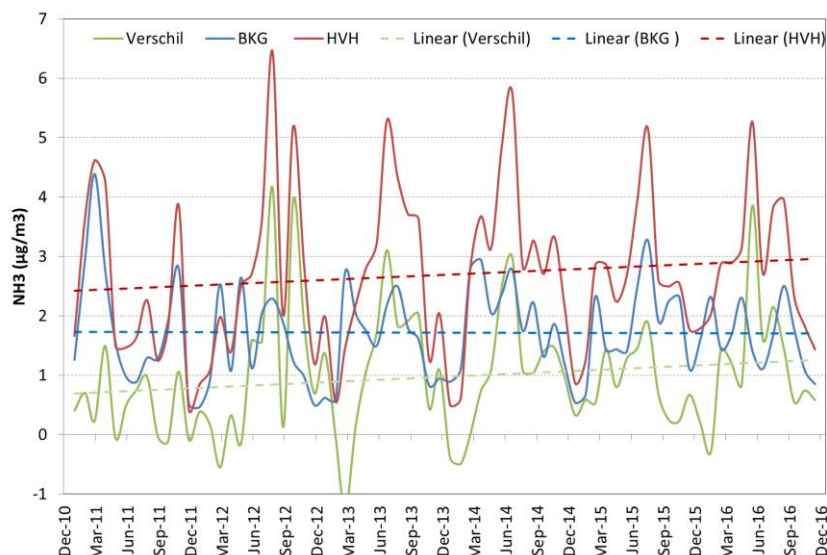
In juni 2016 zien we overigens ook op Goeree een concentratieniveau van bijna $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en dat zorgt in die maand voor een derde van de jaardepositie ($0,7$ van de $2,3 \text{ kmol}/\text{ha}$). De groene windroos in Figuur 19 bij HvH laat de duidelijk noordelijke aanstroming in die maand zien. De bijbehorende meting op MV2 zuid in die maand is onzeker maar lijkt laag. Emissie uit het water van Haringvliet en Maasmond zouden de pieken op HvH respectievelijk Goeree kunnen verklaren. Dat ondersteunt de hypothese dat er ammoniak uit zee komt. Voor wat betreft Goeree zijn overigens ook in mei en oktober de concentratieniveaus hoog, bij mei komt de wind echter uit drie verschillende richtingen. In oktober komt de wind uit oostelijke richting. Daar liggen bij Goeree met name landbouwbronnen.

Voor augustus 2015 zien we de hoogste ammoniakpiek op Hoek van Holland 1 met een concentratie van $6,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ maar de wind heeft in deze maand geen dominante richting. Hierdoor is een brongebied voor deze maand niet aan te wijzen.

Voor deze methode geldt dat, hoe frequenter er een gemiddeld eenduidige windrichting in een maand is, hoe stelliger we uitspraken over bronnen of brongebieden kunnen doen. Hiervoor is een langjarige meetreeks nodig. De analyse over de pieken in 2015-2016 is moeilijker door het ontbreken van additionele informatie op een aantal extra stations die in het T=0 project beschikbaar waren.

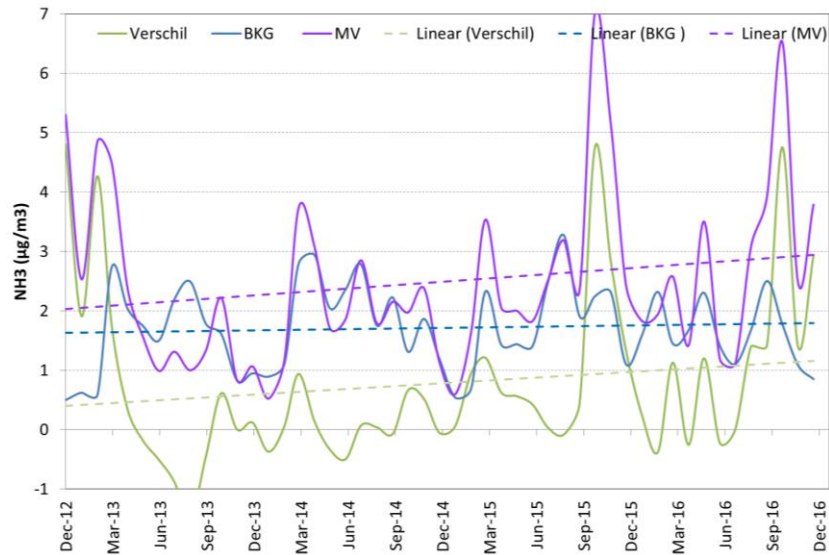
Trend in Ammoniak

Figuur 20 en Figuur 21 tonen de trendanalyses van gemeten ammoniakconcentraties. Net als bij NO_2 neemt het verschil toe tussen de trend in de ammoniakconcentratieniveaus op de MV2-stations en op de stations met de laagste metingen die als achtergrond worden gebruikt. Dit suggereert dat de lokale bronnen op of om MV2 toenemen. Dezelfde conclusie geldt ook voor Hoek van Holland. Voor zover bekend is er in de meetepisode geen nieuw bedrijf actief geworden op MV2 dat ammoniak uitstoot. Wel is met de Margriethaven een binnenmeer ontstaan, waardoor het relatief warme water wellicht een verhoogde biologische activiteit kan optreden waarbij hypothetisch NH_3 wordt gevormd. Kanttekening is dat het verschil 2011-2016 in de trendlijn van ongeveer $0,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ maar overeenkomst met 10-15% van de maandelijkse dynamiek in het signaal. Dat is overigens niet uniek, ook bij trendanalyse van broeikasgassen boven Nederland is de trend veel kleiner dan de dag/nachten seizoensdynamiek van het signaal.



Figuur 20: Trend in de NH₃-concentratie voor Hoek van Holland (rode lijn) over de periode 2011-2016 ten opzichte van de trend op drie stations met de laagste metingen (BKG: achtergrond, blauwe lijn). Het verschil tussen de achtergrond en HvH is in groen weergegeven.

Een andere methode om de data te analyseren is het evalueren van de correlatie tussen de gemeten hoeveelheid NO₂ en NH₃ op de verschillende stations. Voor de meeste stations ligt de zee in één windhoek, de industrie in een andere hoek en het achterland (met als bron met name landbouw) in weer een andere hoek. De verwachting is, dat als de wind uit de industriehoek komt er relatief meer NO_x en minder NH₃ gemeten wordt. Een preferente aanstroming over een gebied met algen of een vogelkolonie zal juist tot pieken in NH₃ leiden, maar niet tot pieken in NO₂. De twee concentraties zijn dan ook positief of negatief gecorreleerd. Indien een bron zowel NH₃ als NO₂ uitstoot komen pieken in de concentraties tegelijkertijd langs. Er is dan een positieve correlatie.

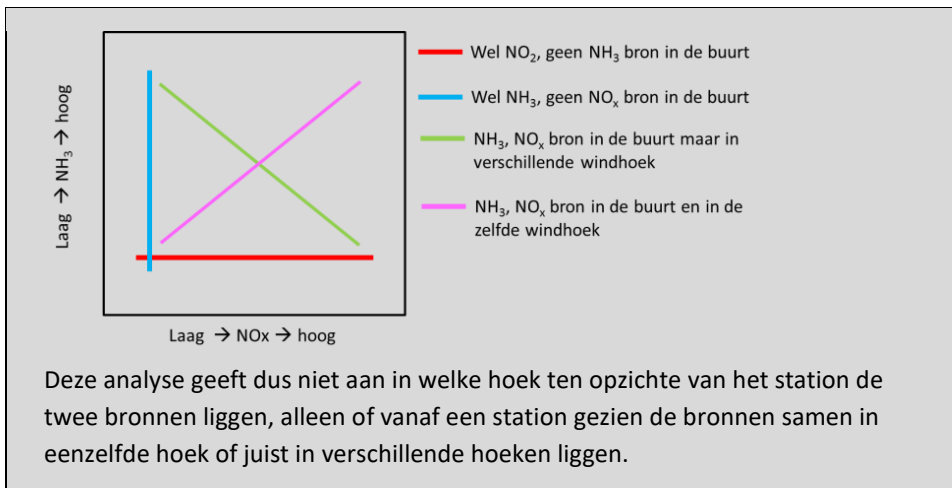


Figuur 21: Trend in de NH₃-concentratie voor MV2 (paarse lijn) over de periode 2013-2016 ten opzichte van de trend op drie stations met de laagste metingen (BKG= achtergrond, blauwe lijn). Het verschil tussen de achtergrond en MV2 is in groen weergegeven.

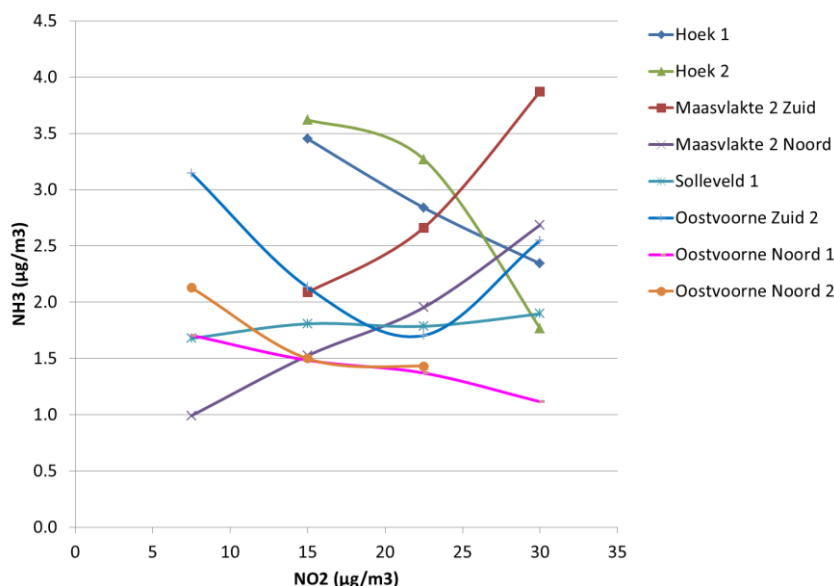
Correlatieplaatje

Om Figuur 22 te maken zijn de data voor de hele episode 2011-2016 gebruikt (60 maanden). De data is per meetstation in de volgende vier NO₂-klassen gesorteerd: alle metingen tussen 0-7,5 µg/m³, 7,5-15 µg/m³, 15-22,5 µg/m³, 22,5-30 µg/m³. In elke klasse komen rond de 10 tot 20 maanden terecht. Concentraties boven de 30 µg/m³ zijn in deze analyse niet meegenomen (dit komt in minder dan 10 maanden voor). Voor de klassen met gesorteerde maanden is vervolgens het bijbehorende gemiddelde van de ammoniakconcentraties berekend.

Er zijn meerdere mogelijkheden hoe de NH₃- en NO₂-concentraties zicht tot elkaar verhouden. Op een meetpunt waar in de omgeving alleen ammoniakbronnen liggen, varieert de concentratie van ammoniak wel, maar die van NO₂ veel minder (blauwe lijn in onderstaand Figuur). Omgekeerd, op een meetpunt tussen NO₂-bronnen ver van NH₃-bronnen ontstaat een bijna horizontale lijn (rood). Als ten opzichte van een meetpunt in de ene hoek ammoniakbronnen en in de andere hoek NO₂-bronnen liggen dan zijn de twee concentratiegetallen negatief gecorreleerd (groen). Liggen de bronnen van NH₃ en NO₂ op min of meer dezelfde plek, gezien vanaf het meetstation, dan zijn de concentraties positief gecorreleerd (roze lijn).



Figuur 22 laat zien dat op eigenlijk alle stations, met uitzondering van MV2 stations, de NO₂- en NH₃-data negatief gecorreleerd zijn; wanneer de NO₂-concentratie toeneemt, neemt de NH₃-concentratie af of andersom. Voor de twee MV2 stations is dit patroon omgekeerd. Daar meten we dus bijdragen van bronnen die NO₂ en NH₃ emitteren en hetzij dicht bij elkaar, of in dezelfde windhoek liggen. Omdat op de MV- en HvH-stations de NO₂-concentratie niet onder de 10 komt beginnen de x-y-lijnen een punt later dan op de stations waar dat wel gebeurt. Met name het verschil in respons tussen de MV en HVH stations is opmerkelijk omdat (zeker voor MVnoord) geldt dat ten opzichte van de grotere brongebieden (het westland, Rotterdam, intensieve veehouderij in het achterland) de ligging heel vergelijkbaar is. Het verschil wordt dus waarschijnlijk veroorzaakt door een NH₃-bron binnen 10-15 km afstand die op de MV2 stations anders combineert met NO₂ dan voor Hoek van Holland.



Figuur 22: Vergelijking tussen gemeten NO₂ en NH₃ per station. De data is gegroepeerd in stappen van 7,5 µg/m³ voor NO₂-concentraties.

Hypotheses verhoogde ammoniakconcentratie op MV2 stations en HvH

Samenvattend zijn er een aantal hypothesen voor de hierboven geconstateerde hogere ammoniakconcentraties op Hoek van Holland 1 en 2 en de MV2-stations ten opzichte van de stations Oostvoorne Noord en Solleveld 1.

- Hypothese 1: NH₃-emissies uit zee.

Indien dit het geval is dan zijn de emissies zoals te verwachten hoger bij de monding van de Maas dan verderop (Solleveld). De vraag blijft dan echter wel hoe de toenames van de NH₃-concentraties in 2016 hiermee te verklaren zijn. Omdat het in deze hypothese om een ecologisch proces gaat zou dat te verklaren kunnen zijn met weers- en stromingscondities, waardoor een hogere primaire productie kan zijn ontstaan.

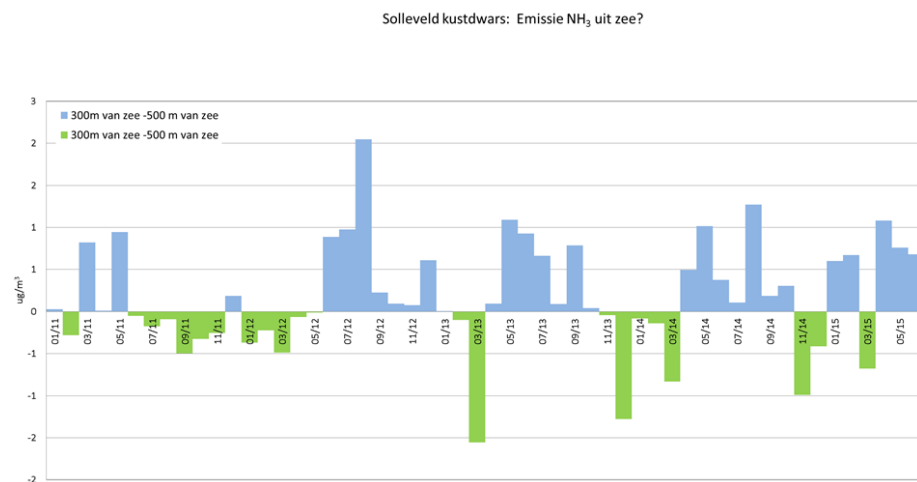
- Hypothese 2: NH₃-emissies door toename van activiteiten op of nabij MV2.

Een mogelijke verklaring voor de NH₃ toename in 2016 is het gebruik en de overslag van ammoniak voor de nieuwe DeNOX-installaties in het gebied (MV1).

- Hypothese 3: NH₃-emissies uit een bron bij Zeeland, al dan niet voor de kust. En het kan zijn dat er pieken optreden die correleren met het spuiregime van de Haringvliet.

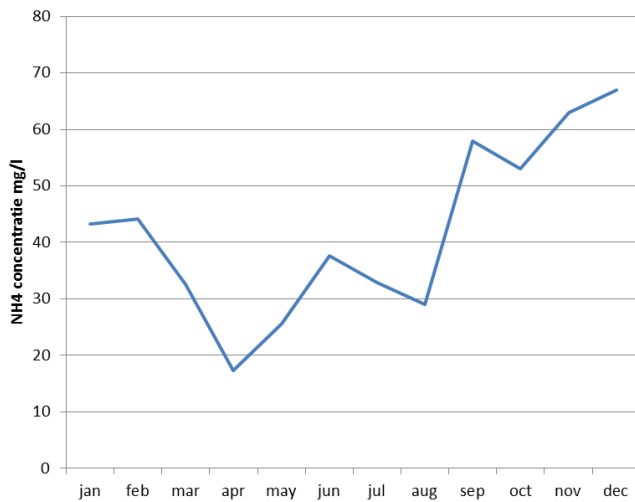
- Hypothese 4: Een verhoogde NH₃-emissie uit het Princes Margriet havengebied door de beschikbaarheid van warmer water door de uitstroom uit de elektriciteitscentrales.

Voor wat betreft hypothese 1, in de rapportage van het MAN netwerk van het RIVM is aangegeven dat er een emissie van ammoniak uit zee wordt gemeten. Om te onderzoeken of dit ook in onze dataset het geval is, is de kustdwarse ammoniakgradiënt op Solleveld voor de eerste twee meetpunten (300 m respectievelijk 500 m van de zee) weergegeven in Figuur 23.



Figuur 23: Het verschil in de maandelijkse ammoniakconcentratie van de twee meetpunten Solleveld 2 en 3. Voor de blauwe balken is de ammoniakconcentratie bij de kust hoger, en voor de groene balken is de ammoniakconcentratie meer het land in hoger.

Om meer informatie te vergaren omtrent de mogelijkheid dat er significante emissie van NH_3 uit zee komt is een extra meetcampagne uitgevoerd die in Hoofdstuk 3 wordt beschreven. Ook werd er een workshop georganiseerd samen met Deltares en RIVM.



Figuur 24: Ammoniumgehalte in het zeewater gemiddeld per maand voor 7 stations langs de kust (Vlissingen, Wissekerke, Goeree, Schouwen, Walcheren, Noordwijk en Zijpe) bron: MWTL-metingen met dank aan Anouk Blauw, Deltares.

In Figuur 24 is op basis van data voor 7 stations in de periode 2004-2008 de seizoensvariatie van de hoeveelheid NH_4 in het zeewater weergegeven. Dit NH_4 is beschikbaar als bron voor NH_3 naar de lucht. Hoeveel NH_4 als NH_3 naar de lucht wordt geëmitteerd is afhankelijk van de pH en temperatuur van het zeewater. Het tijdverloop van NH_4 lijkt wel gekoppeld aan een vanaf de lente toenemende hoeveelheid algen die afsterft en NH_4 in het water achterlaat.

Voor wat betreft hypothese 2 en 4, suggereert de correlatieplot in Figuur 22 dat de bron van NH_3 en NO_x bij elkaar liggen en dan is een DNOX-installatie (waar nog steeds NO_x uit komt maar ook NH_3 uit kan komen) een optie. Echter, de nieuwe elektriciteitscentrales zijn in 2013 gaan proefdraaien en zijn sinds 2014 in bedrijf. Indien de daar gebruikte DNOX-installaties of het laden en lossen van NH_3 de verhoging van de NH_3 -data moet verklaren lijkt een sprong omhoog in 2013 aannemelijker dan een langzaam over de tijd oplopende waarde.

Voor hypothese 3 hebben we binnen dit project beperkt onderzoek kunnen uitvoeren, de heel grote piek NH_3 op Goeree in juni 2016 is een sterke aanwijzing dat er ten noorden van het meetpunt, dus uit de richting van de monding van de Haringvliet NH_3 komt.

Hypothese 4 kan de geleidelijk oplopende NH_3 -concentratie wel verklaren. Sinds in gebruikname is er sprake van lozing van het koelwater op de Princes Margriet haven in plaats van lozing op de zee. Het warme water zou kunnen zorgen voor extra biotische productie in het Princes Margriet havengebied. Indien afbraak van het biotisch materiaal zou leiden tot beschikbaarheid van NH_4 en dus tot NH_3 -emissie dan kan dat

wellicht wel een geleidelijke toename van NH₃-emissie geven. In Hoofdstuk 3 wordt daar verder naar gekeken.

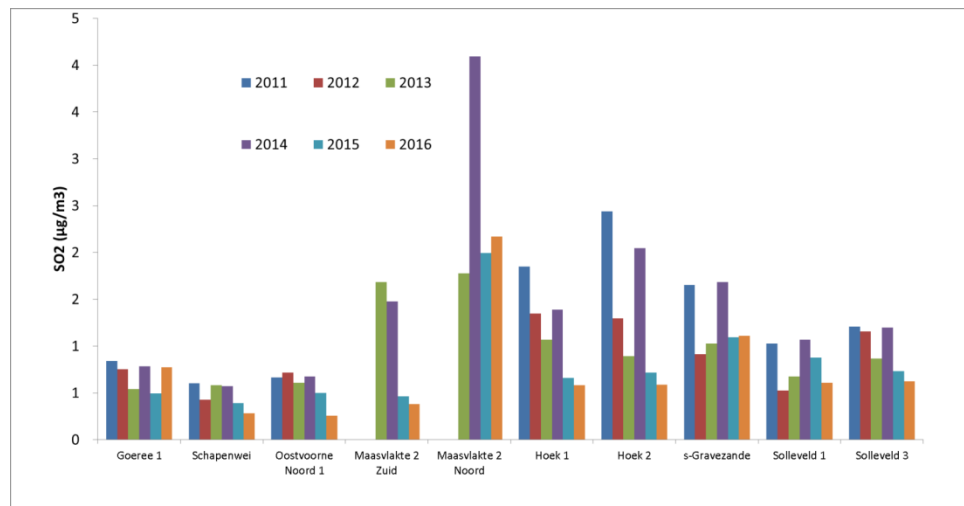
Al met al is op basis van alleen de maandgemiddelde concentratiedata het slechts beperkt mogelijk te bepalen welk van de hypothesen juist is (of dat er meerdere processen tegelijkertijd werken). Elke maandmeting bevat immers een mengvorm van bijdragen van bronnen uit verschillende windrichtingen. Alleen door statistiek, dus veel metingen in verschillende maanden, kan een ruimtelijk patroon geëvalueerd worden of door gebruik te maken van de combinatie van gemeten parameters. De correlatie-techniek maakt daarbij optimaal gebruik van de beschikbaarheid van meerdere componenten op dezelfde plaats en tijd.

In Hoofdstuk 3 wordt verder gezocht naar de mogelijke locaties van NH₃-bronnen die de concentratiepieken op de Hoek van Holland en Maasvlakte-stations kunnen duiden.

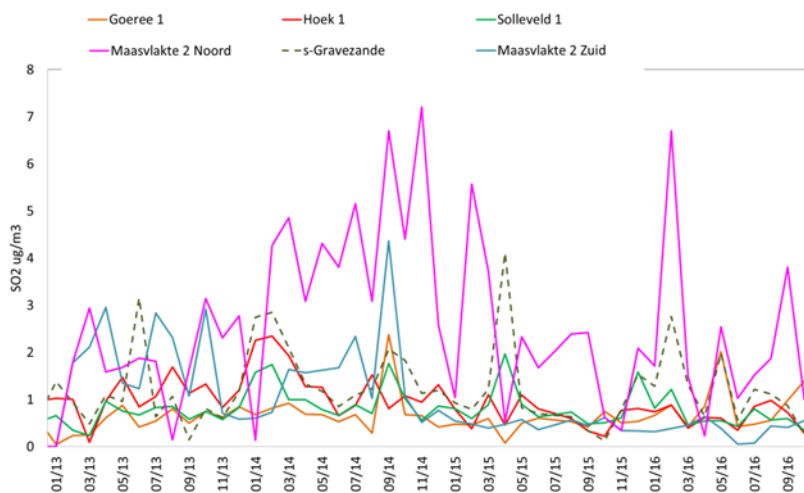
Zwaveldioxide

De SO₂-getallen zijn om twee redenen van belang. Allereerst, omdat de depositie van zwavelzuur (H₂SO₄) aan verzuring van de bodem bijdraagt. Ten tweede, omdat de depositie van ammoniak anders verloopt in gebieden met een hoge SO₂-concentratie (via zogenaamde co-depositie). Voor vrijwel alle maanden is SO₂ duidelijk verhoogd voor het station Maasvlakte 2 Noord ten opzichte van de overige stations (zie Figuur 25 en Figuur 26). In 2014 zijn voor alle stations de SO₂-concentraties relatief hoog ten opzichte van de andere jaren. We zien een kustlangse gradiënt die vergelijkbaar is met die van NO₂, maar voor SO₂ ligt de piek echter op de Maasvlakte 2 locatie en niet op Hoek van Holland.

Het SO₂-niveau is relevant omdat hogere SO₂-gehalten in de lucht leiden tot co-depositie, ammoniak deponeren sneller in een gebied waar ook SO₂ deponeren (Erisman & Weijers 1993). Er is geen duidelijke trend in SO₂-concentraties in de tijd waarneembaar.



Figuur 25: Kustlangse gradiënt van jaargemiddelde SO₂ concentraties voor 10 stations voor periode 2011-2016.



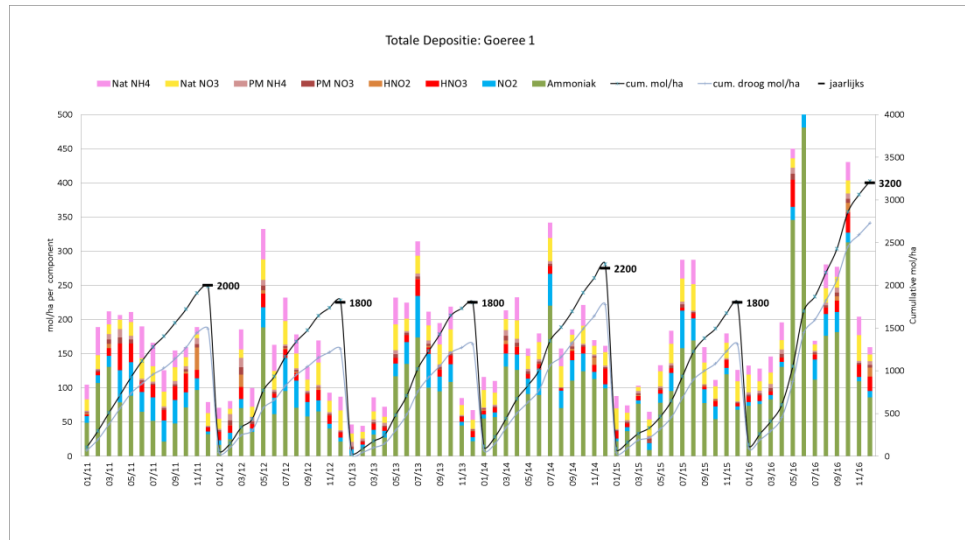
Figuur 26: Maandelijks SO_2 -concentraties voor de periode 2011-2016.

2.3.3 Totale depositieniveaus

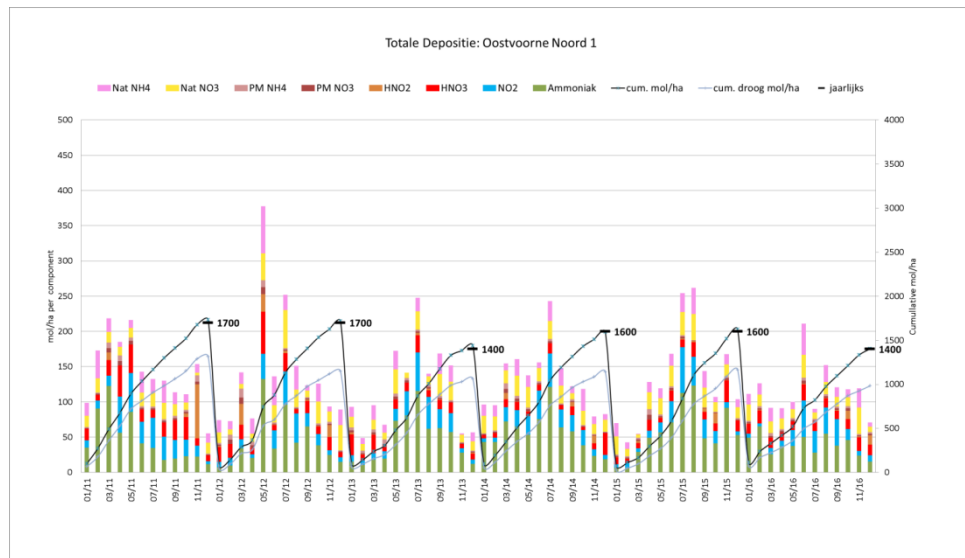
Samenvoeging van de natte depositie met de berekende droge depositie levert de totale depositie per meetlocatie en per periode. Figuur 27, Figuur 28, Figuur 29 en Figuur 30 geven de totale stikstofdepositie voor de periode 2011-2016 voor de stations Goeree, Oostvoorne Noord, Hoek van Holland 2 en Maasvlakte 2 Zuid weer. Het patroon van de totale stikstofdepositie in tijd en in ruimte wordt met name bepaald door het patroon van de droge depositie. Binnen de droge depositie is NH_3 het belangrijkste.

Voor nitraat en ammonium is de natte depositie gecorrigeerd ten opzichte van de voorgaande rapportage. Hierdoor zijn alle niveaus 0,1-0,6 kmol/ha hoger dan in de T=0 rapportage. De correctie leidt tot een verhoging van de berekende totale stikstofdeposities. De verhouding tussen natte en droge stikstofdepositie is na correctie in lijn met de gemiddelde verhouding (rond de 30%-70%) in Nederland bepaald aan de hand van historische data.

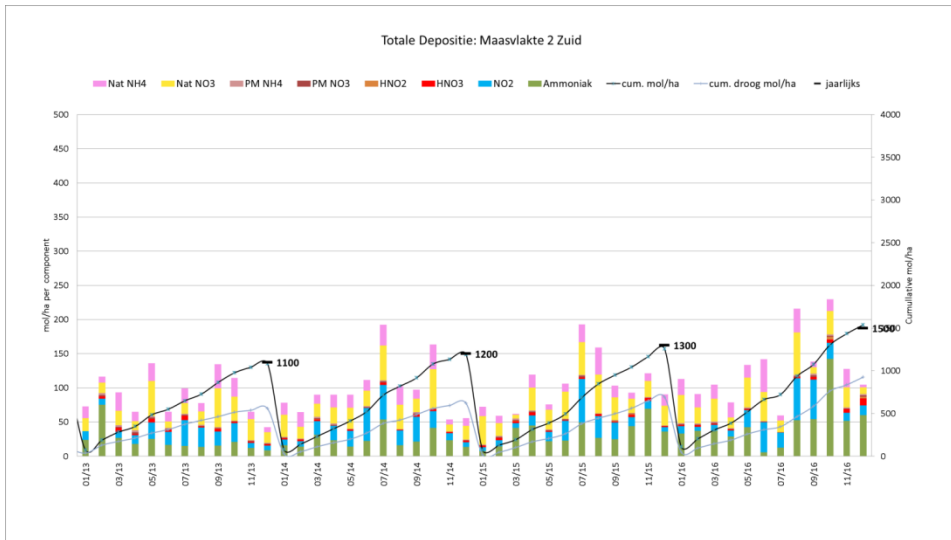
Op Goeree 1 vallen de zeer hoge depositiewaarden voor 2016 op. Deze worden veroorzaakt door de sterke toename van ammoniakconcentraties op deze locatie (zie ook de discussie bij de NH_3 -concentratie). Op Oostvoorne Noord 1 lijkt er een licht dalende trend te zijn in het jaarlijks depositieniveau. Op de Maasvlakte 2 zagen we in Paragraaf 2.3.2 dat de concentratieniveaus voor NO_2 en NH_3 hoger of niet veel lager zijn dan op andere stations. De depositieniveaus liggen echter wel lager vanwege de lage ruwheid op deze locatie in verhouding tot andere locaties. Omdat de relevante habitattypen niet binnen het MV2 gebied vallen geeft dat verder geen problemen.



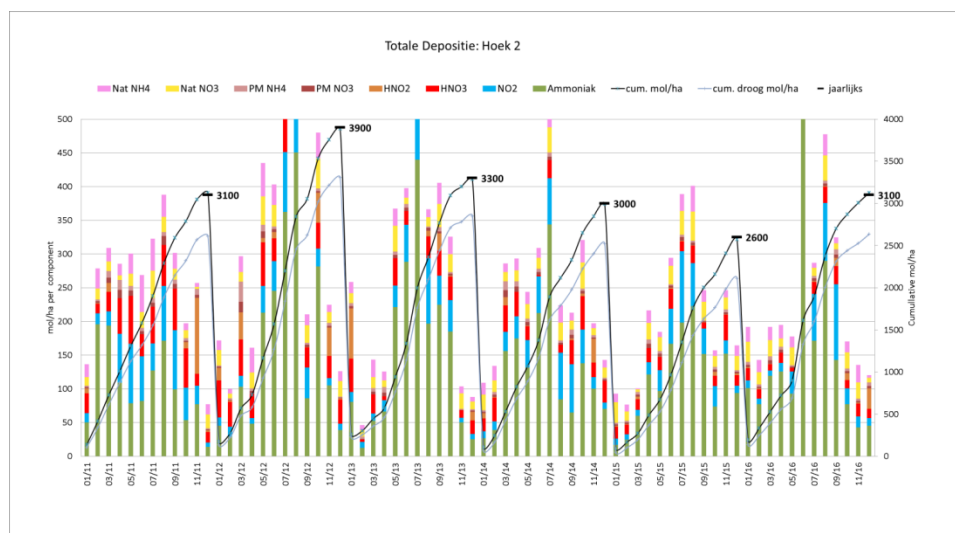
Figuur 27: Tijdserie van totale stikstofdepositie voor de locatie Goeree 1. Weergegeven is de verdeling per maand van de verschillende componenten en de cumulatieve depositie per jaar (zwart). 'PM' staat voor Particulate Matter (aerosol, fijnstof).



Figuur 28: Tijdserie van totale stikstofdepositie voor de locatie Oostvoorne Noord 1. Weergegeven is de verdeling per maand van de verschillende componenten en de cumulatieve depositie per jaar (zwart). 'PM' staat voor Particulate Matter (aerosol, fijnstof).



Figuur 29: Tijdsree van de totale stikstofdepositie voor de locatie Maasvlakte 2 Zuid. Weergegeven is de verdeling per maand van de verschillende componenten en de cumulatieve depositie per jaar (zwart). 'PM' staat voor Particulate Matter (aerosol, fijnstof).



Figuur 30: Tijdserie van de totale stikstofdepositie voor de locatie Hoek van Holland 2. Weergegeven is de verdeling per maand van de verschillende componenten en de cumulatieve depositie per jaar (zwart). 'PM' staat voor Particulate Matter (aerosol, fijnstof)

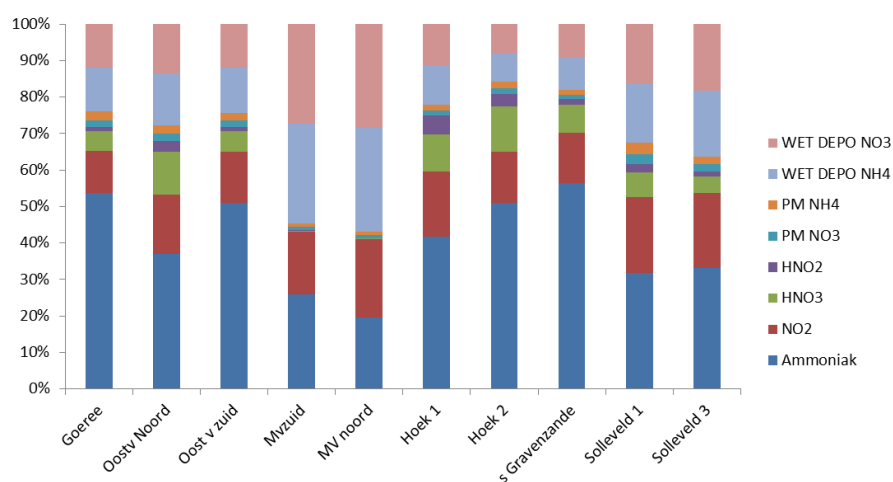
Op Hoek van Holland 2 daalde het stikstofdepositieniveau licht van 2012 tot en met 2015, maar in 2016 wordt deze trend niet doorgezet en komt het niveau weer hoger uit dan in 2015. Dit wordt met name door de hogere ammoniakdeposities in de periode juni-augustus veroorzaakt.

In Tabel 6 is het overzicht gegeven van de depositieniveaus in kmolN/ha/jaar voor alle stations en voor alle jaren met voldoende datadekking.

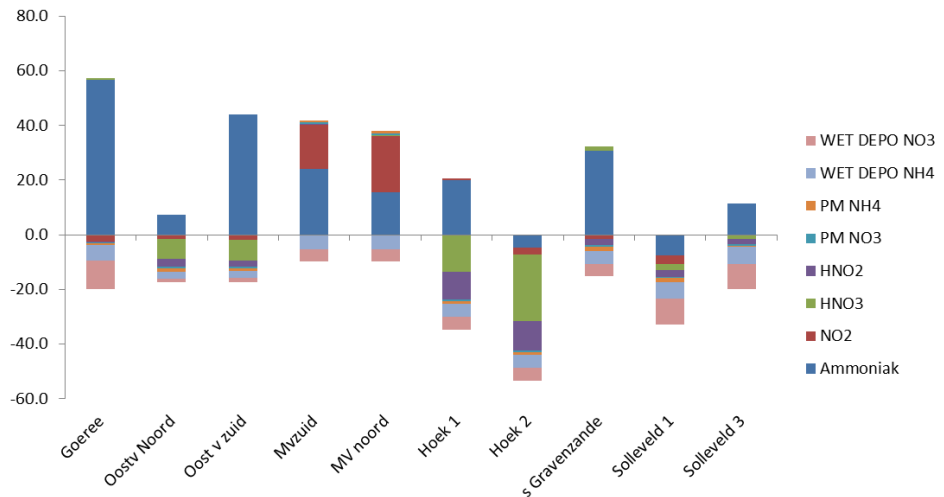
Om de rol van de verschillende chemische componenten te duiden, is in Figuur 31 en Figuur 32 voor elk station de gemiddelde samenstelling van het depositiegetal over de gehele periode 2011-2016 weergegeven. Hieruit blijkt dat de bijdrage van ammoniak aan de totale stikstofdepositie varieert tussen 20% op de Maasvlakte 2 tot 56% op 's Gravenzande. Hiermee heeft de ammoniakdepositie een prominente rol in de ruimtelijke verdeling van de totale stikstofdepositie langs de kust. De bijdrage van NO_2 , HNO_2 en HNO_3 , alle drie gekoppeld aan de emissies uit verbrandingsprocessen, varieert tussen de 12 en 39%. De bijdrage van de natte depositie varieert tussen de 24 en 56%, waarbij de rol van ammonium (grotendeels gevormd uit ammoniak) en nitraat (grotendeels gevormd uit NO_x) vrijwel gelijk is. Dit is een van de belangrijke redenen om in Hoofdstuk 3 nader te zoeken naar bronnen van ammoniak.

Tabel 6: Overzicht van de stikstofdepositie (kmol N/ha/jaar) voor alle stations voor alle jaren.

Station	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Goeree 1	2.0	1.8	1.8	2.2	1.8	3.2
Goeree 2	1.8	1.8	1.8	2.5		
Panduin	1.7	1.6	1.8	2.0		
Oostvoorne zuid 1	1.8	1.8	1.6	2.1		
Oostvoorne zuid 2	1.9	1.6	1.6	1.7	2.0	2.3
Oostvoorne zuid 3	1.8	2.1	2.0	2.3		
Oostvoorne noord 1	1.7	1.7	1.4	1.6	1.6	1.4
Oostvoorne noord 2	1.8	1.9	1.5	1.5		
Maasvlakte Zuid			1.1	1.2	1.3	1.5
Maasvlakte Noord			1.1	1.2	1.2	1.3
Hoek 1	2.4	2.5	2.1	2.5	2.1	2.3
Hoek 2	3.1	3.9	3.3	3.0	2.6	3.1
S Gravenzande	2.6	2.3	3.3	3.1	3.1	2.7
Solleveld 1	2.1	1.7	1.3	1.5	1.2	1.3
Solleveld 2	1.9	1.8	1.5	1.8		
Solleveld 3	1.6	1.4	1.2	1.4	1.3	1.4
Solleveld 4	1.9	2.9	2.6	2.7	2.3	
Westduinpark			1.4	1.6		
Meijendel			1.2	1.3		



Figuur 31: Bijdrage van verschillende chemische componenten aan de depositie per locatie.



Figuur 32: Verandering van de bijdrage per component aan de depositie per locatie. De verandering is weergegeven in het gemiddelde voor de episode 2011-2013 en die van 2014-2016.

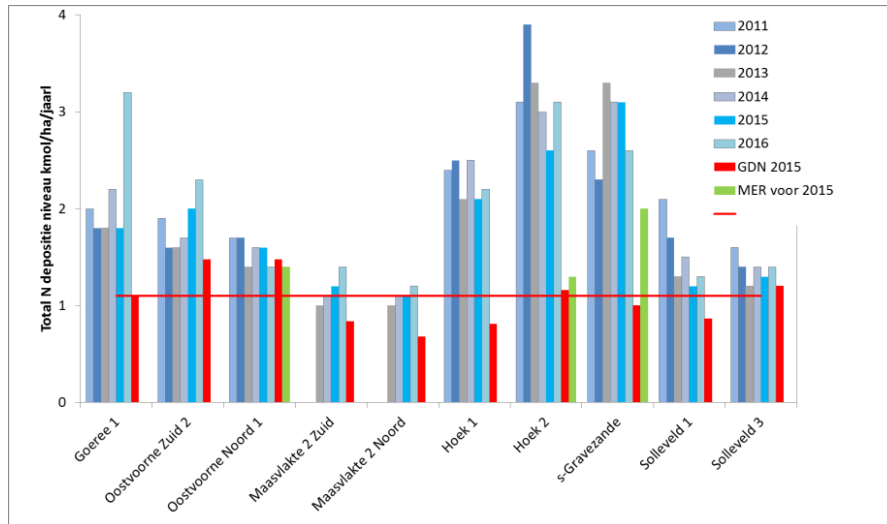
In Figuur 32 is de verandering per component in de tijd weergegeven. Hiervoor is het gemiddeld niveau over de episode 2011-2013 afgetrokken van dat over de episode 2014-2016. Alle componenten boven de x-as zijn dus toegenomen in de tijd en alles eronder neemt af. Op bijna alle stations steeg de bijdrage van ammoniak, behalve op Hoek van Holland 2. Beide stations op de Maasvlakte 2 laten dezelfde stijging van de depositie voor NO_2 en NH_3 zien. Let op voor deze twee locaties zijn de data pas vanaf 2013 beschikbaar. Er is daar dus twee jaar minder statistiek beschikbaar dan op de overige locaties.

In Tabel 7 staan de verwachte totale depositiegetallen volgens het MV2 MER uit 2008 vermeld. De voor het MER voor 2015 voorspelde getallen op basis van de toenmalig beschikbare GDN kunnen inmiddels vergeleken worden met de depositiegetallen die zijn afgeleid uit de metingen (zie Figuur 33). Hieruit blijkt dat de op metingen gebaseerde stikstofdepositieniveaus voor 2015 op Goeree en Voornes Duin grofweg 0,1-0,5 kmol/ha hoger zijn dan de MER voorspelde waarden. De op metingen gebaseerde depositiewaarden voor Solleveld 1 en 3 zijn vergelijkbaar met de voorspellingen in het MER. De gemeten deposities bij de locaties rond Hoek van Holland zijn duidelijk hoger dan de voorspelde waarden volgens de MER-rapportage.

Tabel 7: Totale voorspelde stikstofdepositie (kmol N/ha/jaar), met tussen haakjes de uit het MER overgenomen waarden in (mol/ha/jaar) voor vier locaties volgens de MER Maasvlakte 2.

Locatie	Depositie 2003	Depositie 2005	Depositie 2020	Depositie 2033
A. Het Groene Punt (Voornes Duin)	1,2 (1180)	1,2 (1150)	1,1 (1078)	1,1 (1078)
B. Voorne Noord (Voornes Duin)	1,4 (1410)	1,4 (1,383)	1,3 (1,317)	1,3 (1,317)
C. Hoek van Holland (Kapittelduinen)	1,2 (1,230)	1,3 (1,317)	1,5 (1,527)	1,5 (1,527)
D. 's-Gravenzande (duinen)	2,3 (2,300)	2,1 (2,097)	1,7 (1,694)	1,7 (1,694)

Om de verschillen te kunnen duiden is in 2014 een nader onderzoek uitgevoerd. De algemene conclusie van dat onderzoek was dat de verschillen tussen de gemeten en berekende depositiewaarden grotendeels verklaarbaar zijn op grond van de gebruikte ruwheids- en meteorologische data en verschillen in gemeten en berekende deposities. De rapportage van fase T=0 ging hier nader op in. Het verschil blijkt nu groter omdat in de T=0 rapportage door een fout te lage natte depositiewaarden zijn gerapporteerd (met name voor nitraat).



Figuur 33: Totaal stikstofdepositieniveaus voor 10 van de 19 stations waar de metingen in 2016 doorliepen. De rode lijn op 1,1 kmol N/ha/jaar geeft het kritische depositieniveau van H2130A (grijze duinen, kalkrijk) weer. Voor de stations op Maasvlakte 2 geldt dat daar een depositieniveau is uitgerekend, maar dat het betreffende habitattypen er niet aanwezig is. De donkerste balk van de serie grijs-zwarte balken geeft de depositiewaarde aan gebaseerd op de metingen van 2015. De rode balk ernaast hetzelfde getal uit de GDN-kaart voor het gridvlak waarbinnen het meetpunt ligt. De groene balken geven de berekende waarden weer die voor 2011 in het MER als voorspelling voor 2015 werden opgenomen.

2.4 Discussie

Bij een interne kwaliteitscontrole is gebleken dat de eerder gerapporteerde natte depositie gecorrigeerd dient te worden. De natte depositie wordt daardoor hoger en daarmee ook de totale depositie dan eerder gerapporteerd. Hierdoor komt de verhouding tussen de droge en natte depositiegetallen beter in lijn met de generieke verhouding (2:1) over Nederland.

De gegevens van 2011-2014 geven het beeld van de T=0 situatie, in 2015-2016 is er een begin van industriële activiteiten op MV2.

Wat is de actuele stikstofdepositie op de habitattypen H2130 (grijze duinen) en habitattypen H2190 (vochtige duinvalleien) in Voornes Duin, Solleveld & Kapittelduinen en de Duinen van Goeree?

De berekende stikstofdepositieniveaus laten per locatie grote verschillen zien (range 0,7-3,9 kmol N/ha/j). De hoogste waarden zijn gemeten op locatie Hoek van Holland 2 (range 2,6-3,9 kmol N/ha/jaar). De hoge ruwheid op deze meetlocatie (met name door de orografie van het terrein) zorgt voor een 15-20% hogere invang van ammoniak dan op de andere duinlocaties. Maar ook zijn de NH₃- en NO₂-concentratieniveaus respectievelijk 20% en 25% hoger dan elders. De depositiewaarden overschrijden een factor 2-3 kritische depositiegrens voor het in de omgeving van dit meetpunt gelegen vegetatietype grijze duinen.

De totale stikstofdepositie op Maasvlakte 2 zelf (1,1-1,2 kmol/ha) is aanmerkelijk lager dan die in Hoek van Holland, maar vergelijkbaar met de deposities in Solleveld bij aanmerkelijk lagere ruwheid (respectievelijk 0,01 en 0,1 m). Nabij meetpunt Maasvlakte 2 is uiteraard geen sprake van beschermde duinvegetatietypen.

De rol van ammoniak in 2016 is opmerkelijk. Bij Goeree is er bijvoorbeeld een verdubbeling van de depositiewaarden waargenomen, waarbij in juni in een maand 30% van de jaar depositie optreedt. Ook op de andere stations (RIVM, LML) stijgt echter de bijdrage van ammoniak in 2016.

Welke kustdwarse en kustlangse gradiënten in stikstofdepositie zijn thans waarneembaar?

- De stikstofdepositieniveaus laten in alle meetjaren een consistent beeld zien; relatief laag in de gebieden bij Goeree en Oostvoorne, vervolgens piekt de depositie bij Hoek van Holland, waarna de depositie weer af neemt naar het noorden (Solleveld). Deze gradient zien we ook al in de concentratie maar wordt versterkt door de hogere ruwheid bij het HVH 2 station ten opzichte van de noordelijke stations. De data tot 2015 laten zien dat ten noorden van Den Haag de depositiewaarden op hetzelfde niveau liggen als die van Oostvoorne.

Welke patronen in concentraties zijn thans waarneembaar?

- Ook de gradiënt in concentraties langs de kust is duidelijk waarneembaar in de verschillende jaren en maanden.
- Op Maasvlakte 2 Noord is SO₂ duidelijk verhoogd voor vrijwel alle gemeten maanden ten opzichte van de overige stations.
- Voor NO₂ zijn de concentraties op zowel de twee Maasvlakte 2 als de twee Hoek van Holland stations verhoogd ten opzichte van het zuidelijk gelegen Oostvoorne en noordelijk gelegen Solleveld.
- Voor Maasvlakte 2 Noord zijn NO₂ en SO₂ beide duidelijk verhoogd waarbij scheepvaart (emissie van NO_x en SO₂) voor deze locatie de meest aannemelijke bron is.
- Voor Hoek van Holland 1 is de verhoging in SO₂ minder uitgesproken dan voor NO₂ welke duidt op een relatief mindere bijdrage van raffinaderijen of zeescheepvaart en mogelijk grotere bijdrage van wegverkeer.

Is er een indicatie voor ammoniakemissie door algen?

Binnen het meetnet waren tot halverwege 2015 twee kustdwarse raaien van drie stikstofmeetstations geplaatst. Uit de metingen van deze raaien viel te concluderen dat voor een aantal maanden in het jaar de ammoniakdepositie op de meetstations dicht bij de kust gemiddeld hoger is dan die meer landinwaarts. Dit ondersteunt een eerdere constatering van het RIVM (op basis van metingen met het MAN-netwerk), dat er mogelijk NH₃ vanaf zee komt. Door de overgang van 19 naar 10 stations was deze analyse na medio 2015 niet meer mogelijk. In Hoofdstuk 3 komen we op dit onderwerp terug.

Zal, gelet op de meetnauwkeurigheid, het signaal vanuit MV2 op de stikstofdepositie in de duingebieden straks waar te nemen zijn?

- De metingen in de N2000 gebieden zien een som van effecten vanuit verschillende brongebieden. Gezien de trend en variabiliteit van het depositiesignaal zullen alleen effecten van brongebieden die in de orde van >10% van de emissie in het relevante omliggende gebied een meetbaar effect op de lange termijn trend laten zien. Het hangt dus van de activiteiten op MV2 af of dat gebied meer dan 10% van de relevante emissie voor een HvH meetpunt gaat genereren of niet.
- Het in de gaten houden van de emissies vanuit MV2 kan ook met de huidige metingen. Als die kloppen is de combinatie met emissieregistratie gegevens en modelberekeningen zoals in de PAS zijn vormgegeven een optie om het effect op de depositieniveaus te voorspellen en te volgen.
- De relatieve bijdrage van NO₂-bronnen in het MV1/MV2 gebied stijgt en geeft op de op MV2 gelegen meetpunten een inmiddels meetbaar signaal. Waar Nederland de NO_x-concentratieniveaus gemiddeld genomen dalen, is dat op de MV2 meetpunten niet het geval. Dat lijkt ook niet onlogisch in een gebied waar activiteiten aan het toenemen zijn. Verklaring kan dan zijn dat de bestaande emissies in het havengebied, net als elders, afnemen maar minder snel omdat de (relatief nieuwe) industrie al met bbt (best beschikbare technologie) is uitgerust. Er komen daarnaast meer dan elders activiteiten bij, omdat het een concentratiegebied voor nieuwe industrie is.
- Op de beide Maasvlakte meetstations stijgen NH₃- en NO₂-metingen simultaan (positief gecorreleerd). Dat is alleen op deze twee stations het geval; op de andere stations zien we geen relatie of een negatieve correlatie (lucht komt dan of uit landbouwhoek (met veel NH₃) of uit industriehoek met veel NO₂).
- Het scheiden van de emissiebijdragen van MV1 en MV2 is niet eenvoudig en zal meetpunten op de grens van die twee compartimenten nodig hebben. De vraag is of dat zinnig besteed geld is gezien de grote onzekerheden van de depositie en concentratievelden in algemenere zin. Metingen uitvoeren om die onzekerheden in te perken zijn wel zinnig maar dan niet per se voor MV2 alleen. Grote meetwaarde zit in het kunnen iken van het PAS-modelinstrumentarium in een complex gebied als de Rijnmond en daarmee uiteindelijk de daadwerkelijke depositieniveaus op de N2000 gebieden te bepalen.

Voor het bepalen van de droge depositie worden alleen concentratiemetingen uitgevoerd en geen echte depositie ofwel fluxmetingen. De absolute waarde van de stikstofdepositie blijft dan een onzekerheid bevatten in verband met de parameterisatie

van de uitwisselingsprocessen tussen atmosfeer en het oppervlak. De relatieve verschillen in depositie op de verschillende meetstations en in de verschillende meetperiodes zijn echter wel nauwkeurig meetbaar met de huidige meetopstelling. De totale depositiedataset ziet er consistent uit.

De NO₂-concentratieniveaus hebben een neergaande trend op de verschillende stations. Ook op de stations bij Hoek van Holland dalen de NO₂-concentraties, maar langzamer dan bijvoorbeeld op de andere stations. Op de Maasvlakte 2 zien we de concentratieniveaus nauwelijks dalen en zien we de bijdrage van lokale bronnen aan de depositieniveaus toenemen.

Vanwege de onzekerheden in de depositiesnelheid is er discussie of het niet eenduidiger is om naar concentratieniveaus in plaats van depositieniveaus te kijken. Concentratieniveaus zijn immers makkelijker te toetsen want er hoeven daarbij immers geen aannames gedaan te worden over de depositiesnelheden (die extra onzekerheid introduceren). De metingen tot nu toe geven aan dat het goed mogelijk moet zijn om concentratieveranderingen ook voor de T1 trendmatig in beeld te brengen.

Het niet uitvoeren van de vertaling van de concentratiegetallen naar depositieniveaus heeft twee belangrijke nadelen. In de depositie wordt de bijdrage van alle chemische componenten gewogen meegenomen. In de concentratieplaatjes, die per chemische component gemaakt worden kan dat niet. Ten tweede is (ook vanwege die gewogen som in het depositiegetal) voor het juridisch kader de depositiewaarde de relevante parameter.

Hoe verhouden de stikstofmetingen zich tot de gebruikte gegevens in het MER en passende beoordeling Maasvlakte 2?

- De niveaus liggen zowel in de T=0 fase als in 2015-2016 boven de in het MER berekende niveaus, op grond van de toenmalige aangenomen GDN-waarden.

Vergelijking van de op basis van de in de concentratiemetingen uitgerekende depositieniveaus met de verwachte achtergrond deposities uit het MER voor MV2 laat zien dat de op metingen gebaseerde depositie voor Voornes Duin 0,1-0,5 kmol/ha hoger ligt dan de waarde in het MER. De deposities voor Hoek van Holland verschillen sterk: de T=0 deposities zijn duidelijk hoger dan de berekende waarden volgens de MER-rapportage die in 2008 werd uitgevoerd op basis van de toen beschikbare GDN-kaarten. Een specifieke analyse naar geconstateerde verschillen tussen gemeten en berekende waarden heeft laten zien dat de verschillen grotendeels verklaarbaar zijn op grond van de gebruikte ruwheids- en meteorologische data en verschillen in gemeten en berekende concentraties (zie T=0 rapportage).

3

Bronnenonderzoek

3.1 Inleiding

Met maandmetingen zoals verricht van 2011 tot en met 2016, is het beperkt mogelijk aan te wijzen waar bepaalde bronnen zich bevinden. Metingen die elke 10 minuten de concentratie in beeld brengen zijn daarvoor veel beter geschikt. Door de hogere tijdsresolutie kan met behulp van simultaan uitgevoerde windrichtingmetingen bekeken worden waar verhoogde concentraties vandaan komen. In 2016 hebben er continue metingen van ammoniak (NH_3) op één locatie plaatsgevonden evenals mobiele metingen in het hele gebied (zowel met meetwagen als op schip).

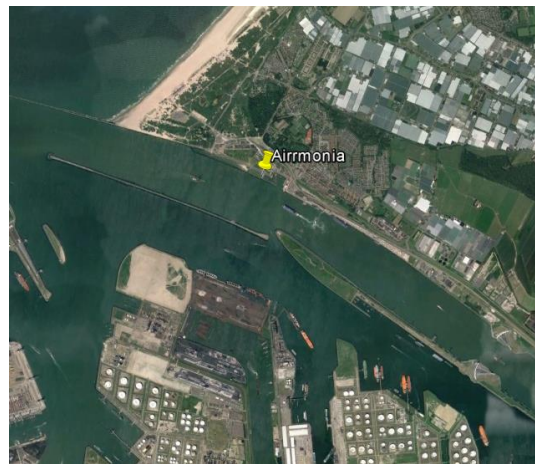
De continue metingen zijn uitgevoerd op het Hoek van Holland-meetpunt van de DCMR. Er werd gebruik gemaakt van een Airmonia, welke elke minuut een NH_3 -meting doet. Deze metingen zijn gestart eind januari 2016 en liepen door tot en met begin maart 2017. Het station van de DCMR is gekozen vanuit praktische overwegingen, maar tevens omdat op deze locatie zowel gekeken kan worden naar potentiële emissies uit het MV1 en 2 gebied, HIC gebieden en ook naar eventueel NH_3 -emissies vanuit de Maasmond en vanuit zee.

De mobiele metingen worden onderverdeeld in drie activiteiten: rondrijden door het Rijnmondgebied, ammoniakemissies van een vogelkolonie en ammoniakmetingen op een schip. Er zijn twee meetdagen geweest waarop er met een meetwagen rondgereden is om NH_3 , NO_x en CH_4 te meten op en rond de Maasvlakte. Wanneer er emissies van een bedrijf of andere bron zijn, wordt de uitgestoten ammoniak met de wind meegevoerd. Hierdoor is benedenwinds van de bron een pluim meetbaar. Voor de vogelkolonie zijn er te voet verkennende metingen geweest met 'low cost' draagbare NH_3 -sensoren om te zien of er inderdaad NH_3 -emissies rond de kolonie meetbaar zijn. De ammoniakmetingen op het schip hebben plaatsgevonden om te bekijken of verhoogde ammoniakconcentraties op zee gevonden worden.

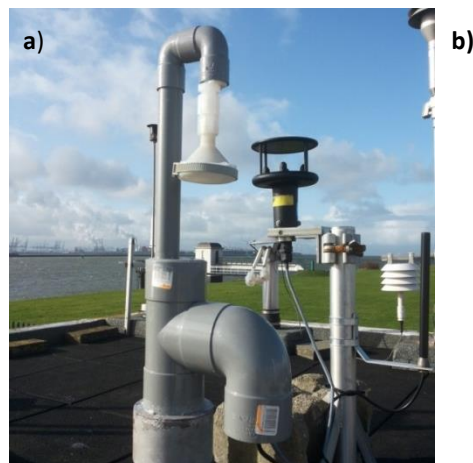
3.2 Opstellingen

3.2.1 Continue metingen ammoniak

De continue ammoniakmetingen zijn uitgevoerd met de Airrmonia. Deze is opgesteld ten zuidwesten van Hoek van Holland op het terrein van DCMR (zie Figuur 34). De inlaat van de luchttoevoer naar de Airrmonia is op het dak van het meetgebouw naast een 2D sonic anemometer (zie Figuur 35). De Airrmonia stond binnen in het meetgebouw. De data van de Airrmonia wordt per minuut opgeslagen. De sonic anemometer meet de horizontale windsnelheid en windrichting. De data van de sonic en Airrmonia wordt iedere minuut opgeslagen en per 10-minuten-periode gemiddeld.



Figuur 34: De locatie van de Airrmonia (geel gemarkeerd) ten zuidwesten van Hoek van Holland.



Figuur 35: Opstelling van de Airrmonia op het dak (a) met in het wit de inlaat waardoor de lucht wordt aangezogen naar de Airrmonia toe en in zwart daarachter de 2D sonic anemometer. De Airrmonia staat binnen (b).

3.2.2 Mobiele meting

Rondrijden met de meetwagen

Er zijn twee dagen mobiele metingen uitgevoerd nabij de Rijnmond. Op de eerste meetdag (12-4-2016) is zowel ten noorden van de Maas als op de Maasvlakte gemeten. Op de tweede meetdag (22-4-2016) is uitvoerig op de Maasvlakte rondgereden (zie Figuur 36).

De mobiele metingen zijn met de meetwagen van ECN uitgevoerd welke is uitgerust met een Quantum Cascade Laserspectrometer(QCL)-systeem. Dit systeem is in staat relatief snel concentraties op $\mu\text{g}/\text{m}^3$ -niveau van NH_3 , NO_x en CH_4 (ppb) te meten. Bij mobiele metingen is de frequentie van het meten extra van belang. De QCL heeft voldoende resolutie en meet twee metingen per seconde om een dwarsdoorsnede door eventuele pluimen te registreren.



Figuur 36: Overzicht van de gereden route op 12-4-2016 (blauwe lijn) en op 22-4-2016 (rode lijn).

Vogelkolonie

Er zijn op 19 juni 2016 verkennende metingen aan NH_3 -concentraties langs een aalscholverkolonie uitgevoerd. De aalscholverkolonie bevond zich langs het meer Breede Water ten westen van Oostvoorne (zie Figuur 37). Honderden aalscholwers broeden elk jaar op en rondom de eilandjes in het meer. Ten tijde van de metingen waren de jongen al uitgebroed, maar nog niet uitgevlogen. Dit betekent dat zowel de jongen als de volwassenen ontlasting produceren waarbij NH_3 wordt geëmitteerd. De hoeveelheid NH_3 die wordt geëmitteerd is echter onbekend.



Figuur 37: Overzicht van het meer de Breedewater.

De metingen zijn gedaan met sensorsets die bij ECN in ontwikkeling zijn. Deze sensoren zijn licht, handzaam en gebruiken relatief weinig stroom. Hierdoor zijn ze makkelijk te voet mee te nemen. De sensoren zijn nog niet geschikt om in absolute zin de NH_3 -concentratie te bepalen. Om de betrouwbaarheid van de metingen te waarborgen is met een set van drie sensoren gewerkt.

Watermetingen

In 2016 zijn er stappen gezet om een methode te ontwikkelen om de ammoniakemissie vanuit zeewater, bijvoorbeeld door afstervende algen, te kunnen schatten. Hiervoor zijn er experimenten uitgevoerd, waarbij watermonsters zijn genomen bij Petten aan zee. Vervolgens is getracht in de bovenlucht van het vat met water metingen uit te voeren. De ammoniakmetingen zijn uitgevoerd met behulp van een Los Gatos NH_3 optische monitor. Het meten van ammoniak in vochtige lucht is lastig. Hierdoor is het in 2016 niet gelukt om op deze manier de emissie te bepalen.

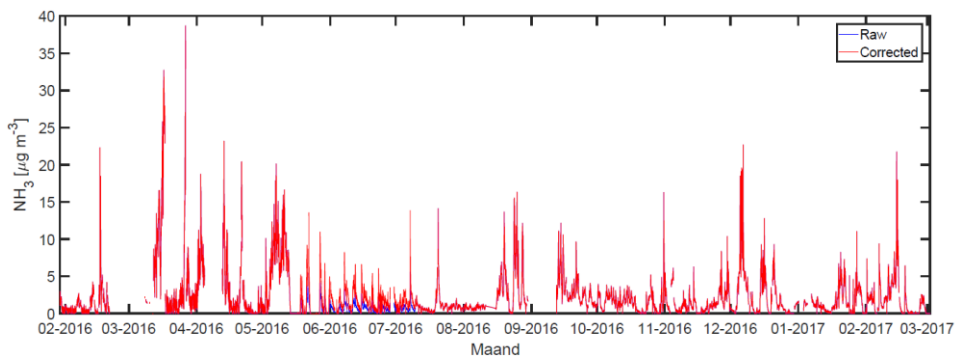
In 2017 zijn ammoniakconcentraties daadwerkelijk gemeten op een boot in de monding van de Rotterdamse haven en op zee. De metingen vonden plaats op 4 juli 2017 op een kalme zomerse dag met temperatuur tot 24°C . Aan boord van de boot stonden verschillende instrumenten. Met drie instrumenten is de ammoniakconcentratie in de lucht gemeten: de Airrmonia (eerder gebruikt voor continue metingen binnen dit project), Mini DOAS (apparaat ontwikkeld door RIVM en welke wordt doorontwikkeld door ECN) en een Cavity Ring down spectrometer (Picarro). Hiernaast is de Quantum Cascade Laserspectrometer (QCL, Aerodyne) gebruikt om boxmetingen te doen. Daarbij wordt water (uit rivier of zee) in een afgesloten ton gepompt (met overloop voor het teruglopen van het water) en wordt in de opgesloten lucht bovenin de ton naar de QCL en retour geleid voor concentratiemetingen.

Naast de luchtmetingen zijn er metingen gedaan van het ammoniumgehalte in het water met een omgebouwde Airrmonia. Er werden monsters verzameld voor analyse van algenactiviteit en samenstelling in de toplaag van de waterkolom. Met een meteostation geplaatst op de scheidingsdam werden windsnelheid- en windrichtinggegevens verzameld.

3.3 Resultaten

3.3.1 Continue ammoniakmetingen

De tijdserie van de Airrmonia NH₃-concentratie metingen is uitgezet in Figuur 38. De metingen zijn eind januari 2016 gestart en begin maart 2017 beëindigd. Wat opvalt is dat de metingen vanaf midden mei tot en met begin juli gedempt zijn ten opzichte van andere maanden. Het is onduidelijk wat dit veroorzaakt heeft. Het tijdpatroon is in de NH₃-data wel zichtbaar is, ondanks dat het signaal gedempt is. Hierdoor is het nog wel mogelijk een analyse van concentratieverschillen uit verschillende windrichtingen uit te voeren. De door de Airrmonia gemeten NH₃-concentraties zijn vergeleken met de concentraties gemeten binnen het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit bij De Zilk (ook dichtbij de kust in de omgeving van Noordwijk). Met behulp van deze data is een correctiefactor (2,5) bepaald voor de Airrmonia data van de periode van 15 mei tot en met 7 juli 2016. Dit maakt het mogelijk om NH₃-concentraties van verschillende maanden te vergelijken. Er blijft echter onzekerheid in de gecorrigeerde periode.



Figuur 38: Tijdserie van NH₃-concentratie gemeten met de Airrmonia met in blauw alle raw data en in rood de data die voor de periode van 15 mei tot en met 7 juli zijn gecorrigeerd.

Tabel 8 toont de databeschikbaarheid van de Airrmonia data. Aan het begin van de meetperiode is de databeschikbaarheid lager door een groter aantal kalibraties die tot doel hadden de kwaliteit te waarborgen en door problemen met lekkage in de meetcabine. De totale databeschikbaarheid (voor de periode 1 februari 2016 tot 1 maart 2017) is uitgekomen op 80%.

Tabel 8: Databeschikbaarheid (in%) uitgesplitst op kalibratie, onderhoud, kwaliteitscontrole (QC), uitval en data.

Maand	Jaar	Kalibratie	Onderhoud	QC	Uitval	Data
2	2016	9,1	0,6	0,1	30,3	59,9
3	2016	8,4	0,8	0,1	32,0	58,6
4	2016	6,2	3,0	0,0	24,6	66,2
5	2016	3,6	0,5	0,5	3,0	92,3
6	2016	3,2	5,1	0,1	4,0	87,6
7	2016	2,4	0,5	0,0	3,3	93,9
8	2016	2,4	0,3	0,0	22,3	75,1
9	2016	1,6	0,4	0,0	40,0	57,9
10	2016	2,4	0,1	0,0	4,2	93,3
11	2016	2,4	1,4	0,0	2,9	93,2
12	2016	3,2	1,0	0,0	3,1	92,7
1	2017	2,4	6,2	0,0	10,0	81,5
2	2017	2,6	0,0	0,0	3,0	94,3
Gemiddeld		3,8	1,5	0,1	14,1	80,5

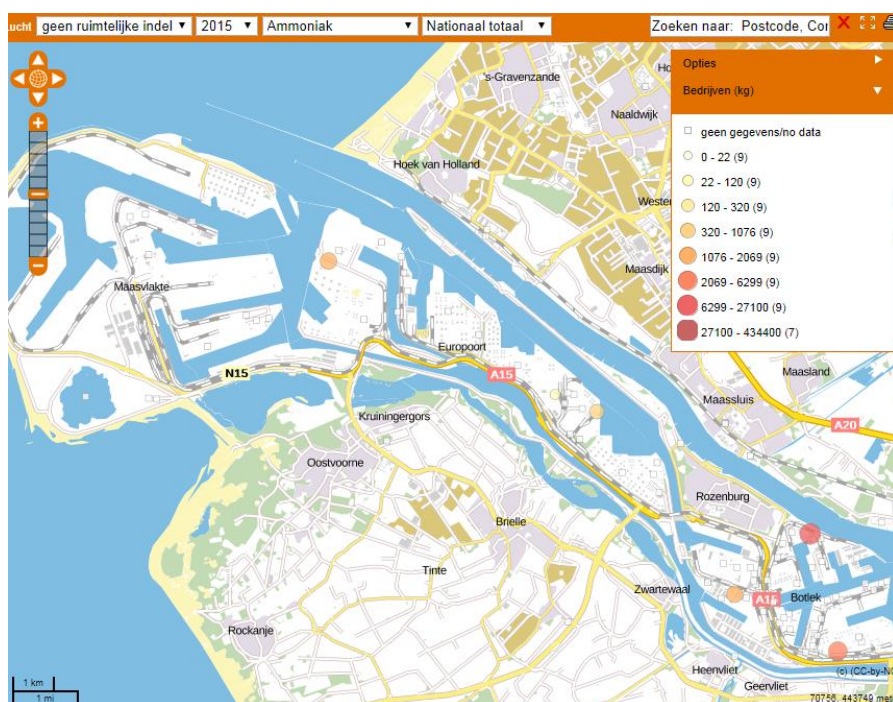
Een vergelijking tussen de resultaten van de maandelijkse ammoniakconcentraties van de denuders en de Airrmonia is te vinden in Bijlage A. Hieruit komt naar voren dat deze metingen elkaar goed volgen (rekening houdend met het feit dat de locatie niet exact hetzelfde is).

Hieronder volgen een aantal voorbeelden van ammoniakpieken gemeten met de Airrmonia. Met behulp van de heersende windrichting wordt naar een verklaring gezocht voor de verhoogde ammoniakconcentratie. De windroosanalyse maakt het vervolgens mogelijk een overzicht te krijgen van alle gemeten ammoniakconcentraties per windsector. Als laatste zijn de continue ammoniakmetingen gebruikt om de bijdrage van de verschillende windrichtingen aan de totale ammoniakdepositie te bepalen. Hier wordt ook onderzocht hoeveel de pieken bijdragen aan de totale ammoniakdepositie.

Als hulpmiddel bij het zoeken van bronnen is zijn de gegevens vanuit de door DCMR opgemaakte sectorverdeling van de emissies vanuit de emissieregistratie van het RIVM in het hele studiegebied en in groot Rijnmond gebruikt (Tabel 9). Tevens is de kaart van Emissieregistratie voor 2015 gebruikt (Figuur 39).

Tabel 9: Overzicht en klassificatie van brontypen op basis van emissie-inventarisatie voor ammoniak door DCMR.

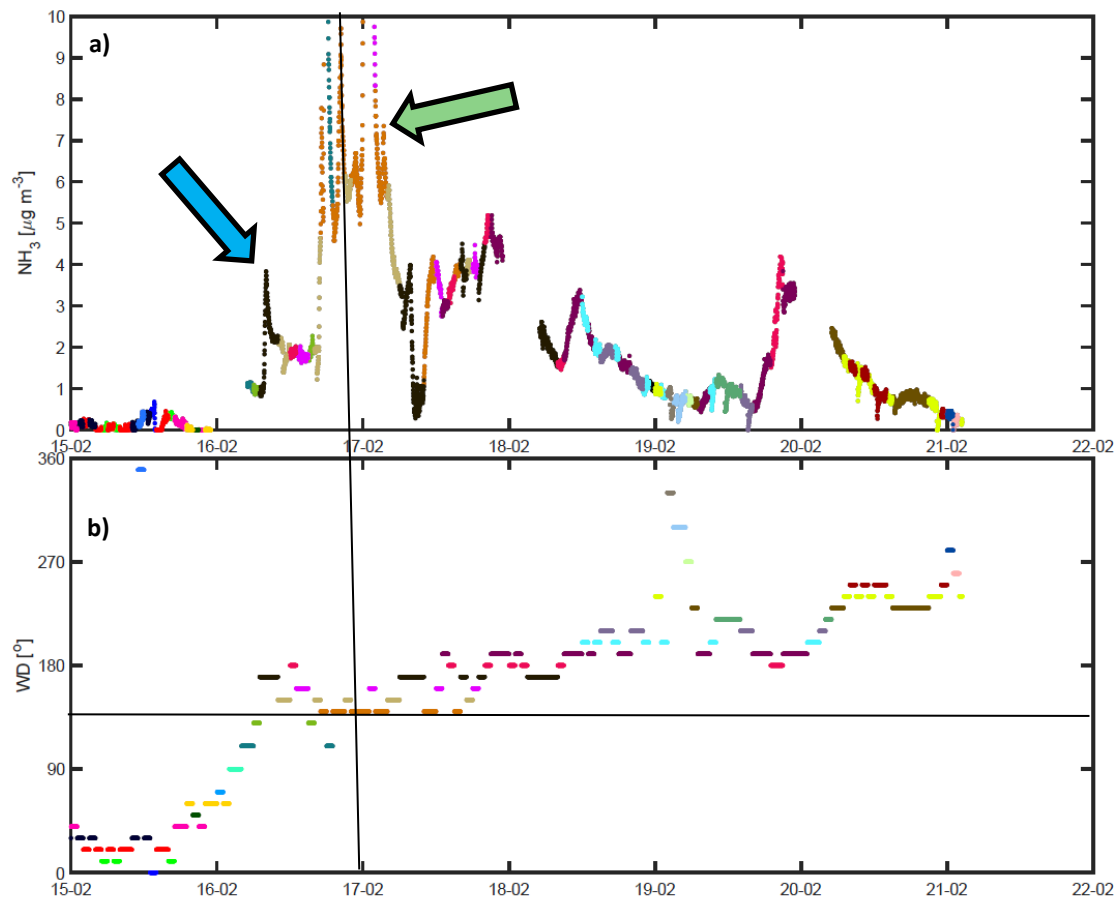
Sector	Studiegebied	'Rijnmond'	Studiegebied	'Rijnmond'
	Emissie (t/j)		fractie	
Energie en industrie	137	54	2%	1%
Wegverkeer	301	235	4%	6%
Scheepvaart	4	4	0%	0%
Landbouw	3446	1385	43%	38%
Afval	89	69	1%	2%
Diensten	90	78	1%	2%
Consumenten	1642	1226	21%	33%
'Algen'	2254	619	28%	17%
TOTAAL	7964	3668	100%	100%



Figuur 39: Bekende puntbronnen van ammoniak opgenomen in de Emissieregistratie 2015. De drie belangrijkste bronnen zijn van rechts naar links de AVR (oost van Rozenburg, 27 ton/jaar), OCI (west van tekst Maassluis, 2 ton/jaar) en ten zuiden van het HVH station staat de Enecogen centrale met een geregistreerde emissie van 1-2 ton NH₃/jaar.

Piekvoorbeeld 1

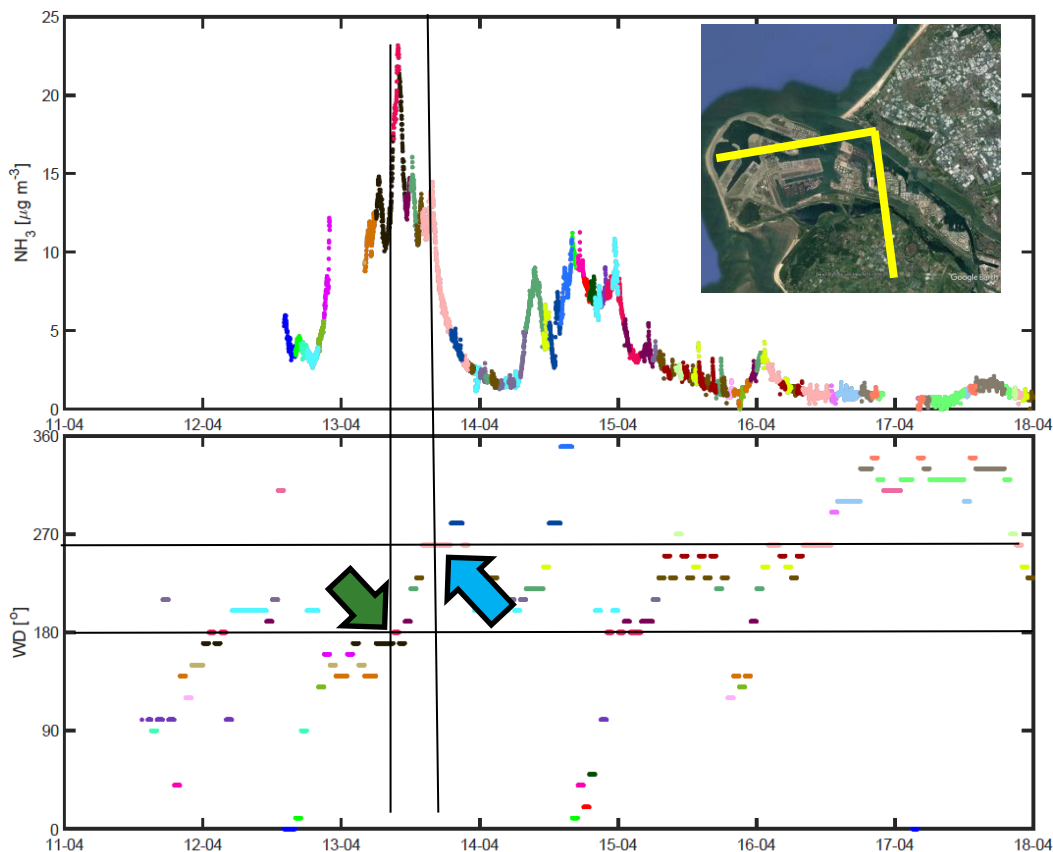
De eerste hoge ammoniakpieken gemeten met de Airrmonia werden waargenomen op 16 februari 2016 (zie Figuur 40, positie van de pijlen). De wind draaide op deze dag naar het zuidwesten (140-150°) waarna de NH₃-concentratie eerst een piek laat zien uit zuidelijke richting (170°). Daarna stijgt de concentratie tot 6 µg/m³ met daarbovenop scherpe pieken tot boven de 10 µg/m³ (groene pijl) uit de richting 140-150°. In deze windhoek liggen volgens een landelijke emissieregistratie (2015) een kunstmestproducent in de Europoort (929 kg NH₃/jaar) en de verderop gelegen afvalverwerking (27090 kg NH₃/jaar) als stikstof emitterende bronnen. Met de mobiele metingen zien we benedenwinds van deze bronnen inderdaad ammoniakpluimen (zie hieronder). Bij de Airrmonia-metingen zullen pluimen van verschillende bronnen op een lijn bij elkaar optellen. De pieken in de concentratie die uit het gebied zelf komen zijn relatief scherp en, bij een draaiende wind, kortdurend. Indien de wind langer uit een hoek met mogelijk meer diffuse bronnen (in dit geval zuidelijk) waait, stijgt de NH₃-concentratie ook maar geleidelijk en niet snel, bijvoorbeeld rond 18 februari of rond de 20^{ste}.



Figuur 40: Piekvoorbeeld 1. Tijdsree van de gemeten NH₃-concentratie gekleurd met de windrichting van het Hoek van Holland KNMI-station (a) en van de windrichting zelf (b) voor de periode 15-2 tot en met 21 februari. De horizontale lijn in de grafiek onder geeft aan wanneer de windrichting 150 graden is wat komt overeen met de lichtbruin gekleurde datapunten. In de grafiek erboven hebben de concentratiewaarden dezelfde kleur. Zo is te zien welke pieken in de tijd bij welke windrichting horen.

Piekvoorbeeld 2

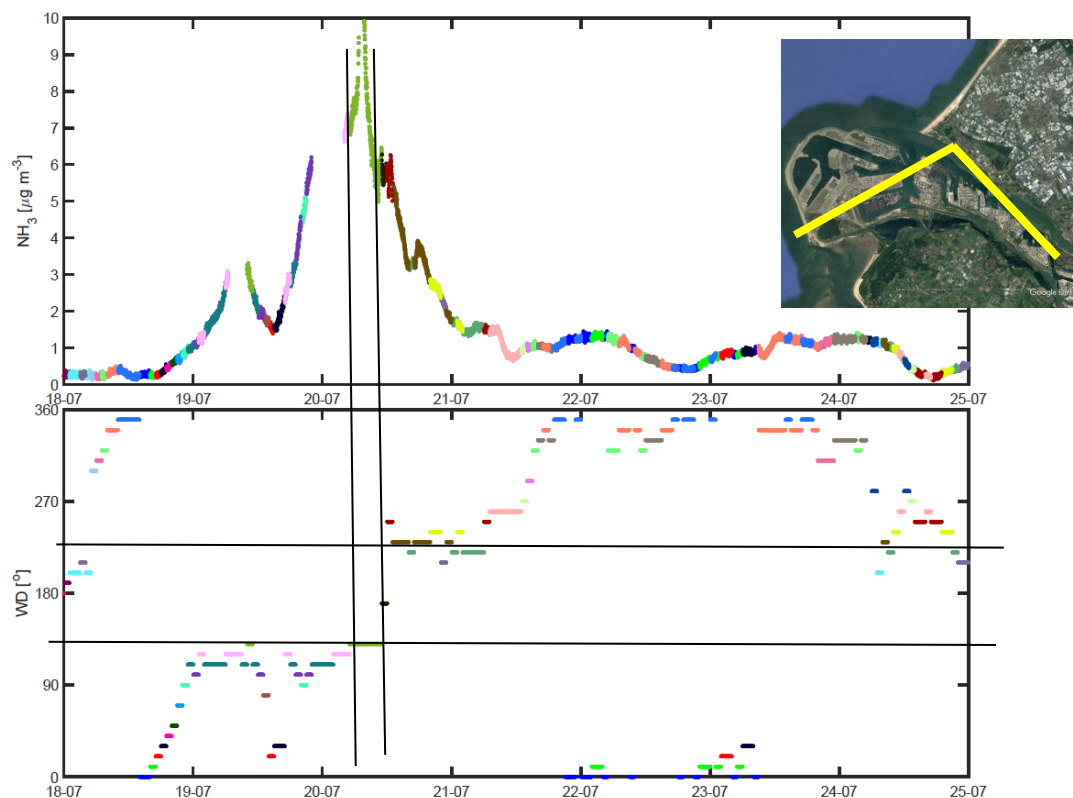
Ook op 13 april 2016 is er weer een duidelijke piek in de ammoniakconcentratie waarneembaar (Figuur 40) met waarden tot boven de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ uit de richting $170\text{-}180^\circ$ (groene pijl en op de satellietkaart in de Figuur de gele lijn recht naar beneden). De wind draait dan door naar zee en de concentratie blijft hoog tot aan 250° (west, de gele lijn naar links op de satellietfoto). Voor het rood-zwarte deel van de pieken: op 180° op 3,5 km afstand is er een composteerbedrijf dat volgens de emissieregistratie NH_3 emitteert. Met de mobiele metingen (Paragraaf 3.3.2) zien we daar geen ammoniak, wel methaan. De piek lijkt te scherp om te verklaren met emissie uit landbouwactiviteiten bij Oostvoorne (8 km). Bij landbouwbronnen (stallen of bemeste weilanden) zullen samen een brede pluim geven verdeeld over bijvoorbeeld de windsector $160\text{-}180^\circ$. Voor het groen-bruin roze deel: De elektriciteitscentrales met DNOX-installatie en bekend NH_3 -gebruik staan in de windrichting op 220 en 250° . Bij de centrale op 220° wordt in emissieregistratie een ammoniakemissie gerapporteerd ($1134 \text{ kg NH}_3/\text{jaar}$). Een andere mogelijke bron is een vogelkolonie. Het concentratieniveau daalt sterk als de wind echt van zee komt (roze-blauw delende flank van de piek). Dat suggereert dat ammoniak uit algensterfte of een andere natuurlijke bron op zee nog niet van belang is.



Figuur 41: Piekvoorbeeld 2. Tijdsree van de gemeten NH_3 -concentratie gekleurd met de windrichting van het Hoek van Holland KNMI station (a) en van de windrichting zelf (b) voor de periode 11 april tot en met 18 april. De twee horizontale lijnen in de grafiek geven aan wanneer de windrichting respectievelijk 180 en 250 graden is. De verticale lijnen laten zien met welke episode dat in de metingen overeen komt. De echte daling van de concentratie vindt pas plaats als de meetpuntjes in de grafiek roze worden en de wind voorbij de 250 graden naar zee draait.

Piekvoorbeeld 3

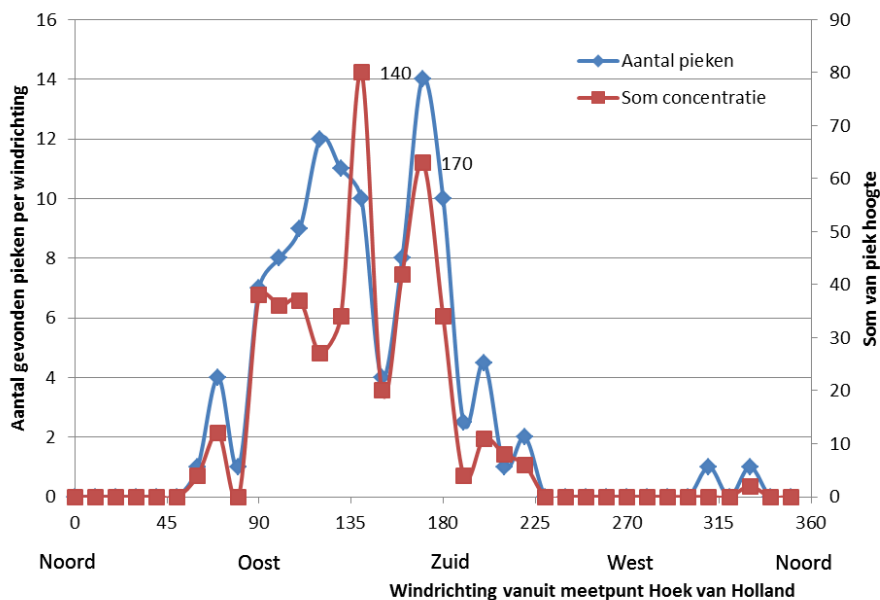
Op 20 juli 2016 is er een duidelijke scherpe ammoniakpiek bovenop de achtergrondconcentratie vanuit de richting 130° (zie Figuur 42, groene piek). Dat is opnieuw uit de richting van het kunstmestbedrijf en/of de AVR. Vervolgens draait de wind met een sprong naar het zuidwesten en daalt de NH₃-concentratie langzaam, maar blijft relatief lang verhoogd. Vanuit de hoek 230° (zie lijn op de satelliet kaart) is de concentratie NH₃ nog relatief hoog (tussen 3 en 6 µg/m³), een mogelijke bron hiervoor is een elektriciteitscentrale op 220° met NH₃ op/overslag en gebruik bij de DNOX.



Figuur 42: Tijdserie van de gemeten NH₃-concentratie gekleurd met de windrichting van het Hoek van Holland KNMI-station (a) en van de windrichting zelf (b) voor de periode 18 juli tot en met 24 juli.

Al deze voorbeelden illustreren dat herkomstanalyse een intensief zoek- en combineren van meetgegevens en bronkennis vereist waarmee met meer of minder waarschijnlijkheid de zoekrichting en/of locatie van een bron te traceren is. Het identificeren van de herkomst van een piek zoals dat hier is gedaan geeft nog geen inzicht in de kwantitatieve emissie van dat moment, daarvoor zijn berekeningen met een pluimmodel nodig. En de dan verkregen emissie op die specifieke dag is ook geen indicatie voor de bijdrage van die bron aan de totale depositie in de N2000-gebieden. Wel is dit een check op het wel of niet aanwezig zijn of actief zijn van bronnen die in de emissieregistratie zijn opgenomen.

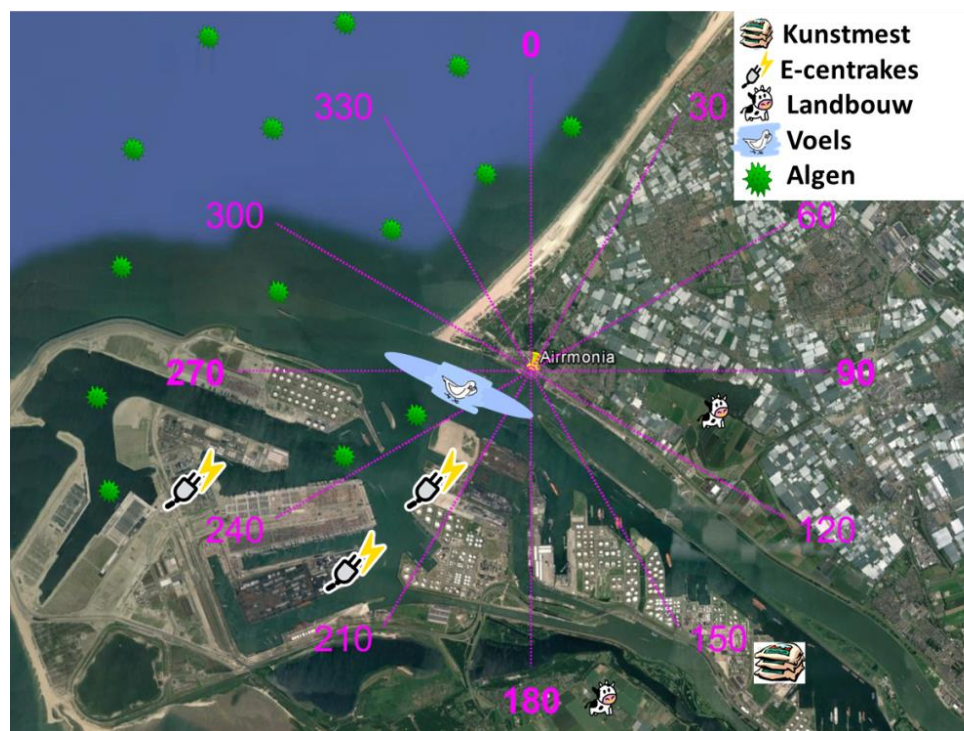
In Figuur 43 is weergegeven hoeveel pieken er in totaal over het jaar werden waargenomen per windrichting en in Bijlage B is per week weergegeven in welke windrichting een piek werd waargenomen. In de windrichting 140 en 170 graden zien we respectievelijk 10 en 14 pieken in de dataset, waarbij de som van de concentraties in die pieken het hoogst is in de richting 140 graden.



Figuur 43: Piekenanalyse totaaloverzicht. In blauw het aantal pieken per windrichting en in rood de som van de concentratie van die pieken.

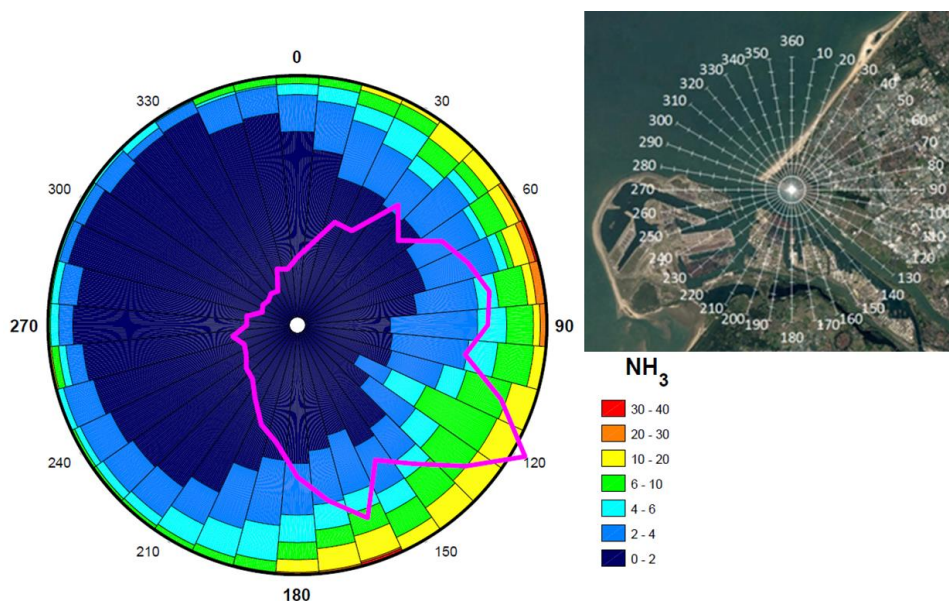
Windrozen

Een andere manier om inzicht te krijgen naar de herkomst van het ammoniak is het gebruik van windrozen. Bij het interpreteren van de windrozen is het belangrijk in beeld te hebben waar mogelijke bronnen van ammoniak zich bevinden. Deze bronnen zijn schematisch weergegeven in Figuur 44. Bronnen die in dezelfde windhoek liggen zijn lastiger te onderscheiden. Dat is bijvoorbeeld het geval van de meeuwenkolonie en de E-on elektriciteitscentrales. Deze bronnen hebben niet hetzelfde patroon in de tijd; de meeuwen zijn bijvoorbeeld meer geconcentreerd aanwezig in het broedseizoen. Een andere optie is het gebruik van NO₂- of CO-metingen: dat gas wordt immers wel vanuit de elektriciteitscentrale maar niet vanuit de meeuwenkolonie geëmitteerd. Deze laatste exercitie, in lijn met de analyse in Hoofdstuk 2, is voor de continue meetset niet uitgevoerd. Ook de aanwezigheid van de 'algenbron' zal seizoensafhankelijk zijn. In juli 2017 is een verkennende meting op een schip uitgevoerd (zie hieronder). Naast de boerenbedrijven aangegeven in Figuur 44, zijn er meer landbouwactiviteiten buiten dit Figuur met name richting Brabant en, in mindere mate, in het groene hart. Ook al bevinden deze bedrijven zich verder weg, het uitrijden van de mest, dat met name in het vroege voorjaar en einde van de zomer plaatsvindt, zorgt voor verhoogde NH₃-concentraties in de wijde omgeving.



Figuur 44: Schetsmatige weergave van locaties van mogelijke NH₃-brontypen die zich rond de Airmonia bevinden.

In Figuur 45 is de concentratiewindroos geplot van alle ammoniakmetingen van Airrmonia. Zoals verwacht zijn de ammoniakconcentraties uit het oosten stukken hoger dan die uit het westen. Vanuit de Noordzee zijn er nagenoeg geen emissies. De landbouwactiviteiten in met name Brabant en potentiële emissies uit het kassengebied rond de 90 en 160° zorgen voor de hoogste NH₃-pieken. Gemiddeld worden de hoogste NH₃-concentraties gemeten tussen de 115 en 125°. Het beeld is daarmee heel vergelijkbaar met wat er op een station als de Zilk (LML) wordt gemeten. Bij oostenwind zien de kuststations het geaccumuleerd effect van bronnen in het achterland. Voor Rotterdam is dat onder meer de landbouw in de richting van Brabant.



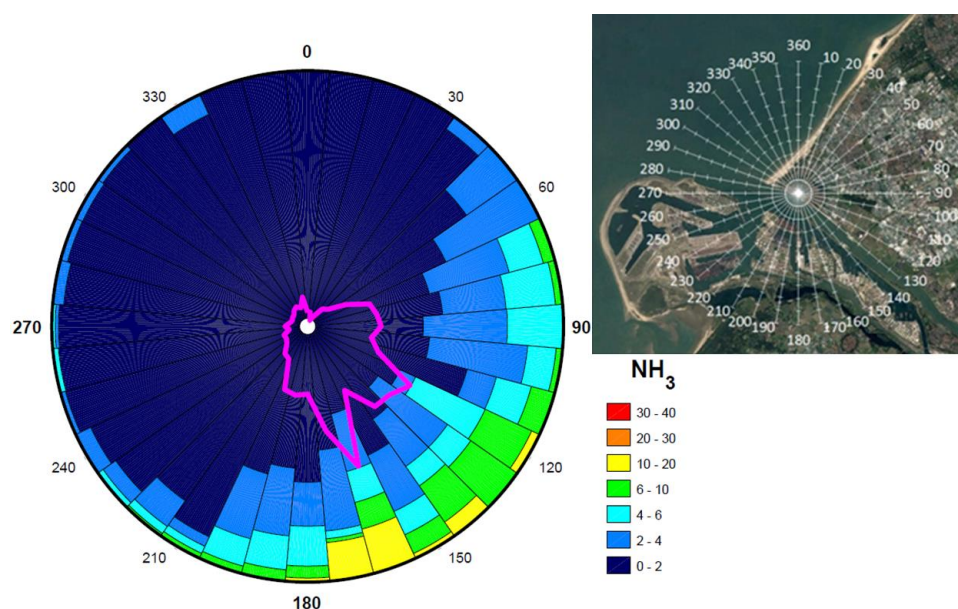
Figuur 45: Concentratiewindroos van de NH₃-concentraties gemeten met de Airrmonia voor de periode 29 januari 2016 tot en met 1 maart 2017. De kleuren geven de verdeling van de concentraties uit een bepaalde windrichting aan. De roze lijn geeft het gemiddelde aan.

Concentratiewindroos

In elke windsector laat de windroos zien welk deel van de tijd een bepaalde concentratie werd waargenomen. Dus bij een 'taartpunt' in Figuur 45 bijvoorbeeld links boven (330° dus noordwest) wordt in de metingen de Noordzee 'gezien' en daarvandaan komt bijna alleen maar lucht met een concentratie tussen 0-2 µg/m³ (donkerblauw). Een 'taartpunt' rechts (90° dus oostenwind) ziet het binnenland en heeft een gedeelte van de tijd zelfs concentratieniveaus tussen de 30 en 40 µg/m³ (rood). Tel alle metingen op om het gemiddelde te berekenen: hiermee ontstaat de roze lijn. Hoe verder die van het midden van de cirkel komt, hoe hoger de concentratie uit de windsector is.

Wintermaanden

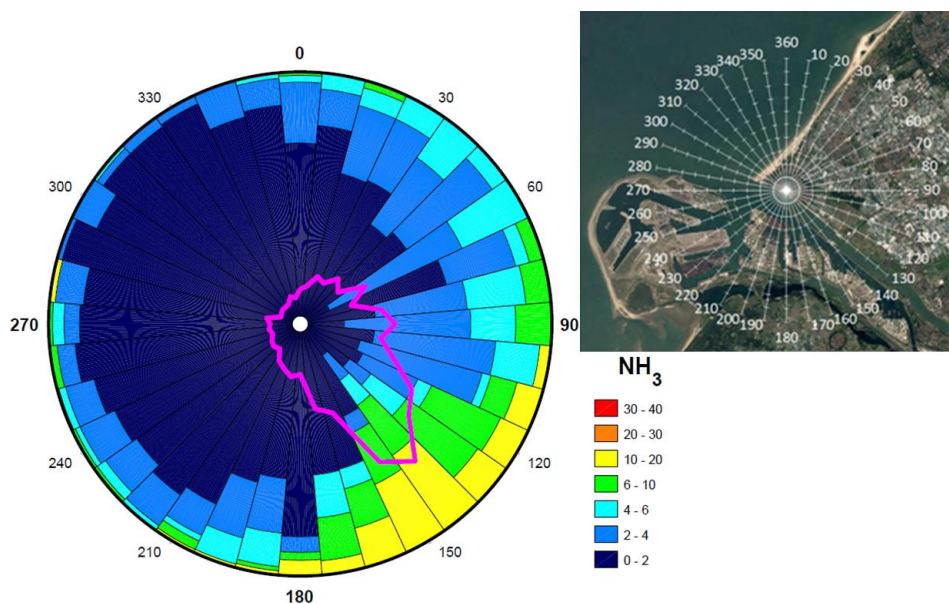
De concentratiewindroos van typische wintermaanden in vergelijking met de windroos van zomermaanden waar algensterfte verwacht wordt (juni, juli en augustus) geeft mogelijk inzicht of algensterfte of een andere bron uit zee zorgt voor extra ammoniak aan de kust. De concentratiewindroos van de wintermaanden februari en december 2016 en januari en februari 2017 is geplot in Figuur 46. Het plotten van meerdere maanden heeft als gevolg dat alle windrichtingen meerdere malen voorkomen. Voor deze specifieke maanden kwam de wind met name uit Zuidzuidoost, terwijl Noord tot Noordwest beduidend minder vaak voorkwam. Uit de concentratiewindroos blijkt duidelijk dat er voor de wintermaanden over het algemeen zeer lage concentraties NH_3 ($0\text{-}2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) gemeten worden bij aanstroming vanuit zee (westen- tot en met noordenwind). Vanuit het Zuidoosten worden juist verhoogde ammoniakconcentraties waargenomen met regelmatig concentraties van boven de $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Hoogstwaarschijnlijk is de landbouw in het achterland de bron van deze verhoogde concentraties. Uit de windrichting van de elektriciteitscentrales (220° , 250° en 260°) zien we geen duidelijke ammoniakemissie naar voren komen.



Figuur 46: Concentratiewindroos van de NH_3 -concentraties gemeten met de Airrmonia voor de maanden februari en december 2016 en januari en februari 2017. De kleuren geven de verdeling van de concentraties uit een bepaalde windrichting aan. De roze lijn geeft het gemiddelde aan.

Zomermaanden

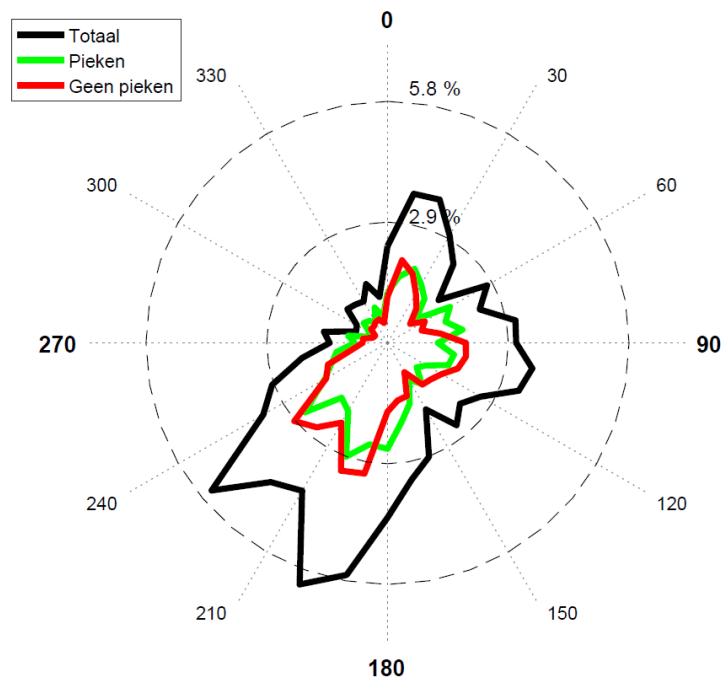
Figuur 47 toont de concentratiewindroos van de zomermaanden (juni, juli en augustus) van 2016. Het is duidelijk dat er voor deze maanden in vergelijking met de wintermaanden iets verhoogde ammoniakconcentraties ($>2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) worden gemeten vanuit het westen. Dit duidt op een seizoensgebonden ammoniakbron vanaf zee of de Maasvlakte. Zowel algensterfte als meeuwenkolonies zouden deze verhoogde waarden in de zomer kunnen verklaren. Ook voor de zomermaanden worden de hoogste ammoniakconcentraties gemeten vanuit het Zuidoosten. Opnieuw is de bron hiervoor waarschijnlijk het agrarisch gebied in het achterland. Opvallend is dat de richting van 140° het sterkste verhoogd is (met relatief vaak concentraties tussen de 10 en $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Mogelijke bron voor deze relatief sterke ammoniakverhoging is de combinatie van al eerder genoemde kunstmestbedrijf en afvalverbranding.



Figuur 47: Concentratiewindroos van de NH_3 -concentraties gemeten met de Airmonia voor de zomermaanden juni, juli en augustus 2016. De kleuren geven de verdeling van de concentraties uit een bepaalde windrichting aan. De roze lijn geeft het gemiddelde aan.

Windrozen ammoniakdepositie

Door de ammoniakconcentraties te vermenigvuldigen met de depositiesnelheid wordt de ammoniakdepositie bepaald (net als voor de maandmetingen wordt gedaan). Doordat de ammoniakmetingen van de Airmonia echter beschikbaar zijn met een hogere tijdsresolutie (per minuut) is het mogelijk zichtbaar te maken waar de ammoniakdeposities vandaan komen. Dit is gedaan door de bijdrage van ammoniakdepositie per uur procentueel te berekenen ten opzicht van het totaal. Vervolgens worden deze procenten per windrichting bij elkaar opgeteld, zodat duidelijk wordt hoeveel bijdrage er is uit bepaalde windstreken. Met deze analyse en weergave is een op meetcijfers gebaseerd kwantitatief beeld te geven van de bijdrage van stikstofbronnen, verdeeld naar herkomstgebied op basis van windrichtingen, specifiek voor de meetlocatie Hoek van Holland.



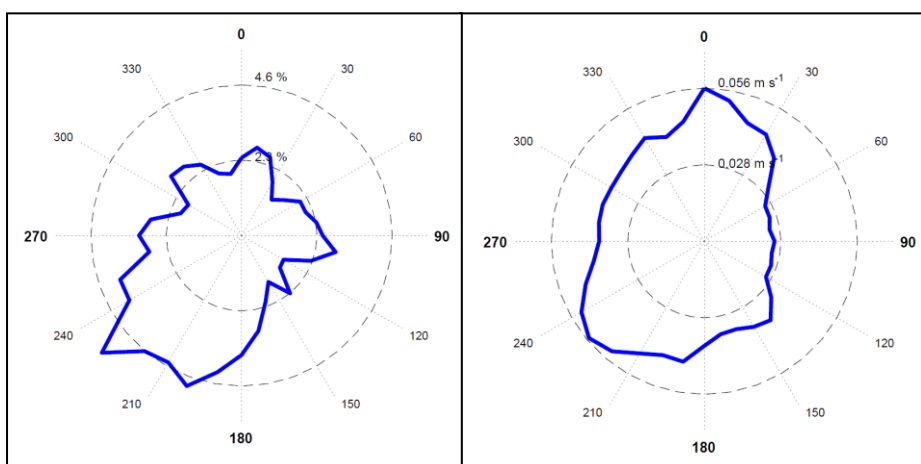
Figuur 48: Windroos van de procentuele bijdrage aan de ammoniakdepositie berekend met behulp van de continue meetreeks van de ammoniakconcentraties voor alle metingen (zwart), pieken (groen) en wanneer er geen pieken worden waargenomen (rood).

Tabel 10: Overzicht van de bijdrage aan de depositie berekend met de Airmonia getallen in de verschillende windsectoren.

Windrichting	% bijdrage	Herkomstgebied/bronnen
100-120	7	Rotterdam stad
120-190	20	Europoort oost
190-230	20	Europoort ten zuiden van HVH, Oostvoorne
230-280	15	MV1&2 en zee
280-20	15	Noordzee
20-100	22	Westland Lanbouw en kassen

De windroos met de ammoniakdepositiebijdrage is zichtbaar in Figuur 48 en in Tabel 10. We kijken als eerste naar de windroos waarbij alle ammoniakconcentraties zijn meegenomen (zwarte lijn in Figuur 48). Hieruit blijkt dat de bijdrage aan de ammoniakdepositie vooral hoog is uit de windsector tussen 190 en 230°. Het is duidelijk dat het patroon van de bijdrage aan de ammoniakdepositie er anders uitziet dan die van de ammoniakconcentraties (zie Figuur 45). Hiervoor zijn twee redenen. Allereerst, door het voorkomen van bepaalde windrichtingen in Nederland.

De meest voorkomende windrichting op Hoek van Holland is het zuidwesten (zie Figuur 49). De windsector tussen 190 en 230° komt 24% van de tijd voor. Hierdoor wordt er uit deze windrichting dan ook vaker bijdragen aan de totale ammoniakdepositie. Ten tweede, komt dit door de depositiesnelheid uit deze windhoek, deze is relatief hoog vergeleken met andere windrichtingen (zie Figuur 49). De wind en daarmee de NH₃-depositiesnelheden zijn over het algemeen lager wanneer de wind van het land komt. Al met al zorgt wind in de hoek 190 en 230° voor 20% van de ammoniakdepositie. Ammoniakemissie in de windhoek 220-230° is potentieel afkomstig van NH₃-handling bij de E-centrale en de biomassa-opslag. Wanneer we specifiek kijken naar de bijdrage uit de richting van Maasvlakte 1 en 2 (windrichting tussen 230 en 280°) komen we in totaal uit op een bijdrage van 15% op de totale ammoniakdepositie.



Figuur 49: Windroos van het voor komen van de windrichtingen (in%, paneel links). Windroos van de gemiddelde ammoniakdepositiesnelheid op Hoek van Holland (paneel rechts).

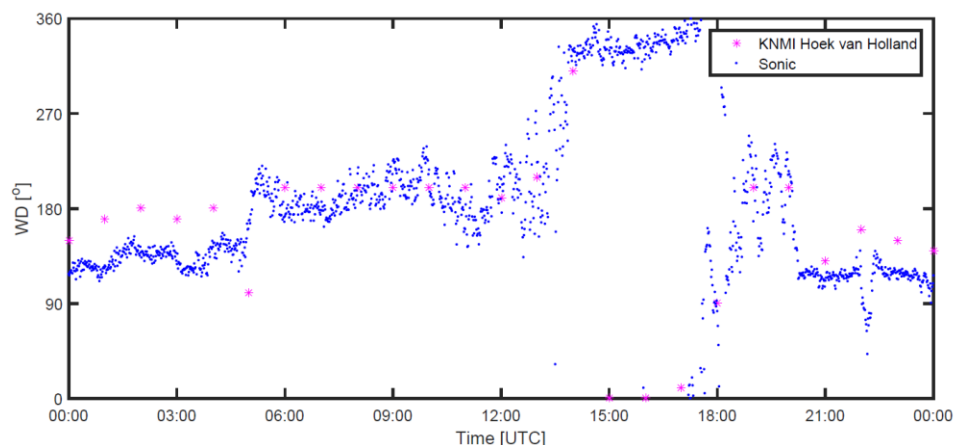
Ammoniakconcentraties zijn als pieken gedefinieerd wanneer deze boven het 80 percentiel per windsector lag. Met andere woorden per windrichting zijn de bovenste 20% van de metingen aangemerkt als pieken. Vervolgens is berekend hoeveel deze pieken bijdragen aan de totale ammoniakdepositie. Wanneer de bijdrage uit pieken (groene lijn in Figuur 48) wordt vergeleken met de bijdrage wanneer er geen pieken zijn (rode lijn) valt op dat voor alle windrichtingen de bijdrage uit pieken min of meer gelijk ligt aan die bijdrage zonder pieken. Dit betekent dat de ammoniakdepositie voor ongeveer de helft veroorzaakt wordt door pieken (20% van de metingen). De verwachting is dat de pieken op het signaal met name veroorzaakt worden door lokale bronnen.

3.3.2 Mobiele metingen

Rondrijden in het Rijnmondgebied

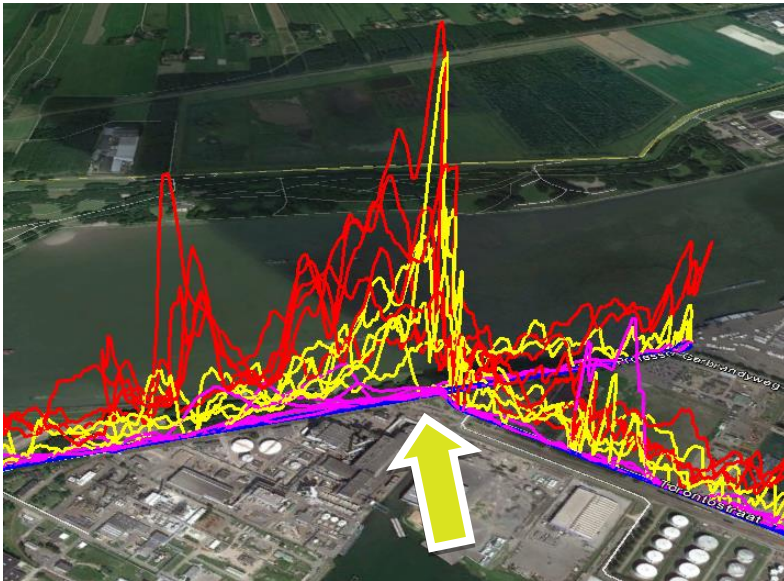
Bij het interpreteren van de meetresultaat van de mobiele metingen worden de concentratiemetingen, de windrichting en -snelheid gecombineerd. Met name de windrichting is van belang, aangezien deze bepaalt waar de pluim vanuit een bron heengaat. Als de wind het geëmitteerde gas niet richting de meetwagen voert, dan is een bron niet te bemeten. Ook kan het zijn dat een bron op het moment van langsrijden niet emitteert, maar op andere tijdstippen wel. Daarnaast kan de pluim vanuit een schoorsteen de grond nog niet bereikt hebben indien de mobiele meting dichtbij de bron plaatsvindt.

De eerste mobiele meetdag vond plaats op 12 april 2016. De windrichting op deze dag is geplott in Figuur 50. In de ochtend kwam de wind uit het zuiden; later op de middag na de mobiele metingen draaide de wind over het westen heen naar het noorden. Tijdens de metingen is er dus sprake van een zuidelijke wind.



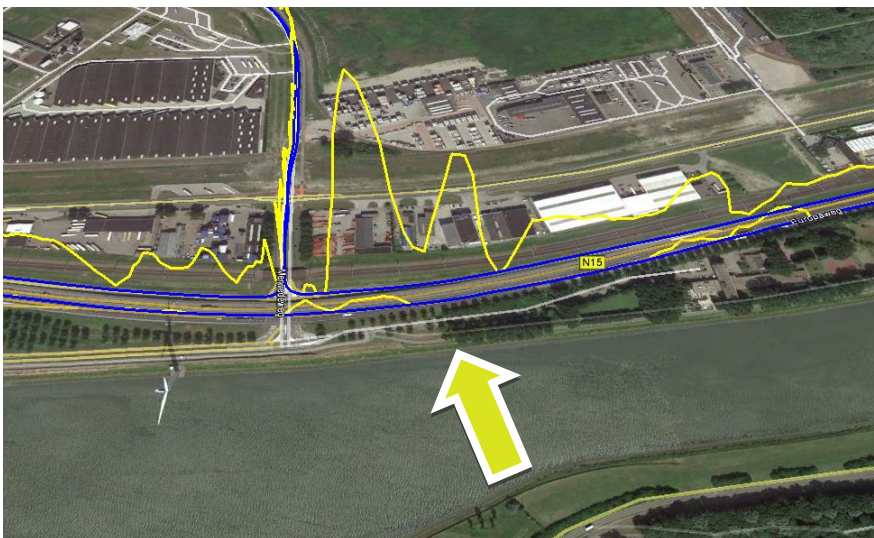
Figuur 50: Tijdserie van de windrichtingen gemeten op 12 april 2016 door het KNMI in Hoek van Holland (magenta) en door ECN met de Sonic anemometer op de locatie van Airrmonia (blauw). Let op! De tijden zijn geplott in UTC. Voor lokale zomertijd moet hier 2 uur bij worden opgeteld.

Op de eerste meetdag zijn geen sterk verhoogde NH_3 -concentraties gemeten op de Maasvlakte. Wel zijn er op meerdere plaatsen matig verhoogde concentraties gemeten. De hoogste concentraties zijn gemeten op de Professor Gerbrandyweg in Botlek Rotterdam ten Noorden van de AVR. Hier werden concentraties tot 60 ppb boven de achtergrond gemeten (zie Figuur 51). Er is ook een duidelijke pluim van methaan (CH_4) zichtbaar. Ook NO_x is rond dezelfde locatie verhoogd. De bron van deze verhoogde NH_3 -, CH_4 - en NO_x -concentraties is hoogstwaarschijnlijk de vuilverbranding (emissieregistratie 2015: 27ton NH_3 /jaar).



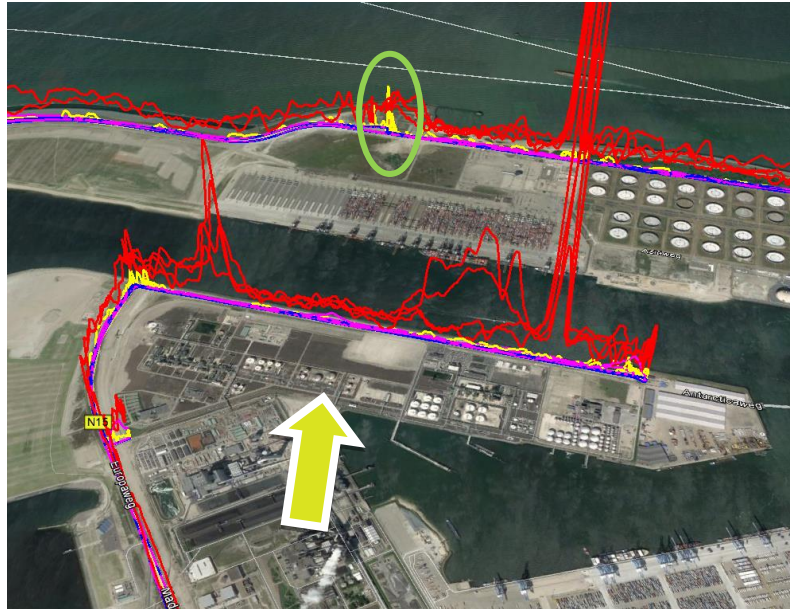
Figuur 51: Concentratiegegevens van NH₃ (geel), CH₄ (rood) en NO_x (roze) weergegeven op het gereden pad (blauw) langs de Professor Gerbrandyweg in Botlek Rotterdam. De pijl geeft de windrichting weer (200°).

Op de N15 nabij het bedrijf Hacon Containers wordt ook een verhoogde piek NH₃ gevonden die rond de 30 ppb boven achtergrond zit (zie Figuur 52). De exacte bron hiervan is onduidelijk. De wind staat vanaf het water dus mogelijk komt de bron vanaf een passerend schip. Deze theorie lijkt ook ondersteund te worden door het feit dat dezelfde pluim later op de dag rijdend in de tegenovergestelde richting niet meer zichtbaar was.



Figuur 52: Concentratiegegevens van NH₃ (geel) weergegeven op het gereden pad (blauw) langs de N15. De pijl geeft de windrichting weer (200°).

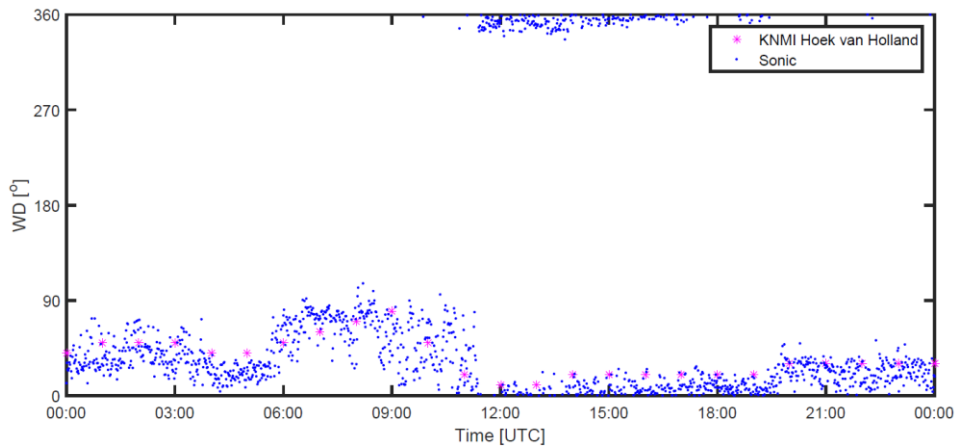
Nabij de elektriciteitscentrale vinden we een kleine piek in NH_3 (aangegeven in groen in Figuur 53). Deze piek ligt 30 ppb boven het achtergrondniveau. Mogelijk is dit de pluim van de elektriciteitscentrale die hier aan de grond komt. Het is echter niet uit te sluiten dat deze piek een artefact is vanwege de draaiende beweging die de meetwagen op deze locatie moet maken, waardoor de uitlijning van het apparaat beïnvloedt kan worden. Heel prominent in **Figuur 53** zijn de pluimen met methaangas (aardgas). Die van twee bronnen af lijken te komen.



Figuur 53: Concentratieingen van ammoniak (geel), methaan (rood) en NO_x (roze) weergegeven op het gereden pad (blauw) op de maasvlakteweg. De pijl geeft de windrichting weer (200°).

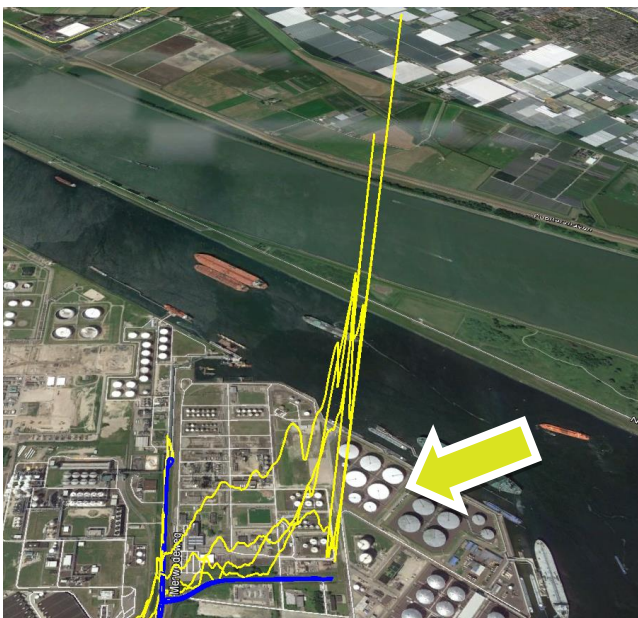
Meetdag 2

De windrichting op meetdag 2 (22 april 2016) is geplot in Figuur 54. Deze dag kwam de wind redelijk constant vanuit het noorden. Vroeg op de ochtend vond er een draaiing plaats van oost naar noord.



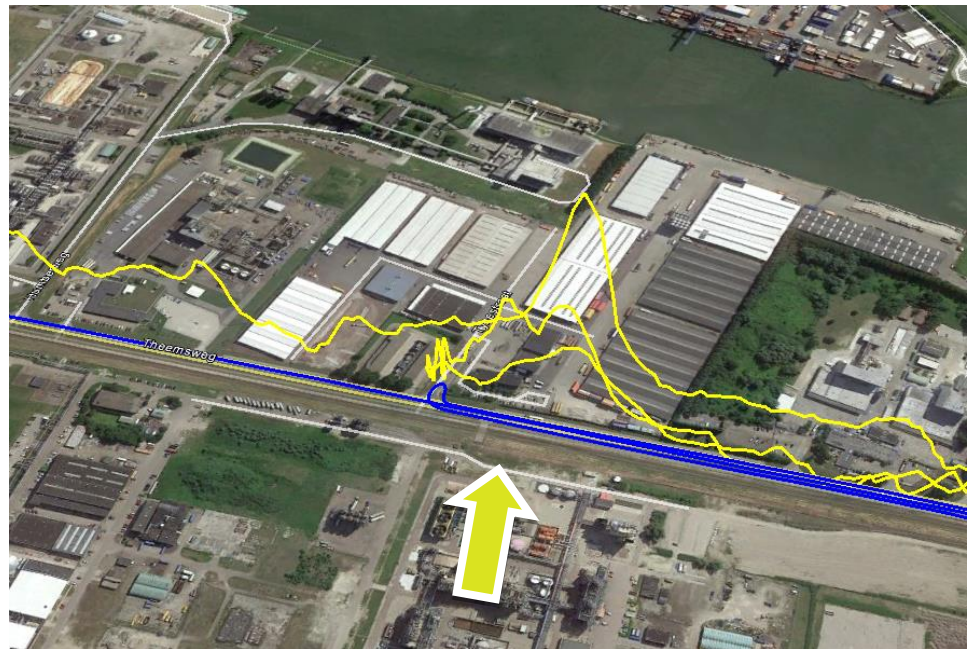
Figuur 54: Tijdserie op 22 april 2016 van de windrichtingen gemeten door het KNMI in Hoek van Holland (magenta) en door ECN met de Sonic anemometer op de locatie van Airrmonia (blauw).

De hoogste ammoniakconcentraties werden op meetdag twee gemeten langs OCI Nitrogen (zie Figuur 55). Hier werden NH_3 -concentraties tot 120 ppb boven de achtergrond gemeten. De hoogste concentraties werden gemeten dicht langs het terrein. De wind stond schuin over het OCI-terrein. OCI Nitrogen ligt ten opzichte van het meetpunt met de Airrmonia in de windbaan op 130° (zie hierboven).



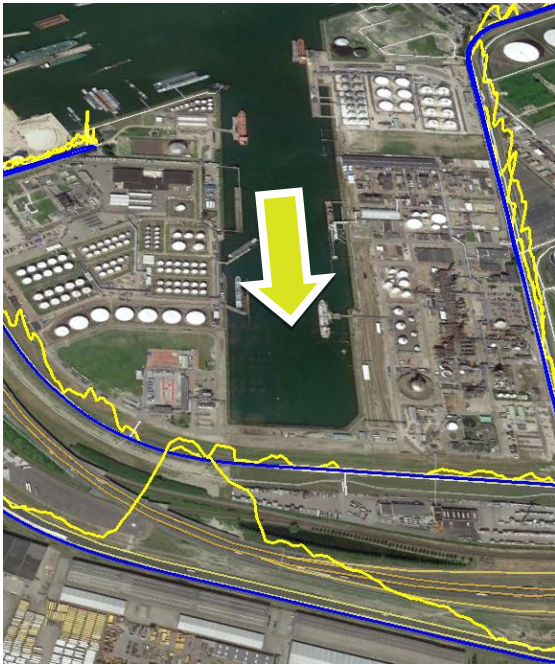
Figuur 55: Concentratie metingen van NH_3 (geel) weergegeven op het gereden pad (blauw) nabij OCI Nitrogen, de pijl geeft de windrichting weer.

Naast OCI Nitrogen zijn er geen sterk verhoogde NH_3 -concentraties gemeten tijdens de tweede meetdag. Wel zijn er op plaatsen pieken van 10-50 ppb ammoniak waargenomen. Bijvoorbeeld nabij het bedrijf Huntsman aan de Theemsweg in Botlek Rotterdam (zie Figuur 56). Hier werden concentraties tot 30 ppb boven de achtergrond waargenomen. De piek is goed gedefinieerd en waargenomen zowel op de heen- als terugweg.



Figuur 56: Concentratiemetingen van NH_3 (geel) weergegeven op het gereden pad (blauw) nabij het bedrijf Huntsman. De pijl geeft de windrichting weer (10°).

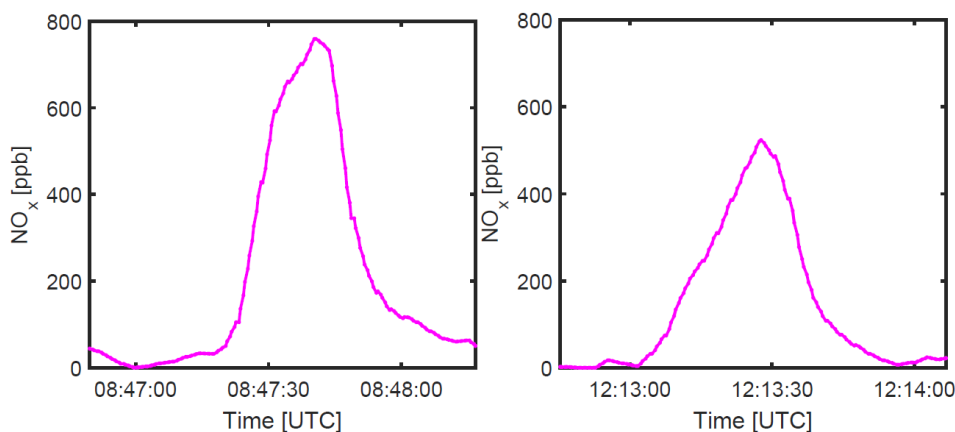
Er zijn ook pluimen gemeten waar de bron blijkbaar niet continu in de tijd aanwezig is. Een voorbeeld daarvan is te zien in Figuur 57. Hier wordt op de ene weg wel een pluim van NH_3 gemeten, maar op de andere parallelweg niet. De pluim is 35 ppb hoger dan de achtergrond. De exacte bron is niet bekend, maar gezien de locatie lijkt het signaal te komen van hetzij Vopak, Shin-etsu of de Rubis Terminal.



Figuur 57: Concentratiemetingen van NH_3 (geel) weergegeven op het gereden pad (blauw) op de Clydeweg. De pijl geeft de windrichting weer (10°).

Voor NO_x zien we op beide meetdagen hetzelfde patroon met als duidelijk aanwezige bron vrachtwagens, met name tijdens het optrekken. Dit betekent ook dat wanneer de meetwagen omkeert de NO_x -piek van de meetwagen zelf wordt gemeten. De hoogste concentraties van NO_x werden gemeten in de Beneluxtunnel van de A4. Doordat de lucht in de tunnel minder goed wordt verversd en er vrachtwagens doorheen rijden loopt de NO_x -concentratie hier op tot 750 ppb boven de achtergrondconcentratie (zie Figuur 58).

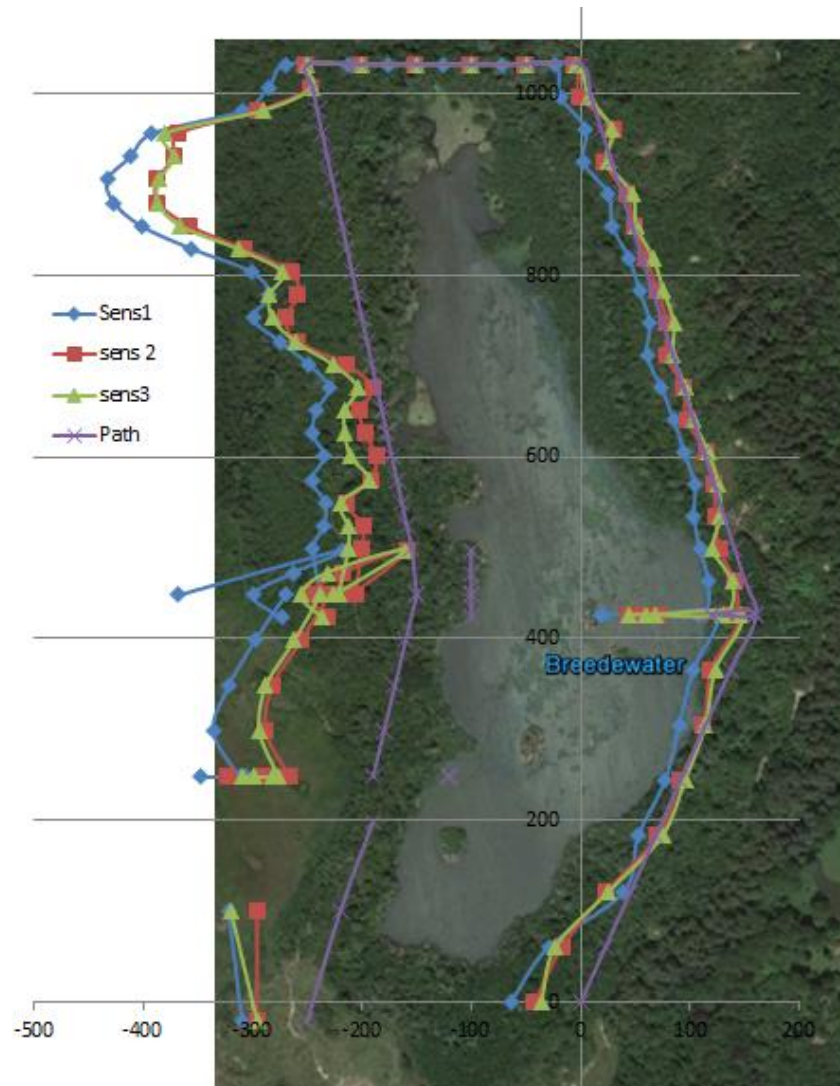
Een andere bron van NO_x die aanwezig zal zijn maar die tijdens de metingen niet gezien is, komt van de scheepvaart. De reden dat deze bron waarschijnlijk niet gezien is, komt doordat deze bron niet constant is en dat de schepen zich vaak niet dichtbij een openbare weg bevinden.



Figuur 58: Concentratiemetingen van NO_x boven de achtergrond gemeten in de Beneluxtunnel op 12-4-2016 rijdend van noord naar zuid (a) en van zuid naar noord (b).

Vogelkolonie

Er is op 19 juni 2016 een test uitgevoerd met een nieuw type ammoniaksensor rondom een vogelkolonie bij het Breede Water nabij Oostvoorne. De gemeten ammoniakconcentraties rondom het meer zijn weergegeven in Figuur 59. Op de dag van de metingen waaide het vanuit het oosten. Er werd gemeten met drie sensoren die eenzelfde beeld geven met verhoogde NH_3 -concentraties aan de westzijde van de kolonie. Aan de oostkant zijn de NH_3 -concentraties stukken lager. Dit duidt erop dat de aalscholverkolonie inderdaad een bron van NH_3 is en dat de sensoren geschikt zijn om dat ook te meten.



Figuur 59: Pad gelopen langs het Breedewater (paars) met NH_3 -concentraties gemeten met de 3 sensoren eroverheen geplot in de windrichting (dus naar het westen toe, links) (in blauw, rood en groen). De hier gebruikte sensor was een niet gecalibreerd prototype, de aanwezigheid van ammoniak en de vorm van de pluim zijn daarmee wel in beeld maar de absolute concentratieniveaus zijn dus niet bepaald.

Meetcampagne op zee

Zoals hierboven al genoemd is er een hypothese dat er vanuit het zeewater mogelijk ammonium/ammoniak in de lucht terecht komt. Dat zou bijvoorbeeld gerelateerd kunnen zijn aan het afsterven van algen en andere zoetwaterorganismen op de zoet/zout overgang voor de kust.

In een workshop die werd georganiseerd samen met RIVM en Deltares werd de kennis omtrent deze hypothese besproken. Belangrijkste conclusies waren:

1. Op dit moment wordt er in modellen een bron in de kustzone gelegd waarbij de verdeling ervan is gebaseerd op fytoplankton kaarten.
2. Van de planktonsoort Noctiluca (zeevonk) is bekend dat deze NH_4 uitscheid.
3. Er zijn weinig ruimtelijk verdeelde waarnemingen van NH_4 in water, wel historische metingen op een aantal stations.
4. Metingen op een schip zouden inzicht kunnen geven in de ruimtelijke verdeling van algen en van het wel of niet optreden van een NH_3 -emissie naar de lucht.

In een, op de workshop volgende bespreking met het Havenbedrijf en Rijkswaterstaat is daarnaast de hypothese gesteld dat in de Princes Margriet haven, waar het koelwater van de elektriciteitscentrale uitkomt, een verhoogde biotische activiteit kan zijn ontstaan. Indien daardoor ook meer NH_4 in het water komt dan zou dat de opgaande trend (zie Figuur 21) in de NH_3 -concentratie op MV2 (mede) kunnen verklaren.

Op 4 juli 2017 werd een dag een meetcampagne georganiseerd vanuit de Rotterdamse haven. De met de ms Rotterdam gevaren route is te zien in Figuur 60.

Watertemperatuur was 19-20 graden Celsius, gemeten bij Hoek van Holland, de windsnelheid was 1 tot 2 m/s gedurende de hele dag. In de ochtend was de wind oostelijk en rond 11:00 (lokale tijd) draaide de wind snel naar het noordwesten. Omdat er weinig tot geen ervaring is met het meten van ammoniak op een bewegend schip werden er verschillende meetinstrumenten ingezet. Daarmee werd zowel naar NH_4 in de waterfase gekeken als naar NH_3 in de lucht.

Ammonium in het water

De ammoniumconcentraties in het water varieerde tussen de 80 en 200 ppb. In Figuur 61 is de ruimtelijke verdeling van de ammoniumconcentraties weergegeven. De hoogste waarden werden gevonden op het keerpunt in de Prinses Margriet haven, in de monding van de Maas en vlak daarbuiten. In Figuur 62 zijn de op de meetdag gemeten NH_4 -waarden vergeleken met waarden op 7 stations langs de kust. In het onderste deel van de grafiek is te zien dat het NH_4 -gehalte naar de winter toe nog verder stijgt. Een koppeling aan de afbraak van algen is dan aannemelijk. Een deel van het NH_4 kan afkomstig zijn van processen op en in de bodem. Met de huidige set metingen kunnen we daar geen onderscheid in maken, ook hebben we nog geen gegevens van het NH_4 gehalte in de uitstroom van de Maas.

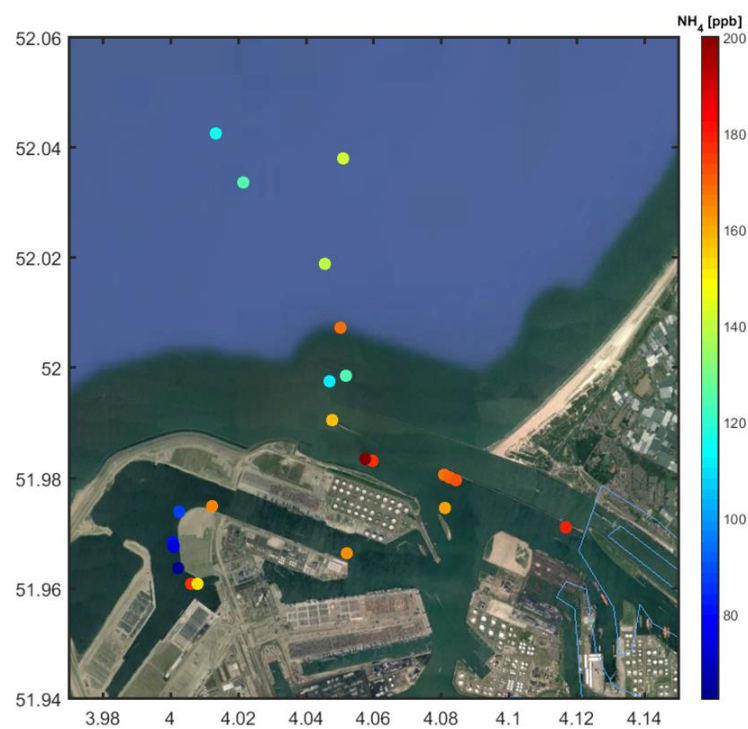
Algen

Tijdens de vaartocht werden algenmonsters genomen. Daartoe werd een kwantitatief watermonster uit de bovenste 50 cm van de waterkolom genomen (circa 25-50 l). Door de kalme zee was het goed mogelijk de oppervlakte kwantitatief te bemonsteren. Het water werd aan boord over een planktonnet gespoeld (20 μM). Monsters werden

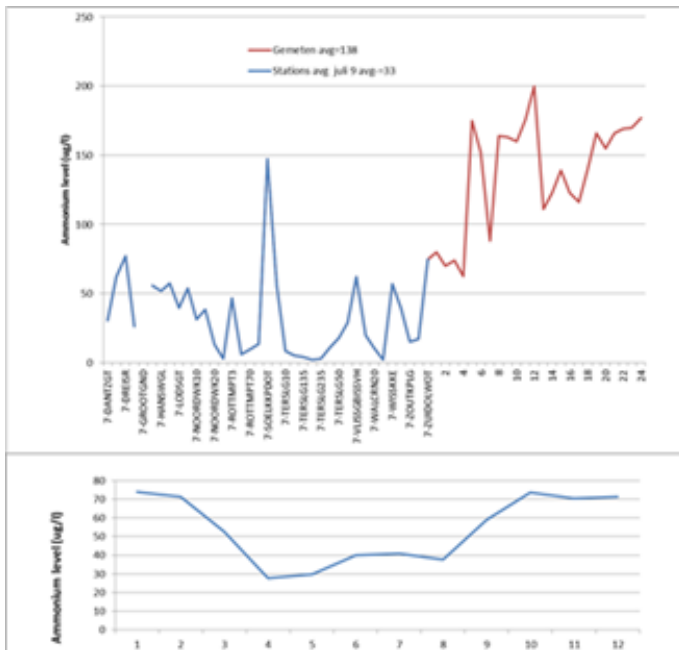
gefixeerd op Lugol en in het lab gedetermineerd op soort of soortgroep (Koeman & Bijkerk, René van Wezel). Naast het soortenspectrum zijn op iedere locatie celdichtheid, biovolume en asvrij drooggewicht bepaald, als maat voor de populatie samenstelling (aantal/gewicht algencellen per liter). In totaal zijn op 13 locaties algenmonsters genomen. Daarnaast zijn op alle locaties temperatuur, geleidbaarheid (als maat voor de zoutconcentratie) en PH gemeten.



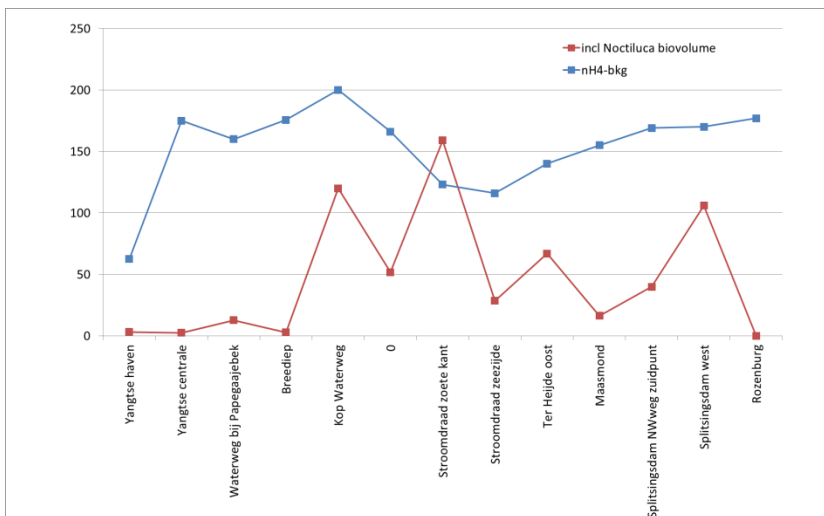
Figuur 60: Gevaren route (in rood) tijdens de watermetingen op 4-7-2017.



Figuur 61: Gemeten ammoniumconcentratie in het water op 4 juli 2017.



Figuur 62: Boven: Vergelijking van de gemiddelde NH_4 -concentraties in 2004-2008 op een aantal stations (blauw) en de gemeten waarden in 2017 (rood) voor de maand juli. Onder: de gemiddelde ammoniumconcentratie per maand op basis van data van 7 stations langs de kust (hierin is de seizoenvariatie zichtbaar).



Figuur 63: Patroon van het gemeten NH_4 -gehalte in het water en het biovolume aan algen in het water op 13 meetpunten langs de route. Hier is geen duidelijke correlatie waarneembaar.

Zoet-zout gradiënt

Het zoutgehalte, gemeten als geleidbaarheid, was het laagst bij Rozenburg (10,9 mS/sec) en het Breeddiep (16,9), Papegaaibek (22,0) en het hoogst bij station 8 (35,0 mS/sec). Vanaf de splitsingsdam en verder west is overal een sterke invloed van de zee merkbaar. De meetwaarden schommelen hier tussen 28,5-34,2 mS/sec. In de diepe Princes Margriet haven is het oppervlaktewater ook zout (29,3-29,7 mS/sec). De zoet-zout gradiënt aan de oppervlakte ligt tijdens de metingen op 4 juli 2017 dus ver naar binnen.

Temperatuur

Gemeten watertemperatuur aan de oppervlakte varieerde tussen de 17,5° en 24,8°C. De laagste waarden werden gemeten op het verste punt (station 8, 17,5°C) en west van Ter Heijde (station 9, 18,2°C). De hoogste waarde werd gemeten in de Princes Margriet haven bij de centrale (24,8 °C) en aan de kade bij Rozenburg (23,0°C).

PH

Tijdens de meetcampagne werden PH-waarden gemeten tussen 6,50-7,80 (Tabel 11).

Tabel 11: Overzicht meetlocaties op 4 juli 2017 en metingen abiotiek.

Nr	Tijd	Plek	Geleiding mS/sec	Geleiding mS/sec	Volume L	PH	Temp	Opmerkingen
1	10:40	Yangtse haven	29,3	30,4	15	7,75	23,1	algenbloei zichtbaar
2	11:35	Yangtsehaven centrale	29,7	31,1	15	6,72	24,8	algenbloei zichtbaar; drijfslagje blauwwieren
3	12:35	Papegaaibek	22,0	23,0	40	6,61	22,2	helder
4	12:40	Callandkanaal/Breeddiep	16,9	17,4	55	6,60	20,0	helder, enkele vlokken en macro algen
5	13:00	Kop Waterweg	29,1	30,7	55	6,50	19,8	stroomdraad; 10 Visdief vissend
6	13:32	NW 2 km	26,6	28,4	45	6,50	19,5	nog invloed zoet, grijsgroen
7	13:50	NW 4 km	30,3	30,5	45	6,50	19,0	aan de zoute kant stroomdraad; zeer helder!
8	14:06	NW 6 km	35,0	36,0	45	7,36	17,5	verder de zoute kant op, verste punt, glashelder!
9	14:25	Ter Heijde west	31,5	33,1	45	6,85	18,2	oostelijker gevaren
10	14:45	Maasmond	34,2	35,1	45	7,05	19,0	terug naar monding
11	15:35	Splitsingsdam ZO	28,5	29,7	45	7,36	21,1	
12	15:55	NW punt splitsingsdam	29,8	30,5	45	7,75	22,5	teruggevaan NW kop van dam
13	17:02	Rozenburg kade	10,9	11,0	26	7,80	23,0	

Algen

In deze fytoplanktonserie werden tenminste 47 soorten algen gedetermineerd. De serie kenmerkt zich door uitgesproken mariene soorten, met uitzondering van het laatste genomen monster (13 - Rozenburg). In dit monster komen tevens veel brakke en zoete fytoplanktonsoorten voor. In totaal werden tenminste 9 soorten van zoet water tegen 38 soorten uit het mariene milieu aangetroffen.

Soortensamenstelling

De planktonsoortensamenstelling was behoorlijk uniform waarbij in het zoete, de Princes Margriet haven en het sterk zoute milieu minder soorten algen voorkwamen dan in de gebieden met intermediaire saliniteit. Die soortenrijkdom bestaat dan uit mariene soorten en niet doordat er een mix van zoet en zoute soorten is. Meer informatie over de algensamenstelling is gedocumenteerd in Bijlage C.

Biovolume en organische stof

Algen verschillen sterk in vorm en in grootte. Tijdens dit onderzoek is zowel het biovolume als het asvrij drooggewicht bepaald van de monsters. Het biovolume is vanuit literatuurgegevens berekend vanuit de celdichtheid.

Het grootste aandeel in biovolume wordt gevormd door de grote dinoflagellaat *Noctiluca scintillans* (Zeevonk). Deze soort komt in het merendeel van de monsters voor, met uitzondering van monsters 1, 2 (Princes Margriet haven) en 13 (Rozenburg). De hoogste biovolumes komen voor vanaf de kop van de splitsingsdam (nr 12) tot aan de zoete kant van de stroomdraad in de Maasmond (nr 7). In dat gehele gebied is *Noctiluca* in belangrijke mate vertegenwoordigd. Princes Margriet haven, Princes Margriet centrale, Breeddiep en Rozenburg scoren het laagst in biovolumes. *Noctiluca* is dus ruim verspreid, vooral in het gebied waar het rivierwater zich mengt met het zeewater.

Het gehalte organische stof in de monsters komt op het eerste gezicht niet goed overeen met de biovolume data van het fytoplankton. Het biovolume wordt vooral bepaald door *Noctiluca*. Deze grote soort bestaat echter voornamelijk uit een vacuole ('water'), en voegt dus veel minder toe aan hoeveelheid organische stof. Wanneer het biovolume van *Noctiluca* wordt afgetrokken van het totale biovolume, dan lijken de monsterwaarden veel beter overeen te komen met de gehalten aan organische stof. De biovolumewaarden met en zonder *Noctiluca* zijn ter vergelijking opgenomen in Tabel 12 met de drooggewichtbepalingen. Voor het begrip: *Noctiluca* is 137.000 keer zo groot als *Chaetoceros pseudocritus*. Uit Tabel 12 is af te lezen dat de hoogste algenbiomassa, gemeten als droge stof voorkomt in de Princes Margriet haven, vooral nabij de centrale (nr 2).

Tabel 12: Algen biomassa als asvrij droge stof voor de verschillende stations. Ter vergelijking zijn de biovolumes met en zonder *Noctiluca* weergegeven.

monsterlocatie	organische stof (mg/l)	incl <i>Noctiluca</i> biovolume ($\mu\text{m}^3/\text{l}$)	excl <i>Noctiluca</i> biovolume ($\mu\text{m}^3/\text{l}$)
2	64,73	2,47	2,47
1	36,63	3,11	3,11
8	10,86	28,49	0,51
5	8,85	119,92	1,33
10	9,79	16,33	0,79
9	9,66	66,88	0,99
7	9,41	158,93	0,81
6	8,06	51,79	0,48
12	7,87	105,89	0,47
11	7,47	39,91	0,38
3	7,98	12,60	0,36
4	3,75	2,79	0,25
13	5,10	0,03	0,03

Algen als bron voor NH_3 -emissie?

De bemonstering heeft een aantal zaken laten zien die een relatie kunnen hebben met de waargenomen NH_3 -concentraties bij Hoek van Holland:

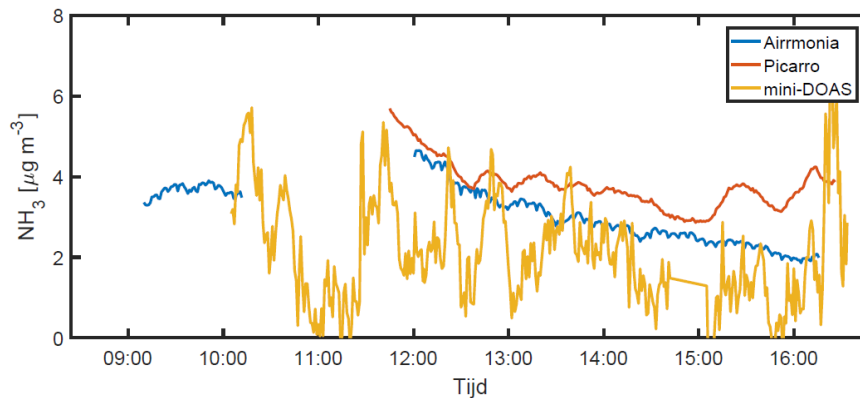
- Totale biomassa van algen in de regio Maasmond varieert sterk, de bloei van de diatomee *Chaetoceros* was ten tijde van de bemonstering geassocieerd met de centrale. Warmer water, beschutting tegen sterke stroming en golven kunnen zorgen voor een dergelijke bloei. Bij sterfte zou dit een bron van NH_3 kunnen zijn, hierover is voor deze soort echter niets bekend in de literatuur. Omdat *Chaetoceros* een zee-alg is sterft ze niet bij uitstroom in zee. Ten tijde van vermenging met zoet water bij hoge rivierafvoer zou dit wel het geval kunnen zijn.
- Zeevonk *Noctiluca* kan als mogelijke bron voor NH_3 fungeren. De bemonstering liet een brede verspreiding zien maar wel binnen de zoet/zout overgang. Zeevonk komt voor bij sterfte van zeedieren en ander biologisch materiaal, vaak in zoet/zout situaties en is in de literatuur genoemd als bron voor NH_3 . De waargenomen dichtheden tijdens de bemonstering gaven waarschijnlijk geen aanleiding voor sterke NH_3 -emissies, het is echter wel denkbaar dat dit bij andere weersomstandigheden wel het geval kan zijn. Het waargenomen patroon van voorkomen past goed in het beeld dat juist bij Hoek van Holland dergelijke hogere concentraties zijn waargenomen.
- Rol van zoet plankton uit de rivier was minimaal, dus er is waarschijnlijk geen direct algen effect van de rivier, althans niet ten tijde van de bemonstering.

Conclusie ten aanzien van de algen

Onze missie was een momentopname, de toestand kan snel veranderen in de loop van weken bij hogere temperaturen, windeffecten en rivierafvoeren. Figuur 61 laat zien dat dat de hoogste ammoniumgehalten in de nazomer/winter in het water voorkomen, maar de temperatuur is dan laag. Het evenwicht tussen water en atmosfeer is sterk door temperatuur gecontroleerd en daarmee ook de ammoniakemissie.

Gezien de waargenomen patronen en de hoogte van de in dit gebied gemeten NH_4 -concentraties in het water lijkt het niet onmogelijk dat algen de veroorzakers zijn van NH_3 -emissie. Het probleem is dat het gaat om een heel kleine (en dus moeilijk te meten) emissie per vierkante meter, maar wel over een heel groot gebied. De algenbloeien in de Princes Margriet haven verdient nader onderzoek bij voorkeur in verschillende seizoenen.

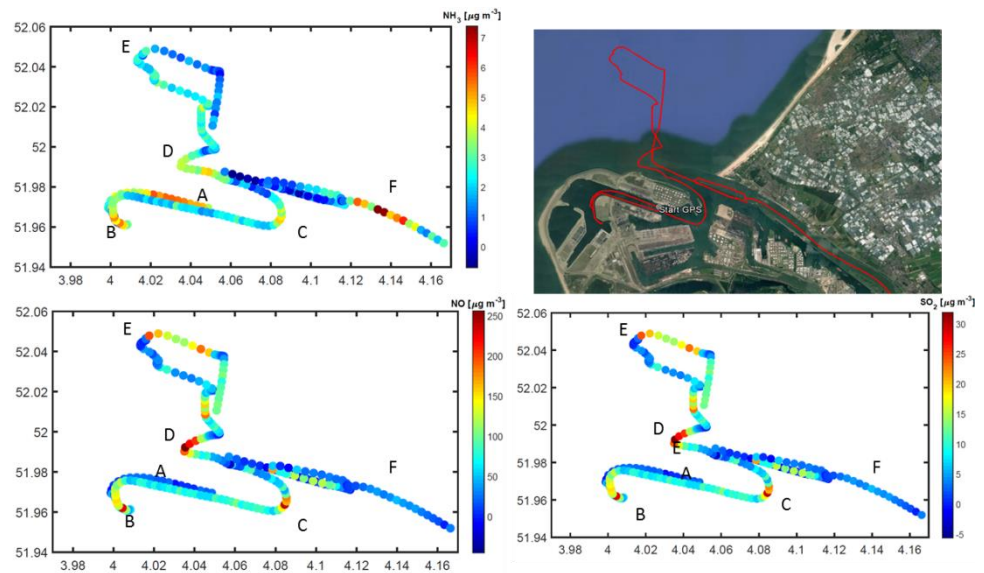
Ammoniak in de lucht



Figuur 64: Tijdsree van de gemeten ammoniakconcentratie in de buitenlucht met de Airrmonia en Picarro, twee langzaam metende instrumenten vergeleken met de mini-DOAS, die sneller maar bij de gebruikte padlengte van 5 m meer ruis heeft dan de andere twee.

Figuur 64 toont de tijdsree van de ammoniakconcentratie in de buitenlucht gemeten op het schip met de Airrmonia, de Picarro en de mini-DOAS. Alle drie de meetinstrumenten geven lage ammoniakconcentraties aan ($<6 \mu\text{g}/\text{m}^3$), wat op een dag met een lichte wind vanaf zee te verwachten is. De ammoniakconcentratie daalt voor beide apparaten na 12:00 (lokale tijd). Bij de Picarro en de mini-DOAS nemen de ammoniakconcentraties weer toe na 15:00 als de boot weer de monding van de Maas invaart. De Airrmonia laat die stijging (nog) niet goed zien voordat de metingen stoppen. De mini DOAS is een open pad meetsysteem dat veel sneller reageert op veranderingen van de concentratie in de buitenlucht dan de andere twee systemen, maar in het snelle signaal zit wel meer ruis.

Belangrijk is dat Figuur 64 laat zien dat ook als de boot op zee is (en met noordwestelijke wind vanaf zee) alle drie de meetsystemen een ammoniakconcentratie detecteren rond de $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ of hoger is en dus niet nul. Dit ondersteunt de hypothese dat er een bron van ammoniak op zee is.



Figuur 65: Concentratieingen van de mini-DOAS van NH_3 (linksboven), NO (linksonder) en SO_2 (rechtsonder) op het gevaren pad.

In Figuur 65 zijn de metingen van de mini-DOAS die NO , NH_3 en SO_2 tegelijk meet langs het traject op de kaart uitgezet. Bij de marker A, varen we rond 10:00 in de ochtend de Princes Margriet haven in. De windrichting is dan nog vanaf het land en we meten een piek in NH_3 (oranje bolletjes) die we niet zien in NO en SO_2 . Op de terugweg is bij dezelfde positie de wind naar zee gedraaid en is NH_3 gezakt, NO en SO_2 zijn wat hoger geworden. Het is niet duidelijk of de NH_3 -piek lokaal of regionaal is omdat er geen data is in het stuk op weg naar locatie A. Bij B zien we weer een verhoging van NH_3 alsook van de andere twee componenten. Dat is in het gebied net ten westen van de koelwateruitlaat van de elektriciteitscentrale. Bij label C registreert de aanwezige time-lapse camera de passage van drie schepen die langsvaren waarvan de NO en SO_2 pieken afkomstig kunnen zijn. Bij label D is dat mogelijk ook aan de orde maar is de time-lapse camera niet in de wind gericht en ontbreekt dus de informatie om die conclusie trekken. In beide gevallen lijken we ook een verhoging van NH_3 te zien maar de signaal-ruisverhouding van het signaal is laag.

Voor het hele stuk op zee, bijvoorbeeld bij E, zien we geen duidelijke verschillen voor NH_3 , wel zien we een stuk met verhoogde waarden voor NO en SO_2 , maar de schepen die dat zouden kunnen veroorzaken zijn niet in beeld. Bij F zien we aan het eind van de middag een duidelijke toename van ammoniak als we de Maas weer opvaren. Dat is bijna zeker afkomstig uit landbouwbronnen die op dat moment ten Noordwesten van het transect in beeld komen. Bij de vogelkolonie, die tussen D en F in ligt, is geen significant verhoogde ammoniakconcentratie geconstateerd.

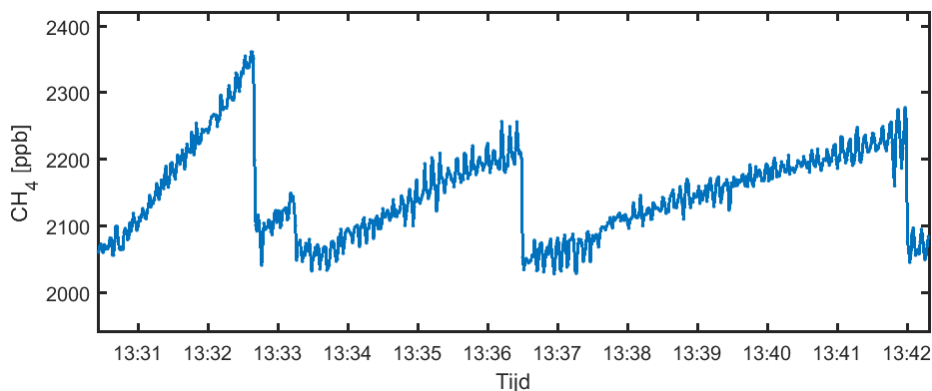
Dit type metingen gedurende een aantal dagen en op een transect verder van de kust af, zou zinnig zijn om te bepalen tot hoever een eventuele NH_3 -bronzone zich in de zee uitstrekt. Met de huidige metingen als kennisbasis is het meest geschikte instrument de mini-DOAS (vanwege de hogere tijdsresolutie), echter met een grotere padlengte wat de signaal-ruisverhouding zou verbeteren (in het LML worden deze instrumenten met een padlengte van 22 meter gebruikt).

Water-lucht emissiemetingen

Water uit zee werd in een afsluitbare ton gepompt. Een pakket lucht dat kan worden opgesloten tussen de ton deksel en het water laat een stijgende concentratie zien van elk gas dat uit het zeewater ontsnapt. De metingen werden uitgevoerd met de QCL (waar ook de mobiele metingen met de meetwagen zijn uitgevoerd). Doel was om dit voor NH_3 uit te voeren en daarmee de emissie te bepalen. Echter voor NH_3 zien we geen toename van de concentratie in de ton. Probleem is dat ammoniak sterke affiniteit met water heeft en er voldoende nat oppervlak aanwezig is om ammoniak in op te vangen. Deze metingen zijn dus in ammoniaktermen mislukt.

Omdat NH_3 toch niet werkte, is tijdens de vaart de QCL omgeschakeld om methaan (belangrijk broeikasgas) te meten. Dan blijkt dat er uit het zeewater wel een duidelijk meetbare methaanemissies plaatsvindt. Dit is duidelijk zichtbaar in Figuur 66. De methaanemissie van het water is te berekenen met behulp van de helling van de toename in methaan. Om de paar minuten openen en sluiten we de deksel van de ton, bij de open ton daalt de concentratie weer snel naar de buitenlucht waarde. Zodra de ton gesloten wordt hoopt het methaangas zich op en zien we de blauwe lijn in Figuur 66 oplopen. De gemeten methaanemissies tijdens dit experiment worden in een ander project nader geëvalueerd. De methaanemissies komen zeer waarschijnlijk vanuit de sliblaag op de bodem. Het is niet onwaarschijnlijk dat daar ook een deel van het NH_4 vandaan komt en daarmee zijn deze methaanmetingen later wellicht toch ook bruikbaar in het ammoniakverhaal.

Met de beschikbare infrastructuur konden we op deze ene meetdag geen diepteprofielen van beide gassen bepalen. Wanneer dit wel mogelijk is kan hier potentieel uitspraak worden gedaan over het belang van een mogelijke bron op de bodem versus een mogelijke bron in de laag met algen.



Figuur 66: Tijdsree van gemeten methaanconcentratie in een afgesloten ton met doorstromend water.

3.4 Discussie

De Airmonia-metingen maken het mogelijk om te kijken waar zich rondom het meetpunt bij Hoek van Holland ammoniakbronnen bevinden. We hebben daarvoor zowel naar individuele pieken gekeken als naar het ensemble van de metingen en die met concentratiewindrozen geanalyseerd. De continue NH_3 -concentratie metingen zijn goed verlopen met een datadekking van 80%. Gedurende een bepaalde periode was het signaal echter om onduidelijke redenen verzwakt.

Pieken

Uit de metingen werd duidelijk dat uit de windrichting 140-150° van de meetopstelling in Hoek van Holland een relatief sterke bron van NH_3 aanwezig is. Waarschijnlijke stikstofbronnen in deze windhoek zijn een kunstmest- en afvalverbrandingsbedrijf. Met de mobiele metingen zijn bij deze bronnen NH_3 -pluimen bevestigd. Er zijn tevens twee pieken toegelicht, waarbij er een bron ten zuiden van Hoek van Holland lijkt te zijn (rond 170°). Deze wordt waarschijnlijk veroorzaakt door een GFT-verwerkingsbedrijf. De windhoek 170-250° geeft ook verhoogde concentraties: op 220° staat een centrale met een geregistreerde ammoniakemissie. Bij de andere elektriciteitscentrales in de hoek 250-260° worden geen NH_3 -emissies gerapporteerd. Wel wordt ook daar NH_3 gebruikt voor de DNOX. We zien uit die hoek mogelijk ook NH_3 uit algensterfte in de Princes Margriet haven. In het voorjaar zijn de emissies van de vogels op de scheidingsdam in de Maasmond ook potentieel van belang. Op de meetdag met het schip hebben we daar echter geen significante emissie waargenomen.

Windrozen

De concentratiewindrozen van de Airmonia-data laten zien dat in de zomermaanden (juni, juli en augustus) hogere NH_3 -concentraties worden gemeten vanuit zee dan in de wintermaanden (december, januari en februari). Dit suggereert dat de emissies van NH_3 uit deze richting van natuurlijke oorsprong zijn. Zowel ammoniakemissie vanuit algensterfte als vanuit een meeuwenkolonie op de nabij gelegen oostwest lopende splitsingsdam in de Nieuwe Waterweg kunnen daarvoor de bron zijn. Een andere (niet geverifieerde) mogelijkheid zijn emissies uit het ruim van baggerschepen, bij hogere temperaturen.

De windroos kan ook worden vertaald naar een bijdrage in de totale depositie. Deze windroos met de ammoniakdepositie laat duidelijk zien dat de hoogste bijdragen (zo'n 30%) uit het zuidwesten komt (door een combinatie van overheersende windrichting en hoge depositiesnelheid). Hier bevindt zich Maasvlakte 1 en Europoort. Uit de windrichting 270° (Maasvlakte 2) is nu niet of nauwelijks een bijdrage waarneembaar. De piekanalyse (met de hoogste 20% van de metingen per windrichting) toont aan dat deze verantwoordelijk zijn voor ongeveer de helft van de totale ammoniakdepositie. De pieken in de concentratieniveaus komen het meest waarschijnlijk uit het gebied rondom het meetpunt, zeg in een straal in de orde van 10 km.

Deze vorm van analyse is ook inzetbaar voor NO_x en eventueel praktisch bruikbaar voor het in beeld brengen van de bijdrage van Maasvlakte 2 aan de depositie in de duingebieden nabij Hoek van Holland.

Vogels

De verkennende metingen bij de aalscholverkolonie langs het Breedewater toont een goed meetbare NH₃-pluim van de kolonie. Dit kan een relevante bron vormen. Om een emissiegetal te bepalen uit de metingen is het nodig de gebruikte sensoren verder te ontwikkelen. Ook is het van belang metingen uit te voeren bij verschillende atmosferische condities verspreid in het jaar, aangezien zowel de staat van de kolonie (nesten bouwend, broedend of met jongen) als de atmosfeer invloed kan hebben op de emissies.

Emissiebronnen

Een aantal grote bedrijven en installaties zijn met de mobiele metingen bevestigd als bron van stikstofemissies. Vrachtwagens waren duidelijke NO_x-bronnen tijdens de mobiele metingen, wat met name in tunnels duidelijk meetbaar was.

De combinatie van continue ammoniakmetingen, windroosanalyses en chemische componenten maakt het mogelijk om relatief belang van herkomstgebieden en meest waarschijnlijke bronnen daarbinnen aan te geven. Dat zou kunnen worden aangevuld met pluimberekeningen.

Metingen op zee

De ammoniumgehalten die we in het zeewater vinden liggen duidelijk hoger dan gemiddeld. We zien duidelijk grote hoeveelheid biomassa aan noctiluca algen, die in principe NH₄ kunnen produceren. Dit is sterk gekoppeld aan de aanvoer van stikstof uit het achterland, via de rivier.

Daarnaast zien we dat als we in de wind de zee op varen de NH₃-concentratierichting de 1-2 µgNH₃/m³ daalt maar niet naar 0 µg/m³ gaat. Er is daarom steun voor de algen hypothese. De analyse van relatieve bijdragen aan de totale depositie laat zien dat de bijdrage vanuit zee 15% is (vergelijkbaar met, maar wat minder dan bij windrichtingen vanaf land).

4

Conclusies

Rijkswaterstaat heeft voor het Monitoring- en Evaluatie Programma (MEP) Duinen in de periode 2011-2014 de nulmeting (T=0) stikstofdepositie uit laten voeren in het kader van de evaluatieplicht voor het besluit Bestemmingsplan Maasvlakte 2 (MV2). Daarin is gekeken wat de uitgangssituatie is zonder gebruik MV2. Dit om in een latere fase te kunnen evalueren of de effecten zijn zoals voorspeld in MER en PB op bestaande duinen in de 'Natura 2000'-gebieden.

In die periode zijn maandgemiddelde metingen op 19 stations uitgevoerd. De metingen hebben veel inzicht gegeven in de hoogte van concentratieniveaus, de jaarlijkse depositie, het ruimtelijk patroon, en de chemische samenstelling. De gemeten waarden zijn vergeleken met de huidige GCN/GDN-waarden en met de niveaus zoals gehanteerd in het MER (2007) die waren gebaseerd op de toenmalige gehanteerde GCN/GDN-achtergrondwaarden. Met name de gemeten hoge waarden bij Hoek van Holland en de verschillen tussen deze meetwaarden en het huidige GCN/GDN waren aanleiding voor nader verklarend onderzoek. Een deel van de verklaring werd al gerapporteerd in het T0-rapport (Mouissie et.al, 2015) en zit in de verschillen in aannames in de GDN-modellen over eigenschappen van het terrein (bijvoorbeeld de ruwheid). Omdat daarmee niet alle verschillen verklaarbaar waren is dit vervolgonderzoek uitgevoerd om meer inzicht te krijgen in de relatie tussen de depositie en de omliggende brongebieden.

In 2015-2016 zijn daarom in een gecombineerde opdracht van Rijkswaterstaat, Havenbedrijf Rotterdam en de gemeente Rotterdam de maandgemiddelde metingen op 10 van de 19 stations gecontinueerd. Daarnaast zijn continu NH₃-metingen met een half uur tijdsresolutie uitgevoerd op de DCMR-meetpost bij Hoek van Holland. Bij deze metingen worden pieken in de concentraties gekoppeld aan de op dat moment optredende windrichting. Daarmee zien we in welke windrichting een bron moet liggen en kunnen we dat vergelijken met bekende broninformatie. In aanvulling daarop is twee keer met een mobiel NH₃ meetsysteem rondgereden door het Westland, de bestaande havengebied en op MV1 en MV2, om te zoeken naar specifieke ammoniakbronnen. Ook zijn benedenwinds van een aalscholverkolonie mobiele ammoniakmetingen uitgevoerd en zijn ammoniakmetingen vanaf een schip uitgevoerd,

met het oog op mogelijke stikstofbronnen op zee. Dit onderzoek heeft daarmee een dus een bredere scope dan alleen het vastleggen van de uitgangssituatie voor MV2.

De deposities die in de T0 rapportage zijn opgenomen zijn in deze rapportage gecorrigeerd voor een omrekenfout bij de natte depositie analyseresultaten. Hierdoor zijn alle berekende depositiegetallen toegenomen ten opzichte van het eerder uitgebrachte T0-rapport (afhankelijk van het station tussen de 5 en 20% voor totaal depositieniveau).

Op basis van het uitgevoerde onderzoek kunnen verschillende conclusies getrokken worden over de ontwikkelingen in de regio, die van belang zijn voor de beoordeling van de 0-situatie voor MV2:

- De voortgezette metingen (maandgemiddelde gegevens) laten zien dat voor NO_x de daling van de concentraties op de MV2 stations achterblijft t.o.v. de landelijke daling van de concentraties van rond de 1µg/m³ NO₂ per jaar. Voor NH₃ nemen de concentraties op de meetpunten enigszins toe. Deze trend wordt ook landelijk waargenomen.
- De maandgemiddelde concentraties op de meetstations gelegen op MV2 laten, in tegenstelling tot de andere stations, zien dat, bij bepaalde windrichtingen, bij een toename van NO_x ook NH₃ toeneemt. Dat is een indicatie dat bronnen van NO_x en NH₃ gezien vanaf die meetpunten in de zelfde richting liggen.
- Met de continue metingen van NH₃ zien we bij Hoek van Holland een tamelijk egale verdeling van de bijdragen van de deposities vanuit de verschillende windrichtingen. De gemiddelde bijdrage aan de depositie vanuit zuidwestelijke richting is wat groter dan uit andere richtingen, met name door de hogere windsnelheden (meer turbulentie) uit die hoek. Vanuit die richting worden ook piekbijdragen waargenomen met als mogelijke verklaring de vergunde activiteiten rond het Beerkanaal (MV1), waaronder laad-/los verliezen van ammoniak bij de kolencentrales. Natuurlijke bronnen zoals algensterfte zijn echter ook niet uit te sluiten (zie hierna). Als in de toekomst op MV2 meer activiteiten plaatsvinden is een scheiding in herkomstgebied (MV1 of MV2) moeilijker te maken vanaf meetpunt Hoek van Holland. Dit onderscheid is voor beantwoording van de vragen uit het MEP van cruciaal belang. Voor de Natura 2000 gebieden is het minder relevant waar het stikstof vandaan komt.
- Met de mobiele metingen zijn op MV2 geen evidente ammoniakpieken en dus geen mogelijke emissies waargenomen. Dat strookt met het huidig niveau van ingebruikname. Op verschillende andere plekken in het bestaande havengebied zijn wel duidelijke pieken waargenomen, de meeste uit reeds bekende bronnen.
- De metingen vanaf het schip van Rws laten duidelijk verhoogde algenhoeveelheden in het water in de Princes Margriethaven en de Maasmond te zien. Het (zee)water in de Princes Margriethaven en de Maasmond is daarom potentieel een bron voor NH₃ binnen het MV1- en MV2-gebied. Vergelijkbare omstandigheden zijn te verwachten in het Beerkanaal (MV1).

In bredere wetenschappelijke zin laat deze rapportage een aantal dingen zien:

Maandgemiddelde metingen (Hoofdstuk 2):

- De voortzetting van de maandgemiddelde metingen op de 10 stations bestendigen het depositiebeeld uit de T=0 fase; er is een duidelijk meetbaar en over de jaren consistent patroon in de stikstofdepositie langs de kust waarneembaar. De

stikstofdepositie is relatief laag op Goeree en Oostvoorne, het hoogst bij Hoek van Holland en neemt vervolgens weer af naar het noorden. Dit zelfde patroon is in de concentratiegetallen waarneembaar waarbij in dat geval Hoek van Holland minder geprononceerd is, de hoge ruwheid op het meetpunt Hoek van Holland versterkt het beeld van de gradiënt in het depositiepatroon.

- De jaarlijkse depositie verschilt aanzienlijk per plek tussen 0,7-3,9 kmol/ha/j met een bandbreedte van 10-30% rond het meerjarengemiddelde. De depositiewaarden liggen over het algemeen iets hoger, maar wel in dezelfde orde van grootte, als GDN. Op Hoek van Holland zijn de depositiewaarden echter aanzienlijk hoger dan die volgens GDN, een deel van de verklaring daarvoor ligt in de hogere terreinruwheid nabij het meetpunt, dan waarvan de GDN uitgaat. De metingen liggen op vrijwel alle meetlocaties boven zgn. kritische depositiewaarde van 1,1 kmol/ha/jaar voor het habitatype Grijs Duinen (H2130A). Niet alle meetlocaties liggen overigens in Grijs Duin.
- Er spelen verschillende chemische componenten een rol. Droge depositie van ammoniak is erg prominent met 20-50% bijdrage, afhankelijk van de locatie. Op Hoek van Holland is de bijdrage van ammoniak 45-50%. De metingen op de tien stations laten zien dat de depositie van ammoniak in 2015-2016 stijgt ten opzichte van voorgaande jaren. Dat is ook op stations van RIVM in Nederland geconstateerd.

Metingen met hoge tijdsresolutie (Hoofdstuk3):

- De hoogste ammoniakconcentraties op het meetpunt Hoek van Holland zijn gemeten bij afluende wind als gevolg van bronnen landinwaarts. Daarin zien we episoden met langdurige verhoging waarbij de concentratie niveaus mede bepaald worden door het achterland (landbouw gerelateerde emissies), maar ook daarbovenop kortdurende pieken die van dichtbij moeten komen. Dat gebeurt met name vanuit de richting 90-190 graden (oost t/m zuid dus het binnenland) met de hoogste pieken rond de 140 (in de richting hoek van Holland → Rotterdam) en 170 graden (zuid vanaf Hoek van Holland).
- Op verscheidende locaties in de het bestaande havengebied werden tijdens de mobiele metingen ammoniakpieken waargenomen bij onder meer een kunstmestproducent en vuilverbranding ten oosten van de meetlocatie. Dit betrof bekende emittenten van ammoniak.
- Op basis van de continue meetreeks van ammoniakconcentraties is voor Hoek van Holland de bijdrage aan depositie door ammoniak voor de verschillende windrichtingen bepaald. Dat is gedaan door de concentratiemeting op elk moment met een depositiesnelheid te vermenigvuldigen die op basis van de meteorologische condities wordt bepaald.
 - Pieken (circa 20% van de metingen) zijn voor ongeveer de helft van de totale depositie verantwoordelijk. Dat geeft aan dat het specifiek kijken naar die pieken als bron verstandig is. De analyse kan wel de richting waarin de bron zich bevindt aangeven maar niet de exacte afstand. Een piek die een of twee uur duurt of duidelijk gerelateerd is aan een draaiende windrichting komt van 'dichtbij', maar dat kan een relatief kleine bron op 1 km of een grotere bron op 20 km afstand zijn. Combinatie met een pluimmodel en combinatie met bekende bronnenregistraties lijkt een logische vervolgstap.
 - Uit drie windsectoren, Westland (20-100°), Bestaand Rotterdams gebied ten zuidoosten van Hoek van Holland (120°-190°) en Botlek ten zuidwesten van Hoek

van Holland (190-230°) zien we vergelijkbare bijdragen aan het depositieniveau van ongeveer 20%

- Uit de windrichting Maasvlakte 1-2 tezamen (230-270°) en windrichting van Noordzee (280-360°) is de bijdrage iets lager dan uit de andere sectoren: 15%. Potentieel zien we hier emissie die gerelateerd is aan scheepvaart, algen of bodemprocessen vanuit de Maasmond of Haringvlietmond, de relatief warme Princes Margriethaven (mogelijk ook het Beerkanaal) en de Noordzee. In aanvulling hierop laten de metingen aan boord van het schip laten hoge algenconcentraties in de Princes Margriethaven en in de Maasmond zien. De gemeten NH_4 gehalten in het water zijn duidelijk hoger dan op andere kuststations, wat verklaarbaar is door de aanvoer van stikstof via de rivieren vanuit het achterland.
- De mobiele metingen rondom de aalscholverkolonie op het Breede Water tonen een duidelijk meetbare ammoniakpluim maar deze metingen waren nog onvoldoende om een emissiegetal uit te rekenen. Een verwachte NH_3 emissie door vogels (meeuwen en aalscholvers) op de Splitsingsdam en van de meeuwenkolonie op de 'Kleine Beer' in de Nieuwe Waterweg is niet meetbaar gebleken, er zaten relatief weinig vogels op deze locaties op de meetdag.

Voor de metingen op zee zagen we dat op de meetdag de NH_3 -concentratie in de lucht (bij wind van zee komt) buitengaats niet onder de $2 \mu\text{g NH}_3/\text{m}^3$ komt. De nieuwe DOAS die mee was lijkt het meest zinnige instrument voor de atmosferische metingen maar deze moet met een langere padlengte gebruikt worden dan de drie meter die we nu hadden. Op zee moeten heel lage concentratieniveaus en verschillen goed gemeten kunnen worden. De twee andere instrumenten (Airmonia en Picarro) blijken waren te traag voor de metingen op het schip. De metingen dekken maar een dag en zijn daarmee een momentopname.

We hebben met de mobiele metingen emissies uit bronnen gemeten op plekken waar die ook werden verwacht. De windroosanalyse op basis van de Airmonia getallen geeft geen grote verrassingen. Verdere analyse van de beschikbare tijdreeks is nog mogelijk door de gemeten gegevens te vergelijken met berekeningen van een pluimmodel met een a-priori bronkaart maar dat viel buiten het bestek van dit onderzoek.

Het is belangrijk te realiseren dat het feit dat als we ergens bronnen zoeken en die (bijvoorbeeld met de mobiele metingen) ook vinden betekent niet dat die bronnen dan dus ook de hoofdverantwoordelijke zijn voor de depositie van stikstof in de Natura 2000 gebieden. De depositie op een willekeurige plek in een natuurgebied wordt op elk moment van de dag bepaald door waar op dat moment de wind vandaan komt, wat voor weertype het is en welke bronnen actief waren in de windbaan. Voor maandgemiddelde depositiegetallen zijn er dus altijd meerdere gebieden (en dus bronnen) die samen het depositieniveau bepalen. Wel is elke maand is de verdeling van de wind weer anders. Bijvoorbeeld de ene keer 30% uit het zuidwesten, de andere maand 75% uit het zuidwesten. In de ene maand is dus de bijdrage van een brongebied X belangrijker dan de andere maand. Dat geldt voor MV1, MV2, het Westland en elk ander terrein en daarmee kan de bijdrage van verschillende gebieden/windrichtingen uiteen gerafeld worden.

Tot slot

Het uitgevoerde T0-onderzoek en vervolgonderzoek laat de complexe werkelijkheid in deze regio zien. De combinatie van continue en maandmetingen, windrichtingen, chemische samenstelling zijn gebruikt om te kijken naar de ruimtelijke verdeling en het relatief belang van verschillende herkomstgebieden van de verschillende stikstofcomponenten met een nadruk op ammoniak. Het 6-jarig onderzoek heeft daarmee veel nieuwe inzichten opgeleverd over de depositie in deze regio, maar we hebben nog niet een volledige en sluitende verklaring voor de bronnen en oorzaken van de (hoge) depositie.

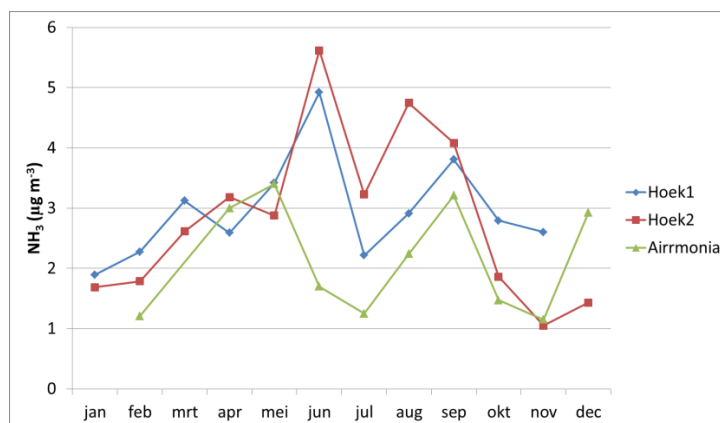
Literatuur

- Hensen, A, Frumau, K.F.A., Bleeker, A. "Nader onderzoek metingen Hoek van Holland", ECN rapport, December 2014
- Draaijers, G.P.J. (1993). *The variability of atmospheric deposition to forests. PhD thesis*, University of Utrecht, the Netherlands.
- Erisman, Jan Willem, and G. Paul Wyers. "Continuous measurements of surface exchange of SO₂ and NH₃; implications for their possible interaction in the deposition process." *Atmospheric Environment. Part A. General Topics* 27.13 (1993): 1937-1949
- Flechard, C. R., and Coauthors, 2011: *Dry deposition of reactive nitrogen to European ecosystems: A comparison of inferential models across the NitroEurope network*. *Atmos. Chem. Phys.*, 11, 2703–2728.
- Heinis, F., C. T. M. Vertegaal, C. R. J. Goderie, and P. C. van Veen, 2007: *Habitattoets, Passende Beoordeling en uitwerking ADC-criteria*. 244 pp.
- Massad, R. S., E. Nemitz, en M. A. Sutton, 2010: *Review and parameterisation of bi-directional ammonia exchange between vegetation and the atmosphere*. *Atmos. Chem. Phys.*, 10, 10359–10386.
- Schrader, F., Brümmer, C., Flechard, C. R., Wichink Kruit, R. J., Van Zanten, M. C., Zöll, U., Hensen, A., and Erisman, J. W.: *Non-stomatal exchange in ammonia dry deposition models: comparison of two state-of-the-art approaches*, *Atmos. Chem. Phys.*, 16, 13417-13430, <https://doi.org/10.5194/acp-16-13417-2016>, 2016.
- Sarink drs. H.M., ir. C.F. Elings, 2007: *Milieueffectrapport Bestemming Maasvlakte 2 Hoofdrapport*; Havenbedrijf Rotterdam en Royal Haskoning.
- Schenk, E. J. M., 2016: *Inventarisatie en vergelijking jaaremissies Rijnmond over de jaren 2007 - 2015*. DCMR, Schiedam, 47 pp.
- Tang, Y. S., Cape, J. N., Braban, C. F., Twigg, M. M., Poskitt, J., Jones, M. R., ... and Leaver, D., 2015: *Development of a new model DELTA sampler and assessment of potential sampling artefacts in the UKEAP AGANet DELTA system: summary and technical report*.
- Van Zanten, M.C., Sauter, F.J., Wichink Kruit, R.J., Van Jaarsveld, J.A. en Van Pul, W.A.J., 2010. *Description of the DEPAC module. Dry deposition modeling with DEPAC_ GCN2010*, RIVM, Bilthoven, the Netherlands, pp.1-76.
- Mouissie, dr. A.M., ing. A. Bleeker MSc., dr. A. Hensen, dr. M. Riksen, ing. R. Huiskes, drs. J.K. van der Hauw, 2014, *Datarapport TO-monitoring (2011-2013) duinen van Goeree tot Solleveld, in het kader van MEP Duinen i.r.t. Maasvlakte 2, GM-0143006*, Grontmij (nu SWECO)

Mouissie, dr. A.M., ing. A. Bleeker MSc., dr. A. Hensen, dr. M. Riksen, ing. R. Huiskes,
drs. J.K. van der Hauw, 2015, *Datarapport T0-monitoring (2011-2014) duinen van
Goeree tot Solleveld, in het kader van MEP Duinen i.r.t. Maasvlakte 2*, GM-
0156851, Grontmij (nu SWECO)

Bijlage A. Vergelijking ammoniakconcentraties denuders en Airrmonia

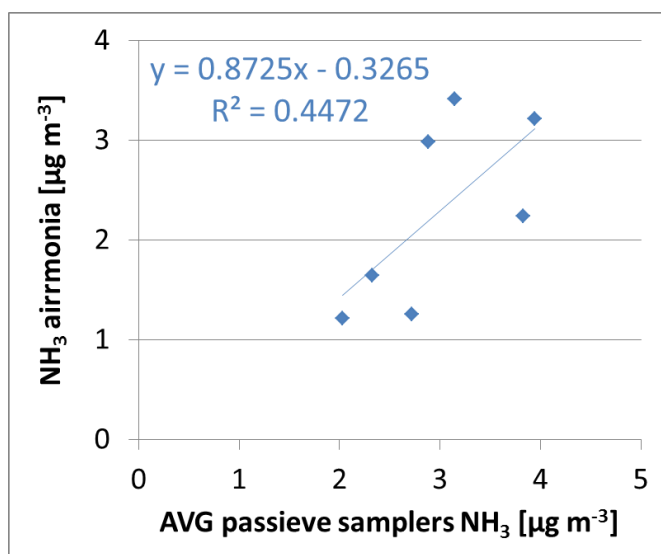
De gemiddelde maandelijkse NH_3 -concentraties gemeten met de Airrmonia zijn vergeleken met de data van de deltadenuders. De twee dichtstbijzijnde locaties van denuders zijn die van Hoek 1 en Hoek 2. De Airrmoniagetallen zijn gemiddeld per samplingperiode voor de denuders, rekening houdend met de wisseldagen. De resultaten van deze vergelijking zijn weergegeven in Figuur 67. De gemiddelde concentratie voor de maand maart van de Airrmonia is niet meegenomen omdat de databeschikbaarheid hier slechts 48% was. (Let op! Doordat de wisseldagen van de denuders niet exact de eerste van de maand zijn, is dit percentage lager uitgevallen dan over de gehele maand maart (59%)). Over het algemeen ziet het patroon van de denuders en de Airrmonia er hetzelfde uit. Het grootste verschil tussen de denuders en de Airrmonia is in de maand juni. In deze maand meten de denuders een veel hogere NH_3 -concentratie, en deze concentratie is ook relatief hoog vergeleken met andere maanden. Het is gedurende de episode juni-juli dat de Airrmonia een gedempt signaal geeft. Hiervoor is gecorrigeerd met behulp van de ammoniakconcentratie gemeten in het landelijk luchtmeetnet, maar mogelijk is hier toch nog een onderschatting. We gaan er dan ook vanuit dat de Airrmonia hier te laag is, en de denuders de juiste waarde aangeven.



Figuur 67: Tijdserie van de maandgemiddelde NH_3 -concentratie voor de passieve samplers op locatie Hoek 1 (blauw) en Hoek 2 (rood) en voor de Airrmonia (groen).

De gegevens uit Figuur 67 zijn tegen elkaar uitgezet in Figuur 68. Hiervoor is de maand juni vanwege de afwijkende denuderwaarde niet meegenomen. De denuder en airrmonia volgen elkaar goed, rekening houdend met het feit dat de meetlocaties niet exact hetzelfde zijn. Dit blijkt uit de correlatiecoëfficiënt van 0,45 (voor meer informatie over de correlatiecoëfficiënt en regressieanalyse zie het kader op volgende pagina). Het

is wel duidelijk dat in verhouding tot de passieve samplersbuisjes de Airrmonia NH_3 -concentratie ongeveer 10-15% lager ligt.



Figuur 68: Plot van de maandelijks gemiddelde NH_3 -concentratie van de Airrmonia uitgezet tegen de gemiddelde NH_3 -concentratie per maand van de denuders, met in blauw de bijbehorende regressievergelijking en correlatiecoëfficiënt.

Regressieanalyse

Met behulp van een regressieanalyse is te bepalen hoe data zich statistisch gezien tot elkaar verhouden. Een veel gebruikte analyse is de lineaire regressie. Hierbij wordt er een rechte lijn gefit door de data. Deze lijn wordt bepaald door de zogenaamde hellingscoëfficiënt (a) en het intercept (b). De hellingscoëfficiënt geeft de stijging dan wel daling aan in de data. Het intercept is het punt waarop de data op de y-as het punt $x=0$ bereiken. De lineaire regressievergelijking heeft de vorm $y=ax+b$. In het geval dat de x- en y-data exact aan elkaar gelijk zijn, geldt $a=1$ en $b=0$. Met behulp van a is gemakkelijk te bepalen of de y-data overschat of onderschat is in verhouding tot de x-data (ervan uitgaande dat b rond nul ligt). Wanneer a kleiner is dan 1 is er sprake van onderschatting en bij groter dan 1 is er sprake van overschatting.

De correlatiecoëfficiënt geeft aan in hoeverre er spreiding is tussen de gevonden lineaire regressielijn en de datapunten. Hoe dichter de datapunten bij de gevonden regressielijn liggen, hoe hoger de correlatiecoëfficiënt. Wanneer alle datapunten exact op de regressielijn liggen is de correlatiecoëfficiënt één.

Bijlage B. NH₃ Pieken

Tabel 13 geeft per week aan in welke windrichting ten opzichte van het meetpunt van DCMR bij Hoek van Holland pieken in de NH₃-concentratie werden waargenomen. Het gaat daarbij om relatief kortdurende pieken (0,5-paar uur).

Tabel 13: Ammoniakpiek op de Airrmonia bij Hoek van Holland

Week	Windrichting sector		Aantal pieken per week per sector																																			Totaal per week	
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350			
01/02/2016										2																													0
08/02/2016																																							2
15/02/2016																2																							2
22/02/2016																																							0
29/02/2016																																							0
07/03/2016																																							0
14/03/2016										1																													1
21/03/2016																	2	1	1																				4
28/03/2016												1					1		1																				3
04/04/2016																																							0
11/04/2016																	1	2	1				1	1														6	
18/04/2016								1	1										1																			3	
25/04/2016																																			1			1	
02/05/2016												1	1	2	1								1															6	
09/05/2016						1				1	2	1																								1		5	
16/05/2016																																							0
23/05/2016																							1															1	
30/05/2016																																							0
06/06/2016																		1	1							1													3
13/06/2016																																							1
20/06/2016																																							0
27/06/2016																																							0
04/07/2016																																							2
11/07/2016																																							0
18/07/2016											1			1																									2
25/07/2016																																							0
01/08/2016																																							0
08/08/2016																																							0
15/08/2016												1					1					1																3	
22/08/2016								1			1	2					1		2																				7
29/08/2016																																							0
05/09/2016																																							0
12/09/2016												2	1	1																									4
19/09/2016												1	1					1																					3
26/09/2016																																							4
03/10/2016											1																												1
10/10/2016																																							0
17/10/2016													1																										1
24/10/2016																																							2
31/10/2016													1	1	1																								3
07/11/2016																	1	1																					3
14/11/2016																		1																					2
21/11/2016											1	1																											2
28/11/2016												1																											2
05/12/2016																	2																						6
12/12/2016																																							8
19/12/2016																		1																					2
26/12/2016																																							0
02/01/2017																																							0
09/01/2017																																							0
16/01/2017											2																												2
23/01/2017																																							5
30/01/2017											1																												3
06/02/2017												1		1																									2
13/02/2017																	1	1	1																				3
20/02/2017																																							1
27/02/2017																																							0
06/03/2017																																							0
13/03/2017																																							0
Windsector	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	Totaal		
Totaal per sector	0	0	0	0	0	0	1	4	1	7	8	9	12	11	10	4	8	14	10	2.5	4.5	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	111		
% van totaal							1	3	1	6	7	8	10	9	9	3	7	12	9	2	4	1	2																

Bijlage C. Algenmetingen

Soortensamenstelling

De meeste algen betreffen kiezelwieren of diatomeeën (31 soorten, Tabel 8). Daarnaast werden 8 soorten dinoflagellaten, 3 soorten groenwieren, 1 soort blauwwier en 1 soort pantoffeldiertje aangetroffen.

Soorten met een brede verspreiding zijn *Chaetoceros pseudocrinitus*, *Guinardia delicatula*, *Guinardia flaccida* en Zeevonk *Noctiluca scintillans*.

Het aantal soorten of soortgroepen per station liep uiteen van 11-23. Er is een tendens dat het aantal soorten hoger is (20-23 soorten) bij een intermediaire geleidbaarheid (17-30 mS/sec), soms gekoppeld aan een meer beschermt milieu zoals nabij de splitsingsdam (stations 3, 4, 6, 9, 11 en 12). Buitengaats was het opvallend dat tussen de monsters 6 (aan de ene kant van de, met het blote oog waarneembare, zoet/zout overgang: de stroomnaad) en 7 en 8 aan de andere kant van die overgang, een groot verschil te zien is in aantal soorten was: 20 vs 12-13 soorten, samenvallend met een sprong in de geleidbaarheid en een groter doorzicht.

De stroomnaad in de Maasmond bij station 10 had daarbij minder soorten, west van Ter Heijde (station 9) juist meer soorten dan op grond van de regressie zou kunnen worden verwacht.

Tabel 14: Aangetroffen soorten en soortgroepen tijdens de bemonstering op 4 juli 2017.

Soort/soortgroep	Rosenburg	Waterweg bij Papegaaijenbek	Pringsdam Mijlpaal Europunt	Spillingsdam veer	Breedlapp	Kop Waterweg	Maasmond	NW 2km	Stroomdraad zoute kant, NW 4 km	Stroomdraad zeezijde, NW 6 km	Ter Heijde west	Vandeges centrale	Vandeges haven	habitat	groep	
<i>Chaetoceros pseudocinnifolius</i>		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	marine diatom	
<i>Skeletonema</i>	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	12	(marine) diatom	
<i>Guinardia delcatula</i>		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	marine diatom	
<i>Guinardia flaccida</i>		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	marine diatom	
<i>Thalassiosira</i>		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	(marine) diatom	
<i>Leptocylindrus</i>		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	(marine) diatom	
<i>Noctiluca scintillans</i>		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	marine diatom	
<i>Pseudo-nitzschia</i>		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	marine diatom	
<i>Chaetoceros</i>		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9	(marine) diatom	
<i>Khakistia</i>		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9	(marine) diatom	
<i>Coscinodiscophyceae</i>		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	8	(marine) diatom	
<i>Prorocentrum triestinum</i>		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	8	marine diatom	
<i>Rhizosolenia imbricata</i>		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	8	marine diatom	
<i>Tripos fusus</i>		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	8	marine dinoflagellate	
<i>Asterionellopsis glacialis</i>		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	6	marine diatom	
<i>Paralia sulcata</i>		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	6	marine diatom	
<i>Eucampia zodiacus</i>		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	marine diatom	
<i>Leptocylindraceae</i>		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	marine diatom	
<i>Scenedesmeaceae [1]</i>		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	(freshwater) green	
<i>Protoperdinium achromaticum</i>		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4	freshwater dinoflagellate	
<i>Thalassiosira rotula</i>		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4	marine diatom	
<i>Bacteriastrium hyalinum</i>		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	marine diatom	
<i>Delphinella</i>		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	(marine) diatom	
<i>Ectia tripartita</i>		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	marine flagellate	
<i>Kolkwitzellaceae</i>		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	(marine) dinoflagellate	
<i>Melosira moniformis</i>		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	marine diatom	
<i>Peridinales</i>		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	(marine) dinoflagellate	
<i>Pediastrum</i>		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	(freshwater) green	
<i>Peridinium quadridentatum</i>		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	marine dinoflagellate	
<i>Podocira stelliger</i>		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	marine diatom	
<i>Prorocentrum micans</i>		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	marine dinoflagellate	
<i>Protoperdinium</i>		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	(marine) dinoflagellate	
<i>Pseudo-nitzschia fraudulenta</i>		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	marine diatom	
<i>Stephanodiscaceae</i>		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	(marine) diatom	
<i>Actinocyclus octonarius</i>		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	marine diatom
<i>Archaeoperidinium</i>		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	(marine) dinoflagellate	
<i>Aulacoseira granulata</i>		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	freshwater diatom	
<i>Chaetoceros curvisetus</i>		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	marine diatom	
<i>Chaetoceros diadumus</i>		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	marine diatom	
<i>Coscinodiscus granii</i>		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	marine diatom	
<i>Euglenophyceae</i>		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	(freshwater) protozoan	
<i>Fragilariaceae</i>		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	(marine) diatom	
<i>Lauderia annulata</i>		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	marine diatom	
<i>Nitzschia fruticosa</i>		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	freshwater diatom	
<i>Odontella sinensis</i>		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	marine diatom	
<i>Oocystis</i>		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	(freshwater) green	
<i>Pfankottrix agardhii</i>		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	freshwater blue-green	
<i>Pleurosigma</i>		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	(marine) diatom	
<i>Pterosperma</i>		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	marine green	
<i>Rhaphoneis amphiceros</i>		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	marine diatom	
<i>Rhizosolenia setigera</i>		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	marine diatom	
<i>Suriella</i>		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	(freshwater) diatom	
<i>Tripos horridus</i>		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	marine dinoflagellate	
Eindtotaal	16	21	20	21	21	11	12	20	12	13	23	17	16	223		

Celdichtheid

De algenconcentratie wisselde sterk over de locaties. Zeer sterke bloei van *Chaetoceros* werd aangetroffen in de Princes Margriet haven (1,6-2,1 miljoen l⁻¹), ook in de Nieuwe Waterweg ter hoogte van de Papegaaijenbek is nog een sterke concentratie aanwezig. Verder naar buiten zijn de concentraties wisselend maar in het algemeen lager naarmate ze verder naar buiten liggen. Het laagste cijfer werd vastgesteld op het verst gelegen punt (nr 8), geheel in het zoute water. De range in gemeten dichtheden bedraagt een factor 300.

Tabel 15: Algenconcentratie (cellen per liter) op 4 juli 2017 op 13 meetstations in de regio Maasmond.

Meetpuntnaam	nr	Totaal N.l ¹
Princes Margriet haven	1	2062698
Princes Margriet centrale	2	1682540
Waterweg bij Papegaajenbek	3	130902
NW 2km	6	88817
Splitsingsdam west	12	86713
Splitsingsdam zuidpunt	11	58506
Breeddiep	4	51799
Ter Heijde west	9	47374
Rozenburg	13	40974
Stroomdraad zoete kant, NW 4 km	7	34233
Kop Waterweg	5	21777
Maasmond	10	9156
Stroomdraad zeezijde, NW 6 km	8	6801
Eindtotaal		4322290

Biovolume en organische stof

Algen verschillen sterk in vorm en in grootte. Tijdens dit onderzoek is zowel het biovolume als het asvrij drooggewicht bepaald van de monsters. Het biovolume is vanuit literatuurgegevens berekend vanuit de celdichtheid.

Het grootste aandeel in biovolume wordt gevormd door de grote dinoflagellaat *Noctiluca scintillans* (Zeevonk). Deze soort komt in het merendeel van de monsters voor, met uitzondering van monsters 1, 2 (Princes Margriet haven) en 13 (Rozenburg). De hoogste biovolumes komen voor vanaf de kop van de splitsingsdam (nr 12) tot aan de zoete kant van de stroomdraad in de Maasmond (nr 7). In dat gehele gebied is *Noctiluca* in belangrijke mate vertegenwoordigd. Princes Margriet haven, Princes Margriet centrale, Breeddiep en Rozenburg scoren het laagst in biovolumes. *Noctiluca* is dus ruim verspreid, vooral in het gebied waar het rivierwater zich mengt met het zeewater.

Het gehalte organische stof in de monsters komt op het eerste gezicht niet goed overeen met de biovolume data van het fytoplankton. Het biovolume wordt vooral bepaald door *Noctiluca*. Deze grote soort bestaat echter voornamelijk uit een vacuole ('water'), en voegt dus veel minder toe aan hoeveelheid organische stof. Wanneer het biovolume van *Noctiluca* wordt afgetrokken van het totale biovolume, dan lijken de monsterwaarden veel beter overeen te komen met de gehalten aan organische stof. De biovolumewaarden met en zonder *Noctiluca* zijn ter vergelijking opgenomen in Tabel 12 met de drooggewichtbepalingen. Voor het begrip: *Noctiluca* is 137.000 keer zo groot als *Chaetoceros pseudocrinitus*. Uit Tabel 12 ook is af te lezen dat de hoogste algenbiomassa, gemeten als droge stof voorkomt in de Princes Margriet haven, vooral nabij de centrale (nr 2).

Tabel 16: Biovolume aan algen per monsterpunt

Meetpuntnaam	nr	Totaal
Stroomdraad zoete kant, NW 4 km	7	158,93
Kop Waterweg	5	119,92
Splitsingsdam west	12	105,89
Ter Heijde west	9	66,88
NW 2km	6	51,79
Splitsingsdam zuidpunt	11	39,91
Stroomdraad zeezijde, NW 6 km	8	28,49
Maasmond	10	16,33
Waterweg bij Papegaajenbek	3	12,60
Princes Margriet haven	1	3,11
Breeddiep	4	2,79
Princes Margriet centrale	2	2,47
Rozenburg	13	0,03
Eindtotaal		609,15

ECN

Westerduinweg 3
1755 LE Petten

Postbus 1
1755 ZG Petten

T 088 515 4949
F 088 515 8338
info@ecn.nl
www.ecn.nl

