

Rapportage Scheepvaartmetingen Loenen 2014

A. Hensen (ECN)
W.C.M. van den Bulk (ECN)
M.J. Blom (ECN)
A.T. Vermeulen (ECN)
G.P.A. Kos (ECN)

A.J.C. Berkhout (RIVM)
G.R. van der Hoff (RIVM)
J. Wesseling (RIVM)
L. Nguyen (RIVM)

J.J. Erbrink (DNVGL)
J. de Wolff (DNVGL)

J. Hooghwerff (M+P)

November 2014
ECN-E--14-044



National Institute for Public Health
and the Environment
Ministry of Health, Welfare and Sport

Verantwoording

In de maanden april tot en met augustus 2014 zijn er, in opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Milieu en in samenwerking met M+P, DNV-GL en RIVM metingen uitgevoerd die een beeld moeten geven van de verspreiding van luchtverontreiniging benedenwinds van een vaarweg.

De metingen konden worden uitgevoerd dankzij de gastvrijheid van de families Kroon en Nagel en mevrouw Kessler bij wie we in tuin en weiland mochten meten.

Abstract

Emissions of NO_x and particulate matter from inland shipping are an important source of air pollution in the Netherlands. Thus far the dispersion of plumes from ship exhausts was modelled similar to those from road transport. With the high power engines however the ship plumes might experience different plume rise effects downwind of the ship. In order to evaluate this effects an innovative measurement setup was used that evaluated the concentration levels at 75, 200 and 800m east of the 'Amsterdam-Rijnkanaal', approximately 20 km south of Amsterdam. In order to facilitate generalisation of the results to other waterways, the concentration data was logged at one measurement every 2 seconds. Doing so the individual gas plumes originating from subsequent ships are separated. Logging the automated identification signal (AIS) from the ships passing on the channel, the set of over 2500 ship plumes was grouped according to ship type or size. The data obtained was provided to the modelling teams at DNV and RIVM for further evaluation. This report describes the experimental setup and the data resulting from the 5 month measurement campaign. Additionally this report describes a test with a vessel that was equipped with a smoke generator, and measurements carried out by RIVM using the NO₂ Lidar.

“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, directeurs en/of medewerkers aansprakelijk ten aanzien van indirecte, immateriële of gevolgschade met inbegrip van gederfde winst of inkomsten en verlies van contracten of orders.”

Inhoudsopgave

	Samenvatting	4
1	Inleiding	7
2	Meetmethode	8
2.1	Meetlocaties	8
2.2	Instrumenten	13
2.3	Data opzet	15
2.4	Lidar Campagne meting	15
3	Resultaten	17
3.1	Tijdreeksen	17
3.2	Meteorologie	18
3.3	Koppeling met AIS data	20
3.4	Soorten schepen	22
3.5	Kalibratie van de NO _x metingen	24
3.6	Conclusie van de NO _x kalibratiemetingen	26
3.7	Fijnstof metingen en kalibratie	28
4	Campagne metingen	34
4.1	Testschip Rijkswaterstaat	34
4.2	Lidar metingen	36
5	Conclusies en aanbevelingen	39
	Referenties	41
	Bijlagen	
A.	LASX2 correctie	42

Samenvatting

De emissies van stikstofoxiden (NO- NO₂) en deeltjes (PM) vanuit de binnenvaart leveren een belangrijke bijdrage aan luchtverontreiniging boven Nederland. Tot nu toe is de verspreiding van die luchtverontreiniging rondom vaarwegen op eenzelfde manier berekend als voor wegverkeer. Echter, het grote vermogen van de motoren in schepen kan er in principe toe leiden dat de gaspluimen die met de wind meegevoerd worden zich anders gedragen dan die van vrachtwagens op een snelweg. Omdat de gaspluimen bijvoorbeeld een significante warmte-inhoud hebben, zouden ze vanaf de uitlaat van het schip eerst nog een significant stuk kunnen stijgen.

Om dit te evalueren zijn met een innovatieve meetmethode metingen uitgevoerd op drie locaties, gelegen op 75, 200 en 800 m ten oosten van het Amsterdam-Rijnkanaal. De meetlocaties waren gesitueerd 2 km ten noorden van de weg Hilversum- Vinkeveen. Om de metingen te kunnen generaliseren en zo bruikbaar te maken voor andere waterwegen, al dan niet met een andere vervoersamenstelling zijn de gas- en PM-concentraties elke 2 seconden opgeslagen. Door dat te doen, kunnen de individuele gaspluimen voor verschillende schepen in beeld worden gebracht. Daarnaast is de uitgezonden informatie van het Automated Identification System (AIS) van passerende schepen opgevangen waardoor de individuele pluimen geassocieerd en gegroepeerd kunnen worden naar scheepstype en -grootte.

Al met al zijn > 2500 pluimen van schepen gemeten, waarna die gegevens ter beschikking zijn gesteld aan de teams bij DNV-GL en RIVM voor nadere vergelijking met de verspreidingsmodellen. Dit rapport beschrijft de meetopzet en de data die is verkregen tijdens de meetcampagne van 5 maanden. Daarnaast zijn de metingen tijdens een additionele testdag met een schip van Rijkswaterstaat, voorzien van een rookgenerator, beschreven, evenals de metingen van een testdag met de RIVM NO₂ - Lidar. Beide sessies hadden tot doel de verticale menging van de rook en eventuele pluimstijging nader te evalueren.

De belangrijkste conclusies waren dat we nu beter weten hoe de pluimstijging na emissie plaats vindt en hoe snel de reactie van NO naar NO₂ verloopt.

Uit het onderzoek zijn verschillende datasets beschikbaar gemaakt die nog nadere analyse vereisen. Er is een aantal aanbevelingen voor nader onderzoek gedaan.

1

Inleiding

De bijdrage van scheepvaart aan concentraties van luchtverontreinigende componenten is significant. Het gaat dan bijvoorbeeld om stikstofoxiden die ontstaan als gewone buitenlucht, dat voor 80% uit stikstof (N_2) bestaat, door een hete verbrandingsmotor gaat. De stikstof “verbrandt” voor een deel mee met de brandstof en komt als stikstofoxide uit de schoorsteen. Dat gebeurt bij alle verbrandingsmotoren, in auto’s, schepen en ook in energiecentrales. Terwijl de motoren in de auto’s relatief snel steeds schoner worden, gaat dat bij scheepvaart langzamer. Motoren in schepen gaan langer mee dan die in auto’s. Daarnaast stijgt vervoer per schip gestaag. Wat er uit de schepen komt is dus van steeds groter relatief belang.

Het Ministerie van Infrastructuur en Milieu (IenM) heeft daarom opdracht gegeven om met een serie metingen een beeld te krijgen van hoe de gassen en deeltjes uit verschillende soorten schepen zich verspreiden naar het omliggende land. De metingen worden gebruikt om computermodellen te maken die ook op andere plekken dan waar gemeten is uit kunnen rekenen waar het stikstof heen waait en waar het terecht komt.

2

Meetmethode

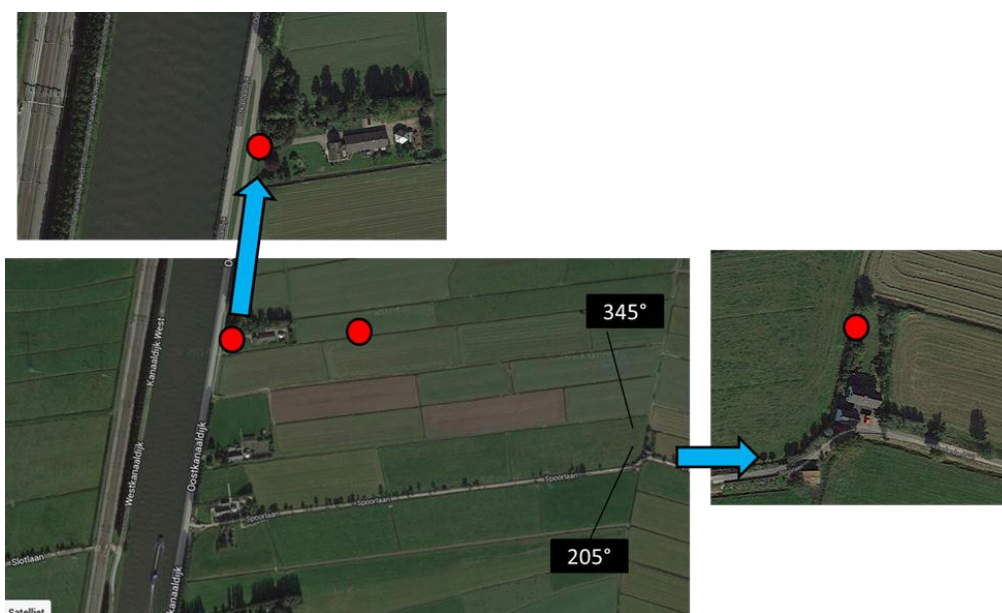
De metingen aan de veelal onzichtbare rookpluimen die vanuit de schepen over de velden waaien, vinden plaats op drie plekken op ongeveer 75, 200 en 800 meter benedenwinds van het Amsterdam-Rijnkanaal. Hieronder worden de gebruikte meetmethode en de instrumenten op de verschillen de meetlocaties besproken. De technische details per meetopstelling zijn weergegeven in de Tabellen 1, 2 en 3.

Dit project is uitgevoerd in samenwerking met M+P en DNVGL (voormalig KEMA), in opdracht van het Ministerie van IenM. DNVGL voert de vergelijking tussen modellen en gemeten data uit. Het RIVM begeleidt het project inhoudelijk en heeft een NO_x/O₃ kalibratie set beschikbaar gesteld. TNO heeft een meetapparaat (MAAP) voor fijnstof ter beschikking gesteld.

2.1 Meetlocaties

Het eerste meetpunt ligt op ongeveer 75 meter van het hart van de vaarweg net achter een parallelweg (Figuur 1 bovenste plaatje rode stip). De voet van de 6 meter hoge meetmast staat in de tuin van een woonboerderij op ongeveer 3 meter onder het wateroppervlak (zie Figuur 2). Doordat tussen de parallelweg en de hoofdrijbaan aan de oostzijde geen bomen staan, is er vrij zicht op de vaarweg. Ongeveer 15 meter ten noorden van de meetmast staat een groep bomen en ook ten zuiden staat een bomenrij. Ten oosten van de meetmast staat een singuliere boom. Op de windmeting van station 1 zit ruis die waarschijnlijk met deze obstakels te maken heeft. Tabel 1 geeft een overzicht van de per station aanwezige instrumenten. Een zogenaamde AIS ontvanger ontvangt de codes die de schepen ter identificatie uitsturen. Om de delaytijd, vermenging en agglomeratie van de deeltjes tot een minimum te beperken is in de mast een aluminium buis geplaatst met een diameter van 11cm die met een flow van 190 m³/h lucht naar beneden zuigt. Onderaan deze buis wordt een deel van deze lucht geleid naar twee aerosol meetinstrumenten, de LASX2 en de MAAP. Twee additionele teflon aanzuigleidingen van ¼ inch worden gebruikt om lucht van 6 meter hoogte naar de CO₂ (6 l/min) en NO_x (0.7 l/min) meetinstrumenten te leiden. De data van alle

verschillende instrumenten wordt verzameld op een industriële PC. De frequentie van de metingen is eens per 2 seconden.



Figuur 1: Meetlocaties bij Loenen aan het Amsterdam-Rijnkanaal



Figuur 2: Meetpunt 1. Links: Meetboxen aan de voet van de meetmast. Rechts: de top van de meetmast met de 11cm aluminium inlaat voor de aerosolmetingen, en de uithouders met de windsnelheid/windrichting meters. Op de hoogte van de aerosol inlaat bevinden zich ook de inlaten voor NO_x en CO_2



Figuur 3: User interface van het data acquisitiesysteem. In het midden het plaatje van de AIS data met de langsvarende schepen

AIS ontvanger

Commerciële binnenvaart moet tegenwoordig verplicht het “Automatic Identification System” (AIS) gebruiken. Bij AIS worden automatisch statusberichten door een schip uitgezonden door een AIS-transponder. Elk schip heeft een eigen uniek “Maritime Mobile Service Identity” (MMSI) dat bij elk bericht wordt meegezonden en waarmee het schip kan worden geïdentificeerd. De berichten worden op de VHF band uitgezonden. De inhoud en frequentie van de AIS berichten hangt af van de status van een schip. De AIS berichten bestaan voor een groot deel uit korte navigatie-informatie. Als een schip onderweg is moet het maximaal elke 10 seconden een bericht uitzenden met de positie, vaarsnelheid en –richting. Statische informatie, zoals de scheepsnaam, belading en bestemming worden apart, minimaal eens per zes minuten, uitgezonden.

ECN heeft bij meetlocatie 1 een AIS ontvanger geplaatst. Continu worden alle ontvangen AIS berichten, voorzien van een datum/tijd label, op een computer opgeslagen. Een AIS bericht is niet direct leesbaar, de gegevens zijn gecomprimeerd en moeten worden gedecodeerd. De exacte structuur van AIS berichten is openbaar en op veel locaties in detail beschreven¹.

¹ <http://www.imo.org/OurWork/Safety/Navigation/Pages/AIS.aspx>

<http://gpsd.berlios.de/AIVDM.html>

Een voorbeeld van een AIS pakket is:

“!AIVDM,1,1,,B,13aGt7hP1=PfTJnMqCT0Hgw22L37,0*3B”

De inhoud, na decodering is:

MMSI	: 244710431
Latitude	: 52.246000°
Longitude	: 5.012205°
Speed	: 7.7 knots
Heading	: 511°
Course over ground	: 9°
Rate of turn	: -9999°/min
Navigational status	: 0

De organisatie Marinetrafic² heeft kosteloos historische AIS data voor het stuk Amsterdam-Rijnkanaal bij de meetlocatie aan RIVM beschikbaar gesteld om gaten in de eigen AIS data op te vangen.

Station 2

Station 2 is gesitueerd op ongeveer 250 meter van het hart van de vaarweg, midden in het weiland. Op dit station staat een meetpaal waar op 2.00 meter hoogte de windsnelheid/richting wordt gemeten. De inlaten voor O₃ en NO_x metingen hangen op 1.65 meter. De instrumenten zelf staan in een aluminium box ten oosten van de meetmast. Aan de mast zijn verder een snelle ozon monitor en een Low Cost PM sensor bevestigd.



Figuur 4: Meetlocatie 2

² Zie Marinetrafic.com

Station 3

Het laatste station is geplaatst in de achtertuin van een lieflijk wit huisje op 80 meter ten oosten van het hart van de vaarweg. Op deze meetlocatie staat een hoge meetpaal met op 5.50 meter een sonische anemometer. De inlaat voor de NO_x meting hangt op 1.65 meter.

De meetmast heeft een vrije aanstroming over de weilanden van honderden meters in de richting van het Amsterdam-Rijnkanaal. In de zuidwestelijke richting ten opzichte van het meetpunt staat een rij met wilgen langs het fietspad tot aan de boerderijen bij het kanaal. De sonic data wordt gebruikt om de turbulentiegraad van de atmosfeer te duiden. Aan de voet van de meetmast staat de kist met daarin een NO_x monitor.



Figuur 5: Station 3

2.2 Instrumenten

De Tabellen 1-3 geven een overzicht van de geplaatste meetinstrumenten op de verschillende locaties.

Tabel 1: Instrumenten op Station 1

Station 1			
Instrument	Meetwaarden	Inlaat	Opmerking
EcoPhysics CLD 700 AL	NO, NO ₂ , NO _x	5.50 m ≈ 2.50 m boven waterspiegel ¼" PTFE tubing, PTFE inlaat filter	Twee-kanaals NO _x monitor. Delay 10 seconden
Licor 6262	CO ₂ , H ₂ O, druk	5.50 m ≈ 2.50 m boven waterspiegel ¼" PTFE tubing, Balston inlaat filter	Delay 2 seconden
LAS-X II	32 kanaal pm	5.50 m aluminium 12cm buis 1m carbon tube Geen filter	Scan tijd 2 seconden
MAAP	Black carbon	5.50 m aluminium 12cm buis 1m carbon tube Geen filter	Met dank aan TNO
Gill 2D Windsonic	U, Wd	4.00 m	Gebruikt tot: 21-05-2014
Gill 2D Windsonic	U, Wd	5.50 m	Gebruikt vanaf: 21-05-2014
LAS-X1	16 kanaal pm	1.5m = 1.5 m onder waterspiegel	Gebruikt van 14-05-2014 tot 03-07-2014
Leckel	PM 10 filter	PM10 inlet 1.5 m = 1.5 m onder waterspiegel	Gebruikt van 17-04-2014 tot 03-07-2014

Tabel 2: Instrumenten op Station 2

Station 2			
Instrument	Meetwaarden	Inlaat	Opmerking
EcoPhysics CLD 700 AL	NO, NO ₂ , NO _x	1.65m ¼" PTFE tubing, PTFE inlaat filter	Twee-kanaals NO _x monitor. Delay 10 seconden
Thermo 49i	O ₃	1.65m ¼" PTFE tubing, PTFE inlaat filter	
Fast Ozon Sensor	O ₃	1.65m ¼" PTFE tubing, PTFE inlaat filter	10 Hz instrument
Gill 2D Windsonic	U, Wd	2.00 m	Gebruikt tot: 25 augustus

Tabel 3: Instrumenten op Station 3

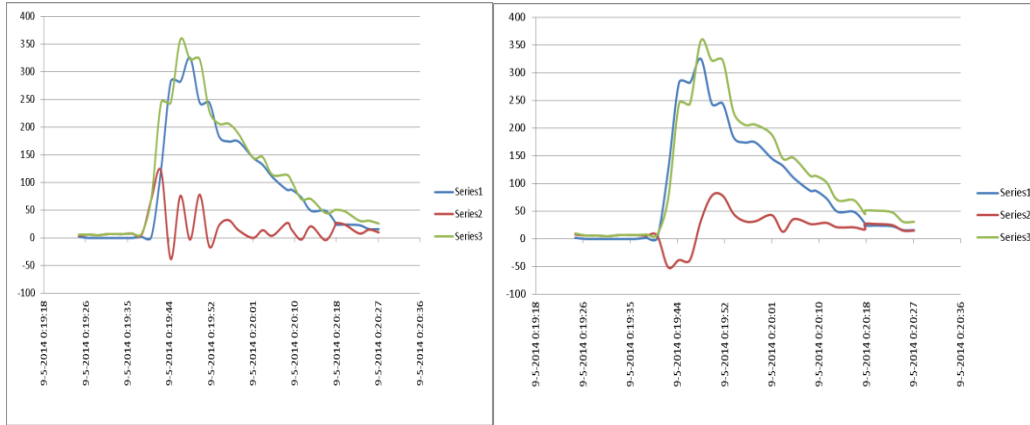
Station 3			
Instrument	Meetwaarden	Inlaat	Opmerking
EcoPhysics CLD 700 AL	NO, NO ₂ , NO _x	1.65m ¼" PTFE tubing, PTFE inlaat filter	Twee-kanaals NO _x monitor. Delay 10 seconden
Gill Windmaster Pro 3D Windsonic	U, wd, u*, H, L	5.50 m	Vanaf 02-04-2014. Daarvoor 2.30 m hoogte.

Delaytijd

In Tabel 1-3 is een delaytijd aangegeven voor verschillende instrumenten. Er zit een paar seconden tijd tussen het moment waarop een luchtpakketje bij de mast langs komt en het door de monitor uitgeven van de gemeten concentratie. De windmeters zijn instant aan, maar de concentratiemetingen lopen dus enkele seconden achter. Dit heeft te maken met de verwerkingstijd in de monitor en met de tijd die een luchtpakketje nodig heeft om van de inlaat, door de inlaatleiding, in de meetcel te komen. Bij metingen die over een kwartier of half uur in tijd geïntegreerd zijn, is deze delaytijd niet relevant, omdat in dit geval de gegevens per individuele gaspluim, gemeten met verschillende instrumenten met elkaar vergeleken zijn is deze tijdcorrectie wel van belang.

Data verschuiving in de NO_x monitor

Bij gebruik van de ruwe uitgaande data van de NO_x monitor wordt NO₂ berekend als het verschil tussen de NO en NO_x metingen. Omdat het NO_x signaal 2 seconden achter loopt ontstaan er bij snel oplopende NO waarden negatieve NO₂ getallen. Door de NO te combineren met de 2 seconden latere NO_x meting verdwijnt dit effect. Het effect is alleen van belang voor station 1 waar de NO_x pieken 10-15 seconden duren. Bij de metingen op station 2&3 met pieken van 20-30 seconden of een minuut lang is dit niet relevant. Dit is weergegeven in Figuur 15.



Figuur 6: NO₂ signaal (rode lijn) met en zonder verschuiven van de NO_x data

2.3 Data opzet

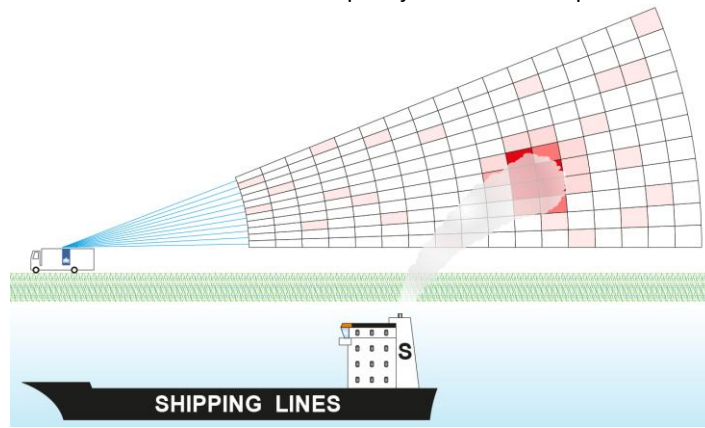
De metingen worden opgeslagen met een frequentie van 0.5 Hz. Per instrument wordt een eigen outputfile gegenereerd met de ruwe data die wordt uitgestuurd. De data van alle instrumenten samen komen tevens in een file, die daardoor direct de synchronisatie van de binnenkomende gegevens uitvoert.

Op basis van de kalibratie experimenten zijn factoren bepaald voor de verschillende monitoren. Deze factoren, afgeleid na 2 maanden metingen, zijn voor de hele meetreeks gebruikt. Hieronder zijn de kalibraties nader gedocumenteerd. De gegevens zijn in files per dag wekelijks toegeleverd aan RIVM en DNVGL.

2.4 Lidar Campagne meting

Op 11 juni is een dag gemeten met de RIVM Lidar (Berkhout et al 2008, Berkhout et al 2011) voor bepaling van de horizontale en verticale verdeling van NO₂ pluimen. De Lidar beschikt over een lasersysteem dat een korte lichtpuls uitstuurt en het gereflecteerde signaal op een telescoop weer opvangt. Door de golflengte van het uitgestuurde licht te schakelen tussen een golflengte in en naast de absorptielijn van NO₂ wordt voor elke puls zichtbaar op welke afstand zich NO₂ bevindt. In de analyse van de data voor dit experiment is voornamelijk gekeken naar de verzwakking van het teruggestrooide licht

door aerosol. Een schematisch plaatje van de meetopzet is hieronder weergegeven.



Figuur 7: Schematische opzet van de Lidar metingen. (Berkhout et al 2011)



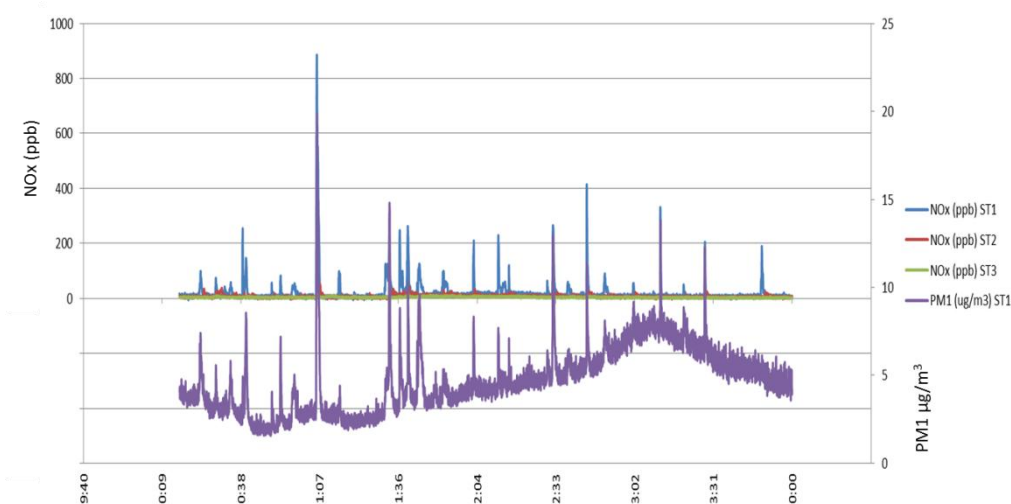
Figuur 8: Meetlocaties voor de Lidar metingen blauwe stip

3

Resultaten

3.1 Tijdreeksen

De tijdreeksen op de verschillende stations zijn vergeleken met modelberekeningen in het DNV-GL rapport (Erbrink et al 2014). Een voorbeeld van meetgegevens op station 1 is weergegeven in Figuur 7. In de tijdreeks zijn de pieken op NO_x en op PM goed te zien. In de regel zijn de concentratiepieken op station 1 voor NO_x en PM1 probleemloos te meten op station 1. Ook op station 2 zijn de pieken duidelijk herkenbaar. Op station 3 is, op een enkele hoge piek na, een achtergrondfilter gebruikt om de signalen boven de ruis uit te halen.

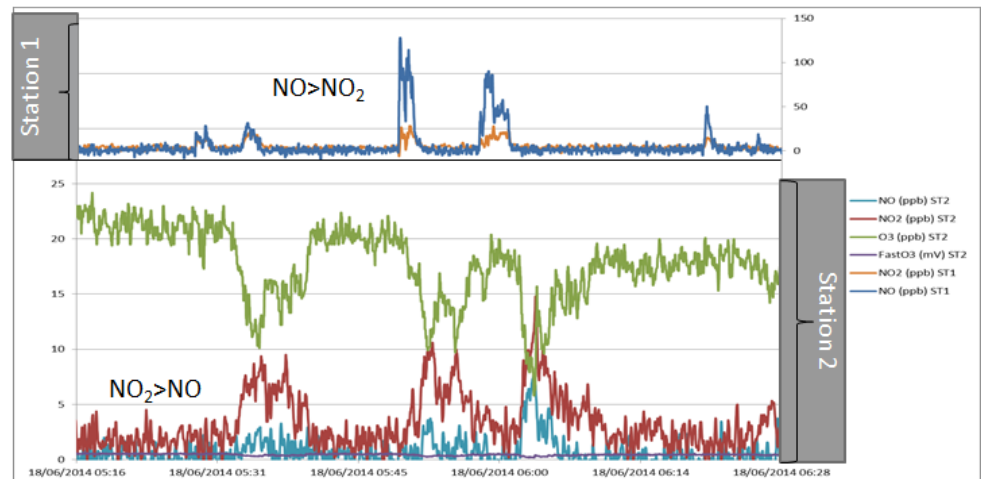


Figuur 9: De NO_x en PM1 pieken zoals berekend uit de LASX data voor station 1

Een van de doelen van de metingen is evaluatie van de omzetting van NO naar NO₂ en de interactie met ozon. In Figuur 8 is dit effect zichtbaar gemaakt. Op station 1 bestaan de pieken vanuit de schepen grotendeels uit NO. Het bovenste paneel van de figuur laat

de NO en NO₂ waarden zien. Met name bij de twee hoge pieken in het midden met ieder > 100 ppb NO is het verschil duidelijk. De ratio NO/NO₂ is hier in de orde van 5.

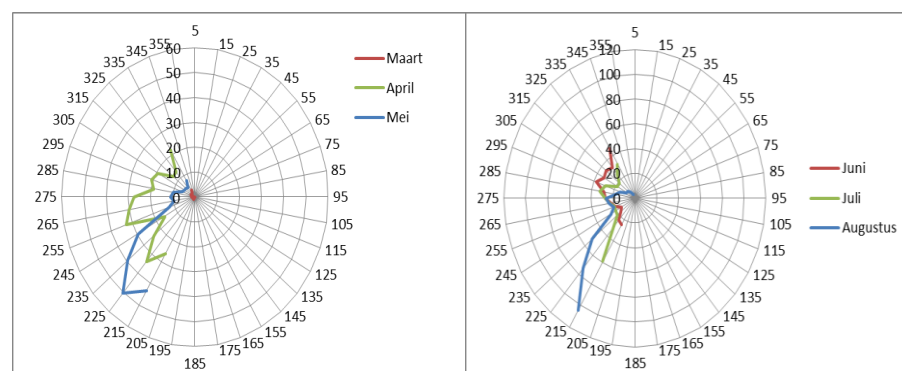
Op station 2, weergegeven in het onderste paneel is de ratio van NO/NO₂ omgedraaid en in de orde van 1/3. Door de verdunning in de atmosfeer zijn de pieken zijn een factor 10 lager dan station 1 en ook duidelijk breder in de tijd. De pieken van NO₂ anti-correleren erg goed met de metingen van ozon, NO gebruikt ozon in de reactie om naar NO₂ te converteren.



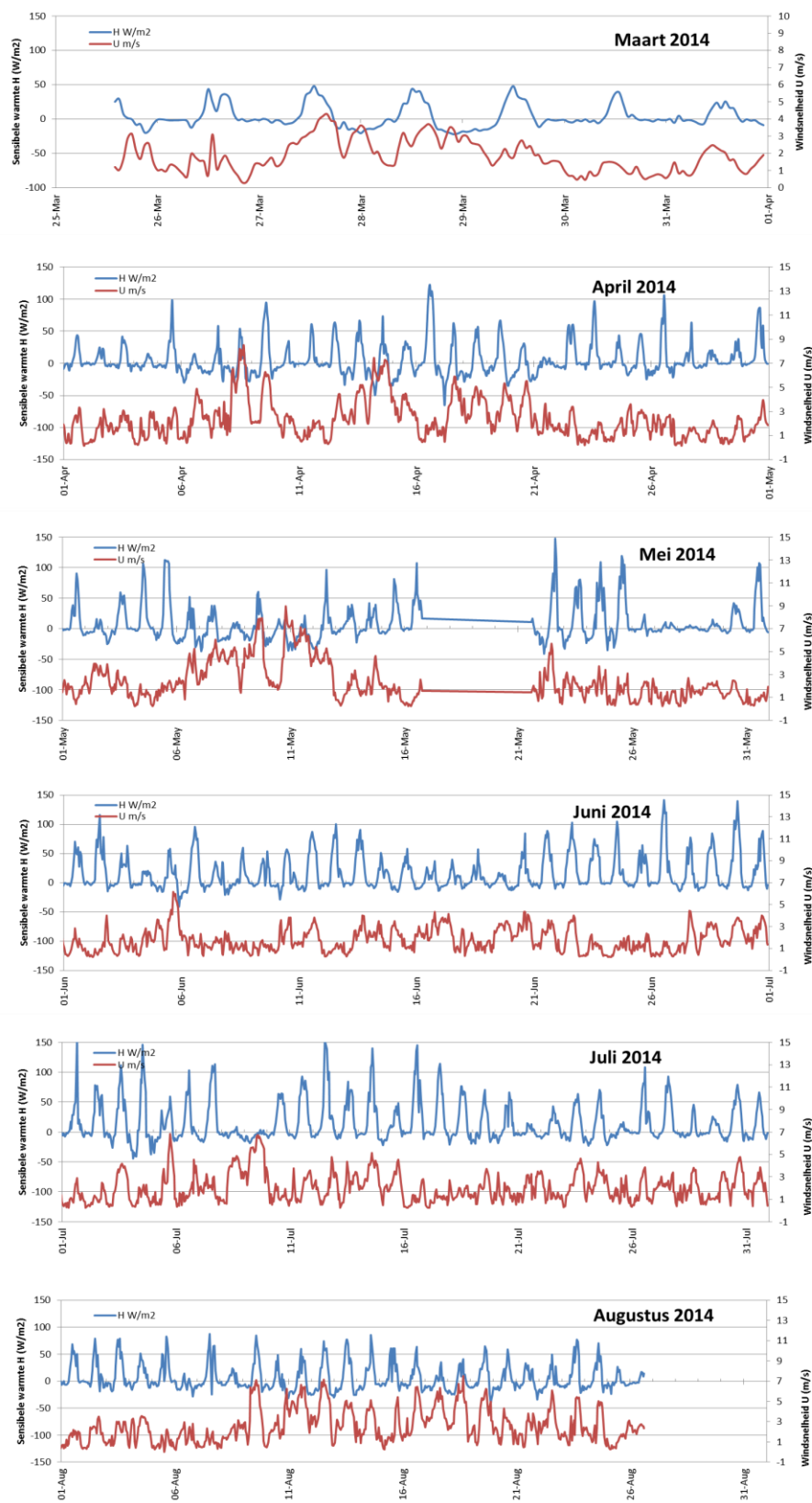
Figuur 10: Boven: NO & NO₂ metingen station 1. Onder: NO, NO₂, O₃ station 2

3.2 Meteorologie

In Figuur 11 is weergegeven hoeveel uur er in de verschillende maanden beschikbaar is met de juiste windrichting data. Figuur 12 geeft een overzicht van de heatflux en windsnelheden gemeten met de sonische anemometer op station 3. Zoals aangegeven in Figuur 11 is de hoek waarbinnen de sonische anemometer op station 3 goede winddata geeft tussen de 205 en 345 graden.



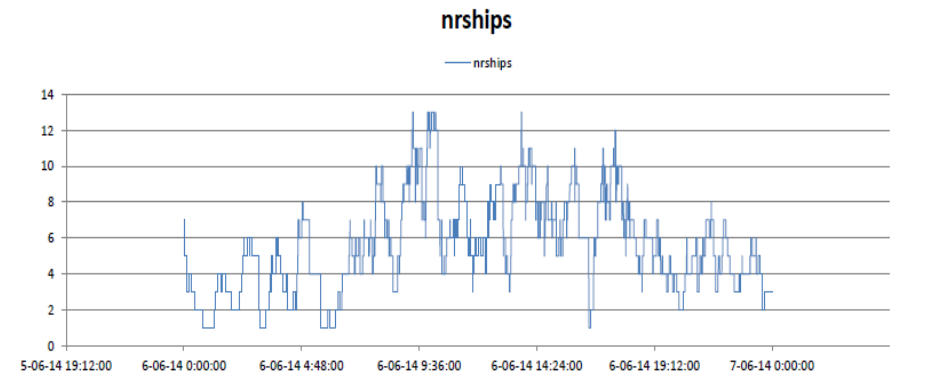
Figuur 11: Aantal uur per maand met data dekking uit de relevante windrichtingen



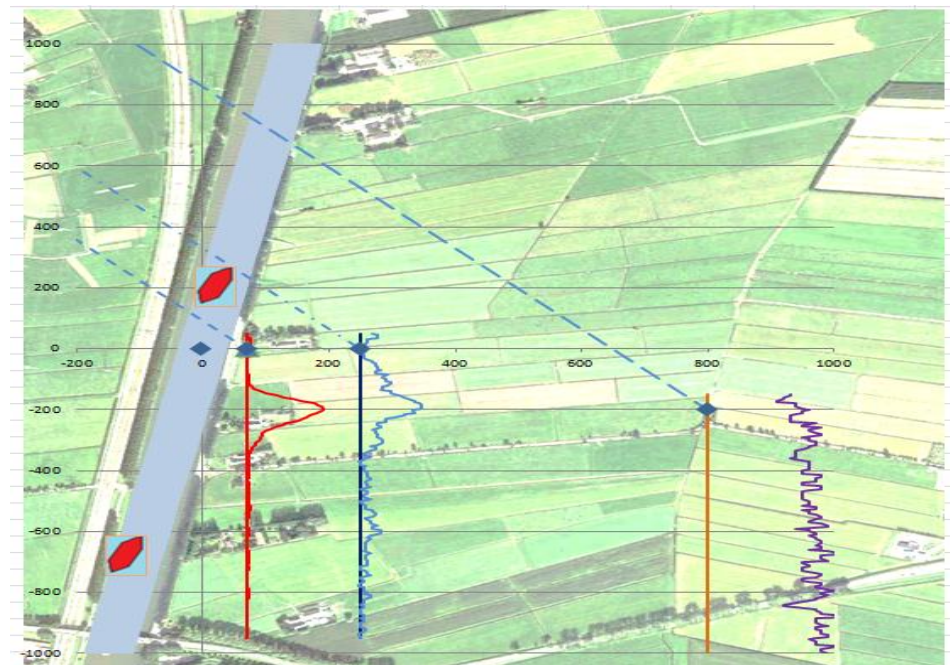
Figuur 12: Meteorologische omstandigheden (heatflux en windsnelheden) over de hele meetperiode

3.3 Koppeling met AIS data

Op een willekeurig moment in de tijd varen er meerdere schepen op het kanaal in een venster van 2 km ten noorden en tot 2 km ten zuiden van het eerste meetpunt. Figuur 13 laat een voorbeeld zien van het aantal schepen binnen het bereik van de AIS ontvanger geregistreerd op 5 juni. De activiteit 's avonds met 2-4 schepen is duidelijk lager dan overdag met 10-12 schepen tegelijk in de buurt. Bij wind uit de juiste hoek resulteert dat in een even zo groot aantal pluimen die gemeten zijn en de vraag is dan welke pluim bij welk schip hoort. De procedure om dat te herleiden is weergegeven in Figuur 14.



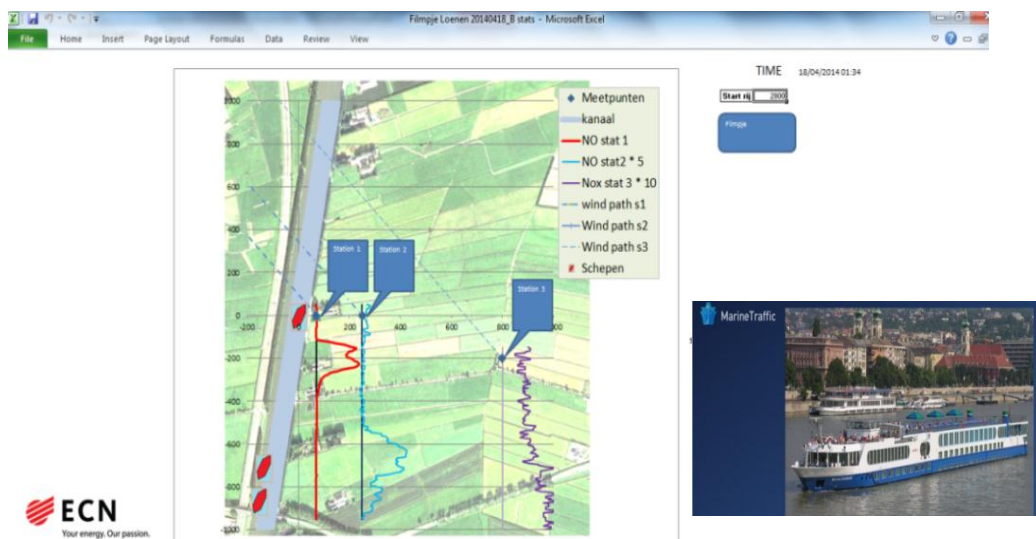
Figuur 13: Individuele dag: Aantal schepen binnen het zicht van de AIS ontvanger op 5 juni 2014



Figuur 14: AIS pluim koppeling

De verticale lijnen in de figuur zijn tijdassen waarop de gemeten NO_x concentratie in de oost richting (naar rechts) is weergegeven. Bovenaan is de meting op dat moment te zien, eronder de metingen op tijdstippen daarna. Op het kanaal varen verschillende schepen die een rookpluim loslaten die met de wind wordt meegevoerd. In de figuur is dat in de richting van de stippellijnen. Die stippellijnen maken ook duidelijk dat een schip afhankelijk van de windrichting de verschillende stations op verschillende momenten in de tijd “bedient”. Vanaf het moment dat het schip een stippellijn doorkruist duurt het nog enige tijd voor het signaal bij de meetmast is aangekomen. Bij een windsnelheid van 4 m/s kost het immers 200 seconden om een afstand van 800 meter af te leggen. Als we de pluimen op de stations 1, 2 en 3 bij elkaar zoeken moet er dus rekening gehouden worden met het verschil in reistijd en met de windrichting gedurende de minuten voorafgaand aan de meting van een piek. De procedure om de gemeten pluimen van de schepen aan de AIS code te koppelen is als volgt:

1. Er wordt in de metingen een piek gedetecteerd.
2. Er wordt terug in de tijd gerekend wanneer het luchtpakketje dat gemeten is over het kanaal stroomde.
3. Het punt waar de windbaan het kanaal kruist wordt uitgerekend.
4. Voor alle op dat moment “zichtbare” schepen (met de AIS ontvanger) wordt de afstand tussen het schip en het snijpunt van windbaan en kanaal berekend.
5. Het schip met de kleinste afstand krijgt de pluim toegekend.

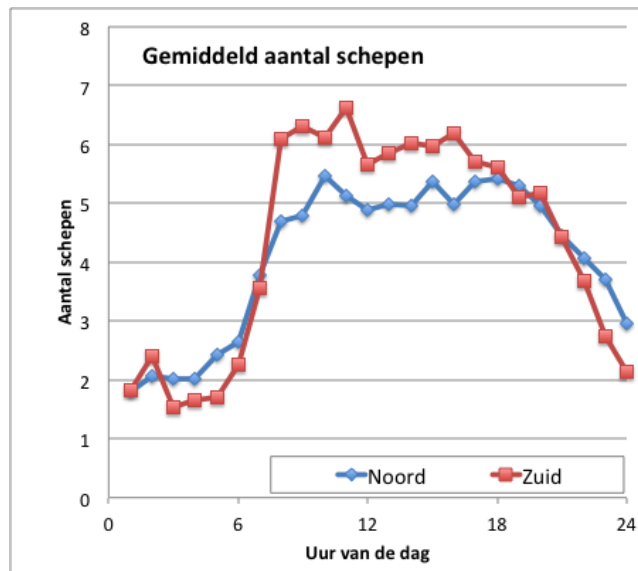


Figuur 15: Voorbeeld van AIS koppeling. Boven: De rode lijn laat de op station 1 gemeten piek als een bult naar rechts zien. Een tijdje later, in dit geval naar onderen is op station 2, op de blauwe lijn ook een piek waarneembaar. Op station 3 is voor dit schip geen heel duidelijke piek te zien in de gegevens. Onder: Op de site van Marine traffic.com is het betreffende AIS nummer ingevoerd, waarmee het type schip (zie foto) kan worden achterhaald

3.4 Soorten schepen

Het RIVM heeft een programma geschreven om de door het ECN gelogde AIS strings te decoderen. Per dag levert dit enkele tienduizenden berichten op die allemaal zijn gedecodeerd. Van alle berichten die in een dag zijn ontvangen, zijn de navigatie- en statische berichten gecombineerd zodat elk navigatiebericht kan worden voorzien van de statische scheepsgegevens zoals de naam, afmetingen en vaarsnelheid en -richting. Alle gegevens zijn naar TNO gestuurd (Hulskotte et. al 2014). Daar is een gedetailleerde schatting van de emissies van elk schip en de warmte-inhoud op dat moment aan de data toegevoegd. De resulterende data is vervolgens in de berekeningen gebruikt (Erbrink et al 2014.)

In de uren dat er AIS data beschikbaar is zijn er in totaal 27.163 schepen langsgelopen, 13.171 noordwaarts en 13.992 zuidwaarts. Het gemiddelde aantal schepen op alle uren van de dag is in de onderstaande figuur weergegeven.



Figuur 16: Gemiddeld aantal schepen gedurende de meetepisode

In de praktijk zijn de meeste schepen meerdere keren gedurende de meetperiode langsgelopen. Er zijn uiteindelijk 3353 unieke MMSI-codes (dus schepen) langsgelopen. Gemiddeld is elk schip dus circa negen keer langs de meetopstelling gevaren.

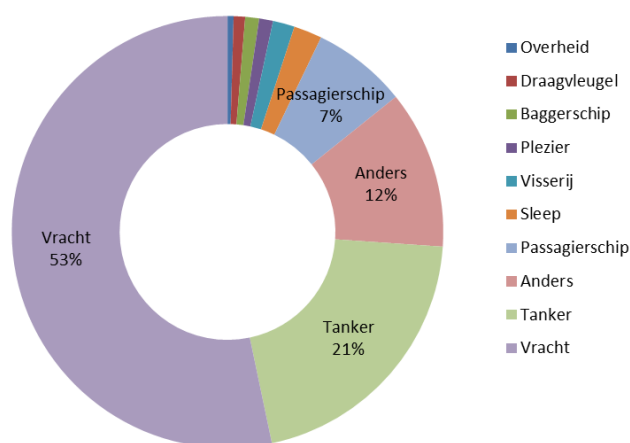
Op basis van de verstrekte AIS informatie heeft TNO het scheepstype volgens de AVV indeling aan de dataset toegevoegd. De verdeling van de langskomende schepen is in Tabel 4 vermeld.

Tabel 4: Verdeling van langsgesproken schepen volgens de AVV indeling

AVV type	Aantal totaal	Aantal Uniek	Gemiddeld	Omschrijving AVV
BI	34	2	17	Europa I duwstel
BII-1	151	13	12	Europa II duwstel
BII-2B	55	3	18	Europa II duwstel, 2-baks, breed
BII-2L	179	8	22	Europa II duwstel, 2-baks, lang
BII-4	103	12	9	Europa II duwstel, 4-baks
C1I	22	6	4	2 spitsen lang
C2b	9	2	5	2 spitsen breed
C2I	773	83	9	Klasse IV + Europa I lang
M0	673	164	4	Overig
M1	288	73	4	Spits
M2	997	167	6	Kempenaar
M3	3355	433	8	Hagenaar
M4	1722	229	8	Dortmund Eems
M5	1130	214	5	Verlengde Dortmund
M6	1859	303	6	Rijn-Herne schip
M7	1093	143	8	Verlengde Rijn-Herne
M8	6837	831	8	Groot Rijnschip
M9	1041	116	9	Verlengd Groot Rijnschip
M10	3819	361	11	Verlengd Groot Rijnschip
M11	1551	135	11	Verlengd Groot Rijnschip
M12	660	55	12	Rijnmax Schip

In verschillende gevallen zijn enkele schepen frequent langsgesproken. Dit komt vooral voor bij de grotere motorschepen (M10 en groter) en bij de duwstellen. Zo zijn 8 duwstellen van het type Bii-2L in totaal 179 maal langsgesproken.

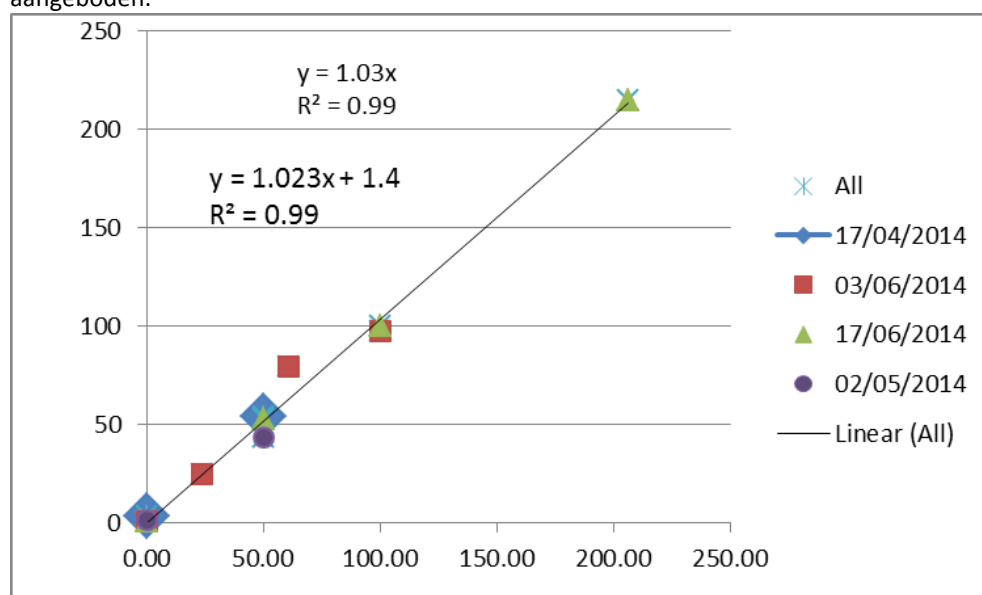
De classificering van de schepen kan deels gebeuren door de IMMS code die in het AIS signaal wordt meegestuurd. Onderstaande figuur laat de vervoersamenstelling zien voor de maanden maart-juni met in totaal meer dan 2200 schepen. Iets meer dan de helft van het transport, 53% bestaat uit de container en bulk schepen, met 21% is bijna een kwart van de schepen een tanker en ook de passagiersschepen hebben een significant aandeel van 7%.



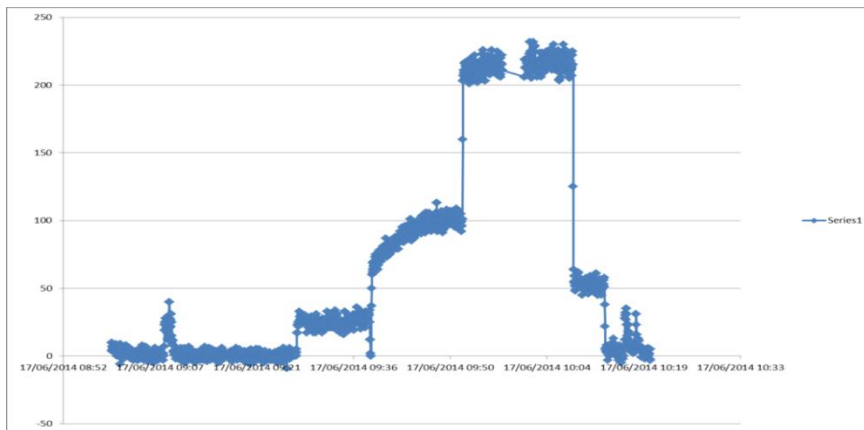
Figuur 17: Samenstelling van de schepen in de episode maart-juni

3.5 Kalibratie van de NO_x metingen

Essentieel voor de vergelijking tussen de stations is de kalibratie van de verschillende instrumenten. De kalibratie van de NO_x monitoren is gedaan door verschillende concentraties NO aan te bieden. Dat gebeurt met een Sonimix mengunit die lucht met een bekende concentratie uit een gasfles verdunt met schone lucht. Met een Sonimix kalibratie unit (van RIVM) zijn in het veld ongeveer elke twee weken kalibraties uitgevoerd. De kalibratie in het veld zijn bij twee of drie verschillende concentraties NO aangeboden.



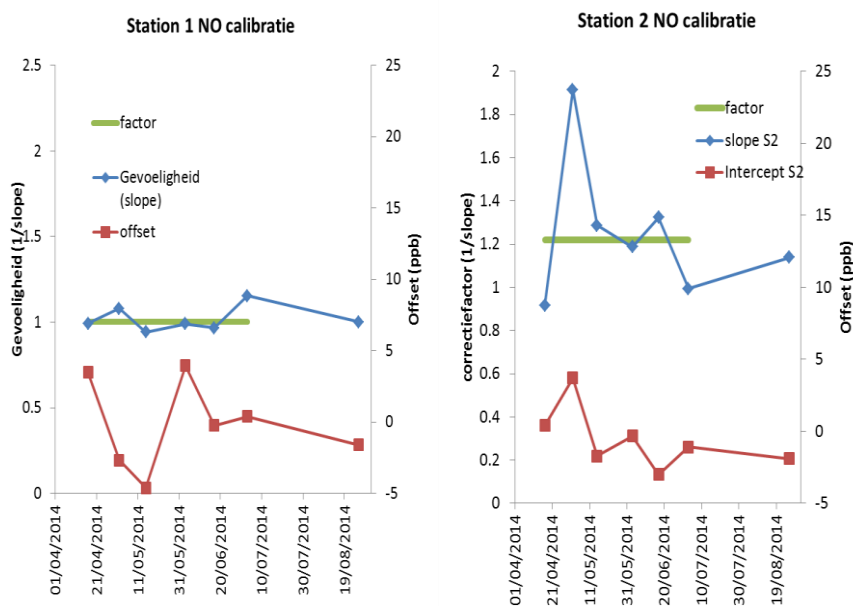
Figuur 18: Gemeten concentratieniveaus ten opzichte van door de Sonimix aangeboden niveaus. De fit geeft aan dat voor dit station de kalibratiefactor 1 is gebruikt



Figuur 19: Voorbeeld van een kalibratierun. Duidelijk is dat bijvoorbeeld bij het 100 ppb niveau de combi sonimix/monitor enige tijd nodig heeft gehad voordat stabilisatie optrad. Bij de andere niveaus reageert het systeem snel. De ruis in de meting is in de orde van 10%.

Verloop van de NO kalibratiefactoren in de tijd

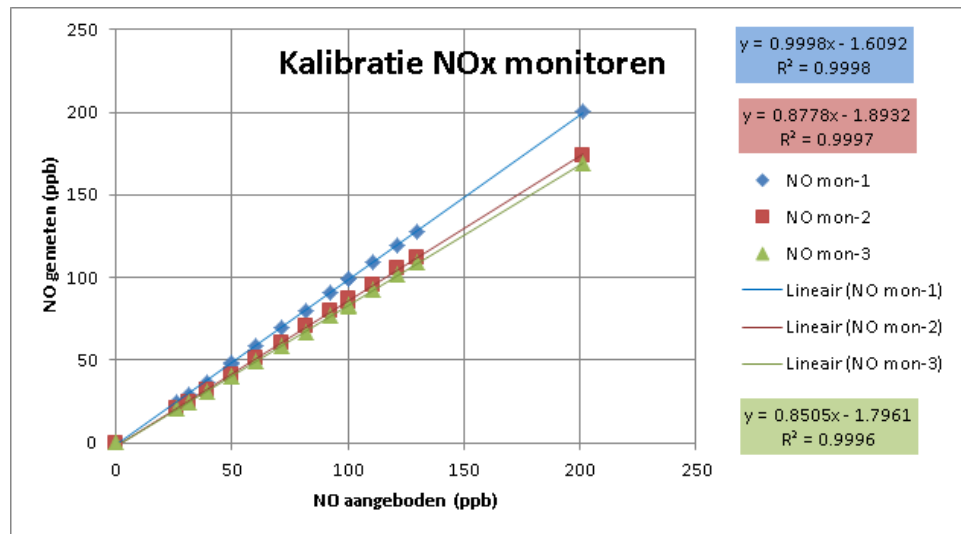
In het veld zijn meerdere kalibraties uitgevoerd die zijn weergegeven in Figuur 20. Op basis van de veldkalibraties zijn ijkfactoren bepaald waarmee de ruwe data van de monitoren zijn aangepast, deze zijn weergegeven met de groene lijn in de figuur. Naast variatie in de tijd van de gevoeligheid is ook de offset weergegeven die volgt door een lineaire fit aan de ruw gemeten concentratie versus aangeboden concentratie uit te voeren. Deze offset was in de orde van 1-5 ppb.



Figuur 20: Verloop van de kalibraties in het veld, de eindkalibratie en de gekozen correctiefactor voor de stations 1 en 2

Eindkalibratie op het laboratorium

De NO_x monitoren zijn na afloop van de experimenten op het laboratorium nog uitgebreid gekalibreerd. Met de Sonimix is een range concentratieniveaus aangeboden om zowel de lineariteit als de kalibratiefactor te documenteren. Samenvatting van dit experiment is weergegeven in Figuur 21.

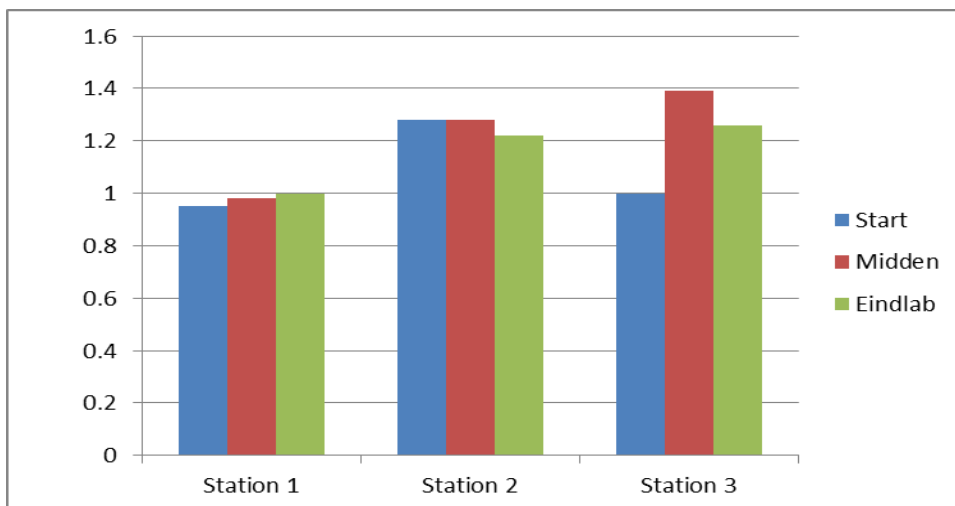


Figuur 21: Eindkalibratie na afloop van het experiment op het laboratorium bij ECN

3.6 Conclusie van de NO_x kalibratiemetingen

De monitor van station 1 heeft een ijklijn van 1:1. De monitoren voor stations 2 en 3 meten in de eindtest 13% tot 25% minder dan aangeboden. De ruis in alle monitoren, laat een standaarddeviatie zien van 3-5% in de hogere range. In de lagere range is dit 5-13%.

De kalibratiemetingen geven voor alle drie de monitoren een goede lineaire respons. De hele dataset die beschikbaar is, is in het veld doorgerekend met factoren die na twee maanden zijn vastgesteld. De gerapporteerde data moet voor interpretatie nog gecorrigeerd worden met een factor die representatief is voor de hele dataset. In de grafiek zijn de drie kalibratiefactoren weergegeven, bij het begin, halverwege de metingen en bij de eindkalibratie van de instrumenten.



Figuur 22: Samenvatting van de kalibratie factoren voor NO bij het begin, halverwege de metingen en aan het einde van de meetepisode.

Tabel 5: Factoren gebruikt in de berekingen

Station	Factor A	Factor Af, gebruikt in Excel sheets	Factor B, Correctie t/m 3 juli	Factor AfB (= B/Af)	Factor C
1	0.95	1.05	0.98	0.93	1
2	1.28	0.78	1.28	1.64	1.22
3	1	1	1.39	1.39	1.26

De data zijn doorgegeven naar de teams van DNV & RIVM. In de template die daarvoor gebruikt is, zat een fout, waardoor de gegevens in alle data niet met de eerste factor (A) vermenigvuldigd zijn, maar gedeeld. Begin juni zijn na aanvullende kalibraties, de factoren B bepaald. De modelteams gebruiken, bij het uitbrengen van dit rapport, correctiefactor AfB, die corrigeert de data naar de set kalibraties in het veld. Met de beschikbaarheid van de eindkalibratie op het laboratorium zijn er twee opties:

Optie 1: Alleen de veldkalibraties worden gebruikt.

Optie 2: Er wordt van uitgegaan dat de kalibratie onder laboratoriumomstandigheden beter is, in dat geval wordt de data gecorrigeerd van factor B naar factor C. Voor meetpunt 1 worden de concentratieniveaus in dat geval 2% hoger, station 2 daalt met 5% en station 3 daalt met 9%.

In overleg met de begeleidingscommissie is besloten om de veldkalibraties te gebruiken voor de definitieve getallen. Het verschil tussen de veldkalibratie en de uitgebreide laboratoriumkalibratie is gebruikt als een indicatie voor de onzekerheid.

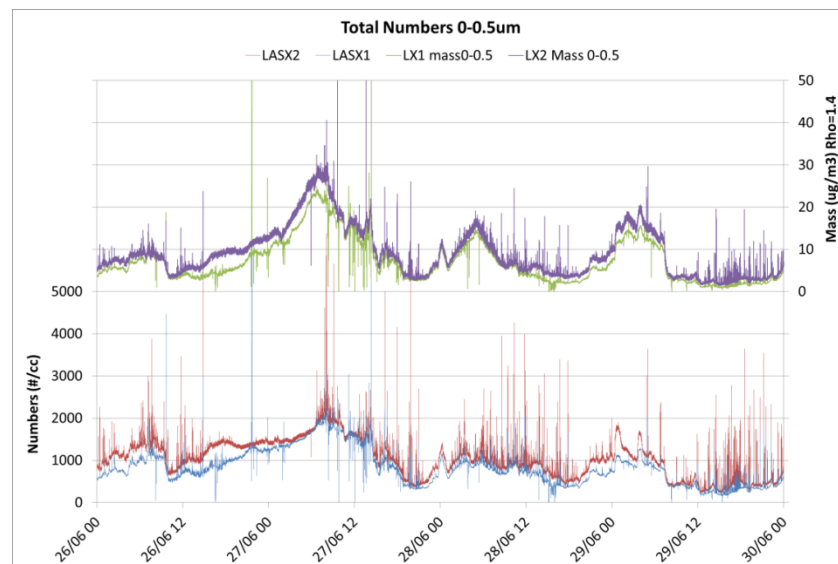
3.7 Fijnstof metingen en kalibratie

Voor de PM metingen zijn vier type instrumenten beschikbaar.

1. LASX2 en voor een deel van de dataset de LASX1
2. Airbox, low cost PM sensoren
3. MAAP
4. Leckel filter metingen

De LASX2 bepaalt elke 2 seconden in 32 kanalen deeltjes met verschillende diameters. Hieruit zijn de PM₁, PM_{2.5} en PM₁₀ getallen berekend. Deze getallen zijn opgenomen in de template sheets in de dataset. Zoals in Figuur 9 te zien is vallen de geregistreerde PM-pieken goed samen met de NO_x-pieken.

De LASX metingen in figuur 9 zien er goed uit maar de PM 10 getallen van het instrument zijn relatief laag. Daarom zijn er gedurende de periode 14 mei tot 3 juli metingen uitgevoerd met een additioneel instrument, de LASX1 (een voorgaande versie van de LASX2).



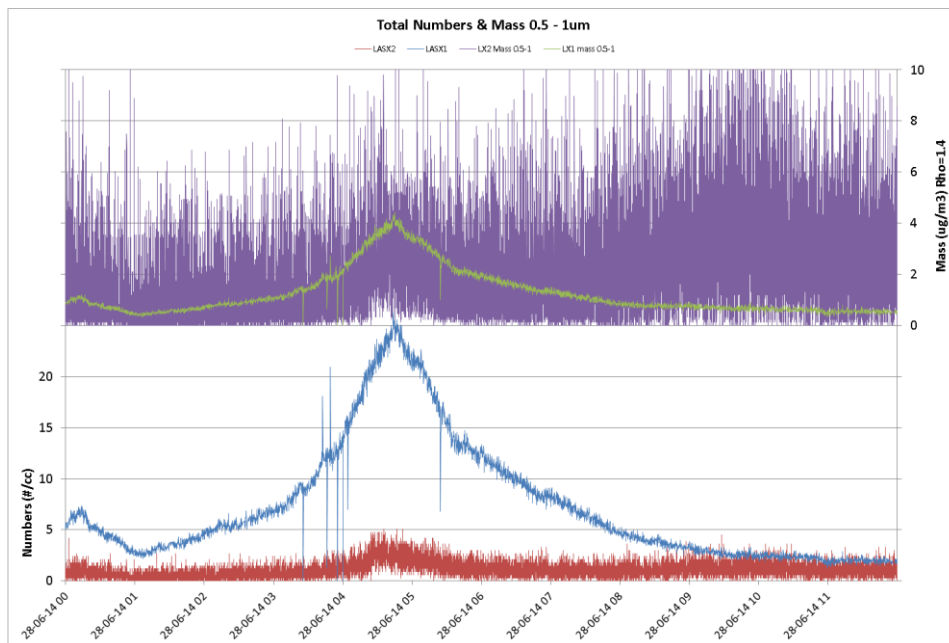
Figuur 23: Vergelijking van twee LASX meters die deeltjesgrootte voor PM bepalen. Deeltjes van 0-0.5 μm

Figuur 23 laat zien wat op basis van Figuur 9 (de match tussen NO en PM pluimen) al te verwachten is, voor de kleine deeltjes tot ongeveer 0.5 μm ziet de vergelijking tussen de LASX 1&2 er goed uit. De LASX2 lijkt netto wat meer deeltjes te tellen (de rode lijn ligt boven de blauwe lijn in het onderste deel van de grafiek).

Bij de grotere deeltjes leveren de twee instrumenten echter verschillende uitkomsten. Figuur 24 laat zien hoe er voor de deeltjes tussen 0.5 en 1 μm ruis op het PM signaal ontstaat bij de LASX2.

Figuur 24 laat anderzijds zien dat in deze deeltjesklasse op de LASX1 (de blauwe lijn voor aantallen deeltjes en de groene lijn voor massa) de pieken van de schepen die in

Figuur 23 wel goed te zien zijn, hier minder prominent zijn. Niet goed meten van de deeltjes $<0.5\ \mu\text{m}$ is een groter probleem.



Figuur 24: Vergelijking van twee LASX meters die deeltjesgrootte voor PM bepalen. Deeltjes van $0.5-1\ \mu\text{m}$. De overeenkomst is slecht.

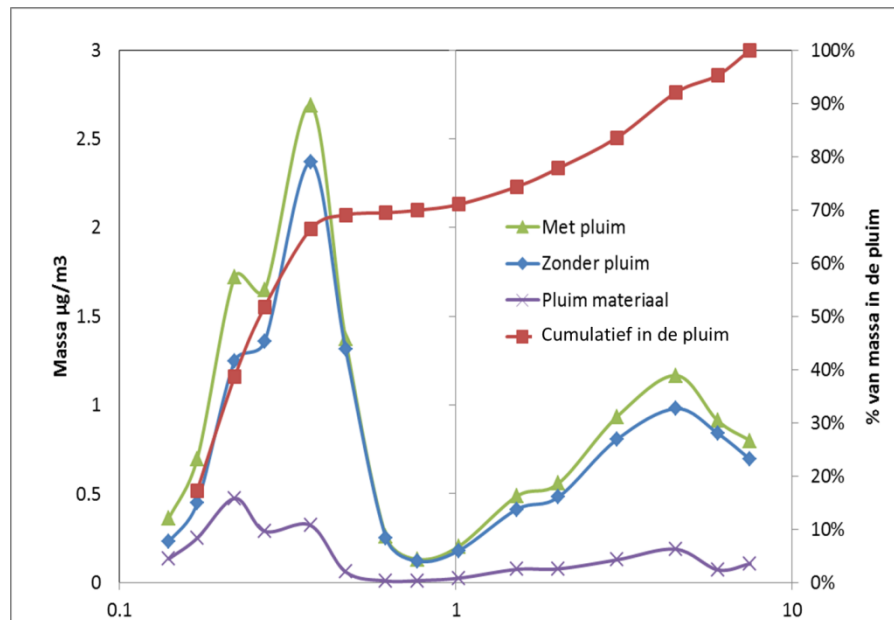
In Bijlage B is een discussie opgenomen over potentiële correctie van de LASX2 data. Die correctie is nog niet beschikbaar omdat de aard van het probleem tot op het schrijven van dit rapport nog niet is opgehelderd. De LASX2 in de ochtend van 15 augustus (tijdens de pluimentest, zie Hoofdstuk 4) defect is geraakt en dat moet eerst verholpen zijn voordat een de correctiemethode kan worden bepaald.

LASX 1 metingen

Er is een episode van 6 weken gemeten aan de voet van de meetmast met de LASX1. Deze data heeft echter een 10 seconden resolutie en zal dus een minder duidelijk beeld van de PM emissie geven dan wat mogelijk is met de LASX2.

Voor de episode 26-29 juni is met de LASX1 de gemiddelde deeltjesgrootteverdeling in en buiten de scheepspluimen bepaald. De uitkomst is weergegeven in Figuur 27. De blauwe lijn geeft aan hoeveel gemiddelde massa er per deeltjesgrootte langs is gekomen, waarbij alleen metingen zonder pluimen zichtbaar zijn. De groene lijn geeft het beeld waarbij alle metingen, ook die met evidente pluimen zijn meegenomen. De paarse lijn is het verschil van de twee en dus een maat voor hoeveel materiaal de pluimen toevoegen aan de lokale achtergrond. De rode lijn tenslotte, is de cumulatieve waarde van de paarse lijn uitgedrukt in % van de totaal gemeten massa in de pluimen. Hieruit blijkt dat 70 % van de massa van de pluimen zit in de deeltjes $<0.5\ \mu\text{m}$, 30 % in het gebied tot $7.5\ \mu\text{m}$.

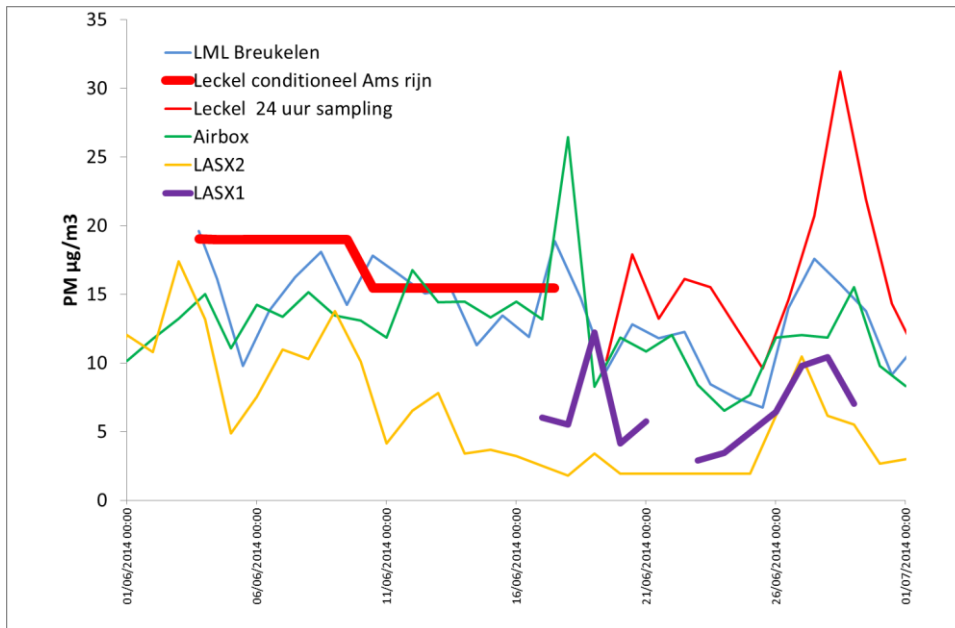
Niet tot $10\ \mu\text{m}$, het laatste kanaal van de LASX1 registreert deeltjes die groter zijn dan $7.5\ \mu\text{m}$ maar heeft geen bovengrens. Figuur 25 geeft aan dat, indien de LASX2 metingen (die de hele meetcampagne beslaan) kloppen voor de kleine deeltjes daarmee ongeveer 70% van de beoogde informatie beschikbaar is.



Figuur 25: Deeltjes grootte verdelingen met en zonder pluimen voor Loenen 26-29 juni

Leckel filter resultaten

Met de Leckel zijn in totaal 4 teflon filters en 14 kwartsfilters bemonsterd. Figuur 28 geeft een beeld van de beschikbare resultaten.



Figuur 26: Resultaten van de optische en gravimetrische PM metingen

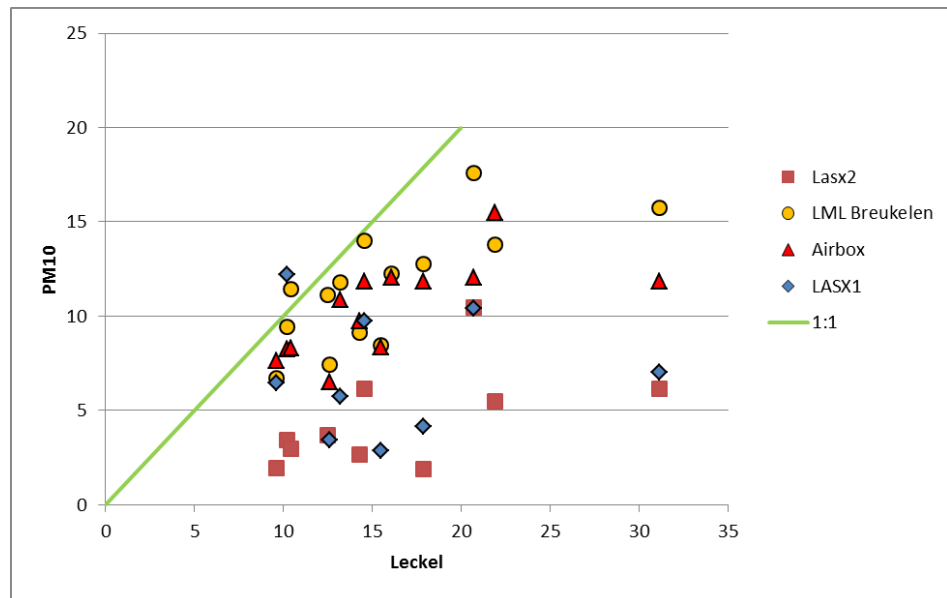
Figuur 26 geeft de metingen weer die zijn verkregen met de Leckel. De eerste metingen met de Leckel zijn conditioneel: er is alleen lucht verzameld indien de wind over het kanaal kwam. De dikke rode lijn geeft deze conditionele metingen weer. Het zijn gemiddelde concentratieniveaus bepaald over een meerdaagse periode.

Vervolgens zijn er gedurende 14 dagen 24 uren continue monsters genomen met de Leckel (dunne rode lijn). Met name deze metingen kunnen worden vergeleken met andere meetresultaten. De blauwe lijn laat de PM₁₀ metingen van het LML op bij Breukelen zien. De groene lijn geeft de metingen met de ECN Airbox aan. Die metingen en de LML metingen geven een goede fit. De oranje lijn geeft de nog niet gecorrigeerde waarden van de LASX2 aan.

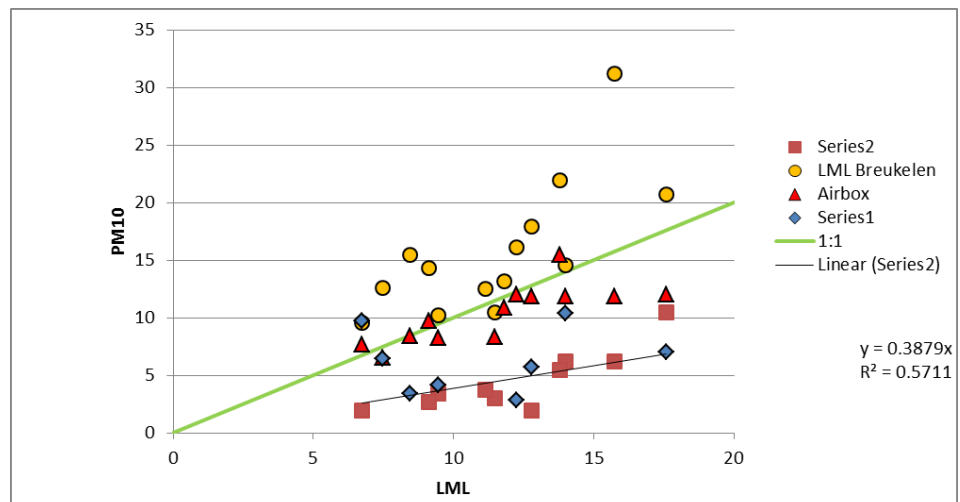
De set van 24-uursmetingen heeft tot doel de totaal PM₁₀-kalibratie mogelijk te maken. Het doel van de conditionele metingen is om een idee te krijgen welke dichtheid de deeltjes in de rookpluim hebben. Voor de ijking van de hele PM tijdreeks moet eerst de LASX2 correctie beschikbaar komen.

Voor de episode waarbij de Leckel metingen beschikbaar zijn, zijn ook de data van de LASX1 & 2 de LML metingen en de Airbox getallen dag gemiddeld. De uitkomsten zijn weergegeven in twee figuren. In Figuur 27 zijn de gegevens uitgezet tegen de Leckel data. In Figuur 28 staan de zelfde gegevens tegen de LML metingen geplot.

Alle continue metingen liggen onder zowel Leckel metingen. De LML en Airbox metingen liggen relatief dicht bij elkaar, de LASX gegevens liggen voor beide systemen lager.



Figuur 27: Metingen van de verschillende sensoren uitgezet tegen de Leckel metingen



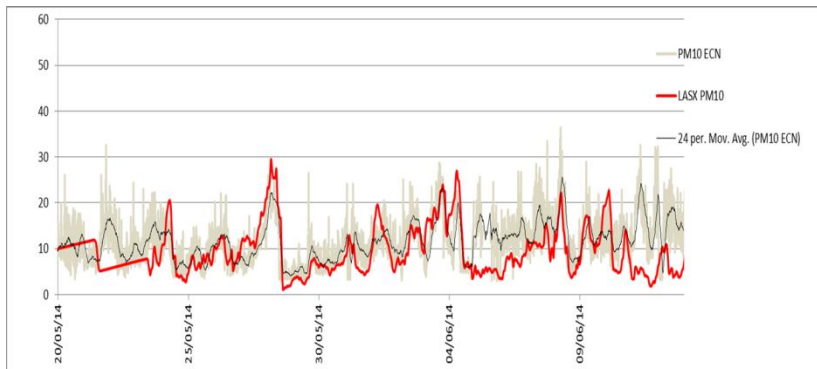
Figuur 28: Metingen van de verschillende sensoren naar dag gemiddeld uitgezet tegen de LML metingen

Uit de X-Y grafieken kunnen de volgende ratio's voor de LASX en Airbox metingen afgeleid worden. De Airbox data komt er het best uit met een relatief kleine standaard deviatie in de 14 schattingen.

Tabel 6: Resultaten van de continue metingen tegen LML en Leckel op dag basis. De waarden geven de ratio tussen referentie meetinstrument als gemiddelde en standaarddeviatie van 14 dagwaarden

Referentie	LASX1	LASX2	Airbox
Leckel	2.8 ± 1.6	4.3 ± 2	1.4 ± 0.6
LML	1.9 ± 0.8	3.2 ± 1.4	1.1 ± 0.2

In het kader van een parallel lopend project was voorzien de chemische samenstelling van de Leckel filters te analyseren. Omdat een soortgelijke analyse bij metingen aan de N9 in Noord Holland geen zinnige informatie heeft opgeleverd is daar, mede omwille van de kosten, van afgezien.



Figuur 29: Sneak preview van de Low Cost PM metingen met de ECN Airbox (10 minuten data) en de LASX2 data (hier uurgemiddeld) voor een deel van de dataset. De zwarte lijn door de grijze Airbox metingen is een 3 uur lopend gemiddelde

Additionele metingen

Naast de metingen van de LASX'en en de Leckel zijn er metingen met een MAAP van TNO uitgevoerd. Voor beide meetsets geldt dat ze buiten het budget van het project zijn toegevoegd aan de meetlocaties. Binnen het project, en dus binnen dit rapport is echter geen ruimte om deze data te evalueren. Wel zijn de gegevens beschikbaar in de dataset.

Conclusie over de PM metingen

De LASX2 metingen hebben een correctie nodig voor ze bruikbaar zijn voor interpretatie naast de NO_x metingen. De aard van de correctie is nog niet bekend.

De LASX2 lijkt een goed beeld te geven van de pluimen in de kleine deeltjesklasse. Met de LASX1 is geschat is dat de LASX2 ongeveer 70% van het scheepvaart signaal bevat.

Er is een set van 6 weken LASX1 data beschikbaar die een beter beeld geeft van de deeltjesgrootte verdeling, echter wel met een 10 seconden resolutie in plaats van een 2 seconden resolutie.

De vergelijking tussen LML metingen op Breukelen en de Airbox optische metingen geven een goede fit. Deze metingen, de LASX1 dataset en de MAAP data kunnen hopelijk in de toekomst alsnog gebruikt worden om de LASX2 data over de hele meetepisode te duiden.

4

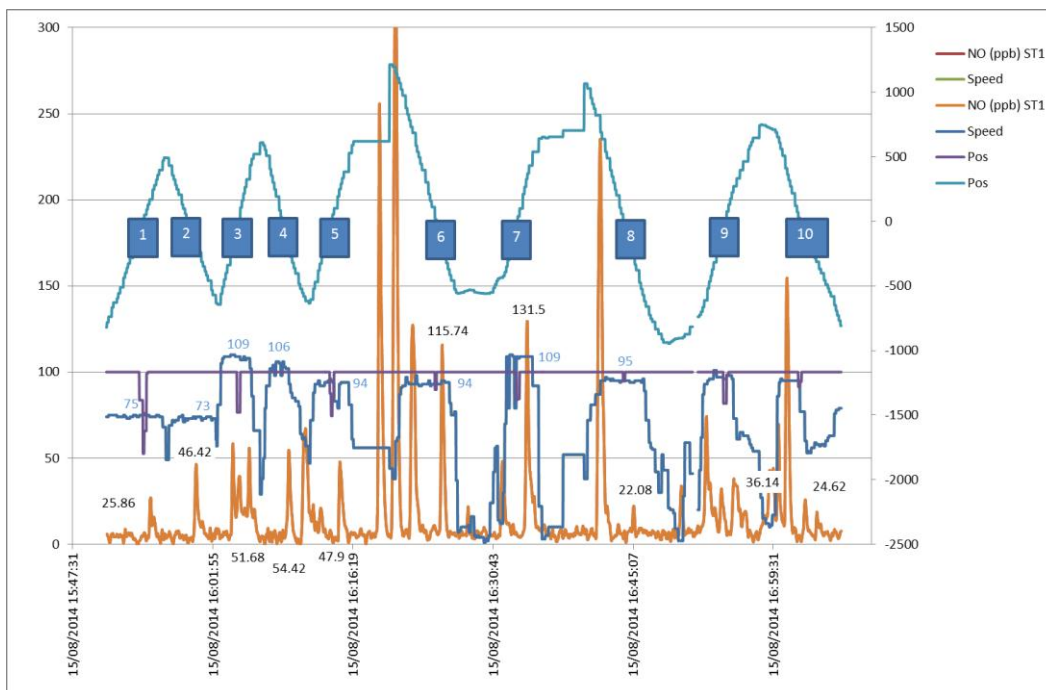
Campagne metingen

4.1 Testschip Rijkswaterstaat

In samenwerking met DNV GL en Rijkswaterstaat zijn op 15 augustus 2014 een aantal testen uitgevoerd waarbij vanaf een schip (de RWS 99), met een rookgenerator gekleurde rook werd uitgestoten. Op videobeelden is duidelijk te zien hoe de pluim in het zog van het schip naar beneden wordt getrokken.



Figuur 30: Still van de video van de RWS99 van Rijkswaterstaat met bij de uitlaat een rookgenerator. Het is duidelijk waarneembaar dat de pluim na het schip naar beneden wordt getrokken



Figuur 31: Resultaten van het heen en weer varende schip. De blauwe lijn geeft de Noord-zuid positie van het schip weer met in boxjes de momenten van passage bij station 1, de oranje lijn de gemeten NO pieken op station 1, van zowel de RWS99 als van andere schepen. De blauwe lijn in de onderste helft van de grafiek geeft de snelheid van het schip weer.

De RWS 99 heeft in totaal 10 transecten gevaren waarbij bij de laatste twee transecten de rookgenerator oranje rook in de uitlaatstroom is geblazen. **Figuur 31** boven laat zien welke kant het schip op vaart op het kanaal, de gelabelde pieken geven de NO concentratie in de pluim gemeten op locatie 1.

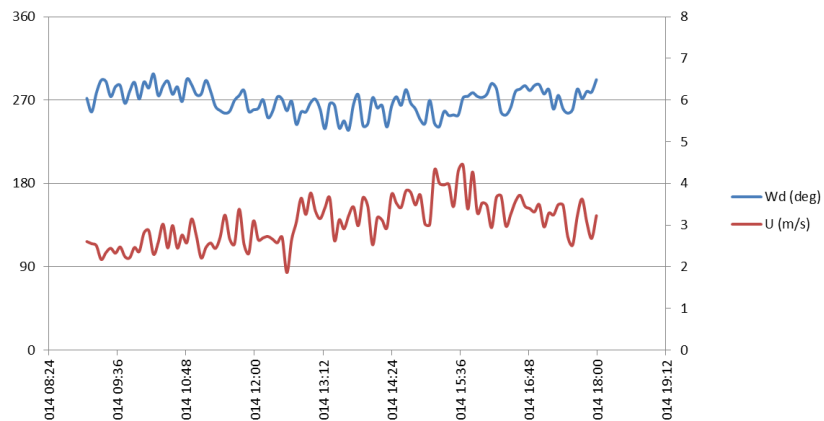
Tabel 7: Eerste analyse van gegevens van de 10 transecten

Transect	NO	Snelheid	Afstand	Richting
1	26	75	50	N
3	51	109	75	N
5	47	94	75	N
7	131	109	80	N
9	36	100	80	N
6	115	94	90	Z
10	24	60	90	Z
8	22	95	94	Z
4	54	106	100	Z
2	46	73	105	Z

Nadere evaluatie van de pluimen met het verspreidingsmodel is te vinden in (Erbrink et al, 2014).

4.2 Lidar metingen

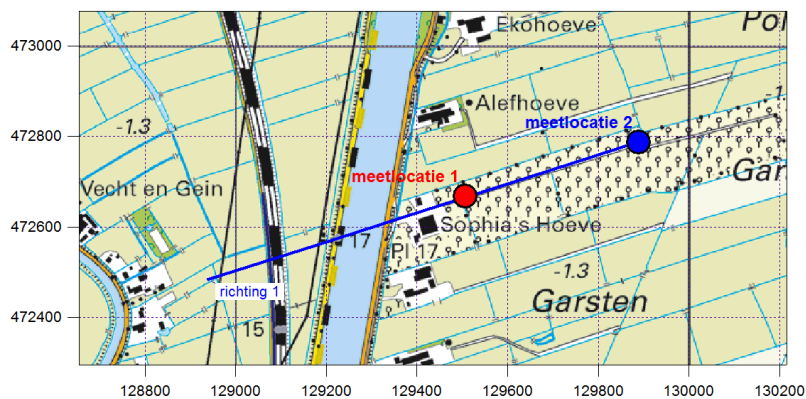
Met de Lidar is in eerste instantie langs een meetlijn over station 2 heen gemeten. Bij de meteorologische condities op dat moment, zie Figuur 32, was de verwachting dat de pluimen daar goed te zien zouden zijn. De wind op station twee voelde gedurende die meting vlaggerig aan. De pluimen zijn zowel op de Lidar als op de ECN meetinstrumenten op station 2 niet goed waarneembaar. Dat is niet helemaal logisch, de sonic op station 3 geeft wel degelijk snelheden van $> 2\text{ m/s}$ en een redelijk goed gedefinieerde westelijke wind.



Figuur 32: Windsnelheid en windrichting tijdens de Lidar meetcampagne

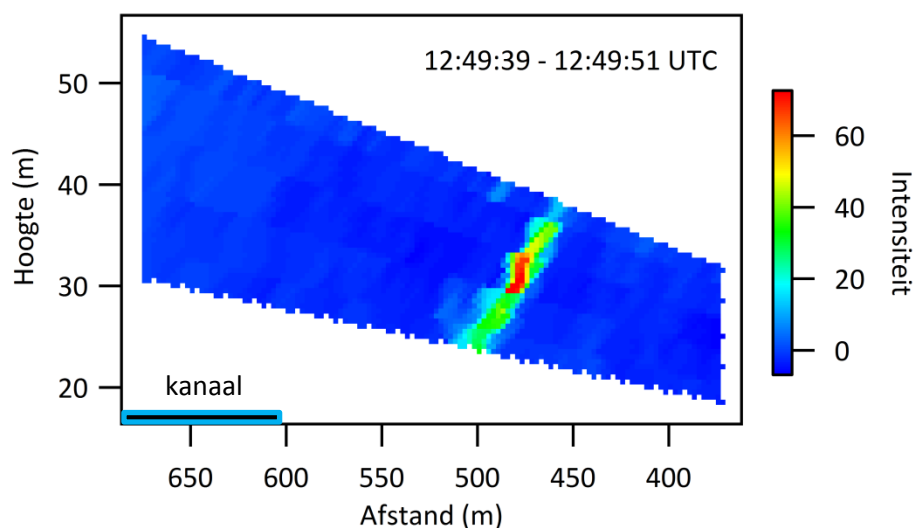
De Lidar profiel metingen geven duidelijke beelden van pluimen vanaf locatie 2 (blauw) waarbij op het kanaal (schuin in de windrichting) is gemeten. De tweedimensionale doorsnedes zijn gemaakt tussen 12:47 en 12:58 uur UTC. Voor iedere doorsnede heeft de laser een keer de vijf richtingen in het verticale vlak gemeten. De doorsnedes volgen elkaar zonder pauze op. Bij elke doorsnede staan de start- en stoptijden van de gebruikte metingen.

De uitsnede uit de kaart van (zie Figuur 33 hieronder) laat nog eens de locatie zien. De blauwe lijn staat voor de metingen op locatie 2. Het kanaal ligt dan ongeveer in de band tussen de 525 en 625 meter afstand richting het westen. De pluimen zijn boven het kanaal te zien als ze boven de 25 meter uitkomen, boven de boomgaard zelf op 400 meter afstand is de minimale meethoogte 18 meter.



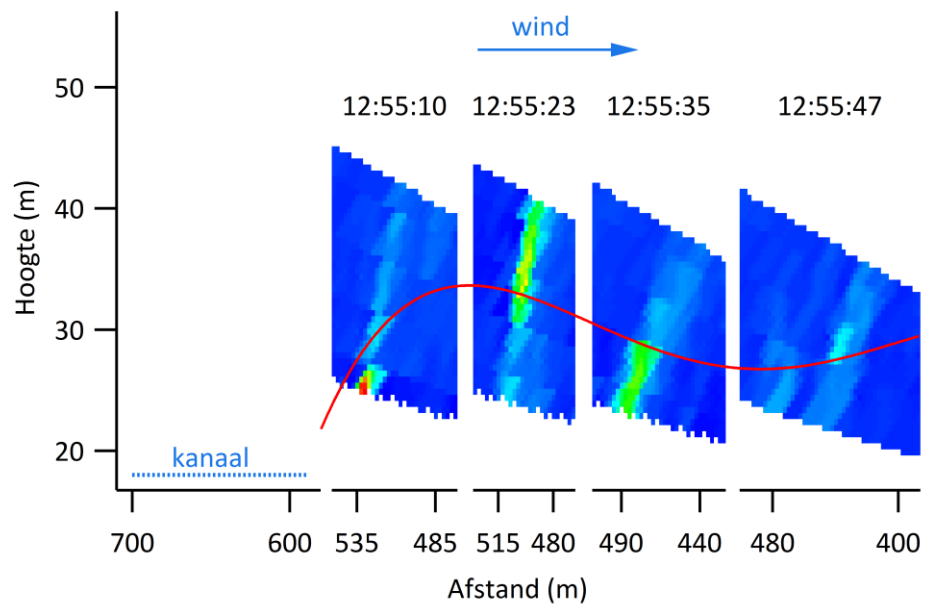
Figuur 33: Kaartje met de Lidar bundel (blauwe lijn) vanaf het meetpunt is naar het westen over het kanaal heen gemeten

Dit is vanaf meetlocatie 2, in meetrichting 1, dus haaks op het kanaal.



Figuur 34: Voorbeeld van een Lidar scan. Op ongeveer 100 m afstand van het kanaal lijkt de pluim as op 30 meter te liggen

De kleurschaal op de doorsnede geeft de intensiteit van het terug-gekaatste licht aan en is daarmee een maat voor de lichtverstrooiing door het aerosol. Er is in dit project gekozen om daar geen absoluut getal uit te bepalen. De metingen zijn dus in relatieve zin vergeleken. Kijkend van pluim tot pluim zijn lichte en zware pluimen zo van elkaar te onderscheiden.



Figuur 35: De pluim gemeten vanaf meetlocatie 2 richting west rond 12:55. De “blauwe vierkanten” zijn de Lidar beelden, ongeveer 10 seconden na elkaar waarbij de pluim steeds ongeveer 20 meter naar de Lidar toe waait. De rode vlek geeft de hoogste concentratie in de pluim weer. De rode curve suggereert tenslotte hoe de pluim naar het westen toe meandert in een tijdbestek van 30 seconden

5

Conclusies en aanbevelingen

Van eind maart tot eind augustus zijn er langs het Amsterdam-Rijnkanaal metingen verricht aan de uitlaatgassen van binnenvaartschepen. De metingen zijn uitgevoerd op drie locaties op verschillende afstanden tot het kanaal met als doel in beeld te brengen hoe de concentratieniveaus van NO en NO₂ met de afstand tot het kanaal veranderen.

Er zijn ongeveer 27.000 scheepspassages geweest door ongeveer 3300 unieke schepen. Dit betekent dat veel schepen meerdere keren langs de meetlocatie zijn gevaren.

De simultane metingen van NO, NO₂ en ozon op het middelste station geven een goed beeld van de omzetting van NO naar NO₂.

Op station 1 zijn ook deeltjesgrootte verdelingen en CO₂ pieken gemeten. De deeltjesmetingen, met de LASX2. De pieken van de kleine deeltjes tot 0.5 µm correleren goed met die van NO. De PM-metingen met de LASX1 hebben een probleem voor de grotere deeltjesklasse.

In de rapportage van DNV-GL (Erbrink et al, 2014) worden de hier gedocumenteerde metingen geconfronteerd met modelberekeningen. De beschikbare dataset heeft inzicht gegeven in de mate waarin pluimstijging optreedt vanaf de uitlaat van de schepen. Ook geeft de dataset informatie over de snelheid waarmee NO naar NO₂ wordt omgezet. Tevens worden op basis van de metingen nieuwe parametrisaties opgesteld die uiteindelijk in de PAS in het Aerius model zullen worden opgenomen.

Aanbevelingen

Gebruik makend van de voorliggende dataset zijn nog verschillende acties mogelijk. Voor de mogelijkheden die voorliggen met model-vergelijking wordt verwezen naar het parallel rapport van (Erbrink et al., 2014).

Daarnaast zijn er een aantal opties die kunnen worden uitgevoerd zonder modelinterpretatie.

Het uitrekenen van Emissiefactoren

Analoog aan de methode die is beschreven in (Kraai et al, 2006) kunnen emissiefactoren per schip worden berekend uit de verhoudingen van de CO₂- , NO_x- en PM-pieken. Door CO₂ als interne tracer te gebruiken kan voor elk schip de emissiefactor in gram-NO_x/kg diesel bepaald worden. Voor een grote set schepen is het waarschijnlijk mogelijk om op meerdere momenten in de tijd emissiefactoren te bepalen.

Blootstelling evalueren

Door de hele tijdreeks te scheiden in gegevens 'met pluim' en 'zonder pluim' kan het relatieve belang van de scheepvaartpluimen omgerekend worden naar de extra blootstelling op verschillende afstanden vanaf het kanaal.

PM interpretatie/upgrade

Verwerking van de PM metingen met de LASX1. Dit is nu alleen voor een subset van de data gedaan om de LASX2 te ijken. Deze dataset is nog niet verwerkt. Met deze data is de koppeling met de Leckel filter metingen ook het meest relevant. De vergelijking met de LML metingen is nu beperkt uitgevoerd. Bij gebruik van de LASX1-dataset is het zinnig dit voor de hele periode te doen.

Als ondersteuning voor de analyse zijn de datasets van de Airbox en de MAAP nog beschikbaar. Deze gegevens zijn nog niet geïnterpreteerd.

Na het aanpassen van de PM data kan de PM en NO_x-data worden vergeleken met modellen. De drie Airbox datareeksen kunnen mogelijk helpen bij het duiden van de horizontale gradiënt van PM dwars op het kanaal.

Referenties

Berkhout, A. J. C., van der Hoff, G. R., Bergwerff, J. B., Swart, D. P. J., Hensen, A., Kraai, A., Bleeker, A., Huijsmans, J. F. M., Mosquera, J., en van Pul, W. A. J.: *Measuring ammonia emissions from manured fields*, RIVM, Bilthoven, Onderzoeksrapport 680150003, 80 pp., 2008.

Berkhout, A. J. C., Swart, D. P. J., van der Hoff, G. R., en Bergwerff, J. B.: *Zwavedioxide-uitstoot van zeeschepen op afstand gemeten met Lidar*, RIVM, Bilthoven, Onderzoeksrapport 609021115, 61 pp., 2011.

Erbrink, H, et al: *METINGEN EN MODELONTWIKKELING BINNENVAART*. Modelvalidatie, DNV-GL Rapport nr.: 14-3202, 2014-11-20.

Hulskotte et. al 2014 *TNO rapport met betrekking tot toekenning van scheepstype aan AIS data*.

Kraai, A.; Hensen, A.; Wilde, H.P.J. de *Innovatieve metingen aan emissies van binnenvaartvrachtverkeer* ECN-RX--06-074 april 2006.

Bijlage A. LASX2 correctie

Bij de metingen met de LASX2 zijn problemen opgetreden die voor het moment van rapportage niet konden worden opgelost. Daartoe moet eerst de LASX2 gerepareerd worden.

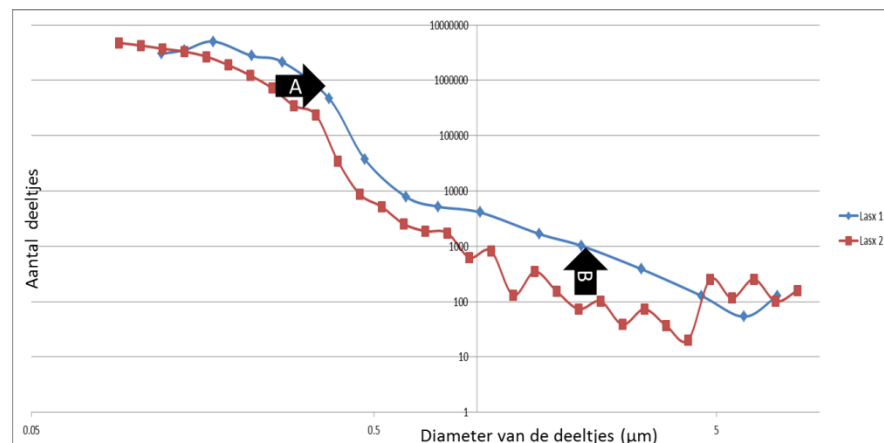
Wel zijn er twee hypothesen opgesteld waarom de LASX2 de grotere deeltjes niet goed heeft gemeten:

1. De grote deeltjes zijn in de 1 meter lange horizontale inlaatleiding met een interne diameter van 4mm van de grote aluminium buis naar de LASX2 afgevangen.
2. De classificatie van de deeltjes is niet juist, de deeltjes worden in een verkeerde grootteklasse ingedeeld.

In Figuur 25 is voor een aantal uur de gemiddelde deeltjesgrootteverdeling voor de twee LASX-en naast elkaar gezet. Als hypothese 1 waar is, dan moet de rode lijn, die aangeeft wat de LASX2 heeft gemeten, dus volgens pijl B gecorrigeerd worden om in overeenstemming te komen met wat de LASX1 ziet. Als dit waar is, dan is de LASX2 niet noodzakelijkerwijs defect maar wordt correctie heel erg moeilijk.

Als hypothese 2 waar is en de deeltjes verkeerd geclassificeerd worden dan moet de data gecorrigeerd worden via pijl A. In dit geval is het instrument defect maar zit alle informatie uit de deeltjesgrootteverdeling nog wel in de dataset en kan er gecorrigeerd worden.

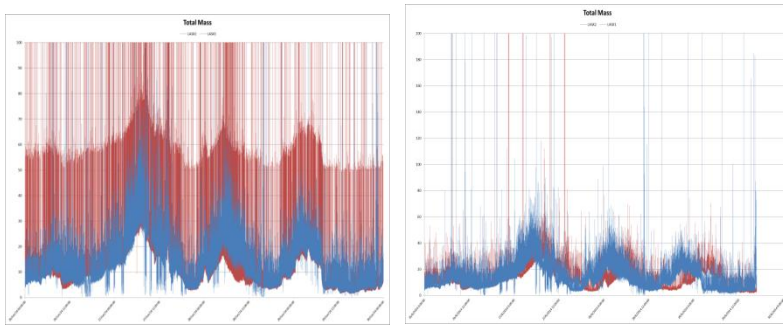
Vanwege een defect aan de LASX2 kan daar op dit moment geen uitsluitsel over worden gegeven.



Figuur 36: Effect van de problemen met de LASX 2 metingen

Als we de correctie volgens pijl A uitvoeren dan verbetert het plaatje van Figuur 24. Figuur 26 laat zien hoe de PM10 getallen na correctie veel minder ruis opleveren, maar de twee instrumenten geven nog geen goede 'fit'. De correctie is speculatief zolang er geen nieuwe tests met de LASX2 zijn uitgevoerd.

Omdat uitvoeren van de correctie op alle ruwe datafiles zeer arbeidsintensief is, is besloten dit niet te doen zolang de status van de LASX2 niet bekend is.



Figuur 37: Correctie van de kanaal toekenning en het effect op PM10 totaal blauw in beide grafieken is LASX1 (referentie in dit geval) en rood de LASX2 data voor correctie (links) en na correctie (rechts)

ECN

Westerduinweg 3
1755 LE Petten

Postbus 1
1755 LG Petten

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