

Scheepvaartmetingen op de wal

A. Hensen (**ECN**)
J. Hooghwerff (**M+P**)
J. Wesseling (**RIVM**)
H. Erbrink (**ESC**)

Oktober 2016
ECN-V--16-002



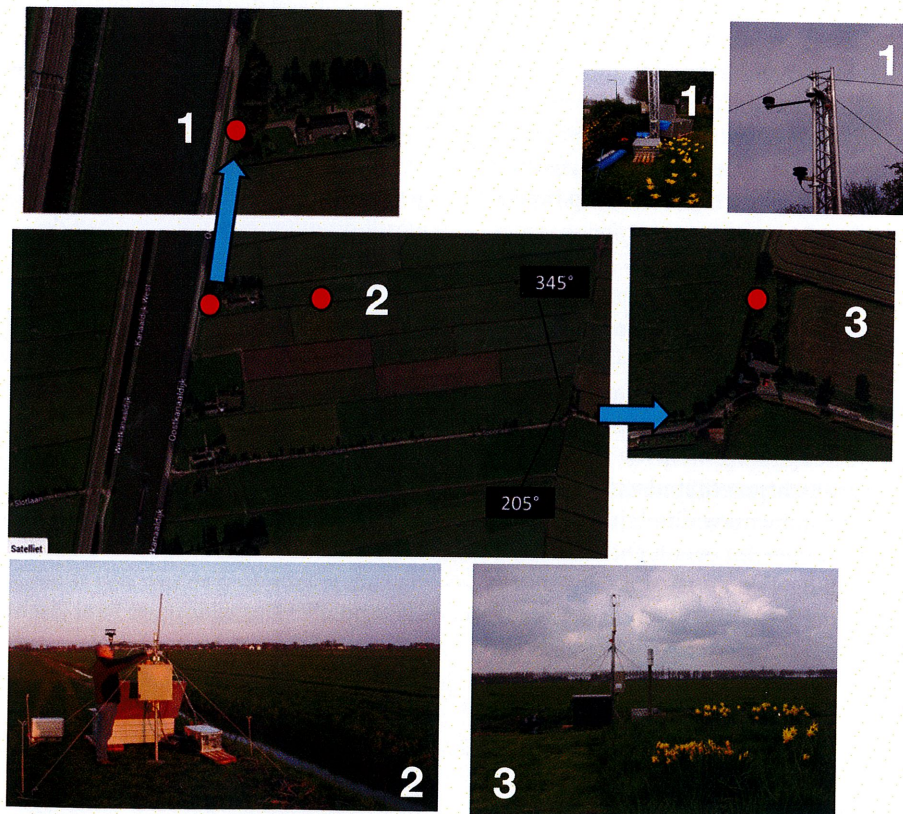
SCHEEPVAARTMETINGEN OP DE WAL

EMISSIEMETINGEN AAN 2.500 SCHEPEN OP HET AMSTERDAM-RIJNKANAAL

Ondanks de 'volkwagenophef' wordt het wegverkeer steeds schoner. Daarmee wordt het steeds belangrijker om ook een goed beeld te hebben van luchtkwaliteit langs waterwegen. Daarvoor is een verbetering van verspreidingsmodellen nodig en meer informatie over emissies vanuit schepen. Met de inzet van moderne snelle meetmethoden is het nu mogelijk om emissies van individuele schepen op de wal langs een kanaal te bepalen. In dit artikel beschrijven we een dergelijke methode. Metingen aan 2.500 schepen zijn gebruikt om de verspreidingsmodellen wat betreft binnenscheepvaartemissies te verbeteren.

ARJAN HENSEN, JAN HOOGHWERFF,
JOOST WESSELING, HANS ERBRINK*

De emissies van stikstofoxiden (NO - NO_2) en fijnstof (PM) vanuit de binnenvaart leveren een belangrijke bijdrage aan de luchtverontreiniging in Nederland en dan met name langs de waterwegen. Tot voor kort werd de verspreiding van die luchtverontreiniging gemodelleerd als een serie puntbronnen of op een van het wegverkeer afgeleide manier. Beide manieren waren nooit met metingen gevalideerd en de behoefte aan een standaardrekenmethode (SRM) voor scheepvaart bleef bestaan. De vraag richtte zich vooral op de verspreiding van de uitstoot. Het veel grotere vermogen van de motoren in schepen kan er toe leiden dat de gaspluimen die met de wind meegevoerd worden zich anders gedragen dan die van vrachtwagens op een snelweg. De warmte-inhoud van scheepspluimen is aanzienlijk, waardoor een grotere pluimstijging (na emissie verder stijgen



Figuur 1: Meetlocaties en meetinstrumenten per locatie.

Station	Instrument	Meetwaarden	Inlaat	Opmerking
1,2,3	EcoPhysics CLD 700 AL	NO, NO ₂ , NO _x	5.50 m = 2.50 m boven waterspiegel ¼" PTFE-tubing, PTFE-inlaatfilter	Tweekanaals NO _x -monitor
1	Licor 6262	CO ₂ , H ₂ O, druk	5.50 m = 2.50 m boven waterspiegel ¼" PTFE-tubing, Balston-inlaatfilter	CO ₂ -pluim is een maat voor hoeveelheid diesel
1	LAS-X II	32 kanaal pm	5.50 m aluminium 12cm buis 1m carbon-tube. Geen filter	Deeltjesgrootte verdeling
1	LAS-X1	16 kanaal pm	1.5m = 1.5 m onder waterspiegel	Gebruikt van 14-05 tot 03-07-2014
1	MAAP	Black carbon	5.50 m aluminium 12cm buis 1m carbon-tube Geen filter	Met dank aan TNO
1,2	Gill 2D Windsonic	U, Wd	Stat1: 4.00, na 21-5 2015 5.50 m Stat 2: 2m	Gebruikt tot: 21-05-2014
1	Leckel	PM 10-filter	PM10-inlet 1.5 m = 1.5 m onder waterspiegel	Gebruikt van 17-04 tot 03-07-2014
2	Thermo 49i	O ₃	1.65m ¼" PTFE-tubing, PTFE-inlaatfilter	
2	Fast Ozon Sensor	O ₃	1.65m ¼" PTFE-tubing, PTFE-inlaatfilter	10 Hz-instrument
3	Gill Windmaster Pro 3D Windsonic	U, wd, u*, H, L	5.50 m	Vanaf 02-04-2014. Daarvoor 2.30 m

van de pluim) zal optreden in vergelijking met die van vrachtwagens. Om te zien in welke mate deze pluimstijging inderdaad gebeurt, zijn in de zomer van 2014 door ECN met een innovatieve meetmethode metingen uitgevoerd. Dit heeft plaatsgevonden op drie locaties op 75, 200 en 800 m ten oosten van het Amsterdam-Rijnkanaal, 2 km ten noorden van de provinciale weg Hilversum-Vinkeveen.

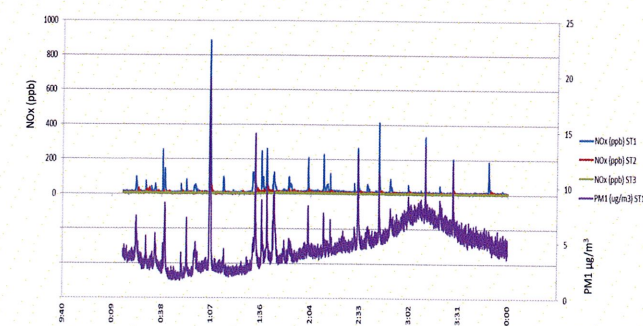
Met een meetmethode die het effect van individuele schepen in beeld brengt, komt een dataset beschikbaar waarin per scheepsklasse het effect op luchtkwaliteit beschikbaar is. Daarmee kunnen dan vervolgens ook scenario's voor andere vlootsamenstellingen of andere locaties doorgerekend worden. Dat is de reden om in dit programma metingen met een hoge tijdsresolutie (om de seconde) uit te voeren. De individuele gaspluimen die hiermee in

beeld komen worden gekoppeld aan de door de schepen uitgezonden informatie van het Automated Identification System (AIS). De meetmethode werd voor het eerst door ECN gebruikt in 2006 (Kraai & Hensen, 2006). In 2007 werden dit type metingen door ECN/TNO uitgevoerd (Duyzer et al., 2007) voor binnenvaart- en zeevaartschepen. Er werd toen steeds op losse dagen gemeten bij de Waal, het Amsterdam-Rijnkanaal en bij Hoek van Holland. De identificatie van de schepen werd destijds met foto's een voor een gedaan. Nu duurde de campagne vijf maanden en werden de schepen via het AIS-sigitaal dag en nacht in de gaten gehouden. Daarmee is de methode aanzienlijk verbeterd.

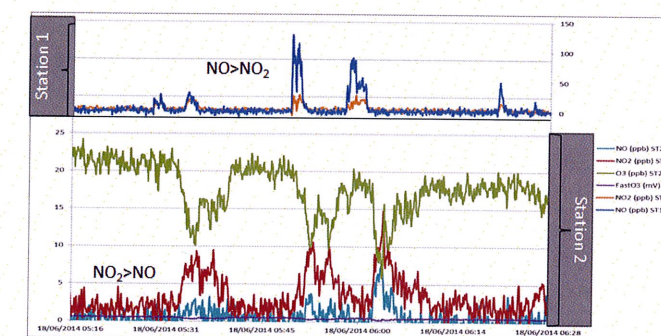
Gebruikte instrumenten:
Al met al zijn meer dan 2.500 pluimen van schepen gemeten. De gegevens zijn vervolgens ter beschikking gesteld aan

de modelleerteams bij DNV-GL en RIVM voor nadere vergelijking met de verspreidingsmodellen.

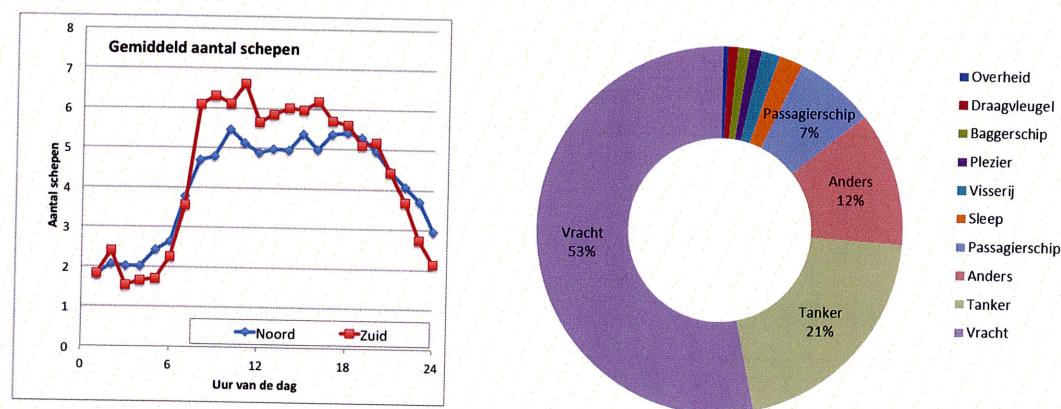
De meetcampagne duurde in totaal vijf maanden en omvat daarmee een wisselend spectrum aan atmosferische omstandigheden. Dat is van belang want bij rustig weer op een zomerdag verspreidt de luchtverontreiniging zich heel anders dan op een winderige voorjaarsdag. Figuur 2 laat een typisch voorbeeld van een stuk van de dataserie zien voor een dag. De pieken die met de LAS-X als PM₁ waargenomen zijn worden tegelijkertijd ook gemeten als pieken in NO_x. Het geëmitteerde stikstof dat voortkomt uit oxidatie van stikstof (N₂) uit de buitenlucht gaat grotendeels als stikstofmonoxide de pijp uit. In de lucht reageert dat met ozon (O₃) tot stikstofdioxide (NO₂). Hoe die omzetting gebeurt tijdens het pluimtransport was



Figuur 2: Voorbeeld van een dag metingen voor NO_x en PM. De korte pieken in de figuur zijn afkomstig van de per schip overwaaiende pluimen.



Figuur 3: Simultaangemeten concentraties van NO, NO₂ en Ozon op station 1 (boven) en 2 (onder).



Figuur 4: Aantal schepen per dag naar noord en naar zuid plus gemiddelde samenstelling in scheepstypen.

ook een van de onderzoeksvragen. Omdat we met een reeks van drie meetpunten op verschillende afstanden meten, is dat proces ook zichtbaar te maken (zie figuur 3).

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 beide groter dan 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 een factor 10 lager dan op station 1 en ook duidelijk breder in het tijdsignaal. De pieken van NO₂ anti-correleren erg goed met de metingen van ozon, NO gebruikt immers het ozon in de reactie om naar NO₂ te converteren.

De AIS-data laten zien wanneer en waar op het kanaal een schip vaart. De aantallen per uur in noordelijke en zuidelijke richting zijn weergegeven in het linkerpaneel van figuur 4. In het rechterpaneel is een verdeling te zien van de verschillende soorten schepen die werden waargenomen. Veel schepen zijn meerdere keren gedurende de

meetperiode langsgelopen. Uiteindelijk beslaat de dataset 3.353 unieke schepen. Gemiddeld is elk schip circa negen keer langs de meetopstelling gevaren. Op basis van de verstrekte AIS-informatie heeft TNO (Hulskotte, 2014) het scheepstype volgens de AVV-indeling aan de dataset toegevoegd. Voor zo'n 2.500 schepen was het mogelijk een gemeten pluim aan een schip toe te kennen.

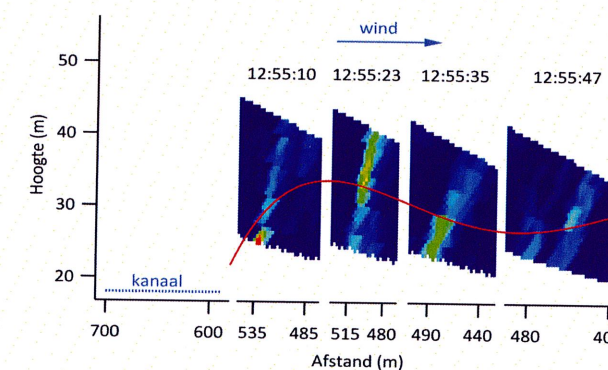
Campagnemetingen

Naast de continue metingen met de drie meetmasten werden er twee campagnes uitgevoerd. In samenwerking met DNV-GL en Rijkswaterstaat zijn op 15 augustus 2014 testen uitgevoerd waarbij vanaf een schip (de RWS 99) met een rookgenerator gekleurde rook werd uitgestoten. Op videobeelden en in figuur 5 is duidelijk te zien hoe de pluim in het zog van het schip naar beneden wordt getrokken, een belangrijk gegeven voor de discussie over pluimstijging. Ten slotte werd een meetcampagne uitgevoerd met de LIDAR van het RIVM (Swart et al., 2007). 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 gekeken naar de verzwakking van het teruggestrooide licht door aerosol, de deeltjes in de rookpluim.

Model interpretatie

De uitgewerkte metingen zijn door de twee modelteams gebruikt. In een volgend artikel wordt daar nader op ingegaan. Met het model wordt de kennis die met meten is opgedaan, in rekenregels omgezet. Alle zaken die de concentraties bepalen worden zo goed mogelijk opgenomen in het model. Vervolgens kan het model dan toegepast worden op andere plaatsen, een andere omgeving, met andere bronnen (in dit geval schepen) en voor toekomstige situaties. De metingen die hier zijn gedaan zijn, zijn geanalyseerd met de vraag: waarin verschilt de verspreiding vanuit schepen van andere bronnen (verkeer, stallen, industrieën). Een tipje van de sluiter lichten we vast voor u op: de emissies zijn erg gevoelig voor de vaarsnelheid en de schepen stoten een flinke hoeveelheid warmte uit, die je niet kunt verwaarlozen. De emissies hangen af van de grootte van het schip maar ook van de vaarsnelheid. Op het Amsterdam-Rijnkanaal bleken de schepen langzamer te varen dan eerder



Figuur 5: Links, de RWS 99 met aan boord de rookgenerator en rechts vier metingen van de LIDAR die een rookpluim en diens vorm als een groene vlek op verschillende afstanden van het kanaal in beeld brengt.

werd aangenomen. De vaarsnelheid en windsnelheid moeten gecombineerd worden om de pluimstijging te kunnen berekenen. Immers, bij windstil weer gaan pluimen van schoorstenen recht omhoog, maar die van schepen niet; de vaarsnelheid maakt dat de pluim direct afbuigt en dus over een lijn wordt verspreid. En als het schip precies even hard vaart als het waait, dan blijft de pluim precies boven het schip hangen; schip en lucht staan dan stil ten opzichte van elkaar. De warmte-emissie van een schip kan berekend worden (zie hierna). Echter ongeveer de helft van de schepen heeft het emissiepunt niet bovenop de kajuit, maar in de achtersteven. Zowel kajuit als achtersteven belemmeren de pluimstijging, waardoor de pluim minder stijgt, dan wanneer er een pijp op een platte schuit zou staan. Een belangrijke conclusie is nu dat dit verrekend moet worden door de warmte-emissie met 0,2 a 0,3 MW te verminderen alvorens de pluimstijging te berekenen.

Conclusie

De metingen hebben een enorme hoeveelheid gegevens geleverd voor een groot aantal schepen. Hiermee kunnen we nu beter berekenen hoe de pluimstijging na emissie plaatsvindt en hoe snel de reactie van NO naar NO₂ verloopt. De gegevens zijn gebruikt om de

verspreidingsmodellen voor de vaarwegen te optimaliseren. De eerste bevindingen van de modelleers zijn inmiddels bekend:

- lokale factoren (in dit geval een bomenrij langs het kanaal) kunnen de verspreiding flink beïnvloeden;
- de pluimstijging bij binnenvaartschepen kan niet worden verwaarloosd;
- deze pluimstijging is door de vaarsnelheid anders dan bij industriële schoorstenen.

Dankwoord

Met dank aan: de Familie Kroon, familie Nagel en mevrouw Kessler voor het beschikbaar stellen van de meetlocaties. En de collega's W.C.M. van den Bulk, M.J. Blom, A.T. Vermeulen en G.P.A. Kos (ECN), A.J.C. Berkhout, G.R. van der Hoff en L. Nguyen (RIVM) en J. de Wolff (DNVGL).

Deze metingen werden uitgevoerd in opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Milieu door M+P (coördinatie), ECN (metingen) en DNV-GL & RIVM (modellen).

Referenties

1. Hensen, A., Bulk, W.C.M. van den, Blom, M.J., Vermeulen, A.T., Kos, G.P.A., Berkhout, A.J.C., Hoff, G.R. van der, Wesseling, J., Nguyen, L., Erbrink, J.J.,

2. Wolff, J. de, Hooghwerff, J. (2014). Rapportage Scheepvaartmetingen Loenen 2014. ECN-E--14-044 december 2014, 44 p.
3. Duyzer, J., Westrate, H., Hensen, A., Kraai A. (2007). Onderzoek naar emissiefactor voor fijnstof en stikstofoxiden voor de binnenvaart. TNO-report 2007-A-R0791/B, juli 2007.
4. Hulskotte, J.H.J. (2014). Emissieberekening binnenvaart op basis van AIS-gegevens. TNO-rapport 2015 R10067, november 2014
5. Kraai, A., Hensen, A., Wilde, H.P.J. de (2006). Innovatieve metingen aan emissies van binnenvaartvrachtverkeer. ECN-RX-06-074, april 2006.
6. Swart, D.P.J., Berkhout, A.J.C., Van der Hoff, G.R., Bergwerff, J.B., Broekman, M.H. (2007). Zwaveldioxide-uitstoot van zeeschepen op afstand gemeten met lidar. RIVM Rapport 609021039, 2007.

* Arjan Hensen is werkzaam bij ECN, Jan Hooghwerff bij M + P, Joost Wesseling bij RIVM en Hans Erbrink bij ESC.

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

