

RIVM rapport 680280001/2006

Locale Invloed Scheepvaart Emissies - LISE

Een verkenning

H.J.Th. Bloemen, W. Uiterwijk, E.M. van Putten,
J.H. Verboom

Contact:

H.J.Th. Bloemen,
RIVM, Laboratorium voor Milieumetingen.
e-mail: Henk.Bloemen@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht en ten laste van het Milieu en Natuur Planbureau, in het kader van project Fysieke Leefomgeving, en van de gemeente Nijmegen.

RIVM, Postbus 1, 3720 BA Bilthoven, telefoon: 030 - 274 91 11; fax: 030 - 274 29 71

Rapport in het kort

Lokale invloed van scheepvaart emissies

Emissies van hoog intensieve binnenvaart op de Waal bij Nijmegen leiden tot duidelijke bijdragen aan de luchtverontreiniging met stikstofdioxide (NO₂) in de directe omgeving van de vaarroute terwijl voor PM₁₀ geen duidelijke bijdrage kan worden aangetoond. Op veel andere binnenvaartroutes in Nederland is de scheepvaart minder intensief en daar wordt een substantieel geringe bijdrage voor NO₂ verwacht.

De resultaten van dit oriënterende onderzoek hebben het inzicht in de bijdrage van binnenvaart op de directe omgeving van de vaarroute verder verbeterd. Hiermee kan een betere inschatting worden gemaakt van de bijdrage van scheepvaart op de NO₂ concentraties in relatie tot andere bronnen van NO₂ zoals wegverkeer. Om een vergelijking van de binnenvaart met het wegverkeer inzichtelijk te maken is de intensiteit berekend van een snelweg die een gelijke invloed op de lokale omgeving heeft als de scheepvaart op de Waal (4-5 µg/m³ NO₂ op 200-300 meter van het midden van der rivier). Deze komt overeen met een intensiteit van circa 100.000 voertuigen per etmaal.

Het verloop van de concentraties op de oevers van de Waal laat duidelijk de passages van schepen zien en de piekconcentraties bereiken of overschrijden op sommige momenten de geurgrens van NO₂. De bevindingen van dit onderzoek zijn in overeenstemming met eerder uitgevoerd modelonderzoek. Verder komt de verhouding van de verschillende stoffen (zoals zwaveldioxide en Zwarte Rook) in de emissie van binnenvaartschepen overeen met de gevonden bijdragen op de oevers van de Waal.

Trefwoorden: Emissie, binnenvaart, stikstofdioxide, fijn stof, NO₂, PM₁₀

Abstract

Local impact of inland shipping

Emissions of intensive inland shipping at the river Waal up-stream of Nijmegen result in noticeable contributions to air pollution levels of nitrogen dioxide (NO₂) in the direct surroundings whereas no contribution could be detected for particulate matter. At all of the other inland shipping routes the intensity is less and substantially lower contribution for NO₂ is anticipated.

With this survey the insight in the contribution of inland shipping to air pollution levels is improved and enables a better evaluation of its impact in comparison with other sources of air pollution such as road traffic. To illustrate the comparison with road traffic at a high way the road traffic intensity is estimated that will have a similar impact on the direct surroundings as does the shipping on the river Waal (4-5 µg/m³ NO₂ at 200-300 meter from the center of the river). This equivalent intensity is approximately 100,000 vehicles daily.

The time pattern of the concentrations at the bank of the river indicate clearly the passages of ships and the peak concentrations approach or even exceed the odor limit of NO₂. The results of this investigation are in agreement with previous research using dispersion models and the ratio of the contribution of other monitored substances (sulfur dioxide and Black Smoke) are comparable with published emissions of these substances by inland shipping.

Keywords: Emission, inland shipping, nitrogen dioxide, particulate matter, NO₂, PM₁₀

Voorwoord

Het hier voorliggende rapport is de weerslag van een onderzoek uitgevoerd voor twee opdrachtgevers, het Milieu en Natuurplan Bureau en de gemeente Nijmegen, die hoewel met verschillende maatschappelijke taken belast min of meer dezelfde beleidsvraag hadden geformuleerd. Het onderzoek kon daarom zo worden opgezet dat beide beleidsvragen konden worden geadresseerd. De resultaten, die met dit onderzoek worden verkregen, kunnen voor de gemeente Nijmegen inzicht geven in de belasting van de scheepvaart op de Waal voor de luchtkwaliteit in de stad Nijmegen in de directe omgeving van de rivier. Daarnaast geeft het onderzoek inzicht in het belang van scheepvaart voor de stikstofdioxide niveaus nabij drukke scheepvaartroutes, de voor dit project centrale vraag van het MNP.

Dit onderzoek is tot stand gekomen door de medewerking van een groot aantal instanties, waaronder de gemeenten Gendt en Millingen, alsmede van Staatsbosbeheer en de bewoners en instanties op beide oevers van de Waal nabij het onderzoeksgebied, waarvoor wij hen dankbaar zijn. De nieuwe monsternametechnieken en opzet van metingen zijn mede succesvol geweest door de bijdragen van de analytische afdelingen van het Laboratorium voor Milieumetingen van het RIVM evenals de technische afdelingen.

Dit onderzoek kan gezien worden als een succesvol voorbeeld voor het samenvoegen van beleidsvragen op verschillende niveaus binnen de overheid die door een gecombineerde aanpak efficiënt kunnen worden geadresseerd.

De opzet en de beperkte omvang van dit project maakt dat de uitkomsten van dit onderzoek slechts geïnterpreteerd kunnen worden als een indicatie van het belang van binnenscheepvaart. De auteurs verwachten desondanks dat de resultaten hun bruikbaarheid zullen bewijzen.

Henk. J.Th. Bloemen
Bilthoven, mei 2006

Inhoud

Samenvatting	6
1 Inleiding	7
2 Onderzoeksopzet	8
2.1 Onderzoeksdoel en -aanpak	8
2.2 Onderzoekslocatie	9
2.3 Ligging	9
2.4 Scheepvaart intensiteit	10
2.5 Waterafvoer	10
2.6 Jaarrond campagne	11
2.7 Intensieve campagne	11
3 Methoden	13
3.1 Methoden voor jaarrond campagne	13
3.1.1 Bemonstering NO ₂ en SO ₂	13
3.1.2 Analyse NO ₂ en SO ₂	13
3.2 Methoden voor intensieve campagne	14
3.2.1 Meetbehuizing	14
3.2.2 Centraal aanzuigstelsel.	14
3.2.3 Stikstofdioxide	14
3.2.4 PM ₁₀	15
3.2.5 Zwaveldioxide	15
3.2.6 Koolmonoxide	15
3.2.7 Zwarte Rook (Aethalometer)	16
3.2.8 Windrichting en snelheid	16
3.2.9 Data collectie	16
4 Modelberekeningen	17
4.1 CAR II berekeningen	17
4.2 TNO verkeersmodel berekeningen	18
5 Resultaten en Discussie	19
5.1 Jaarrond campagne	19
5.1.1 NO ₂	19
5.1.2 SO ₂	20
5.2 Intensieve campagne	21
5.2.1 NO ₂	22
5.2.2 PM ₁₀	25
5.3 Pseudo-wegverkeer intensiteitsberekeningen	26
6 Conclusies en aanbevelingen	27
Literatuur	29
Figuren	30

Samenvatting

Stikstofdioxide en fijn stof vormen momenteel de weerbarstigste problemen die opgelost dienen te worden om een acceptabele luchtkwaliteit te kunnen bereiken. Maatregelen gericht op het terugdringen van emissies van vooral het wegverkeer hebben nog niet of onvoldoende geleid tot voldoen aan de Europese normen. Voor het ontwikkelen van beleid is kennis over de relevantie van de binnenscheepvaart een belangrijk aspect, zeker in een omgeving nabij drukke vaarroutes. In dit onderzoek, uitgevoerd ten behoeve van de beleidsontwikkeling en -advies van de gemeente Nijmegen en het Milieu en Natuur Planbureau, wordt aangetoond dat een drukke vaarroute een substantiële bijdrage levert aan de stikstofdioxide concentratie in de omgeving maar niet aan de fijn stof (PM_{10}) concentratie. De scheepvaart intensiteit op de Waal van ongeveer 380 passages per dag komt overeen met een wegverkeer intensiteit van ongeveer 100.000 voertuigen per dag voor de bijdrage aan de stikstofdioxide concentratie. Dit maakt dat (drukke) scheepvaartroutes een belangrijke rol dienen te spelen bij het beoordelen van de luchtkwaliteit en de mogelijke invloed van maatregelen op de niveaus van stikstofdioxide.

Het onderzoek omvatte het monitoren van fijn stof en stikstofdioxide op beide oevers van de Waal bovenstrooms van Nijmegen gedurende een jaar waarin gedurende twee periodes intensieve metingen (uurgemiddelde concentratie waarden) werden uitgevoerd. Deze vaarroute geldt als de drukste van het Nederlandse stelsel van binnenvaart routes. De emissies van schepen op de binnenvaart leidt tot kortdurende verhogingen van de stikstofdioxide concentratie die op de onderzoekslocatie dusdanig hoge waarden kunnen bereiken dat ook de reukgrens wordt overschreden.

Het onderzoek is als een oriëntatie opgezet en de kwantitatieve equivalentie die hier wordt gepresenteerd dient dan ook met de nodige omzichtigheid te worden gehanteerd. Om de observaties uit dit onderzoek te bevestigen wordt aanbevolen om het onderzoek op een andere locatie met een duidelijk andere samenstelling van de binnenvaart uit te voeren waarbij alleen de bijdrage aan stikstofdioxide wordt onderzocht.

1 Inleiding

Stikstofdioxiden en fijn stof vormen al geruime tijd een aandachtspunt voor het beleid.

Doelstellingen, nationaal en Europees geformuleerd, worden niet of slechts ten dele gerealiseerd. Om te kunnen komen tot een doelgericht bestrijdingsbeleid is het van belang om inzicht te krijgen in de relevante bronnen van stikstofdioxiden en fijn stof.

Wegverkeer is al lange tijd aangemerkt als een belangrijke bron voor deze stoffen en in een veelheid van studies zijn mogelijke maatregelen onderzocht om aan de normen te voldoen en de blootstelling van de bevolking te verminderen (zie onder andere Folkert et al., 2002).

Scheepvaart motoren zijn een andere mogelijk relevante bron (Kasifa, 2002). De kennis daarover is nog beperkt en met een aantal recente onderzoeken wordt deze verder verdiept.

Naast de zeescheepvaart wordt ook de binnenvaart gezien als een mogelijk relevante bron, waarvan bovendien verwacht wordt dat deze in de nabije toekomst zal groeien (Harms en Willigers, 2002). Vooral voor dit deel van de scheepvaart is de kennis nog beperkt.

Op grond van verkennende modelberekeningen uitgevoerd door TNO (Hulskotte en Den Boeft, 2004) in opdracht van de gemeente Nijmegen wordt binnenvaart aangemerkt als een mogelijk relevante bron van luchtverontreiniging in de nabije omgeving van de vaarroute. In het bijzonder voor Nijmegen is dit van belang gegeven de nabijheid van de Waal, een van de drukst bevaren routes voor de binnenvaart in Nederland.

In het kader van het project Fysieke Leefomgeving van MNP wordt meer inzicht gevraagd met betrekking tot de invloed van scheepvaart op de Nederlandse binnenwateren op de lokale omgeving vooral voor stikstofoxiden en fijn stof (PM₁₀).

In opdracht van beide organisaties is daarom een onderzoek opgezet om meer inzicht te krijgen in de invloed van scheepvaartemissies op de lokale luchtkwaliteit door middel van metingen in aanvulling op modelberekeningen. Het doel van het onderzoek werd als volgt geformuleerd:

... door middel van concentratiemetingen van een aantal geselecteerde stoffen de invloed van scheepvaart emissies op de lokale omgeving te schatten bij een bekende omvang van het scheepvaartverkeer nabij de meetlocatie. De verkregen resultaten dienen vergeleken te kunnen worden met uitkomsten van modelberekeningen specifiek voor de locatie gebaseerd op scheepvaartemissies en verder uitgedrukt te kunnen worden in termen van wegverkeerintensiteit.

2 Onderzoeksopzet

2.1 *Onderzoeksdoel en -aanpak*

Het doel van het onderzoek is een verkenning naar de kwantitatieve invloed van de emissies van de binnenscheepvaart op de lokale omgeving. Deze invloed wordt in dit onderzoek uitgedrukt in jaargemiddelde bijdrage van scheepvaartverkeer aan de concentraties stikstofdioxiden (NO₂) en fijn stof (PM₁₀). Daarnaast wordt de invloed van de emissie van scheepvaartverkeer vergeleken met die van wegverkeer door de jaargemiddelde concentraties NO₂ en PM₁₀ te vergelijken met berekende jaargemiddelde concentraties NO₂ en PM₁₀ bij een zekere verkeersintensiteit en een zekere samenstelling van het wegverkeer.

De onderzoeksopzet omvat het continue meten (uurgemiddelde waarden) van NO₂ en fijn stof (PM₁₀) gedurende korte perioden van het jaar op beide oevers van een drukbevaren waterweg en het meten van concentraties van NO₂ (langere termijn gemiddelden) gedurende een periode van een jaar. Om de aanname dat de concentraties veroorzaakt worden door de emissies van het scheepvaartverkeer te staven worden ondersteunende metingen verricht van zwaveldioxide (SO₂), Zwarte Rook (BS) en koolmonoxide (CO). Daarnaast worden primaire meteorologische parameters vastgelegd (waaronder windrichting en windsnelheid). Al deze metingen worden verricht op beide oevers. Door gebruik te maken van meetresultaten van het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit (LML) worden korte-periode gemiddelden omgerekend naar jaargemiddelde concentraties.

Scheepvaartemissies kunnen worden gezien als een lijnbron waarbij haaks op de vaarroute de concentraties afnemen met de afstand en ten slotte gelijk worden aan de achtergrondconcentratie. Om middels metingen inzicht te krijgen in de achtergrondconcentratie worden metingen van NO₂ uitgevoerd op verschillende afstanden van de vaargeul.

De invulling van het onderzoek en de ingezette middelen reflecteren het doel ervan – een eerste inschatting met een beperkte mogelijkheid tot extrapolatie naar andere omstandigheden en tijd.

2.2 *Onderzoekslocatie*

Voor de selectie van de onderzoekslocatie is gebruik gemaakt van beschikbare gegevens over de intensiteit van de binnenscheepvaart op de Nederlandse vaarwegen (CBS, 2006), informatie over de aanwezigheid van bronnen maar vooral van veldverkenningen van potentieel geschikte locaties. De afwezigheid van sterke bronnen in de nabije omgeving was een belangrijke voorwaarde. Verder werden de aanwezigheid van toegangswegen, de bereidheid van eigenaren van de beoogde percelen en de vandalisme-bestendigheid als belangrijke randvoorwaarden gehanteerd. De keuze van de vaargeul van de Waal bovenstrooms Nijmegen voldeed optimaal aan de opgestelde eisen en maakte bovendien de samenwerking met de gemeente Nijmegen mogelijk. De intensiteit (circa 140.000 passages per jaar) was het grootst in vergelijking met andere telpunten van het Nederlandse vaarwegennet en was ongeveer 2 maal zo groot als dat van de daarna meest intensieve vaarroute, de Volkerraksluizen (87.766 in 2001)

2.3 *Ligging*

In Figuur 1 is het onderzoeksgebied op twee luchtfoto's* gegeven: bovenstrooms Nijmegen, ongeveer ter hoogte van Gendt op de noordoever en Kekerdorm/Millingen op de zuidoever. De Waal stroomt hier van noordnoord-oost naar zuidzuid-west.

De rivier kan worden beschouwd als een lijnbron. Zoals duidelijk in Figuur 1 te zien is wordt de zuidoever ook enigszins beïnvloed door de rivier vanuit het oosten. Deze afstand is circa. 1 km. De emissie van de schepen vindt op gemiddeld 5 meter hoogte plaats met een geringe pluimstijging.

Op de noordoever (linkerzijde van de foto, Figuur 1) ligt op enige afstand van de Waal de woonkern Gendt. Een camping is gelegen direct aan de oever van de Waal. Op enige afstand bovenstrooms bevindt zich een werf waar geringe activiteit plaats vindt met betrekking tot NO₂ emissies.

Op de zuidoever bevindt zich op enige afstand van de Waal de woonkern Kekerdorm/Millingen. Het onderzoeksgebied op deze oever behoort tot het natuurgebied de 'De Gelderse Poort' en is onder beheer van Staatsbosbeheer. Op dit terrein van de voormalige steenfabriek 'Klaverland' bevinden zich een vijftal woningen/gebouwen met zeer beperkte activiteit. Op enige afstand benedenstrooms bevinden zich twee steenfabrieken (Wienerbergen) waar soms (relatief) intense activiteit is waargenomen.

* www.vanuitdelucht.nl

In Figuur 2 zijn de locaties voor de intensieve en jaarrond campagnes (zie later) aangeduid. De locaties voor de passieve monitoring (zie later) zijn aangeduid met MT01 – MT04 en GM01 – GM05 en liggen op onderling gelijke afstanden ongeveer 100 – 500 meter van de oever, min of meer in elkaars verlengde en loodrecht op de stroomrichting ter plaatse van de Waal. De locaties voor de intensieve campagne zijn eveneens in Figuur 2 weergegeven. Op de zuidoever is deze ter hoogte van MT01 geplaatst. Op de noordoever is de locatie voor de intensieve campagne om praktische redenen stroomafwaarts geplaatst op het terrein van de manege. De afstanden tot de oever zijn 200 en 350 meter voor respectievelijk de zuid- en noordoever.

2.4 Scheepvaart intensiteit

De sterkte van de bron – de scheepvaart over de Waal – wordt bepaald door de emissies van individuele binnenschepen en de intensiteit van het scheepvaartverkeer. Verwacht werd dat deze emissies mogelijk mede bepaald werden door de stroomsnelheden op de rivier versterkt door een asymmetrische intensiteit (ongelijke intensiteit stroomopwaarts en -afwaarts) en een verschil in emissiesterkte bij verschillende vermogens van de scheepsmotoren.

De intensiteit is afgeleid uit registraties van het CBS (CBS, 2006) ter hoogte van Lobith (ongeveer 14 km stroomopwaarts, ongeveer 8 km hemelsbreed). Stroomafwaarts van Lobith is er een aftakking naar het Pannerdenskanaal, maar het verkeer dat via deze route Lobith passeert betreft slechts enige procenten en omvat vooral de kleinere schepen.

De intensiteit tijdens de meetperiode, gesommeerd over beide vaarrichtingen, bedroeg gemiddeld 15,8 schepen per uur en varieerde over de verschillende meetperioden tussen 14,7 en 17,8. De verdeling naar capaciteit is gebaseerd op CBS gegevens over 2001 en is weergegeven in Figuur 3. De verdeling over de vaarrichtingen voor 2001 is nagenoeg in balans (53% in richting zuidoost).

2.5 Waterafvoer

De waterafvoer, en dan vooral de stroomsnelheid, is mogelijk van invloed op het geleverde vermogen van de passerende schepen en daarmee op de emissies. De gemiddelde stroomsnelheid bedraagt circa 1 m/s en geldt voor het midden van de vaargeul. In Figuur 4 is de verdeling van de stroomsnelheden gegeven voor ieder van de meetperioden gebaseerd op uurgemiddelde waarden. In de eerste 4 perioden bereikt de stroomsnelheid duidelijk hogere

waarden dan daarna. Ook in periode 8 worden waarden bereikt hoger dan 1 m/s, al blijft het gemiddelde onder deze waarde. In de praktijk zullen de schepen waar mogelijk langs die oever stroomopwaarts varen waar de stroomsnelheden minimaal zijn. Bij een hogere waterstand is er meer ruimte voor deze keuzes. Hierdoor kunnen emissies op enigszins andere afstand van de meetlocaties plaats vinden dan vanaf het midden van de rivier.

2.6 Jaarrond campagne

De NO₂ concentraties werden op de 9 locaties MT01-MT04 en GM01-GM05, en op de referentielocatie Wekerom gemeten met passieve bemonsteringssystemen en gevolgd door ion-chromatografische analyse in het laboratorium. De bemonsteringsduur per periode bedroeg circa 4 weken. De concentratie werd berekend op grond van de bemonsteringsduur, de hoeveelheid nitriet gedetecteerd in de passieve bemonsteringsbuis en de factor voor de correctie van de temperatuursinvloed en diffusiesnelheid van NO₂ naar het actieve oppervlak (tri-ethanolamine). In dezelfde analyse werd zwaveldioxide (SO₂) geanalyseerd en op analoge wijze berekend. De bemonsteringsperioden zijn in Tabel 1 gegeven.

Tabel 1: Bemonsteringsperiode van de jaarrond campagne

Periode nr	Begin datum	Eind datum	Duur (uren)
1	24-1-2005	23-2-2005	716
2	23-2-2005	23-3-2005	671
3	23-3-2005	20-4-2005	673
4	20-4-2005	18-5-2005	673
5	18-5-2005	15-6-2005	670
6	15-6-2005	12-7-2005	649
7	12-7-2005	9-8-2005	675
8	9-8-2005	7-9-2005	694
9	7-9-2005	3-10-2005	623
10	3-10-2005	2-11-2005	720
11	2-11-2005	30-11-2005	672
12	30-11-2005	2-1-2006	794
13	2-1-2006	6-2-2006	840

2.7 Intensieve campagne

De intensieve campagnes werden uitgevoerd in de periode van juni tot augustus 2005 en januari tot maart 2006. Tijdens deze periode werden continue (uurgemiddelde) metingen verricht van NO₂, SO₂, PM₁₀, Zwarte Rook (Aethalometer) en CO, alsmede van de windrichting en windsnelheid. Deze metingen werden op beide oevers uitgevoerd (Amersfoortse coördinaten

196843; 431853 (zuidoever) en coördinaten 196050; 431450 (noordoever). De locatie op de noordoever was circa 900 meter stroomafwaarts ten opzichte van de locaties van de jaarrond campagne en de locatie voor de intensieve campagne aan de andere oever. Het instrumentarium was geplaatst in een mobiele opstelling (VOCCAR). Gegevens werden met behulp van een mobiele telefoonlijn periodiek (veelal dagelijks) overgehaald naar het acquisitiesysteem op het RIVM voor controle en latere verwerking. In de paragraaf hierna worden de meetsystemen en methoden gedetailleerd beschreven.

3 Methoden

3.1 Methoden voor jaarrond campagne

3.1.1 Bemonstering NO₂ en SO₂

De monsterneming vond plaats met passieve monsternemingsbuisjes. Een beschrijving van het onderliggende meetprincipe is elders gegeven (Uiterwijk et al., 2004). Op elke locatie werd een RIVM monsternemer WU5.01 geplaatst op een hoogte tussen de 275 en 300 cm aan speciale aluminium masten of op een enkele locatie aan een lantaarnpaal.

De WU5.01 bestaat uit een set van 5 passieve monsterbuisjes waarvan er een gedurende de gehele cyclus gesloten blijft en als blanco geldt. Om de monsterbuisjes te beschermen tegen regen is een polyethyleen beschermkap aangebracht. De WU5.01 wordt in zijn geheel geïnstalleerd aan het begin van de meetcampagne. In het veld werden de monsterbuisjes geopend (uitgezonderd de blanco) en na de bemonsteringsduur (zie Tabel 1) weer afgedopt en naar het laboratorium getransporteerd. De bemonsteringsduur is niet voor alle periode precies gelijk maar bij de berekening van de concentraties werd met deze verschillen rekening gehouden.

3.1.2 Analyse NO₂ en SO₂

De bepaling van de hoeveelheid geadsorbeerde NO₂ en SO₂, omgezet in nitriet en nitraat (NO₃⁻ + NO₂⁻) en sulfaat (SO₄²⁻), is elders beschreven (Uiterwijk et al., 2004, Krochmal en Kalina, 1997). Voor de vergelijking met het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit (LML) wordt een WU5.01 op een LML-meetlocatie bemonsterd waar ook continue NO_x (NO en NO₂) en SO₂ wordt gemeten. Tijdens de jaarrond campagne vond een aanpassing plaats waardoor zowel Bilthoven als Wekerom werden gebruikt. Met de resultaten van de passieve meting van NO₂ en SO₂ en de continue LML metingen wordt een factor bepaald waarmee de afhankelijkheid van de passieve monsterneming van vooral de temperatuur wordt gekalibreerd. De combinatie van de passieve en de continue meettechniek, mede door de periodieke vergelijking, maakt het mogelijk om met een kosteneffectieve benadering een ruimtelijk beeld te krijgen van de lange termijn gemiddelde concentraties NO₂ en SO₂.

3.2 Methoden voor intensieve campagne

3.2.1 Meetbehuizing

De monitoren en alle daarvoor benodigde ondersteunende apparatuur zijn ondergebracht in de mobiele meetopstelling – VOCCAR – een 8 meter lange trailer uitgerust met elektrische en pneumatische voorzieningen. De VOCCAR is bedoeld om als zelfstandig meetstation te kunnen functioneren. De meetbehuizing is 3,4 meter hoog. Data communicatie is gerealiseerd met mobiele telefonie waarmee op afstand regelmatig, dagelijks, het functioneren van de VOCCAR en alle aangesloten monitoren kan worden gecontroleerd en de meetresultaten naar het laboratorium worden gehaald om verder te worden verwerkt. In de navolgende paragrafen worden de gebruikte voorzieningen beschreven.

3.2.2 Centraal aanzuigstelsel.

De monitoren zijn aangesloten op het centrale aanzuigstelsel van de mobiele meetopstelling - VOCCAR. Dit stelsel is identiek aan het aanzuigstelsel dat in gebruik is het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit (LML). Het debiet in dit aanzuigstelsel is nominaal 6 m³/uur en dit leidt tot een verblijftijd in het stelsel van 2,5 s bij een inwendige diameter van 46 mm en een lengte van 2500 mm. Hierbij worden bestaande dynamische evenwichten in de aangezogen lucht niet of nauwelijks gewijzigd. De aanzuighoogte is circa 60 cm boven het dak van de VOCCAR en bedraagt daarmee 3,8 m boven de grond. Vanuit deze voorziening betrekken de respectieve monitoren monsterlucht, ieder via een eigen, inerte aanzuigleiding met een inwendige diameter van circa 4,5 mm en een lengte van 100-150 cm. Het debiet per instrument verschilt en ligt tussen 0,5 en 1,0 l/min. De temperatuur in de meetbehuizing ligt tussen 16 en 23°C.

3.2.3 Stikstofdioxide

Stikstofdioxide (NO₂) wordt continu gemeten met de Tecan/Ecophysics NO_x analyzer, type CLD700. Deze analyzer is gebaseerd op de chemoluminescente reactie van stikstofmonoxide met ozon. Stikstofdioxide wordt gemeten na omzetting middels een thermische converter. Stikstofmonoxide wordt gemeten zonder de omzetting. Om voor gevoeligheidsveranderingen ten gevolge van drukveranderingen in de reactiekamer door luchtdrukveranderingen en wijzigingen in de prestaties van de pomp te corrigeren wordt regelmatig (iedere 24 uur) gekalibreerd met de Environics Calibrator. Het calibratiegas is een gecertificeerd NO-gasmengsel. Nulgas wordt gegenereerd door buitenlucht te leiden door Purafil en actieve kool.

3.2.4 PM₁₀

Voor het meten van de PM₁₀ fijnstofconcentraties wordt gebruik gemaakt van een TEOM 1400. Het meetprincipe van deze monitor is de verandering van de resonantiefrequentie tengevolge van de verandering van de massa van een oscillerend microbalanssysteem. In deze monitor maakt een filtertje, geplaatst op een glazen aanzuigbuisje, deel uit van het microbalanssysteem. De inlaat van de PM₁₀ aanzuigkop bevindt zich op circa 50 cm boven het dak van de meetaanhanger. Het debiet door de kop bedraagt 16,67 l/min. Een massaflowregelaar zorgt voor het juiste debiet door het filtertje. De aangezogen luchtstroom wordt gedroogd door een permeatiedroger terwijl de diverse delen van de meetopstelling en meetkamer nauwkeurig op een constante temperatuur worden gehouden ($30 \pm 0,1^\circ\text{C}$). Het filter wordt regelmatig vervangen na het bereiken van een vastgestelde belading van het filter. De resultaten van de PM₁₀ metingen worden conform de praktijk van het LML vermenigvuldigd met een factor van 1.3.

Opgemerkt dient te worden dat de TEOM zoals gebruikt in dit onderzoek verschilt van de monitoren die in het LML worden gebruikt. Hierdoor zullen verschillen bestaan tussen de LML PM₁₀ meetresultaten en die van dit onderzoek (zie ondermeer Van Putten et al., 2002). Voor dit verkennend onderzoek werden deze verschillen niet relevant geacht te meer omdat slechts de verschillen in de gemeten concentraties in dit onderzoek gehanteerd worden.

3.2.5 Zwaveldioxide

Zwaveldioxide (SO₂) concentraties worden gemeten met een Thermo Instruments model 43W monitor, identiek aan de instrumenten in het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit.

Het meetprincipe van deze monitor is de fluorescentie van met UV aangeslagen SO₂ moleculen. De meting wordt niet of nauwelijks beïnvloed door omgevingsvariabelen zodat volstaan kan worden met een dagelijkse nulpuntscontrole en een wekelijkse gevoeligheidscontrole. Deze worden uitgevoerd met respectievelijk buitenlucht, aangezogen over een actief kool filter, en met gecertificeerd kalibratiegas en een standaard LML meetnet SO₂-kalibratie-unit.

3.2.6 Koolmonoxide

Koolmonoxide (CO) concentraties worden gemeten met het gasfiltercorrelatie meetinstrument van Thermo Instruments (model 48), gebaseerd op het meetprincipe infrarood absorptie door koolmonoxide in een meetcel. Van deze monitor wordt dagelijks het nulpunt bepaald door lucht aan te laten zuigen over een Palladium katalysator die het aanwezig CO verwijdert door

omzetting naar CO₂. De gevoeligheid wordt wekelijks bepaald met behulp van een gecertificeerd kalibratiegas. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van een standaard meetnet CO-kalibratie-unit.

3.2.7 Zwarte Rook (Aethalometer)

Zwarte Rook is een parameter die afhankelijk is van het meetprincipe dat wordt gehanteerd en waar voor de omzetting naar een massa-eenheid een arbitraire factor wordt gebruikt die afhankelijk is van de samenstelling van het fijn stof. Voor dit verkennend onderzoek is de Aethalometer (Magee Scientific Company, Berkely, CA, USA) gebruikt. De relatie met andere vergelijkbare systemen is voor de toepassing in dit project niet relevant. Bij het hier gehanteerde meetsysteem wordt de verzwakking gemeten van een lichtbundel door een filterband waarop continu fijnstofdeeltjes verzameld worden. De hier gebruikte golflengte ligt op 880 nm (IR). Op regelmatige tijdstippen wordt deze filterband vervangen. De meting wordt op regelmatige tijdstippen uitgevoerd en het meetresultaat wordt omgezet naar een massa concentratie. De Aethalometer heeft zijn eigen PVC aanzuigleiding door een dakdoorvoer op circa 40 cm boven het dak van de meetaanhanger (en daarmee 3,6 meter boven de grond).

3.2.8 Windrichting en snelheid

Er zijn twee verschillende fabrikaten (Thies en EKOPower) gebruikt op de twee meetaanhangers maar beide met het zelfde meetprincipe. Voor de windsnelheid wordt een cup anemometer met drie cups gebruikt en voor de windrichting een uitgebalanceerde windvaan.

3.2.9 Data collectie

Alle meetsignalen, met uitzondering van die van de TEOM 1400 en één van de twee Aethalometers, werden verzameld op een Squirrel datalogger van het fabrikaat Grant. De beide Teom's en de Aethalometer slaan de meetwaarden intern op. De data werden bij bezoeken aan de meetlocaties gedownload op een laptop. De datalogger werd vanuit Bilthoven uitgelezen met behulp van een GSM-modem- en kaart.

4 Modelberekeningen

In het kader van dit onderzoek wordt een tweetal modelberekeningen gebruikt. Op de eerste plaats wordt de intensiteit van de scheepvaart vergeleken met verkeersintensiteit op een snelweg. Daarvoor worden de concentraties die gemeten zijn tijdens de jaarrond campagne en de intensieve campagne vergeleken met concentraties die met het rekenmodel CAR II worden verkregen waarbij de intensiteit van het wegverkeer de variabele is. In een aantal iteraties wordt onderzocht welke verkeersintensiteit vergelijkbare concentraties oplevert.

Verder worden de gemeten concentraties vergeleken met eerder uitgevoerd onderzoek (Hulskotte en Den Boeft, 2004)

4.1 CAR II berekeningen

Voor de berekening van de equivalente verkeersintensiteit op grond van de gemeten concentraties NO₂ is gebruik gemaakt van een spreadsheet versie van CAR II (2005). Hierbij wordt een samenstelling van het verkeer verondersteld vergelijkbaar met de A2 ter hoogte van Breukelen (90,1% lichtverkeer, 3,4% middenzwaar en 6,5% zwaar verkeer, geen bussen), een snelheidstype 'a' (snelweg met gemiddelde snelheid van 90-100 km/uur), wegtype 1 (weg door open terrein met hier en daar een gebouw of bomen binnen een straal van 100 meter) en bomenfactor 1 (hier en daar bomen of in het geheel niet). Voor de selectie van de meteofactor geldt dat de noordoost-oever in regio 5 en de zuidwest-oever in regio 6 ligt. Voor de regiofactor is die van regio 5 gebruikt: 1,4. De emissiefactoren zijn conform de voor CAR II voor 2005 geleverde waarden, inclusief de correctie van 21-3-2006. Als achtergrondconcentratie worden op grond van de GCN kaarten twee waarden aangegeven. Het verschil in de achtergrondconcentratie voor de twee regio's is niet plausibel voor een klein gebied, zoals in dit project. Bovendien is de achtergrondwaarde voor de doelstelling van het LISE project niet relevant. Dit heeft er dan ook toe geleid om alleen de bijdrage van de rivier met het CAR model te berekenen en niet de achtergrondconcentratie in beschouwing te nemen.

4.2 TNO verkeersmodel berekeningen

De modelberekeningen, uitgevoerd door TNO in opdracht van de gemeente Nijmegen (Hulskotte en Den Boeft, 2004), omvatten de schattingen van 4 NO₂ concentratieprofielen loodrecht op de vaargeul, waarvan drie over de Waal.

Voor de modelinvoer van emissies is gebruik gemaakt van een model speciaal ontwikkeld voor het EMS (Emissieregistratie en -Monitoring Scheepvaart) van het ministerie van Verkeer en Waterstaat. De verspreiding is berekend met het TNO verkeersmodel. Profiel 3 ligt ongeveer 2 km benedenstrooms van de LISE locatie. Het aantal passages gedurende de gehanteerde periode (2002) bedraagt 134.930 met een totale emissie van 86.018 kg/jaar equivalent aan de emissie van 138.383 voertuigen wegverkeer per etmaal.

Het equivalente wegverkeer werd verondersteld voor 10% uit vrachtverkeer te bestaan. De gehanteerde achtergrondconcentratie was gebaseerd op Referentiescenario berekeningen van het RIVM voor 2001 en bedroeg voor profiel 3 26,6 µg/m³. De concentraties op een afstand van de as van de Waal overeenkomstig GM1 (250 meter) en MT1 (189 meter) werden geschat op 37 en 38 µg/m³ respectievelijk. Dit komt overeen met circa 10 – 11 µg/m³ bijdrage vanaf de rivier.

5 Resultaten en Discussie

5.1 Jaarrond campagne

5.1.1 NO₂

De periode gemiddelde concentraties (zie Tabel 2) op de meetlocaties op beide oevers, het dichtst bij de rivier (GM1 en MT1) vertonen een goede correlatie in de tijd (Figuur 5). Geringe verschillen tussen beide oevers ontstaan door een niet gebalanceerde windrichting en windsnelheid waardoor de ene meetlocatie langer benedenwinds ligt dan de andere. De concentraties in de perioden 4-8 (20 april 2005 tot en met 7 september 2005) zijn lager dan in de resterende perioden. Dit is mogelijk te wijten aan de grotere dispersie tijdens de zomermaanden.

Tabel 2: *Periode gemiddelde concentraties NO₂ (in µg/m³) op de jaarrond meetlocaties GM01-GM05, MT01-MT04 gemeten met de passieve monstername methode en de periode gemiddelde concentratie op de achtergrond locatie Wekerom (WEK) gemeten met de continue LML methode.*

Locatie	WEK	GM5	GM4	GM3	GM2	GM1		MT1	MT2	MT3	MT4
Afstand (m)		-602	-532	-420	-317	-250		189	256	340	406
Periode nr											
1	23,1	35,7	35,0	35,8	41,8	41,1		44,3	37,4	37,2	38,9
2	20,7	26,4	25,6	27,2	26,5	26,7		32,4	28,5	25,7	26,5
3	19,5	30,1	30,8	31,2	37,1	35,8		31,0	26,5	27,3	26,2
4	14,5	24,9	24,8	22,2	23,1	23,2		27,9	25,0	20,9	21,1
5	13,2	19,7	20,1	20,8	20,1	20,1		23,3	19,1	17,7	19,3
6	14,4	23,0	21,0	20,5	22,0	22,5		23,4	19,3	19,1	18,3
7	10,7	17,2	16,6	15,9	16,5	16,1		20,5	17,5	16,5	17,0
8	15,7	25,2	25,6	25,8	26,0	27,2		27,9	22,5	22,2	23,3
9	18,0	30,9	27,5	28,9	29,4	29,9		34,3	29,2	27,6	29,2
10	26,2	29,8	34,5	28,9	37,3	32,1		27,3	23,2	28,1	25,9
11	30,0	41,5	39,0	37,8	36,9	35,4		36,2	30,4	27,8	31,6
12	27,3	35,8	35,2	37,5	34,8	35,7		36,4	29,9	28,9	32,8
13	31,7	33,1	36,4	34,9	36,7	36,8		35,9	30,3	27,3	31,1
Jaargemiddeld	20,4	28,7	28,6	28,3	29,9	29,4		30,8	26,1	25,1	26,2

Als de achtergrond concentratie op beide oevers zouden de concentraties op de twee locaties het verst verwijderd van de vaargeul moeten gelden. Deze is beduidend hoger dan de concentratie die in Wekerom (LML 738) wordt gemeten. Hoewel verschillende methoden zijn gebruikt zijn deze volledig vergelijkbaar omdat hier de kalibratiefactor is toegepast (zie methode-beschrijving).

Hieruit kan worden geconcludeerd dat in de omgeving van de onderzoekslocatie meer bronnen voor stikstofdioxide actief zijn dat in de omgeving van Wekerom (jaargemiddeld $20,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Verder is het verloop met de afstand tot de rivier op de oever van Gendt duidelijk minder geprononceerd dan die op de Millingen oever. Dit kan duiden op relevante bronnen op enige afstand van de oever landinwaarts aan de Gendtse kant van de rivier. Het verschil in het verloop van de NO_2 en SO_2 concentraties bevestigt dit vermoeden (zie Figuur 6). In hoeverre verkeer in Gendt hiervoor verantwoordelijk is kan in het kader van dit onderzoek niet nader worden onderzocht. Voor de berekening van de bijdrage van de emissies op de rivier is het verschil tussen GM1 en GM3 gehanteerd. Gemiddeld over de 13 perioden bedraagt dit $0,5 \pm 2,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Wordt de hogere concentratie op locatie GM2 in plaats van die op GM1 gehanteerd dan wordt deze waarde $0,9 \pm 2,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

De concentratie op de Millingen locatie MT4, het verst verwijderd van de vaargeul, is hoger dan op de locatie MT3. Het verloop met de afstand (MT1-MT2-MT3) is hier duidelijker geprononceerd dan op de andere oever. De bijdrage van de scheepvaart emissies berekend over het verschil MT1 – MT3 bedraagt gemiddeld over de 13 perioden $5,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. De onzekerheid is niet af te leiden uit de variatie maar vloeit voort uit de onzekerheid van de meetmethodiek. Deze wordt op grond van eerdere onderzoeken geschat op beter dan 20%. De jaargemiddelde en onzekerheid bijdragen is dan $5,2 \pm 1,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

5.1.2 SO_2

De periode gemiddelde concentraties SO_2 zijn weergegeven in Tabel 3. Vergelijking met de NO_2 concentraties op de locaties het dichtsbij de oever (Figuur 5) toont aan dat in de eerste perioden, in verhouding tot de stikstofdioxide, de concentraties SO_2 op een duidelijk hoger niveau liggen dan in de daarop volgende perioden. Aan het eind van het project, in periode 13, is weer een geringe verhoging ten opzichte van NO_2 te zien. De redenen hiervoor zijn niet duidelijk.

De periode gemiddelde niveaus op beide LISE locaties zijn doorgaans lager dan op de achtergrondlocatie Wekerom. Alleen in de eerste drie perioden worden op de LISE locaties vergelijkbare concentraties gemeten. In de laatste twee perioden zijn de verschillen weer minder dan in de resterende perioden.

Het verloop met de afstand tot de vaargeul van de SO_2 concentraties op de Millingen oever is vergelijkbaar met die van NO_2 (Figuur 6). Dit ondersteunt de aanname dat de gehanteerde

methode de bijdrage van de emissies op de rivier geeft. Op analoge wijze als voor NO₂ wordt hier een bijdrage van de emissies op de rivier aan de SO₂ concentraties geschat van 0,1 µg/m³ voor de Millingen oever en 0,2 µg/m³ voor de Gendt oever. Met een onzekerheid in deze resultaten die maximaal op 50% wordt geschat zijn bijdragen 0,2 ± 0,1 µg/m³.

De verhouding van de bijdragen voor SO₂ en NO₂ is circa 4%. Dit komt goed overeen met de verhouding van de emissies van SO₂ en NO_x door de binnenvaart (32:2,1 miljoen kg): 6,6%. (MNP, 2006), waarbij aangetekend wordt dat het verschil mede veroorzaakt wordt doordat in het onderhavige project NO₂ alleen en niet NO (=NO_x - NO₂) wordt gemeten met de passieve monsternamemethode.

Tabel 3: Periode gemiddelde concentraties SO₂ op de jaarrond meetlocaties GM01-GM05 en MT01-MT04 gemeten met de passieve monsternamemethode en de periode gemiddelde concentraties op de LML locatie Wekerom gemeten met de continue LML methode.

Locatie	WEK	GM5	GM4	GM3	GM2	GM1		MT1	MT2	MT3	MT4
Afstand (m)		-602	-532	-420	-317	-250		189	256	340	406
Periode nr											
1	2,8	2,4	2,4	2,9	5,1	4,3		5,4	3,1	3,6	3,3
2	3,5	3,4	3,6	3,9	3,5	4,0		3,8	4,0	3,0	4,3
3	3,0	3,7	3,8	4,3	3,9	3,7		3,5	3,5	3,1	3,6
4	2,2	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0		0,9	0,9	0,9	0,9
5	2,7	1,6	1,4	1,6	1,6	1,5		1,4	1,4	1,4	1,5
6	2,3	1,1	1,1	1,1	1,2	1,0		1,0	0,9	1,0	0,9
7	1,9	1,2	0,9	1,0	0,9	0,9		0,7	0,2		0,9
8	2,2	1,0	1,1	1,0	1,1	1,0		0,9	0,9	0,7	0,7
9	2,6	1,5	1,6	1,5	1,6	1,7		1,2	1,1	1,2	1,2
10	2,4	1,9	2,1	2,0	2,1	2,0		1,7	1,2	1,7	1,8
11	1,9	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3		1,2	1,2	1,3	1,3
12	2,7	2,1	1,6	1,4	2,0	2,0		1,5	1,4	1,4	1,4
13	3,2	2,3	3,2	2,8	2,9	3,1		2,5	2,4	2,1	2,4
Jaargemiddeld	2,6	1,9	1,9	2,0	2,2	2,1		2,0	1,7	1,8	1,9

5.2 Intensieve campagne

Gedurende de projectperiode zijn 2 intensieve campagnes uitgevoerd: juli – augustus 2005 (zomercampagne) en januari – maart 2006 (wintercampagne). In de intensieve campagnes worden uurgemiddelde concentraties gemeten van NO₂, PM₁₀, SO₂, CO en Zwarte Rook (BS). Voor NO₂ en SO₂ worden de waarden opgebouwd uit minuutgemiddelde waarden. De resultaten van de eerste intensieve campagne zijn bepalend geweest voor de opzet van de tweede campagne.

5.2.1 NO₂

In Figuur 7 zijn de concentraties NO_x (als minuutwaarden) weergegeven tijdens een verandering van de windrichting gedurende de zomercampagne. NO_x (NO+ NO₂) wordt hier weergegeven omdat de omzetting van NO naar NO₂ mogelijk nog niet is voltooid als de luchtmassa bij de inlaat van de meetopstelling is gekomen. Gedurende deze korte periode komt eerst Millingen en daarna Gendt benedenwinds te liggen. De verhoging van de concentraties ten gevolge van de emissies van passerende schepen is duidelijk te zien en bereikt op sommige moment niveaus van meer dan 100 µg/m³ en benadert of overschrijdt de reukgrens van 0,05 ppm (NIH-NLM, 2006). De duur van de verhoging is ongeveer 5-10 minuten. De hoogte van de pieken wordt bepaald door de emissiesterkte van de bron (het schip), de afstand van de vaarroute van het schip op de Waal tot de meetopstelling en de atmosferische condities. De eerste twee factoren variëren snel, de verdunning zal een trager verloop vertonen. Als Millingen benedenwinds ligt keert tussen de passages van schepen de concentratie terug naar de achtergrondwaarde zoals die op de andere oever wordt gemeten. In het andere geval, als Gendt benedenwinds ligt, blijft de concentratie enkele ppb NO_x boven dit niveau. Dit verschil is in overeenstemming met de hogere achtergrondconcentratie (het niveau op de verst verwijderde meetlocatie van de jaarrondcampagne) die eerder is geconstateerd. In Figuur 8 is het concentratieverloop gegeven gedurende een vergelijkbare periode tijdens de wintercampagne. De concentratiepieken zijn ook hier duidelijk afgetekend en tot circa een factor 1,5 hoger dan gedurende de zomerperiode. Deze verhoging zal worden veroorzaakt door de mindere dispersie tijdens de winterperiode maar ook door het grotere vermogen dat door de scheepsmotoren moet worden geleverd door de scheepvaart stroomopwaarts ten gevolge van de hogere stroomsnelheden. Daarentegen zullen schepen stroomafwaarts minder vermogen behoeven te leveren. Ook hier leidt een verandering van de windrichting tot een verschuiving van de bijdrage van de emissies op de rivier van de Gendt oever naar de Millingen oever. Het zijn deze kortdurende verhogingen waaruit de jaargemiddelde bijdrage is opgebouwd.

De berekening van de jaargemiddelde bijdrage van de emissies op de rivier is gebaseerd op het verschil in de concentraties op beide oevers van de rivier tijdens meteorologische condities waarbij een van de oevers expliciet benedenwinds ligt en de andere bovenwinds. Hiervoor worden meetsets van uurwaarden geselecteerd volgens het schema weergegeven in Figuur 9. Bij een windrichting tussen 45 en 180 graden ligt de Gendt oever benedenwinds, bij een windrichting tussen 280 en 35 graden ligt de Millingen oever benedenwinds. Door

belemmeringen van het 'zicht' van de inlaat van de meetopstelling of doordat de windrichting parallel aan de Waal ligt is het overige deel van de windroos niet bruikbaar. De verdere selectie is gebaseerd op de beschikbaarheid van meetgegevens van NO₂ van beide oevers en van de LML738 locatie. De verdeling over de verschillende klassen wordt geïllustreerd met de verdeling in de periode van 1 april 2005 tot en met 31 maart 2006: Gendt benedenwinds 30%, Millingen benedenwinds 31%, overig 39%. De bijdrage van de emissies op de rivier wordt dan berekend door de bovenwinds gemeten concentratie af te trekken van de benedenwinds gemeten concentratie.

Om te komen tot een jaargemiddelde bijdrage wordt verondersteld dat vooral de meteorologische omstandigheden de variatie bepalen, immers de scheepvaartintensiteit blijkt gedurende het hele jaar min of meer gelijk en verder wordt verondersteld dat de samenstelling van het scheepvaartverkeer ook constant is. Daarnaast zal de verhoging van de emissie tijdens perioden met hogere stroomsnelheden een rol spelen. Aanwijzingen van de hoogte van de gemeten kortdurende pieken duidt op een verhoging van maximaal 50% (zie Figuur 7 en 8). Deze verhoging is het cumulatieve effect van de mindere dispersie en het hogere vermogen, en daarmee de hogere emissies van schepen stroomopwaarts. In de praktijk zal dit minder zijn doordat schepen stroomafwaarts minder zullen uitstoten.

Door nu het gemiddelde (en de statistische verdeling) van de concentraties NO₂ gemeten op de regionale achtergrondlocatie LML738 gedurende succesvolle metingen op de LISE locaties te vergelijken met concentraties op LML738 over het gehele jaar kan een verhoudingsgetal worden berekend dat ook voor de bijdrage aan de concentraties op de LISE meetlocaties door de emissies op de rivier geldt. Voor de overige stoffen waarvoor geen metingen beschikbaar zijn op LML738 is de bijdrage op analoge wijze berekend gebruikmakend van het NO₂ verhoudingsgetal. Voor PM₁₀ is apart een verhoudingsgetal berekend omdat wordt verondersteld dat het tijds patroon van de verschillende bronnen voor PM₁₀ dusdanig verschilt van de bronnen voor de gasvormige stoffen

Na afronding van de eerste intensieve meetcampagne (juli en september, 2005) is de bijdrage op de hierboven beschreven wijze berekend. Voor de berekening van het verhoudingsgetal ten behoeve van de berekening van het jaargemiddelde zijn de gemeten concentraties in de periode oktober 2004 – september 2005 gebruikt. De resultaten zijn vermeld in Tabel 4.

Tabel 4: Bijdrage benedenwinds van emissies op de Waal aan de concentraties (in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) van NO_2 , PM_{10} en de componenten die ter ondersteuning zijn gemeten, CO , SO_2 en BS . De waarden zijn opgebouwd uit in totaal ca. 1200 waarnemingen waarvan 30% van de waarnemingen gedaan zijn bij een windrichting die buiten de selectie vielen.

stof	percentielen			periode gemiddeld	variatie (std dev)	factor LML738	jaargemiddeld per oever
	25	50	75				
NO_2	2,7	6,4	10,9	7,3	10,4	1,6	4,1
PM_{10}	-5,2	0,0	5,9	0,1	10,0	1,4	0,1
CO	-21,0	10,4	49,0	16,3	61,0	1,6	49
BS	-0,01	0,01	0,25	0,13	0,28	1,6	0,2
SO_2	-0,7	0,6	2,0	0,7	1,8	1,6	1,0

De jaargemiddelde bijdrage aan de NO_2 concentraties door de emissies op de rivier wordt op grond van de zomer meetcampagne geschat op $4,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Dit is in overeenstemming met de bijdrage die gevonden wordt met de jaarrond campagne metingen op de Millingen oever ($5 \mu\text{g}/\text{m}^3$). De berekende bijdrage voor CO en SO_2 ondersteunen de rekenmethodiek en de aanname dat de geselecteerde stoffen (vooral) door de scheepvaart worden geëmitteerd. De intensieve meetcampagne werd voor NO_2 herhaald in de winter (januari – maart 2006). De meetgegevens voor NO_2 van beide campagnes zijn apart en gecombineerd verwerkt zoals hierboven beschreven. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 5. De bijdrage tijdens de LISE perioden is gegeven als het totaal voor beide oevers. De jaargemiddelde bijdrage is gelijk (50:50) verdeeld over beide oevers.

De bijdrage tijdens de winterperiode is lager dan tijdens de zomer. Dit is in tegenstelling tot de bevindingen in de jaarrond campagne waarbij de concentratieverhogingen tijdens de winterperiode hoger zijn (Figuur 8). Mogelijk dat hierbij de meer dan proportioneel lagere emissies van schepen stroomafwaarts een rol spelen. Informatie om deze observatie verder te analyseren ontbreekt.

Voor de berekening van de jaargemiddelde bijdrage werden de resultaten van LML738 over de periode 1-4-2005 tot en met 31-3-2006 geselecteerd. Voor de laatste maanden, januari, februari en maart, werden voorlopig gevalideerde data gebruikt. Hierdoor kunnen mogelijk kleine verschillen optreden, die echter niet significant zullen zijn. Het voordeel om deze periode te selecteren is dat beide campagnes (zomer en winter) met dezelfde data van LML738 berekend kunnen worden. De jaargemiddelde bijdrage aan de NO_2 concentraties wordt geschat op 3 tot $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en komt overeen met de eerder gevonden waarden tijdens de jaarrond campagne (Millingen oever: $5,2 \pm 1,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Tabel 5: Bijdrage van de emissies op de rivier aan de NO₂ concentraties (µg/m³) voor de beide intensieve campagnes afzonderlijk en gecombineerd, berekend op grond van het gemiddelde en van de verdelingsparameters (percentielen 25, 50 en 75). N geeft het aantal metingen waarvoor aan alle voorwaarden (beschikbaarheid en windsector) werd voldaan.

Parameter	LML 738 Jaar	LML 738 LISE	Millingen	Gendt	Factor	Bijdrage LISE	Bijdrage Jaar
ZOMERCAMPAGNE							
<i>N</i>	8515	1210	1210	1210		763	
Gemiddeld	16,3	12,2	20,0	21,0	1,3	7,3	4,9
Perc25	8,0	6,0	12,7	11,5	1,3	2,7	1,8
Perc50	14,0	10,0	18,1	17,4	1,4	6,4	4,5
Perc75	22,0	16,0	24,3	25,8	1,4	11,0	7,6
WINTERCAMPAGNE							
<i>N</i>	8515	1472	1497	1497		897	
Gemiddeld	20,5	23,9	31,3	34,3	0,9	5,8	2,5
Perc25	9,5	11,6	19,2	22,2	0,8	1,2	0,5
Perc50	17,0	19,6	29,2	32,9	0,9	6,1	2,6
Perc75	28,5	33,5	40,6	44,7	0,9	10,1	4,3
BEIDE SEIZOENEN							
<i>N</i>	8515	2682	2707	2707		1660	
Gemiddeld	20,5	18,6	26,3	28,3	1,1	6,5	3,6
Perc25	9,5	8,0	15,5	15,1	1,2	2,2	1,3
Perc50	17,0	14,3	22,7	24,7	1,2	6,2	3,7
Perc75	28,5	24,4	33,9	38,5	1,2	10,5	6,1

5.2.2 PM₁₀

Voor PM₁₀ wordt tijdens de zomercampagne geen meetbare bijdrage gevonden (berekend gemiddeld 0,1 µg/m³, mediaan 0,0 µg/m³, 25-75 percentiel waarden -5,2 en +5,9 µg/m³, zie Tabel 4). Op grond van dit resultaat zijn voor de tweede campagne, in de winter, geen bijdragen meer berekend. De aard van PM₁₀, met zijn grote variëteit aan bronnen en de daarmee gepaard gaande variatie in de verschillende bijdragen, maakt dat de bijdrage van verbrandingsemissies in de temporele variatie wegvallen. Deze bevinding is in overeenstemming met de jaarlijkse geregistreerde emissies van binnenvaart voor 2004 (MNP, 2006):

NO_x: PM₁₀=32:1,4 (miljoen kg), in verhouding tot de NO₂ bijdrage (5,2 µg/m³) is de PM₁₀ bijdrage 0,2 µg/m³.

Verbrandingsprocessen emitteren vooral in de fijnere fracties van fijn stof (PM_{2,5} en Ultrafijn). Dat er wel deeltjesvormige luchtverontreiniging wordt uitgestoten door de scheepvaart op de rivier wordt aangegeven door de geringe maar positieve bijdrage voor BS (zie Tabel 4). De asymmetrie in de BS verdeling (25p/50p : 50p/75p) duidt erop dat er substantiële verschillen

bestaan tussen de emissies van de passerende vaartuigen. De verdelingen (percentielen) van de overige stoffen zijn duidelijk meer symmetrisch.

5.3 *Pseudo-wegverkeer intensiteitberekeningen*

De intensiteiten in eenheden wegverkeer zijn berekend met CAR II voor de LISE locaties en gegeven in Tabel 6. Voor de Gendtse oever zijn geen berekeningen uitgevoerd door de onzekerheid over de invloed van andere bronnen. Voor MT1 zijn de berekeningen uitgevoerd met de geschatte bijdrage aan NO₂ in de jaarrond campagne. Met de resultaten van de intensieve meetcampagne kan geen onderscheid worden gemaakt tussen de verschillende oevers; hier wordt een gemiddelde bijdrage gebruikt met als consequentie een gemiddelde afstand tot het midden van de vaargeul. De geschatte intensiteit pseudo-wegverkeer wordt geschat op 106.000 ± 24.000 voertuigen per etmaal. Dit komt overeen met ongeveer circa 75% van de intensiteit die door Hulskotte en Den Boeft, (2002) is berekend op grond van vergelijking van emissies. De in dit project geschatte bijdragen NO₂ zijn ongeveer 50% van die door Hulskotte et al. worden berekend.

Tabel 6: Pseudo-wegverkeer intensiteit gebaseerd op de vastgestelde bijdrage NO₂ van de scheepvaart emissies op de locaties van de jaarrond campagne en de intensieve campagnes. Specificaties berekeningen zie 'CAR II berekeningen'.

Locatie	Afstand midden vaargeul (m)	Bijdrage $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Intensiteit voertuigen/etmaal
MT1, Jaarrond	190	5,2 ± 1,0	102.000 (80.000 - 126.000)
Gendt/Millingen Intensief	275	4,0 ± 1,0	109.000 (79.000 – 141.000)

6 Conclusies en aanbevelingen

De geselecteerde locatie bleek bruikbaar voor het onderzoek naar de invloed van scheepvaart emissies op de lokale omgeving waardoor het onderzoek succesvol kon worden uitgevoerd. De scheepvaartintensiteit ter plekke van het onderzoek behoort tot de hoogste in Nederland en bedraagt circa 15 passages per uur.

Nadere analyse van de monitoringresultaten toonde aan dat er een geringe maar meetbare invloed bestond van bronnen aan de noord-oever van de Waal.

Met de gevolgde onderzoeksbenaderingen was het mogelijk om de invloed van de emissies op de rivier te kwantificeren in termen van bijdrage aan de concentraties op beide oevers. De ondersteunende metingen van SO₂, en in mindere mate die van Zwarte Rook en CO bevestigden dat de berekende bijdragen afkomstig waren van de emissies op de rivier.

Voor stikstofdioxiden wordt een bijdrage van 4-5 µg/m³ berekend equivalent aan een verkeersintensiteit van 106.000 (± 25%) voertuigen per etmaal op een snelweg met een overeenkomstige wagenparksamenstelling. Binnen de onzekerheidsmarge is dit in overeenstemming met de resultaten van modelberekeningen die voor dwarsdoorsneden van de Waal ten oosten van Nijmegen zijn gemaakt.

Voor PM₁₀ werd geen duidelijke meetbare bijdrage aan de concentraties in de directe omgeving van de rivier vastgesteld (resultaat 0,1 ± 5 µg/m³). Vergelijking van de geregistreerde emissies van NO₂ en PM₁₀ indiceren inderdaad een geringe bijdrage van 0,2 µg/m³ in vergelijking met de in dit project vastgestelde bijdrage van NO₂. Echter, in het totaal van PM₁₀ is dit niet meer waarneembaar door de grote variatie van de bijdrage van andere bronnen van PM₁₀.

Weliswaar wordt deeltjesvormige luchtverontreiniging in de kleine fractie uitgestoten zoals wordt aangegeven door een (geringe) bijdrage aan de Zwarte Rook concentratie die in dit project wordt vastgesteld. Voor verbrandingsprocessen is dit in lijn met de verwachting.

De emissies op een rivier vertonen in vergelijking met die op een snelweg een duidelijk verschil. De NO₂-bijdrage van een enkel vaartuig is in het concentratieverloop op de oever

duidelijk waarneembaar en bedraagt gedurende korte tijd (circa 5-10 minuten) 100-200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in tegenstelling tot de concentraties langs drukke verkeerswegen, die geleidelijker verlopen en minder extreme concentratiepieken vertonen. De maximale niveaus langs de rivier op de locaties van het project (circa 200 meter van het midden van de rivier) bereiken in enkele gevallen de reukgrens.

Samenvattend kan geconcludeerd worden dat emissies op intensief bevaren routes een substantiële bijdrage leveren aan de NO_2 concentraties in de nabije omgeving maar niet aan de PM_{10} niveaus. Overige vaarroutes van de Nederlandse binnenwateren zullen minder bijdragen proportioneel met de lagere intensiteit. Om de observaties uit dit onderzoek te bevestigen wordt aanbevolen om het onderzoek op een andere locatie met een duidelijk andere samenstelling van de binnenvaart uit te voeren waarbij alleen de bijdrage aan stikstofdioxide wordt onderzocht.

Literatuur

CBS, 2006.

<http://statline.cbs.nl/StatWeb/>

Folkert R.J.M., H.C. Eerens H.C., Odijk M., Van Breugel P.B. en Van Bree L., 2002.
Realisering van EU-NO2 normen in Nederland, Implementatie van 1st EU-dochterrichtlijn.
RIVM rapport 725601006

Harms, L. en Willigers J., 2002.

Binnenvaart en Zeescheepvaart. Volume- en ruimtelijke ontwikkelingen
RIVM rapport 773002024

Hulskotte, J.H.J. en Den Boeft, J., 2004.

Emissie en luchtkwaliteit van NO2 en fijn stof tengevolge van het scheepvaartverkeer bij
Nijmegen.
TNO-MEP-R 2004/533

Kasifa S.C. , 2002.

Scheepvaart en Milieu. Technische en beleidsmatige mogelijkheden voor emissiereductie.
RIVM rapport 773002019

Krochmal en Kalina, 1997.

A method of nitrogen dioxide and sulphur dioxide determination in ambient air by the use of
passive samplers and ion chromatography.
Atmospheric Environment, **31** (20), pp3473-3479

MNP, 2006.

Milieucompendium. *Tabel: Emissies naar lucht door verkeer en vervoer, 2004*
<http://www.mnp.nl/mnc>

Putten EM van ; Bloemen HJTh ; Meulen A van der, 2002.

Betrouwbaarheid van PM10-metingen in Nederland: een samenvattend overzicht
RIVM rapport 650010026.

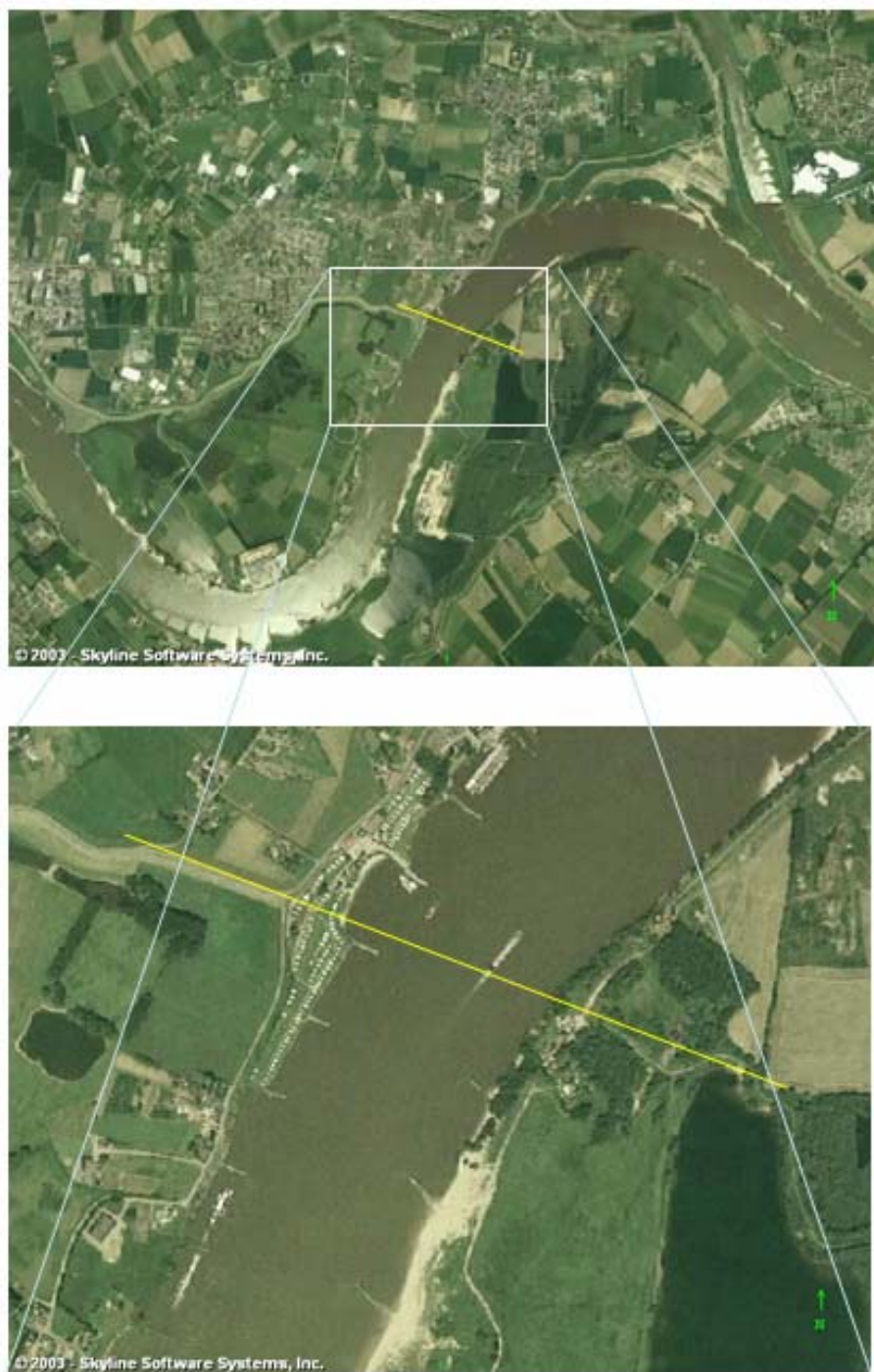
NIH, NLM, 2006.

National Institute of Health, National Library of Medicine,
Hazardous Chemicals and Occupational Diseases,
<http://hazmap.nlm.nih.gov/>

Uiterwijk W., Fokkert, E.M., Van Putten E.M. en Bloemen H.J.Th., 2004.

Stikstofoxiden overschrijdingen in stedelijke gebieden Arnhem.
RIVM briefrapport LVM, januari 2004.

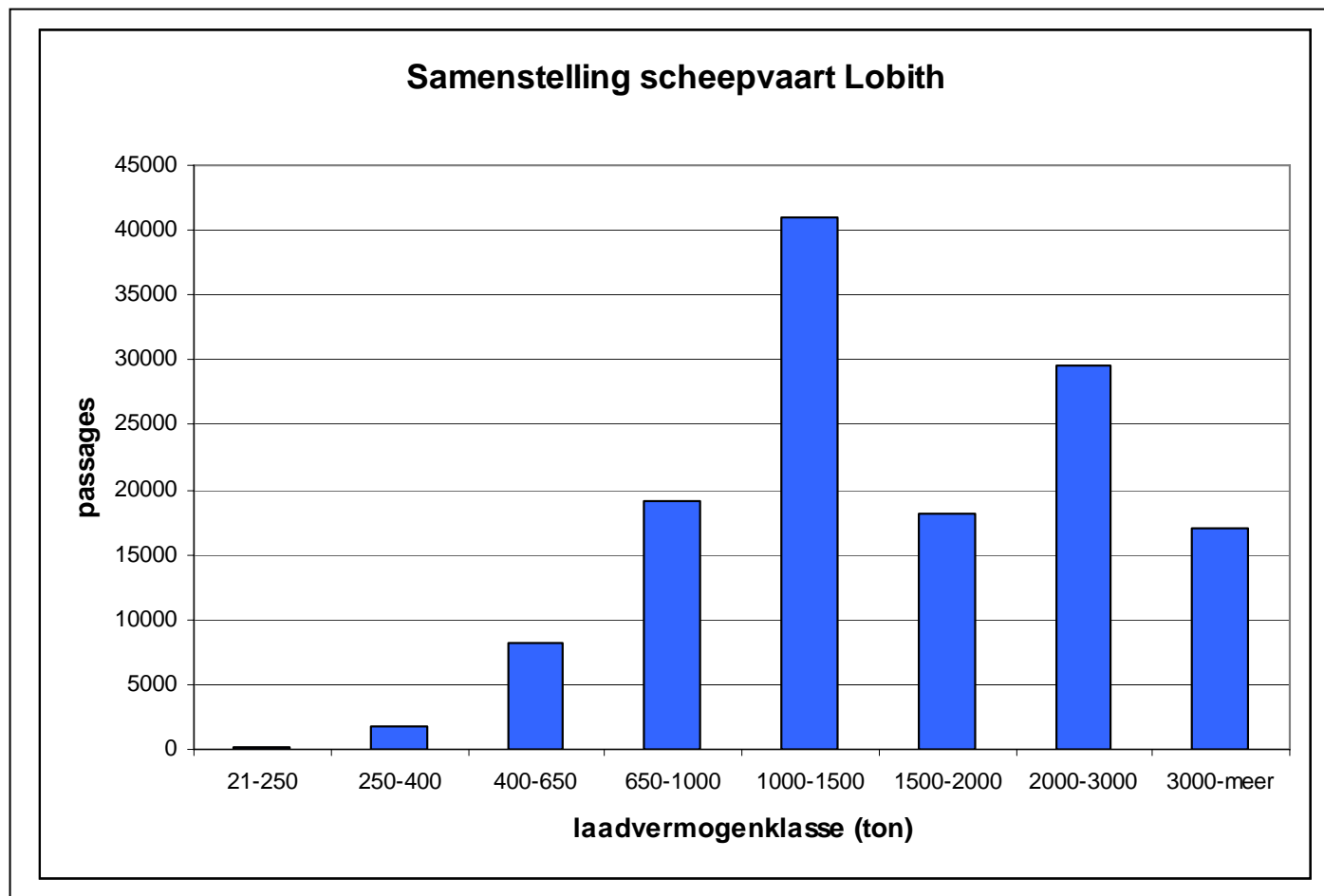
Figuren



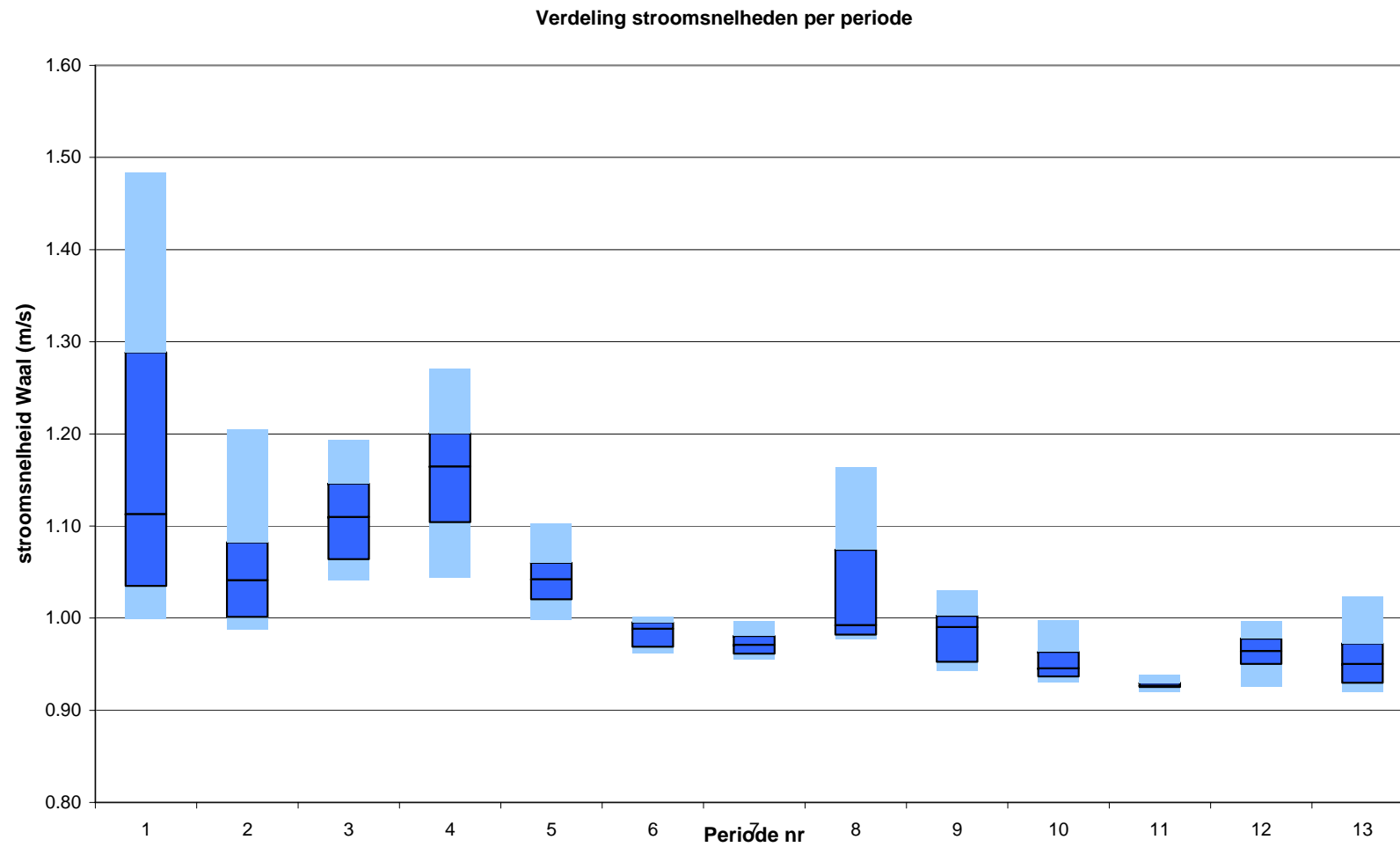
Figuur 1: Onderzoekslocaties aan de Waal bovenstrooms van Nijmegen ter hoogte van Gendt en Millingen



Figuur 2: Meetlocaties voor de continue metingen van NO₂ (MT01-MT04 (Millingen) en GM01 – GM05 (Gendt) en de locaties voor de intensieve metingen in het centrum van beide cirkels.

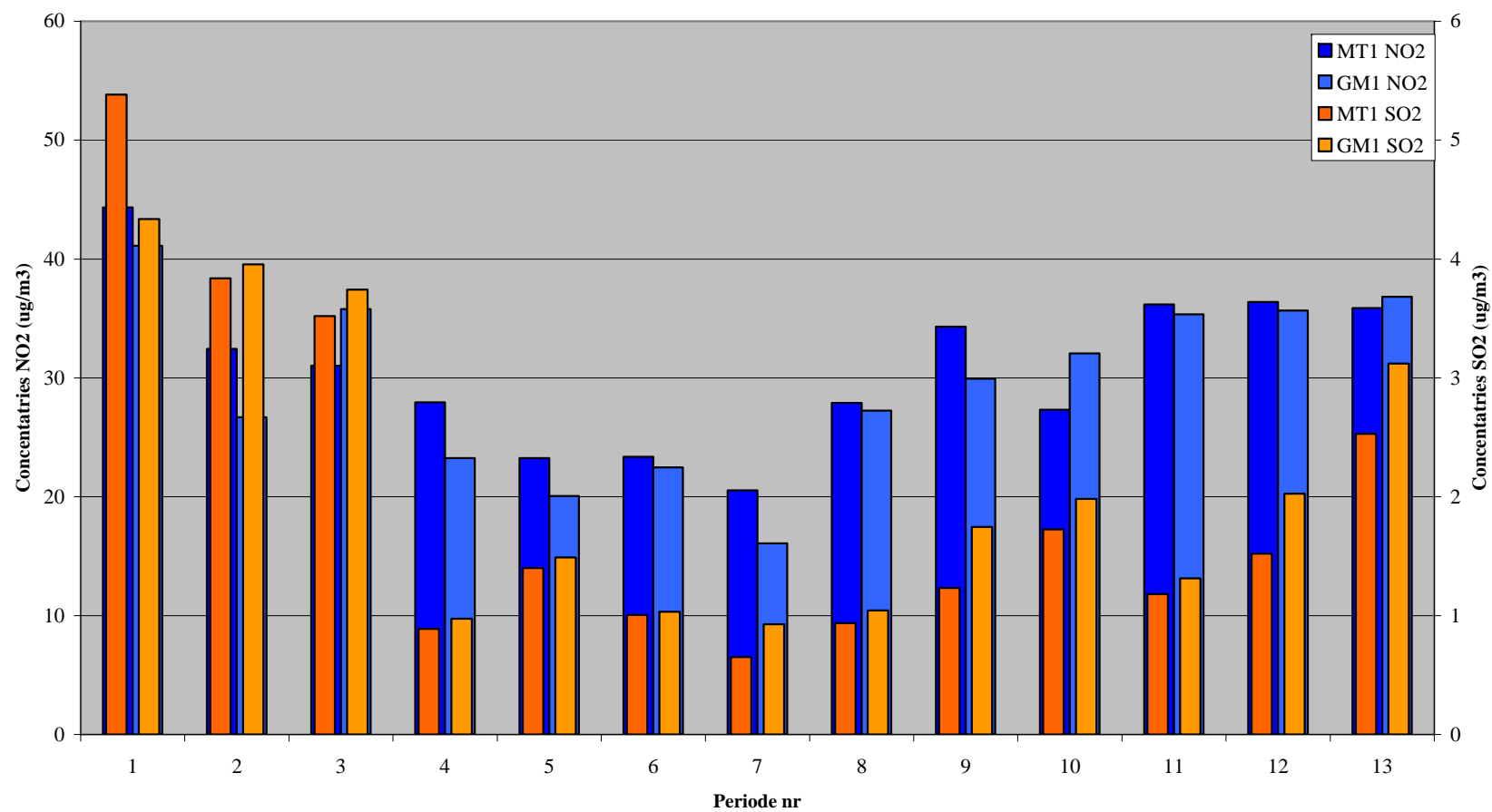


Figuur 3: Samenstelling scheepvaartverkeer bij Lobith

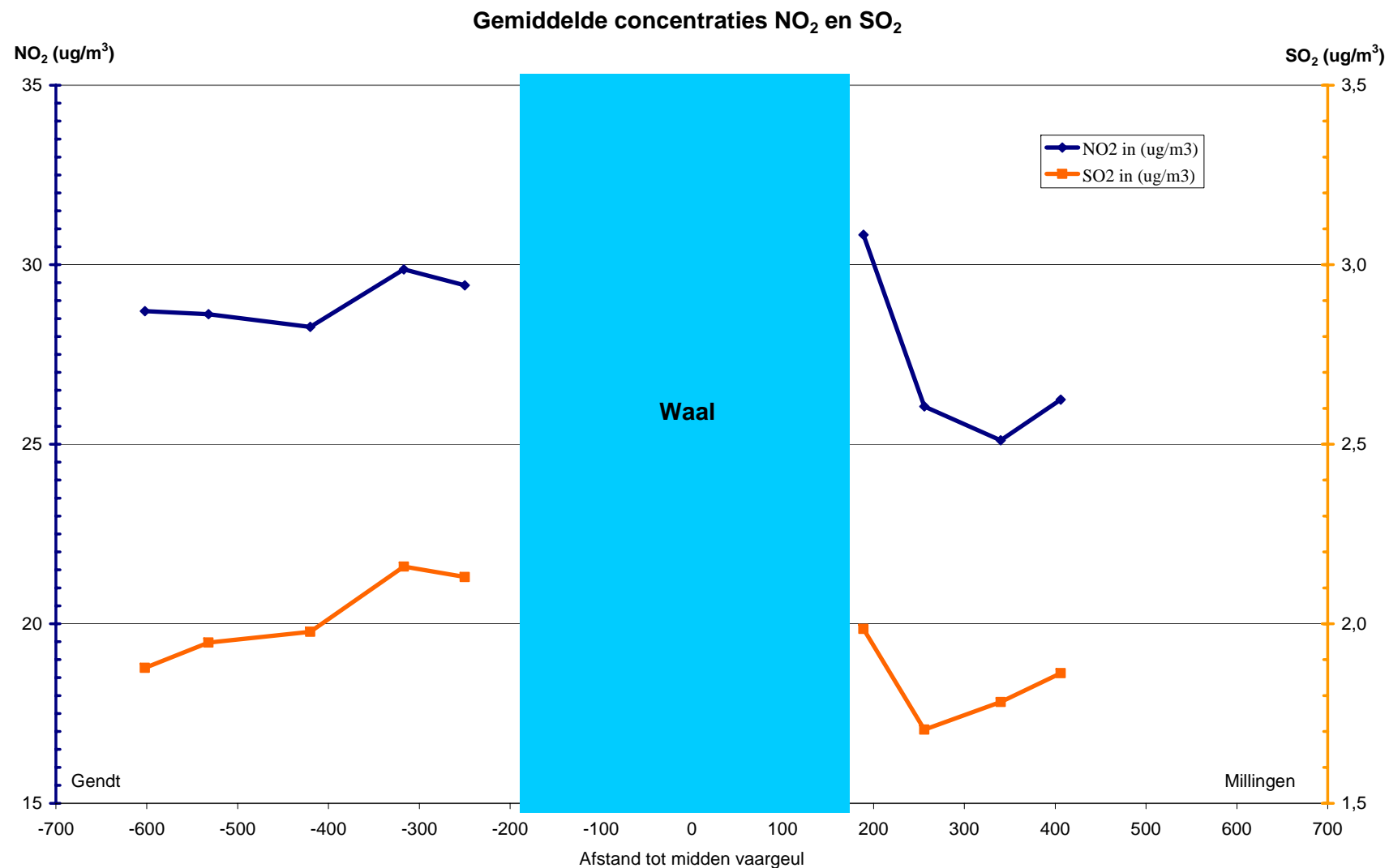


Figuur 4: Verdeling van de stroomsnelheden van de Waal ter hoogte van de meetlocaties. Weergegeven zijn de kwartielen (0-25, 25-50, 50-75 en 75-100).

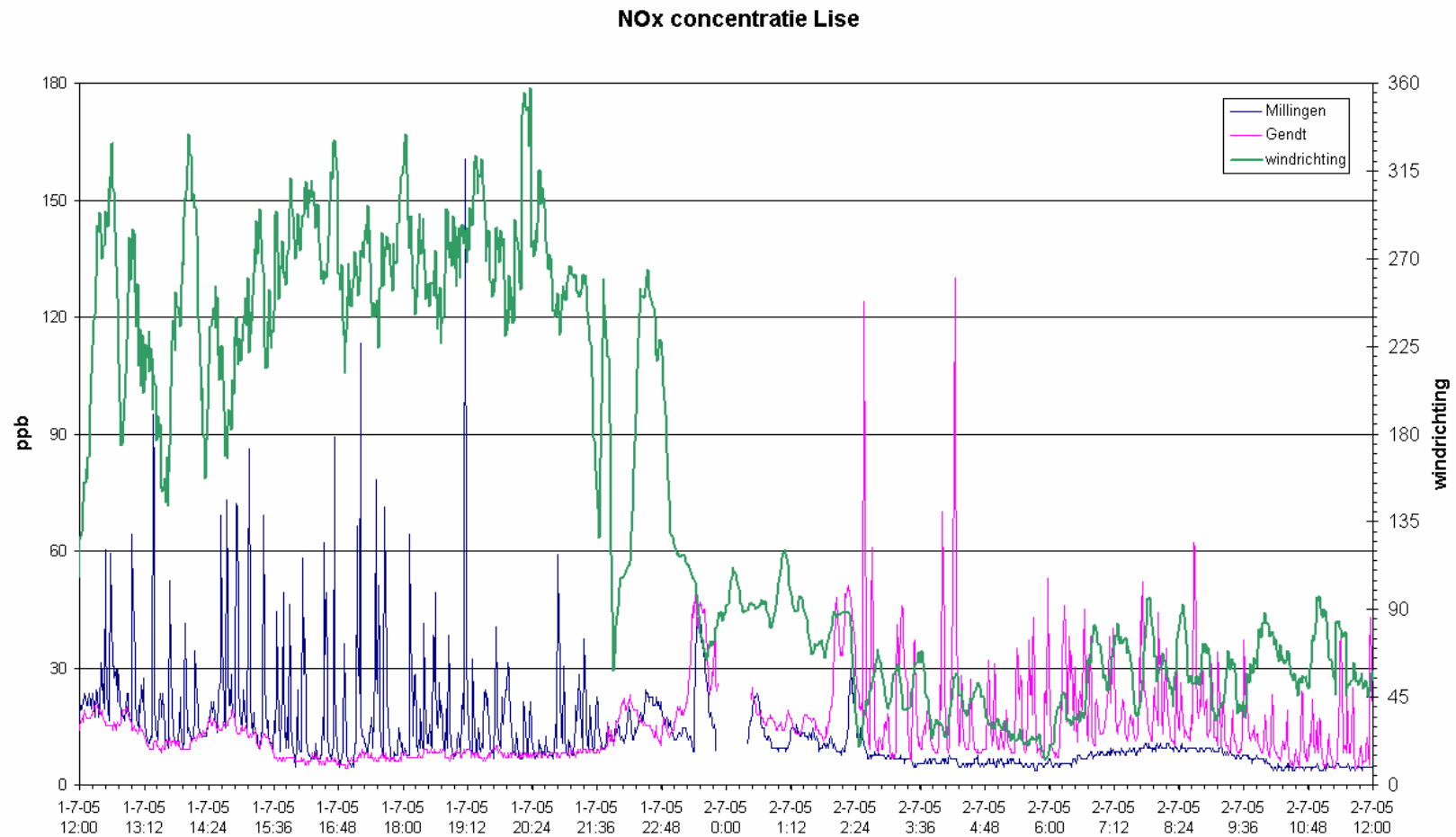
Periode gemiddelde concentraties



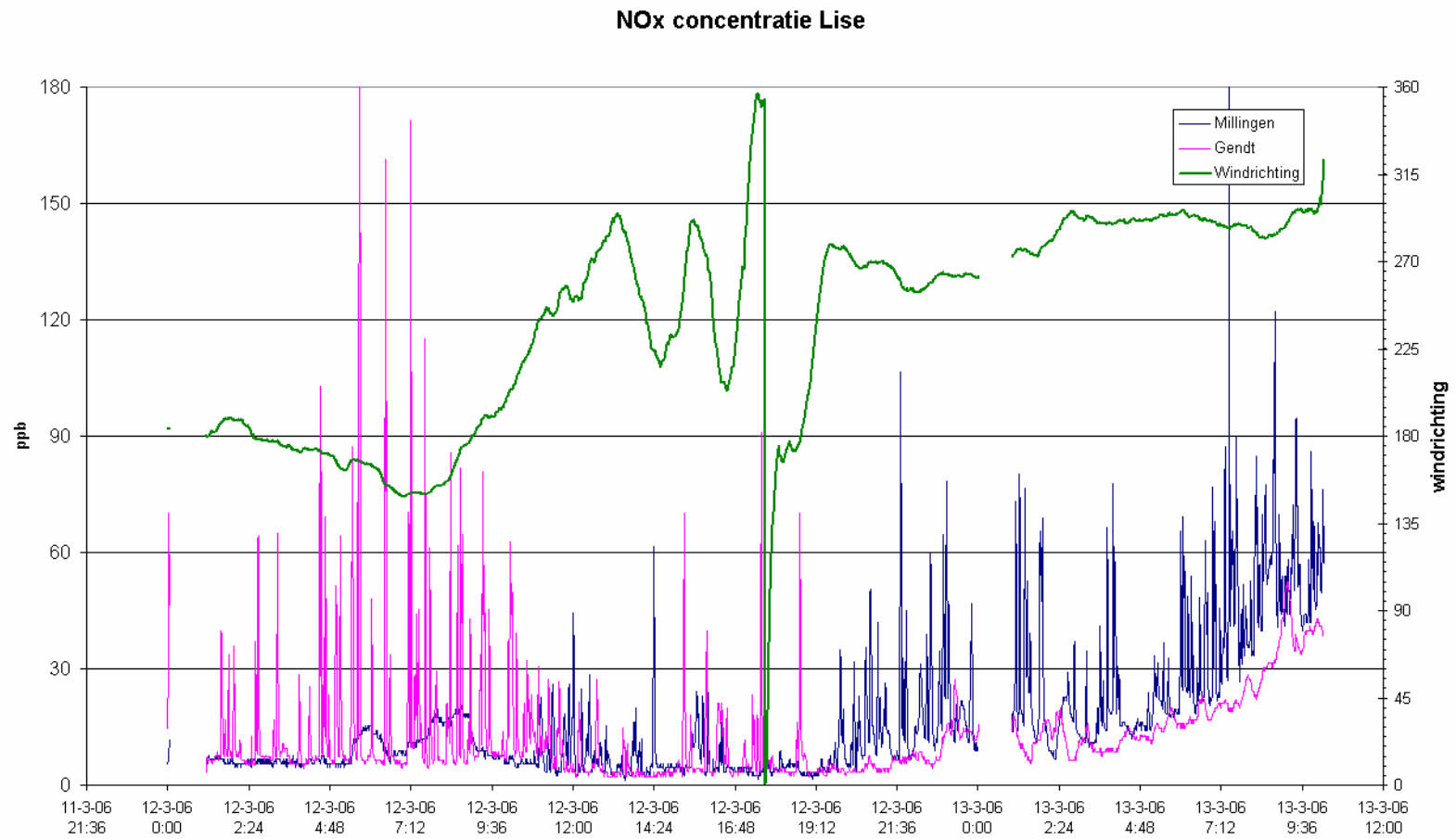
Figuur 5: Periode gemiddelde NO₂ en SO₂ concentraties voor beide oevers Gendt (GM1) en Millingen (MT).



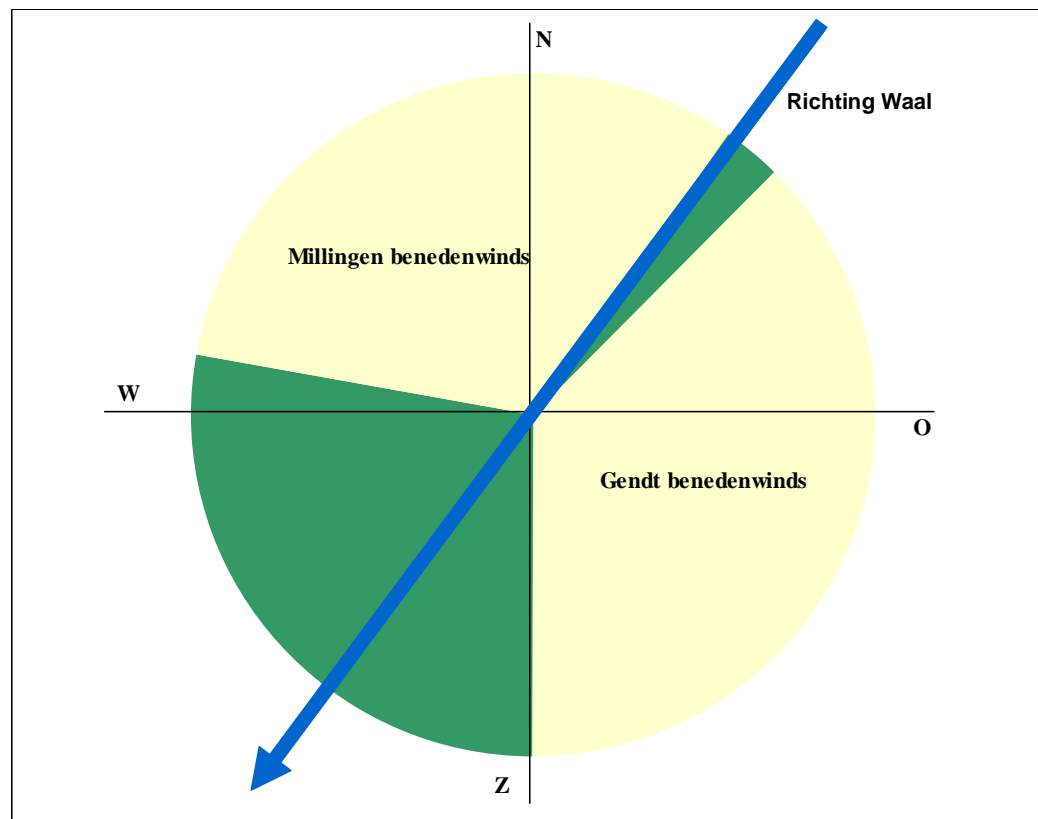
Figuur 6: Jaargemiddelde concentraties van NO₂ en SO₂ (ug/m³) en de schatting van de bijdrage van de rivier aan de concentraties op beide oevers.



Figuur 7: Verloop concentraties op beide Waal oevers in juni 2005 voor en na een verandering van de windrichting waarbij eerst Millingen en daarna Gendt benedenwinds van de rivier ligt.



Figuur 8: Verloop concentraties op beide Waal oevers op 12 -13 maart 2006 voor en na een verandering van de windrichting waarbij eerst Gendt en daarna Millingen benedenwinds van de rivier ligt



Figuur 9: Selectieschema berekening bijdrage emissies op de rivier aan de concentraties benedenwinds van de Waal (intensieve campagne)