

Laan van Westenenk 501
Postbus 342
7300 AH Apeldoorn

www.mep.tno.nl

T 055 549 34 93
F 055 549 32 01
info@mep.tno.nl

TNO-rapport

R 2004/229

**Opzet en test van een Real Time URBIS
in de Rijnmond**

Datum	Mei 2004
Auteurs	V. Spaubek
Projectnummer	35390
Trefwoorden	URBIS Luchtkwaliteit Rijnmond
Bestemd voor	TNO, DCMR

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor onderzoeksovereenkomsten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst. Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

Voorwoord

In het kader van mijn studie Technische Milieukunde aan de Hogeschool van Utrecht heb ik de afgelopen vier maanden een afstudeeronderzoek verricht voor DCMR en TNO-MEP. Het was een leuke ervaring om bij twee bedrijven tegelijk aan het werk te zijn. Hoewel er gezamenlijk één doel werd nagestreefd, bestonden er hier en daar toch andere ideeën over de manier waarop dit gerealiseerd moest worden. Uiteindelijk is er een eindproduct tot stand gekomen waar iedereen tevreden mee is.

Ik wil graag een aantal mensen bedanken voor hun hulp. Allereerst natuurlijk de bedrijfsbegeleiders, Sef van den Elshout en Joost Wesseling, voor de tijd die ze voor me hadden en hun antwoorden op al mijn vragen; Rien van Stigt en Laurens Steijn, voor de begeleiding vanuit de opleiding; mevrouw Sikkema voor de adviezen bij de verslaglegging; De heer van der Marel (E.ON), de heer Molenaar (dS+V), de heer Hooijmeijer (Ministerie V&W) en de heer Weekhout (Ministerie V&W) voor het ter beschikking stellen van data en bureau Lucht van de DCMR en de afdeling MA van TNO voor de gezelligheid!

Vera Spaubek



Inhoud

Voorwoord.....	2
Samenvatting	4
1. Inleiding.....	5
2. Grid en concentratieklassen	7
2.1 Grid	7
2.2 Concentratieklassen	9
3. Berekeningen	10
3.1 Emissies	10
3.1.1 Gevoeligheid emissievariaties	10
3.1.2 Verkeer	11
3.1.3 Inwoners	12
3.1.4 Scheepvaart	13
3.1.5 Industrie.....	14
3.2 Meteorologie	15
3.3 NO _x → NO ₂ conversie	16
4. Beschrijving Real Time URBIS	18
5. Validatie.....	20
6. Toepassing 2002 en 2003	23
7. Conclusies en discussie	25
Bijlagen	
Bijlage 1	Werkgebied DCMR met locatie meetpunten
Bijlage 2	Dataverantwoording
Bijlage 3	Grafieken verkeersemissies
Bijlage 4	Ruimtelijke weergave gevoeligheid emissievariaties
Bijlage 5	Seizoensgemiddelden 2002

Samenvatting

TNO heeft een model ontwikkeld, URBIS, dat voor iedere locatie in een groot gebied of in een stad de jaargemiddelde concentraties van bijvoorbeeld NO₂ (stikstofdioxide) of PM₁₀ (fijn stof, deeltjes kleiner dan 10 µg) kan berekenen. Dit gebeurt op basis van jaargemiddelde emissies van onder andere de industrie, lokale bronnen en emissies van verkeer. Er wordt voor een grid van 25 bij 25 meter gerekend met een set emissiefactoren uit 2001 en met een gemiddelde meteorologie. In samenwerking met de DCMR is het model in 2002/2003 toegepast in het Rijnmondgebied.

Het doel van deze afstudeeropdracht was om het URBIS-model zo aan te passen dat er ieder uur een voorspelling van de concentraties NO₂ in de Rijnmond gedaan kan worden, een zogenaamd Real Time URBIS (RTU).

De rekentijd bij een grid van 25 bij 25 meter was te lang voor een real time toepassing. Daarom is het grid aangepast tot cellen van 100 bij 100 meter. Hierdoor is de rekentijd verkort met een factor 16. Voor de verschillende bronsoorten zijn de emissiepatronen in de tijd onderzocht. Vooral de verkeersemisies hebben grote invloed op de concentraties in het gebied, deze zijn daarom het meest gedetailleerd in kaart gebracht. Voor de toekomst is de scheepvaart een punt van aandacht, daar zijn nu betrekkelijk weinig gegevens over bekend. Voor de omrekening NO_x naar NO₂ is een formule van TNO getest voor deze toepassing. Op basis van de testresultaten kan geconcludeerd worden dat deze conversie in combinatie met ijking op drie referentiestations in het gebied geschikt is voor RTU.

Het RTU model is gevalideerd op basis van vijf onafhankelijke meetstations. De berekende jaargemiddelden wijken slechts enkele microgrammen af van de gemeten jaargemiddelden. Ook de uurlijkse berekende waarden komen goed overeen met de metingen. RTU is op dit moment geschikt om een overzicht van de luchtkwaliteit wat betreft NO₂ te geven. De volgende verfijning van het model zal zich vooral richten op de gebieden rond de snelweg en de vaarwegen.

RTU werkt als volgt: Aan de hand van de meteorologische situatie en de emissiepatronen op een bepaald uur wordt een NO_x-veld bepaald. Met de actuele ozonconcentratie wordt voor het hele gebied de bijdrage NO₂ berekend. Het gemiddelde verschil tussen de gemeten NO₂-waarden en de berekende bijdragen NO₂ op drie meetstations in het gebied wordt beschouwd als de achtergrond. In feite wordt hiermee het model ieder uur geijkt.

Het eindresultaat van dit onderzoek, Real Time URBIS, is een model dat een gebiedsdekkend beeld geeft van de concentraties NO₂ in de Rijnmond voor willekeurig te kiezen tijdstippen of tijdreeksen voor een te kiezen locatie. RTU voldoet hiermee aan de doelstelling zoals hierboven genoemd.

1. Inleiding

Op de website van de DCMR Milieudienst Rijnmond, www.dcmr.nl, zijn op ieder uur de gemeten concentraties van diverse stoffen beschikbaar. Ook is er de website www.luchtkwaliteit.rotterdam.nl, waar een uurlijkse presentatie van de luchtkwaliteit rond de ringweg van Rotterdam te zien is. Er wordt in het Rijnmond gebied dus al serieus aandacht geschonken aan de voorlichting van de bevolking over de actuele luchtkwaliteit in Rotterdam. Toch krijgen alleen mensen die in de buurt van een meetpunt of rond de ringweg wonen, een idee van de luchtkwaliteit in hun omgeving. De vragen die de DCMR hierover kreeg waren de aanleiding om minimaal voor NO₂ een gebiedsdekkend beeld te maken dat uurlijks geactualiseerd wordt.

TNO heeft een model ontwikkeld, URBIS, dat voor iedere locatie in een groot gebied of in een stad de jaargemiddelde concentraties van bijvoorbeeld NO₂ of PM₁₀ kan berekenen. Dit gebeurt op basis van jaargemiddelde emissies van onder andere de industrie, lokale bronnen en emissies van personenauto's en vrachtwagens. Er wordt voor een grid van 25 bij 25 meter gerekend met een set emissiefactoren uit 2001 en met een gemiddelde meteorologie. In samenwerking met de DCMR is het model in 2002/2003 toegepast in het Rijnmondgebied. In bijlage 1 wordt een overzicht van het Rijnmondgebied gegeven met daarin de locaties van de meetstations. Voor meer informatie over het model zie het rapport behorende bij de pilotstudy URBIS Rotterdam Rijnmond (Wesseling, 2003a).

De DCMR wil op het internet aan de hand van dit model op ieder moment de inwoners van de Rijnmond kunnen laten zien wat de lokale luchtkwaliteit is. Dit afstudeeronderzoek is erop gericht het URBIS-model zo aan te passen dat het geschikt is voor een uurlijkse presentatie van de actuele concentraties NO₂ op iedere plaats in de Rijnmond. TNO draagt hierbij zorg voor de aanpassingen in het model aan de hand van de antwoorden op de volgende deelvragen. De DCMR verschaft data en interpretatie hiervan.

Deelvragen bij het huidige onderzoek

1. Wat is in de aanpassing van het gebruikte rekengrid een goed compromis tussen enerzijds de rekentijd en anderzijds de bruikbaarheid van de afbeelding?
2. Hoe groot moeten de uiteindelijke concentratieklassen worden om recht te doen aan de nauwkeurigheid van het model terwijl er een betekenisvol en attractief plaatje overblijft?
3. Hoe veranderen de emissies in de tijd?
4. Op welke manier kan gebruik worden gemaakt van actuele meteorologiesituaties?
5. Hoe ziet een uur-tot-uur NO_x → NO₂ omrekening er voor deze specifieke toepassing uit?
6. Hoe zijn actuele meetresultaten te gebruiken als ijking voor gemodelleerde concentraties in de hele Rijnmond?
7. Op welke manier kan het model gevalideerd worden?

Werkwijze/Leeswijzer

De deelvragen zijn op chronologische wijze opgesteld. Ook de beantwoording gebeurde min of meer in deze volgorde, en daarmee ook de rapportage.

De start van dit onderzoek was beantwoording van de eerste deelvraag, de aanpassing van het grid. Dit was een eis voor alle verdere berekeningen met URBIS. Samen met de keuze voor de concentratieklassen wordt dit besproken in hoofdstuk 2. De berekeningen op basis waarvan het model aangepast is, worden besproken in hoofdstuk 3. Dit hoofdstuk bevat de emissiepatronen, de rol van meteorologie en de omzetting van NO_x naar NO_2 . Het daaropvolgende hoofdstuk 4 beschrijft de werking van het Real Time URBIS. De validatie van het Real Time URBIS wordt behandeld in hoofdstuk 5. In hoofdstuk 6 wordt de toepassing voor gepasseerde jaren getoond. De conclusies en aanbevelingen worden besproken in hoofdstuk 7.

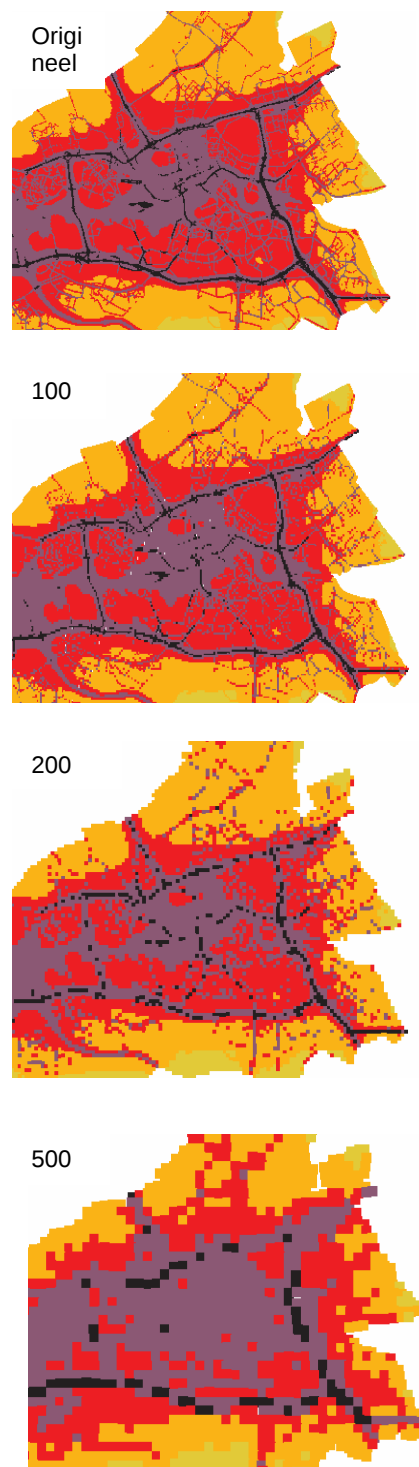
2. Grid en concentratieklassen

Voor de praktische uitvoering van dit onderzoek was het noodzakelijk te beginnen met het beantwoorden van de eerste twee deelvragen. Dit hoofdstuk behandelt achtereenvolgens de aanpassing van het grid en de keuze voor de concentratieklassen.

2.1 Grid

In het oorspronkelijke URBIS-model wordt gerekend voor een grid van 25 bij 25 meter. Dit levert een zeer gedetailleerd plaatje op van de concentraties in het Rijnmondgebied. Voor een Real Time URBIS is de rekentijd bij dit grid met ruim anderhalf miljoen receptorpunten echter aan de hoge kant. Daarbij komt dat het bestand waarop de grafische presentatie gebaseerd is niet te groot mag zijn in verband met de tijd die het kost om het plaatje te downloaden. Het is voor dit onderzoek gewenst om binnen een uur een volledige URBIS berekening uit te kunnen voeren en presenteren. Om dit te bereiken moet het aantal receptorpunten drastisch verminderen. Dit moet op zodanige wijze gebeuren dat de rekentijd acceptabel is, maar er wel een bruikbaar plaatje overblijft met in grote lijnen dezelfde informatie als het origineel. De schaal moet ook recht doen aan de te verwachten nauwkeurigheid. Door de vergroving van het grid wordt als het ware de onnauwkeurigheid van het model ruimtelijk vastgelegd.

Om te kijken welke schaal voldoet aan de eerste twee bovengenoemde criteria, is er een test gedaan met rekengrids van 100x100 meter, 200x200 meter en 500x500 meter. Hiervoor zijn de volgende stappen gezet:



*Figuur 1
Selecties uit het gebiedsplaatje met
de verschillende grids*

1. Met behulp van een GIS-systeem zijn op verschillende schalen de concentratieverdelingen in het gebied gemaakt. Dit is op twee manieren uitgevoerd. De plaatjes voor de 100x100 meter en 200x200 meter grids zijn gemaakt door op de rasterpunten de karakteristieken van het dichtstbijzijnde URBIS receptorpunt over te nemen en daarna een nieuwe URBIS-berekening uit te voeren. Het plaatje met het 500x500 meter grid is gemaakt door van alle oorspronkelijke punten die in een vlak van 500 bij 500 meter vallen, het gemiddelde van de concentraties te nemen.
2. Om te controleren of de informatie behouden blijft bij een vergroving van het grid zijn de tabellen met receptorpunten en de bijbehorende concentraties gekoppeld aan gegevens van het CBS over wijken en aantallen inwoners. Het aantal mensen dat bij een bepaalde concentratie woont, is in tabel 1 op een rijtje gezet. De verwachting was dat door het middelen het aantal mensen in uiterste klassen minder zou worden. Dit is inderdaad zichtbaar in de tabel, vooral bij het 500x500 meter grid.

Tabel 1 Aantal inwoners bij concentratieklassen, absoluut en relatief-cumulatief

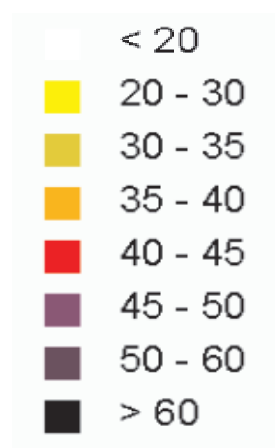
Grid Klasse ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Absoluut				Relatief- cumulatief			
	Origineel				Orig.			
	25	100	200	500	25	100	200	500
20 ≤ C < 22	9				0,00	0,00	0,00	0,00
22 ≤ C < 24	3.753	2.355	2.132	443	0,00	0,00	0,00	0,00
24 ≤ C < 26	17.956	17.714	17.400	7.485	0,02	0,02	0,02	0,01
26 ≤ C < 28	16.953	22.129	23.114	19.025	0,03	0,04	0,04	0,03
28 ≤ C < 30	27.718	20.917	21.402	21.165	0,06	0,06	0,06	0,04
30 ≤ C < 32	58.914	66.790	63.743	48.530	0,11	0,11	0,11	0,09
32 ≤ C < 34	103.782	110.323	108.313	65.366	0,20	0,21	0,21	0,15
34 ≤ C < 36	124.118	132.653	134.495	97.671	0,31	0,32	0,32	0,24
36 ≤ C < 38	137.137	153.686	152.912	138.094	0,43	0,46	0,46	0,37
38 ≤ C < 40	156.195	187.822	189.239	134.254	0,56	0,62	0,62	0,49
40 ≤ C < 42	147.850	163.176	173.009	166.255	0,69	0,76	0,77	0,65
42 ≤ C < 44	103.925	94.233	92.608	132.928	0,78	0,85	0,85	0,77
44 ≤ C < 46	87.356	64.984	65.385	138.026	0,86	0,90	0,91	0,90
46 ≤ C < 48	60.653	45.243	40.938	53.732	0,91	0,94	0,95	0,95
48 ≤ C < 50	38.249	28.552	27.279	26.498	0,95	0,97	0,97	0,97
50 ≤ C < 52	21.676	14.118	12.396	16.523	0,96	0,98	0,98	0,99
52 ≤ C < 54	12.330	8.022	7.163	8.875	0,97	0,99	0,99	1,00
54 ≤ C < 56	9.436	6.022	7.713	2.959	0,98	0,99	0,99	1,00
56 ≤ C < 58	6.667	2.971	2.062		0,99	1,00	0,99	1,00
58 ≤ C < 60	5.886	2.418	2.522		0,99	1,00	1,00	1,00
60 ≤ C < 62	4.523	1.983	2.146		1,00	1,00	1,00	1,00
62 ≤ C < 64	1.694	1.102	1.179		1,00	1,00	1,00	1,00
64 ≤ C < 66	611	75	128		1,00	1,00	1,00	1,00
66 ≤ C < 68	85	114	121		1,00	1,00	1,00	1,00
68 ≤ C < 70	5				1,00	1,00	1,00	1,00

Conclusie

Het 500x500 meter grid is duidelijk te grof. Op het plaatje (zie figuur 1) is het weggennet niet meer goed zichtbaar en te veel hoge waarden zijn door het middelen weggevallen in de tabel. Voor het 100x100 meter en 200x200 meter grid geldt dat het aantal inwoners bij een bepaalde concentratie in beide gevallen in grote lijnen overeenkomt met het origineel. Wat betreft de presentatie, het plaatje op beeldschermgrootte zoals in figuur 1, geldt dat beide plaatjes de situatie goed weergeven. De visuele aantrekkelijkheid van het 100x100 meter grid is echter groter. De uiteindelijke keuze werd bepaald door de rekestijd in combinatie met de attractiviteit van de afbeelding. Met 70.000 punten bleek de rekestijd van het 100x100 meter grid minder dan twintig minuten te zijn en de te downloaden grafische bestanden zijn relatief klein. Het 100x100 meter grid voldoet hiermee aan de gestelde criteria. Alle verdere berekeningen in dit onderzoek zijn uitgevoerd met het 100x100 meter grid.

2.2 Concentratieklassen

De keuze van de concentratieklassen speelt een belangrijke rol in de presentatie. Het is in principe mogelijk om kleine klassen van bijvoorbeeld 1 of 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ te laten zien. Dit leidt echter tot een groot aantal klassen en geeft een verkeerde indruk wat betreft nauwkeurigheid. Het andere uiterste is een klein aantal klassen van 10 of meer $\mu\text{g}/\text{m}^3$. In dat geval zou er weinig ruimtelijke variatie zijn en ook in de tijd ziet ieder plaatje er ongeveer hetzelfde uit. De hiernaast weergegeven klassen zijn een compromis tussen deze twee uitersten. Deze legenda is op alle URBIS-plaatjes in dit rapport van toepassing.



Figuur 2 Legenda

3. Berekeningen

Voor de beantwoording van de derde tot en met de zesde deelvraag zijn er berekeningen en analyses uitgevoerd. Hiervoor is gebruik gemaakt van veel data van verschillende instanties. Voor een overzicht zie bijlage 2. Achtereenvolgens worden in dit hoofdstuk de emissies, de meteorologie en de omrekening van NO_x naar NO_2 besproken.

3.1 Emissies

Het oorspronkelijke URBIS rekent met jaargemiddelde emissies, de resultaten zijn uiteraard ook jaargemiddeld. Aangezien de emissies van de verschillende bronnen niet het hele jaar door gelijk zijn, moeten voor een Real Time URBIS de emissiepatronen in de tijd bekend zijn. Er is vooralsnog gezocht naar een relatief uurpatroon ten opzichte van het jaargemiddelde. De berekening van URBIS voor een specifiek uur wordt dan gedaan met de schalingsfactor voor de emissie behorende bij dat uur en met de actuele meteorologie. In een later stadium kan het model nog meer real time worden gemaakt door gebruik te maken van actuele verkeersstellingen zoals dit reeds gebeurt voor de zones rond de snelweg op www.luchtkwaliteit.rotterdam.nl. De programmering van het Real Time URBIS is zo opgebouwd dat dit relatief eenvoudig te wijzigen is.

3.1.1 Gevoeligheid emissievariaties

Voor iedere bronsoort is bekeken hoe groot de invloed van variaties in de emissies is. Dit bepaalt het belang van de nauwkeurigheid van de emissiepatronen. Om hiervan een indruk te krijgen is per bronsoort een berekening gemaakt met een factor 1,5 verhoging van de jaargemiddelde emissie. De meteorologie was jaargemiddeld en steeds ongewijzigd. In tabel 3 staan de getalsmatige resultaten van deze berekeningen, in bijlage 3 de ruimtelijke weergave per bronsoort.

Tabel 2 Verhoging concentratie ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) per bronsoort bij 50% meer emissies dan het jaargemiddelde

	Min	Max	Gemiddelde
Verkeer	<0,5	12,1	2,3
Inwoners	<0,5	6,9	2,1
Scheepvaart	<0,5	6,8	1,6
Industrie	<0,5	3,9	0,7

Zowel uit de tabel als uit de ruimtelijke weergaven blijkt dat het verkeer van grote invloed is op de concentraties in het gebied. Het zwaartepunt ligt natuurlijk rond de

ringweg, maar tot het uiterste westen is de invloed zichtbaar. Ook variaties in de inwonersemissies zijn zichtbaar in bijna het hele gebied, echter de absolute veranderingen in de concentraties zijn minder groot. Dit geldt ook voor de scheepvaart-emissies, hoewel deze enkel op de waterwegen plaatsvinden, zijn ze zichtbaar tot op grote afstand. De toch al kleine veranderingen door industrie-emissies zijn vooral lokaal merkbaar.

3.1.2 Verkeer

Het verkeer draagt in grote mate bij aan de concentraties in het Rijnmondgebied en de emissies fluctueren sterk in de tijd. Het is daarom belangrijk om het emissiepatroon van het verkeer goed in kaart te hebben. Voor dit doel is een dataset met uurlijkse NO_x -emissies van de A13 geanalyseerd (Wesseling et al, 2003). Uit de cijfers bleek dat er nauwelijks onderscheid is tussen patronen in verschillende maanden in het jaar, zie bijlage 4. Uitzondering hierop zijn augustus en december, waarschijnlijk wegens vakantie. Dit effect wordt niet meegenomen in het Real Time URBIS-model omdat het effect onvoorspelbaar is en omdat vakanties niet altijd op hetzelfde tijdstip vallen. Echter, zodra een volledig Real Time URBIS gerealiseerd is met actuele verkeersaantallen, worden deze effecten automatisch meegenomen. Zolang het model nog geen echte verkeerstellingen gebruikt of de feestdagen kan herkennen zullen er op die dagen in de ochtend dus wellicht iets te hoge concentraties langs de snelwegen worden voorspeld.

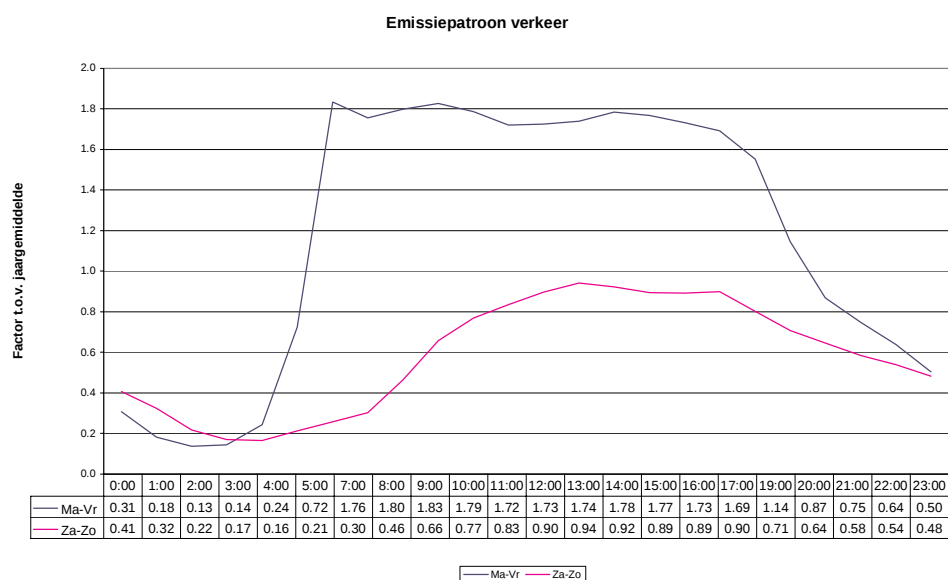
Er is een duidelijk verschil waarneembaar tussen emissiepatronen op werk- en weekenddagen. In het weekend is er veel minder verkeer en komt het later op gang. Er is geen duidelijke ochtendspits te zien, dit wordt veroorzaakt door de verhouding personenauto's en vrachtwagens en de bijbehorende emissiefactoren. De daling na de ochtendspits in het aantal personenauto's wordt wat betreft emissies gecompenseerd door een toename van het vrachtverkeer, dat dan pas op gang komt.

Niet alleen voor de snelwegen, maar ook voor enkele binnenstedelijke wegen (Erasmusbrug, Willemsbrug en 's Gravendijkwal) zijn de emissies per uur bekend. Door middel van tellussen in de weg is per uur het aantal voertuigen bekend (data beschikbaar gesteld door de Dienst Stedenbouw Wonen en Verkeer Rotterdam). Jaarlijks worden er ook visuele tellingen uitgevoerd met per uur een verdeling over de verschillende categorieën motorvoertuigen. Aan de hand van emissiefactoren uit de CAR-handleiding (Teeuwisse, 2003) zijn hier ook patronen bij gezocht. Vooral voor werkdagen geldt dat het patroon duidelijk verschilt van het patroon op de snelweg. In de stad zijn wel een duidelijke ochtend- en avondspits te zien.

Het absolute aantal voertuigen op de snelweg is een factor vier groter dan op een aantal geteste wegen in de binnenstad. Bij een gewogen gemiddelde van de totale emissies hebben de binnenstedelijke bijdragen geen wezenlijke invloed op het tota-

le patroon. Voor een volgende versie van URBIS is het wel de moeite waard om de patronen van de snelwegen en de binnenstedelijke wegen apart in te voeren. Voor de emissiepatronen op binnenstedelijke wegen zie bijlage 4.

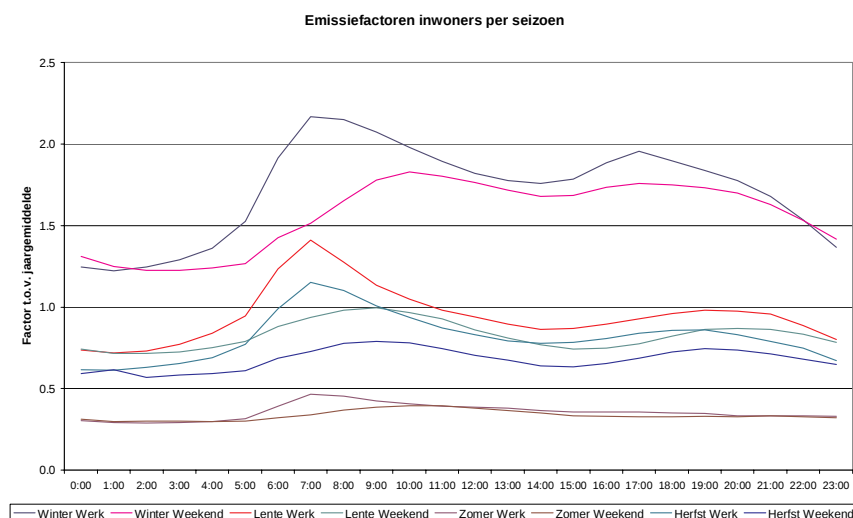
Het bovenstaande heeft geleid tot het volgende gebruikte emissiepatroon voor verkeer:



3.1.3 Inwoners

De bronsoort inwoners bestaat in dit geval uit de categorie HDO (Handel, Diensten en Overheid) uit het doelgroepenbeleid van de overheid en uit bijdragen uit de rest van Nederland en het buitenland. Het emissiepatroon wordt grotendeels bepaald door de tijdstippen waarop er aardgas verbrand wordt. Het spreekt voor zich dat er in de zomer minder gestookt wordt dan in de winter. De vraag naar aardgas is sterk afhankelijk van de temperatuur, maar ook van het tijdstip. Bij een bepaalde temperatuur in de herfst wordt er minder hard gestookt dan in de lente bij die temperatuur. Ook het tijdstip van de dag speelt een rol. 's Ochtends bijvoorbeeld wordt niet alleen het huis verwarmd, maar wordt er ook gedoucht. Om inzicht te krijgen in deze relaties is een dataset geanalyseerd met daarin de warmtevraag en de temperatuur op ieder uur van 2003. De gegevens over de warmtevraag zijn afkomstig van E.ON, de leverancier van de stadsverwarming in delen van Rotterdam.

In onderstaande grafiek is goed te zien welke invloeden te onderscheiden zijn.



Figuur 4 Relatieve emissies inwoners t.o.v. jaargemiddelde per seizoen

Met lineaire regressie is getracht de relatieve emissie ten opzichte van het jaargemiddelde als functie van de temperatuur (°C) en soorten tijdstippen te beschrijven. Onderstaande formule is hiervan het resultaat.

$$\text{Relatieve emissie} = 1,24 - 0,06(\text{Temperatuur}) + C_{\text{dag}} + C_{\text{dagdeel}} + C_{\text{seizoen}}$$

Tabel 3 Constanten voor formule inwonersemissies

			C				C
Dag	ma-vr	Werk	0	Seizoen	mrt-mei	Lente	0,03
	Za-zo	Weekend	-0,11		jun-aug	Zomer	0
Dagdeel	23-5u	Nacht	0		sep-okt	Herfst	-0,03
	6-15u	Dag	0,57		nov-feb	Winter	0,43
	16-22u	Avond	0,35				

3.1.4 Scheepvaart

Voor de Rijnmond zijn er over scheepvaartemissies betrekkelijk weinig gegevens bekend. Navraag bij het Ministerie van Verkeer en Waterstaat leidde tot de conclusie dat de scheepvaart in het Rijnmondgebied 24 uur per dag doorgaat. Er zijn geen stops in het weekend of 's nachts. Dit wordt bevestigd door SO₂-metingen langs de vaarweg die overdag evenveel pieken vertonen als 's nachts. (Kummu, 2004) Mogelijk is er wel een daling van de emissies tijdens vakanties, maar er zijn geen cijfers beschikbaar die dit kunnen bevestigen. Op basis van deze informatie wordt er

in Real Time URBIS gerekend met een continue emissie. Sinds 1 januari 2004 wordt er volgens het gemeentelijk havenbedrijf gewerkt met radartelling. Als dit voldoende betrouwbaar blijkt, kan in de toekomst voor scheepvaart ook een patroon worden afgeleid of kunnen die gegevens wellicht real time gebruikt worden.

3.1.5 Industrie

Deze categorie bevat alleen de grote industriële bronnen met constant veronderstelde emissies (Voerman, 2004) Over het algemeen zijn dit bedrijven met hoge schoorstenen. De bijdrage aan de concentraties in het Rijnmondgebied zelf is dan ook niet zo groot. Eventuele afwijkingen van het patroon zullen niet of nauwelijks in de berekeningen te zien zijn, zie ook 3.1.1.

Conclusie

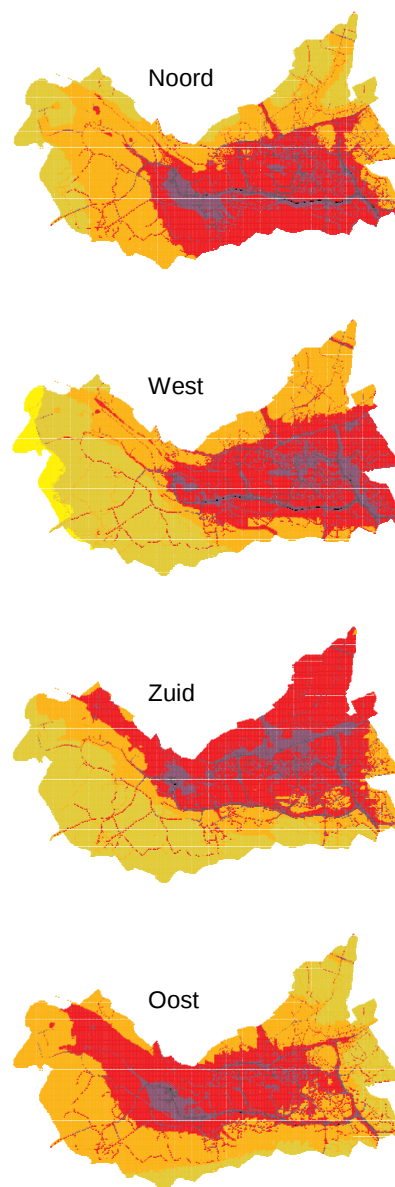
De emissiepatronen van de categorieën verkeer en inwoners zijn in deze studie het best in kaart gebracht. Dit zijn ook de twee categorieën met de sterkst variërende patronen en grootste invloed op de concentraties in het gebied. Aannemende dat de scheepvaartemissies minder dan 50% variëren, blijft de invloed van het ontbreken van gegevens waarop het scheepvaartpatroon gebaseerd kan worden beperkt. Voor de toekomst is de scheepvaart een punt van aandacht. Tevens kunnen er nog verbeteringen aangebracht worden in de verkeersemisies door ook de binnenstedelijke wegen bij de patronen te betrekken en het snelwegpatroon niet alleen op de A13 te baseren, maar ook op de andere snelwegen rond Rotterdam of door over te gaan op echte tellingen in plaats van relatieve, historische patronen.

3.2 Meteorologie

Meteorologie speelt een grote rol in de verspreiding van stoffen in de lucht. Zo wordt er bij (zuid)westenwind relatief schone zeelucht aangevoerd in het Rijnmondgebied en bij oostenwind juist meer vervuilde lucht, zie figuur 5. De windrichting bepaalt natuurlijk ook in welke richting vervuilingen verspreid worden vanaf de bron. Ook de windsnelheid is van belang, bij hoge snelheden worden emissies sterk verdund en zijn de concentraties in het hele gebied lager dan bij lage snelheden.

Omdat er in het oorspronkelijke URBIS gerekend wordt met een jaargemiddelde meteorologie en er geen mogelijkheid was voor het doorrekenen van specifieke meteorologische situaties heeft TNO de programmering van het model aangepast. Met deze aanpassing kunnen verschillende combinaties van windrichtingen en windsnelheden doorgerekend worden. Afhankelijk van de invoer is het niet alleen mogelijk om uurwaarden voor een bepaald punt of gebied te berekenen, maar ook een jaargemiddelde. Deze toepassing maakt RTU ook geschikt om voorgaande jaren te berekenen voor bijvoorbeeld rapportages in het kader van het Besluit luchtkwaliteit. Voor voorbeelden zie H6: Toepassing 2002 en 2003.

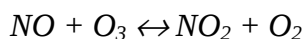
Er zijn nog meer meteorologische variabelen die van invloed zijn op de concentratie NO_2 , zoals de hoogte van de menglaag en de temperatuur. Deze kunnen in de huidige versie van Real Time URBIS niet afzonderlijk worden ingevoerd. Door de hoogte van de achtergrondconcentratie te bepalen aan de hand van actuele meetresultaten, zie H5, worden deze en andere beperkingen gecompenseerd.



Figuur 5
Concentraties op een willekeurig gekozen uur, berekend met verschillende windrichtingen

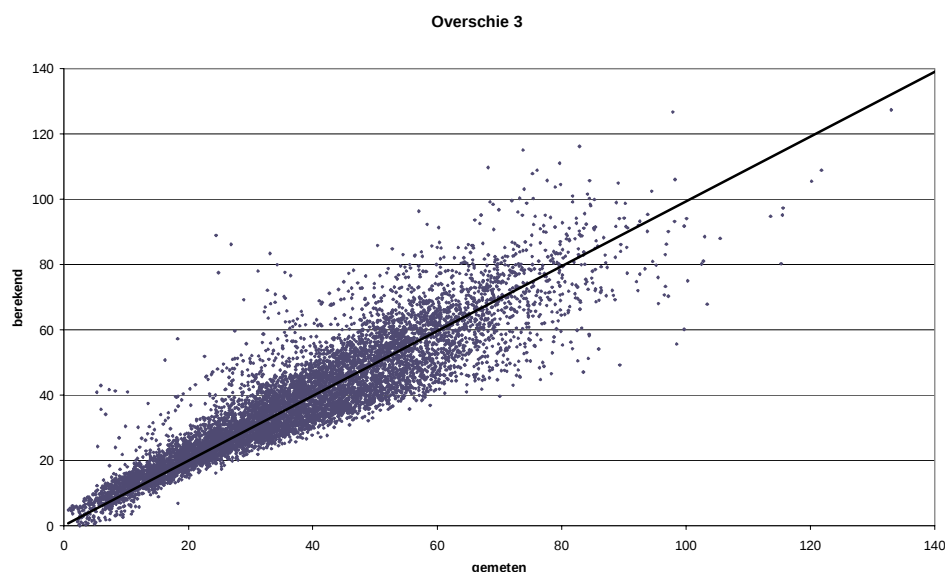
3.3 $\text{NO}_x \rightarrow \text{NO}_2$ conversie

URBIS berekent in eerste instantie de verspreiding van NO_x in het gebied. (Wesseling, 2003a) Daarna wordt de omrekening naar NO_2 gemaakt. Geëmitteerde NO_x bestaat voor circa 95% uit NO. Met ozon reageert NO volgens een effectieve evenwichtsreactie tot NO_2 en zuurstof. De ligging van het evenwicht wordt mede bepaald door de aanwezigheid van zonlicht.



Voor het Real Time URBIS is er gebruik gemaakt van een empirisch bepaalde formule voor de $\text{NO}_x \rightarrow \text{NO}_2$ conversie. Deze methode is geschikt om de uurlijkse concentratie NO_2 uit te rekenen. (Wesseling, 2003b) De berekening bestaat uit twee delen: de bijdrage ten gevolge van lokale bronnen in de concentratie NO_2 op een punt en een achtergrondwaarde. De bijdrage NO_2 wordt berekend uit de concentratie NO_x , hiervoor is een actuele ozonwaarde vereist. Onder achtergrond wordt verstaan: bijdragen in de concentraties die niet veroorzaakt worden door emissies in het Rijnmondgebied. Het verloop in deze concentraties wordt real time gemodelleerd uit het verschil tussen de gemeten en de berekende waarden op de DCMR-meetstations Schiedam, Maassluis en Hoogvliet. Uit eerdere studies zijn reeds goede correlaties gebleken tussen NO_2 -metingen op verschillende stations in het Rijnmondgebied. (Elshout van den, 2003) De achtergrond voor het hele gebied is het gemiddelde verschil tussen de gemeten concentratie NO_2 en de berekende bijdrage op die drie punten.

De principiële conversiemethode is getest voor de RIVM-meetpunten in Rotterdam en Vlaardingen en voor de drie meetstations van de DCMR in Overschie. De test is uitgevoerd voor 2002 met de uurlijkse meetcijfers van het RIVM en de DCMR, beschikbaar in de DCMR database. Zie bijlage 1 voor een overzicht van de meetpunten. Figuur 6 laat zien hoe goed de berekende NO_2 -waarden op meetpunt Overschie-3 overeenkomen met de gemeten NO_2 -waarden. De overige vier meetpunten vertonen hetzelfde patroon.



Figuur 6 Gemeten en berekende waarden conversie op meetpunt Overschie 3

De lijn door de punten geeft de mate van correlatie aan. In het ideale geval zou deze lijn een richtingscoëfficiënt van 1 hebben. In tabel 4 is voor ieder station de richtingscoëfficiënt (RC) gegeven en de fractie verklaarde variantie (r^2). Dit laatste is een maat voor de kwaliteit van de berekening. In berekeningen als deze is een r^2 van minimaal 0,7 gewenst. De fractie verklaarde variantie en de richtingscoëfficiënt liggen beide op de vijf teststations op een acceptabel niveau. Op basis van deze resultaten kan geconcludeerd worden dat deze conversie geschikt is voor RTU.

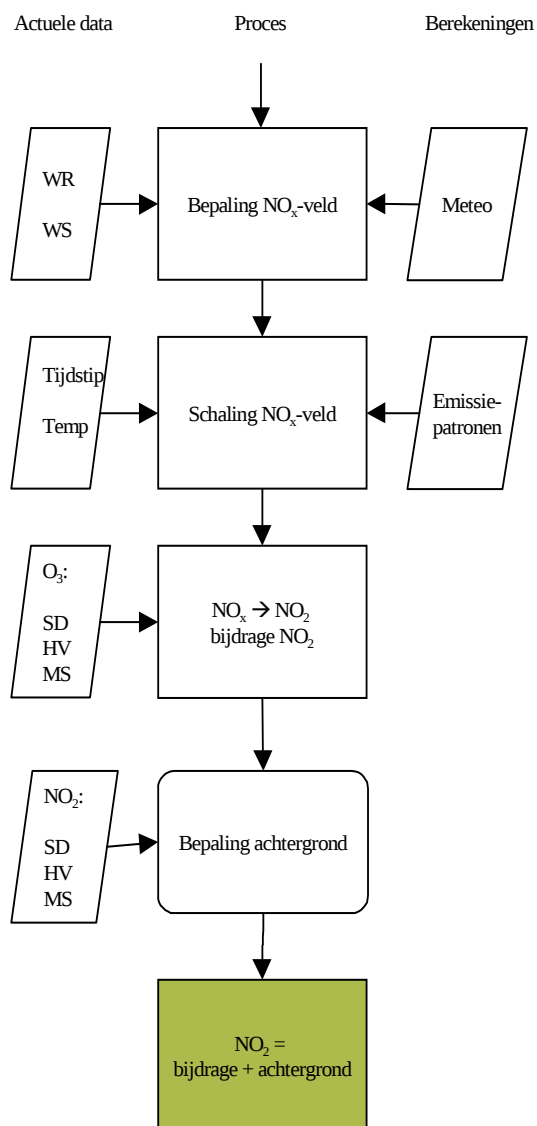
Let op: Dit zijn berekende waarden uit **gemeten** NO_x -concentraties. Dit is alleen om na te gaan of de conversie correct is. In het Real Time URBIS worden de concentraties NO_x uiteraard ook berekend.

Tabel 4 Kengetallen conversietest

	RC	r^2
O1	0.93	0.79
O2	0.90	0.79
O3	0.99	0.82
VL	1.04	0.84
RO	0.96	0.89

4. Beschrijving Real Time URBIS

In de voorgaande hoofdstukken is antwoord gegeven op de deelvragen. Aan de hand van deze resultaten kan het model gemaakt worden. De werking wordt in dit hoofdstuk beschreven.



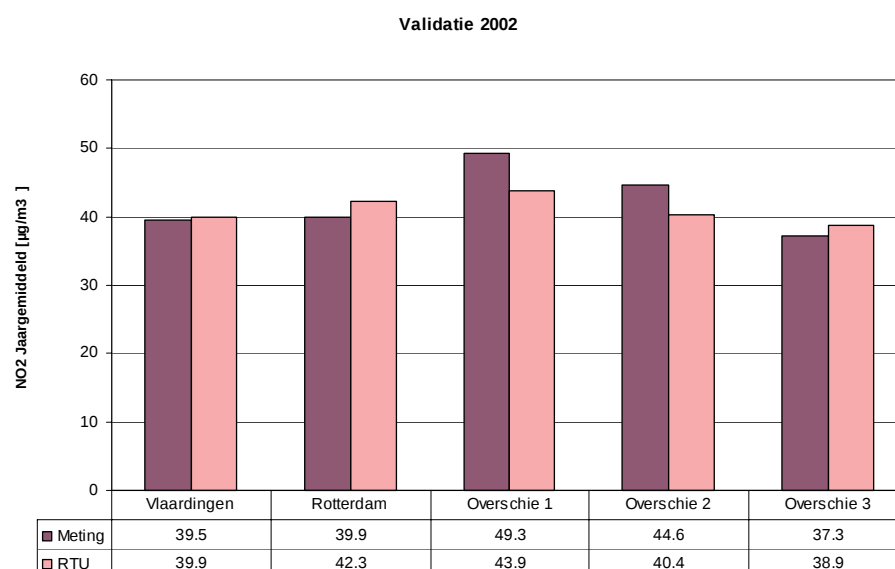
Figuur 7 Processchema Real Time URBIS

Uitgangspunt is een database waarin voor alle punten de concentratie NO_x staat zoals in het oorspronkelijke URBIS, dus voor een jaargemiddelde meteorologie en emissie. Voor de aanpassing tot een bepaald uur wordt als eerste aan de hand van de windrichting (WR) en windsnelheid (WS) een NO_x-concentratieveld bepaald horende bij die specifieke situatie. Vervolgens wordt aan de hand van het tijdstip

en de actuele temperatuur de emissiefactor ten opzichte van de jaargemiddelde emissie berekend. Met deze schalingsfactor wordt het NO_x -veld omhoog of omlaag getild. Pas dan wordt de omrekening naar de NO_2 -concentratie gemaakt. Deze laatste berekening bestaat uit twee delen. Voor het eerste deel, de berekening van de bijdrage NO_2 op ieder punt, is de hoeveelheid ozon in de lucht nodig, in dit geval de actuele ozonwaarden van de ijkstations Schiedam (SD), Hoogvliet (HV) en Maassluis (MS). Het tweede deel is de achtergrondberekening. De gemeten NO_2 -waarden op de drie referentiestations worden vergeleken met de berekende bijdrage op de stations. Het gemiddelde verschil wordt beschouwd als de achtergrond. In werkelijkheid is hier echter sprake van de achtergrond plus een correctie voor niet meegenomen variabelen en andere onnauwkeurigheden in het model (menglaaghoogte, neerslag etc). Met de referentiestations wordt het berekende ruimtelijke beeld geijkt op de gemeten waarde. Deze waarde wordt opgeteld bij alle berekende bijdragen om tot de concentraties NO_2 op ieder punt te komen.

5. Validatie

Volgens het Besluit luchtkwaliteit (Staatsblad, 2001) mogen methodes voor het vaststellen van de luchtkwaliteit in het geval van NO₂ niet meer dan dertig procent afwijken van de werkelijke jaargemiddelde concentratie. Om te kijken of het Real Time URBIS hieraan voldoet zijn op vijf punten (andere dan de ijkpunten) de jaargemiddeldes uitgerekend en vergeleken met de gemeten waarden. Hieronder staan de resultaten van deze vergelijking. In bijlage 1 is een overzicht van het Rijnmondgebied gegeven met de locatie van de meetpunten van de DCMR en het RIVM.

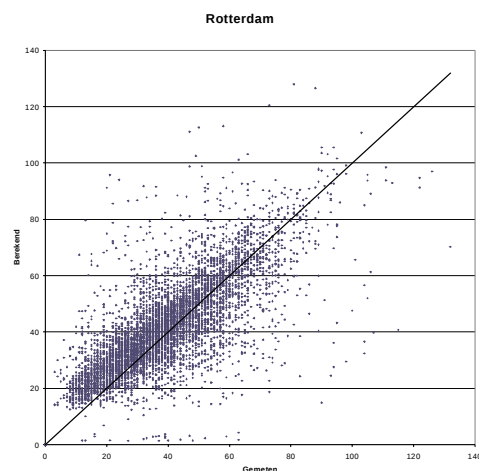


Figuur 8 Resultaten van de validatie voor 2002

De door RTU berekende jaargemiddelden komen zeer goed overeen met de gemeten waarden. De grootste afwijking treedt op bij station Overschie 1. Dit is ook het geval bij de vergelijking van uurwaarden. Dit wordt veroorzaakt door de specifieke omstandigheden op dit meetpunt zoals hieronder wordt besproken. Voor de vijf onafhankelijke meetpunten zijn de gemeten en berekende uurwaarden van de concentratie NO₂ in 2002 tegen elkaar uitgezet.

Rotterdam

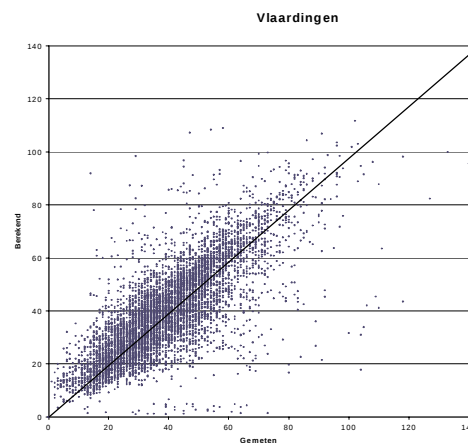
Het meetpunt Rotterdam is een zogenoemd 'stad'-station. Dit betekent dat het gelegen is in een stedelijke omgeving, maar niet binnen een straal van 35 meter van een drukke weg.¹ Bij de eerste berekening met RTU waren de berekende waarden beduidend hoger dan de gemeten waarden. Dit werd veroorzaakt doordat er een drukke weg gelegen is binnen de gridcel waarvoor gerekend werd. Door URBIS wordt dan voor die cel een CAR-berekening uitgevoerd. Daarom is ervoor gekozen het rekenpunt ter vergelijking van station Rotterdam vijftig meter te verschuiven, zodat de gridcel overeenkomt met de feitelijke situatie rond het meetpunt.



	Richtingscoëfficiënt	r^2
Rotterdam	1,00	0,81

Vlaardingen

Station Vlaardingen is ook een stadstation, gelegen tussen twee woonwijken langs een drukke verbindingsweg tussen de A20 en het industrieterrein langs de Maas. Voor beide stad-stations geldt dat RTU op een groot deel van de uren een goed beeld van de werkelijke concentraties geeft. De fractie verklaarde variantie is hoog en de puntenwolk ligt netjes rond de 1-op-1 lijn.



	Richtingscoëfficiënt	r^2
Vlaardingen	0,97	0,81

Figuur 9

Gemeten en berekende waarden voor de stadstations 2002

¹ <http://www.lml.rivm.nl/info/achtergr.html#meetopstellingen>

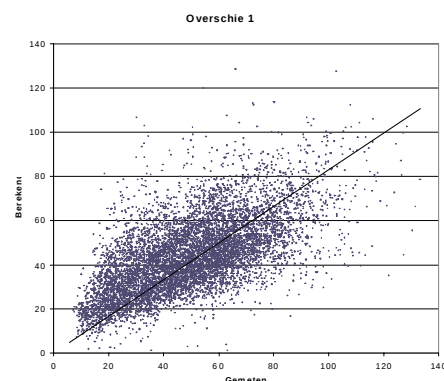
Overschie 1, 2 en 3

Drie verkeersstations, ingericht voor een tijdelijk project. Alleen Overschie 1 is op dit moment nog operationeel. Dit station ligt pal naast de A13, aan de oostzijde. Overschie 2 lag ook ten oosten van de snelweg, op 200m. Overschie 3 was gelegen op 500 meter ten westen van de A13 en diende als stadsachtergrondstation.

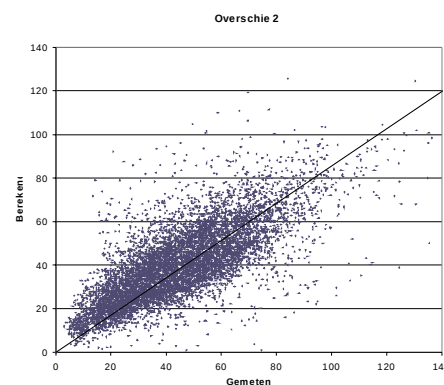
In het verslag over de demonstratie van URBIS in de Rijnmond is reeds aangegeven dat URBIS de situatie direct langs de snelweg minder goed beschrijft dan bijvoorbeeld het Verkeersmodel van TNO. (Wesseling, 2003a) In de huidige studie wordt dit ook waargenomen, met name op station Overschie 1. In volgende versies van URBIS zal het Verkeersmodel worden ingebouwd zodat langs de snelweg de concentraties met grotere nauwkeurigheid berekend kunnen worden.

Conclusie

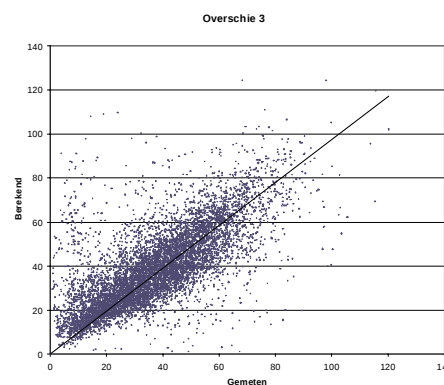
RTU is op dit moment geschikt om wat betreft NO₂ een overzicht van de luchtkwaliteit te geven. In een volgende verfijning van RTU zal vooral aandacht geschonken worden aanvoor de gebieden rond de snelweg.



	Richtingscoëfficiënt	r^2
Overschie 1	0,83	0,19



	Richtingscoëfficiënt	r^2
Overschie 2	0,85	0,63



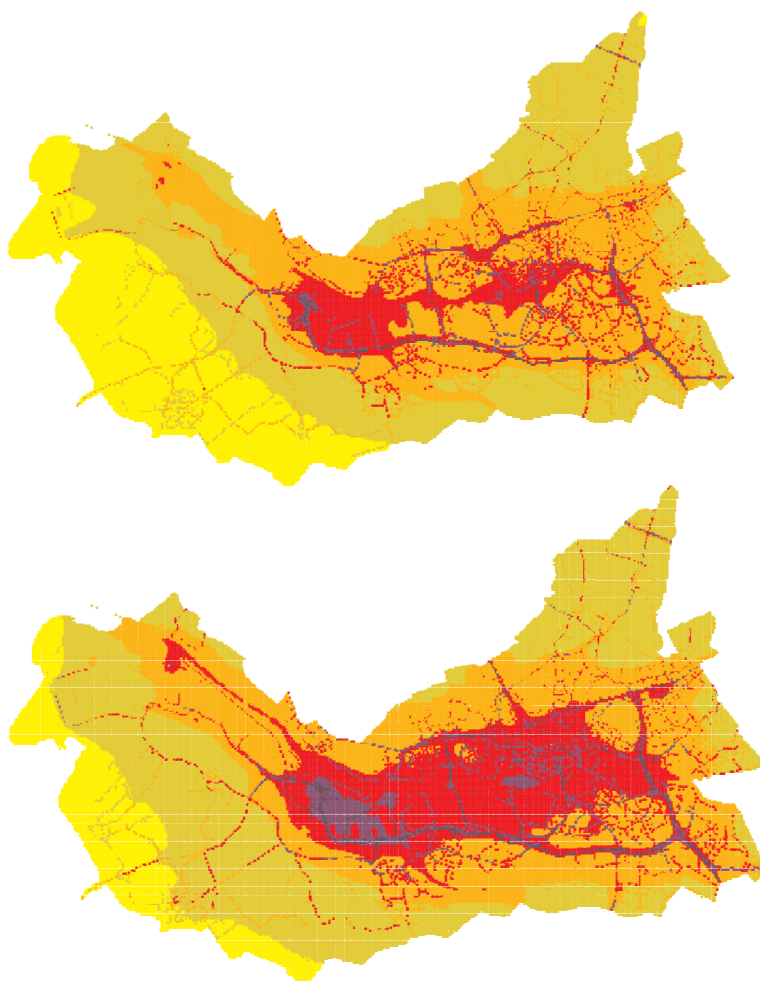
	Richtingscoëfficiënt	r^2
Overschie 3	0,97	0,61

Figuur 10

Gemeten en berekende waarden voor de verkeersstations 2002

6. Toepassing 2002 en 2003

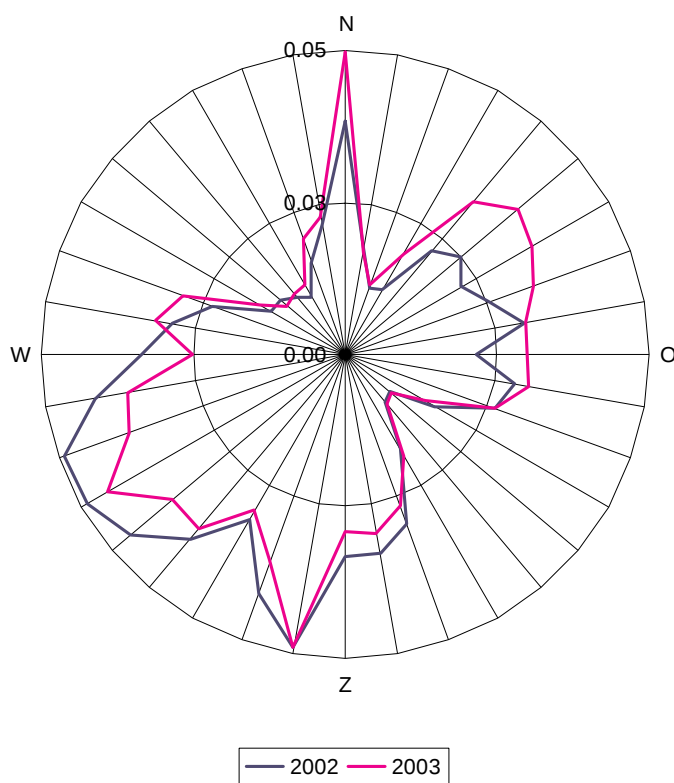
Het Real Time URBIS is niet alleen te gebruiken voor uurlijkse berekeningen. Ook voorgaande jaren kunnen doorgerekend worden. Het verschil met het oorspronkelijke URBIS, wat immers ook een jaargemiddelde berekent, is dat RTU met de werkelijke meteorologie en inwonersemissies rekent, terwijl het oorspronkelijke URBIS rekent met emissies van 2001 en een (meerjaren) gemiddelde meteorologie. Dit maakt het RTU model geschikt voor bijvoorbeeld berekeningen in het kader van het in 2001 in werking getreden Besluit luchtkwaliteit (Staatsblad, 2001). Daarin is onder meer bepaald dat gemeenten en provincies de lokale luchtkwaliteit in kaart moeten brengen. Het gaat dan om luchtverontreiniging door zwaveldioxide, lood, stikstofdioxide, zwevende deeltjes, koolmonoxide en benzeen. Als blijkt dat grenswaarden uit het besluit zijn overschreden of naar verwachting zullen worden overschreden, moeten er maatregelen worden getroffen. De grenswaarde voor stikstofdioxide is 40 microgram per m³ als jaargemiddelde concentratie, te behalen voor 1 januari 2010.



Figuur 11 Jaargemiddelde concentraties 2002 (boven) en 2003 (onder)

Figuur 11 geeft de jaargemiddelde concentraties voor 2002 en 2003 weer. De figuren zijn opgebouwd door alle uren in het jaar door te rekenen en vervolgens te middelen. Voor 2003 is een duidelijke verslechtering van de situatie te zien ten opzichte van 2002. In beide figuren liggen de gebieden met de hoogste concentraties binnen de ringweg en in het Botlekgebied. Ook zijn er hoge concentraties rond de waterwegen.

In 2003 was het aantal uren oostenwind beduidend hoger dan in 2002, terwijl in 2002 zuidwestenwind het meest voorkwam, zie figuur 12. Ook was de zomer van 2003 extreem warm en droog, wat voor de meeste stoffen negatieve gevolgen heeft voor de luchtkwaliteit.



Figuur 12 Aandeel uren per windrichting voor 2002 en 2003

7. Conclusies en discussie

Conclusies

Voor berekeningen met Real Time URBIS is gekozen voor een rekengrid van 100 bij 100 meter. Hiermee is de rekentijd verkort tot minder dan twintig minuten, terwijl de afbeelding dezelfde informatie geeft als het origineel. De gekozen concentratieklassen zijn een compromis tussen de nauwkeurigheid van het model en de ruimtelijke variatie.

De emissiepatronen van het verkeer en de inwoners zijn het meest gedetailleerd in kaart gebracht. Dit zijn ook de twee categorieën met de sterkst variërende patronen en grootste invloed op de concentraties in het gebied. De emissies van de scheepvaart en de industrie worden als constant aangenomen.

TNO heeft het URBIS-model aangepast zodat er verschillende meteorologische situaties kunnen worden doorgerekend. Voor de omzetting van NO_x naar NO_2 is een formule getest voor het Rijnmondgebied en een real time toepassing. In combinatie met ieder uur ijken op de meetstations is deze conversie geschikt bevonden voor RTU.

Het model is gevalideerd op basis van vijf onafhankelijke meetstations. De berekende jaargemiddelden wijken slechts enkele microgrammen af van de gemeten jaargemiddelden. Ook de uurlijkse waarden komen goed overeen met de metingen.

RTU is op dit moment geschikt om een presentatie van de luchtkwaliteit wat betreft NO_2 te geven. De volgende verfijning van het model zal zich vooral richten op de gebieden rond de snelwegen en de vaarwegen.

Discussie

Het eindresultaat van dit onderzoek, Real Time URBIS, is een model dat een gebiedsdekkend beeld kan geven van de concentraties NO_2 in het Rijnmondgebied voor bepaalde situaties of tijdreeksen. RTU voldoet hiermee aan de doelstelling zoals genoemd in de inleiding.

Voor het bepalen van een jaargemiddeld beeld van het Rijnmondgebied blijkt RTU ook zeer geschikt. De basis van RTU is het oorspronkelijke URBIS, dat voor het jaar 2001 is opgezet. In feite wordt dit 2001-beeld geëxtrapoleerd. Dat zal een aantal jaren goed gaan totdat er structurele veranderingen in de verdeling in de emissies zijn. Het principe van het Real Time URBIS kan echter ook dan blijven bestaan. Er wordt gewerkt aan een tweede versie van URBIS die een meer flexibele invoer heeft. De combinatie URBIS 2 en RTU zal blijvend de mogelijkheid bieden om voorgaande jaren te analyseren voor het hele gebied. Tot nu toe werden rapportages voor luchtkwaliteit gemaakt met behulp van bijvoorbeeld CAR, of het Ver-

keersmodel, maar hiermee is het niet mogelijk het hele gebied door te lichten. RTU is hiertoe een goede aanvulling.

RTU is een interessante analyse tool waarmee ingezoomd kan worden op specifieke situaties. Zie bijvoorbeeld de invloed van de wind in figuur 5 of de seizoensinvloeden in bijlage 5. De kracht van RTU als analyse tool zou nog verbeterd kunnen worden door te onderzoeken of het mogelijk is de tekortkomingen van het model (zoals bijvoorbeeld duidelijk wordt op meetpunt Overschie 1) weg te nemen. Dit zou bijvoorbeeld gedaan kunnen worden door een analyse van de geconstateerde afwijkingen ten opzichte van bekende, te monitoren grootheden (meteorologie) en/of door een correctie voor situaties met hoge NO_x-waarden die wijzen op niet-evenwicht situaties. Dit valt echter buiten de scope van dit onderzoek.

8. Referenties

Kummu, P., DCMR Milieudienst Rijnmond, privé mededeling, Schiedam, 2004

Marel, A. van der., E.ON Benelux b.v., privé mededeling, Rotterdam, 2004
Staatsblad 269, *Besluit luchtkwaliteit*, Den Haag, 2001

Elshout, S. van den, VVM Magazine “Arena”, nr. 7, 2003

Teeuwisse, S., *Handleiding bij software pakket CAR II versie 2.0*, TNO-Rapport 2003/118, 2003

Voerman, W. T., DCMR Milieudienst Rijnmond, privé mededeling, Schiedam, 2004

Wesseling, J.P. and P.Y.J. Zandveld, *URBIS Rotterdam Rijnmond; A pilot study*, TNO-Report 2003/245, 2003

Wesseling, J.P. et al., *Onderzoek naar effecten van de 80 km/u-maatregel voor de A13 op de luchtkwaliteit in Overschie*, TNO rapport 2003/258, 2003

Wesseling, J.P., *Global NO_x/ NO₂ conversion for use in URBIS*, TNO-Report 2002/730, 2003

9. Verantwoording

Naam en adres van de opdrachtgever:

TNO Intern
DCMR Intern

Namen en functies van de projectmedewerkers:

V. Spaubek
J.P. Wesseling (Begeleiding TNO)
S. van den Elshout (Begeleiding DCMR)

Namen van instellingen waaraan een deel van het onderzoek is uitbesteed:

Datum waarop, of tijdsbestek waarin, het onderzoek heeft plaatsgehad:

Februari-Mei 2004

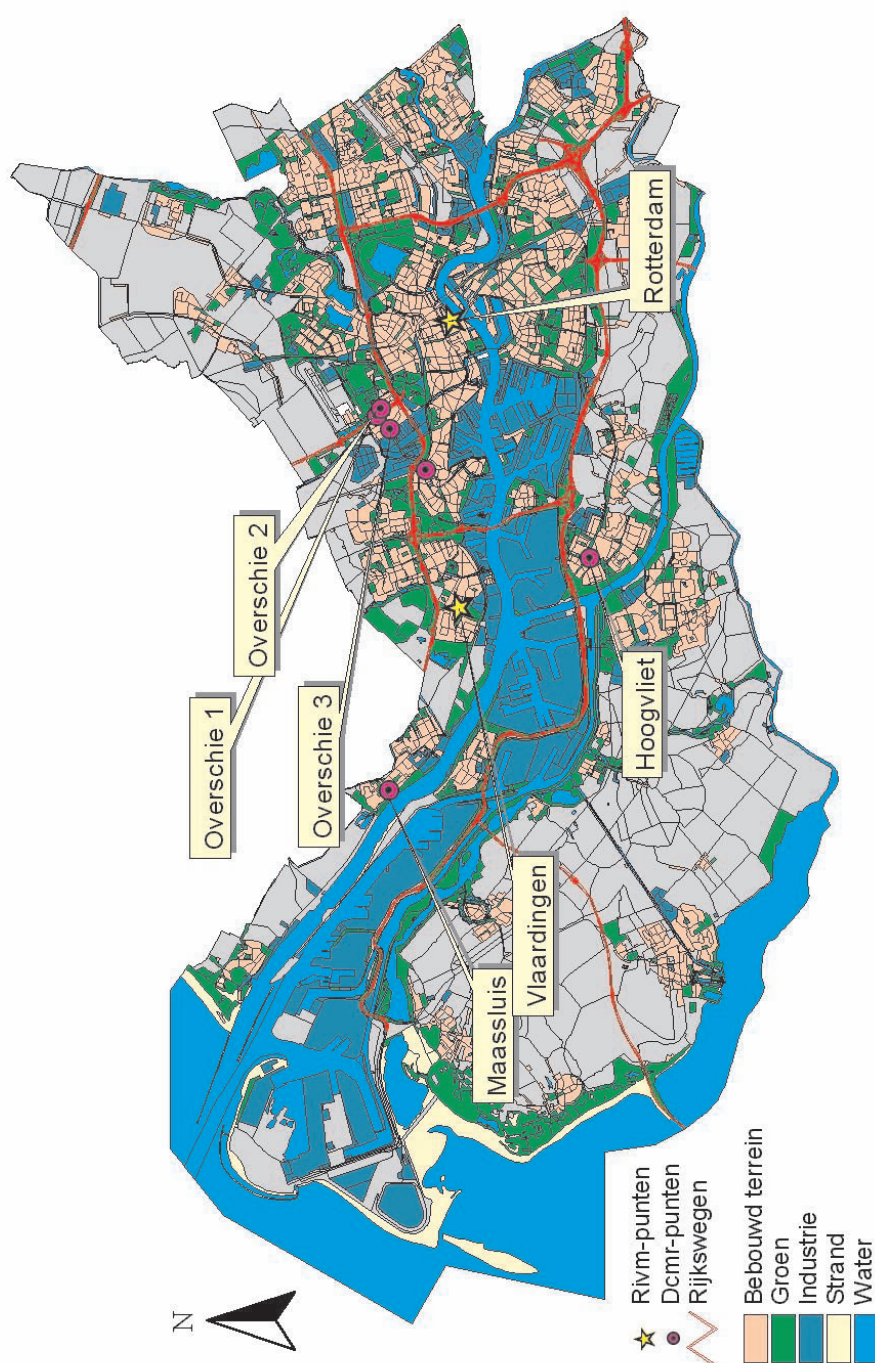
Ondertekening:

Goedgekeurd door:

dr. J.P. Wesseling
Projectleider

dr. M.P. Keuken
Afdelingshoofd

Bijlage 1 Werkgebied DCMR met locatie meetpunten

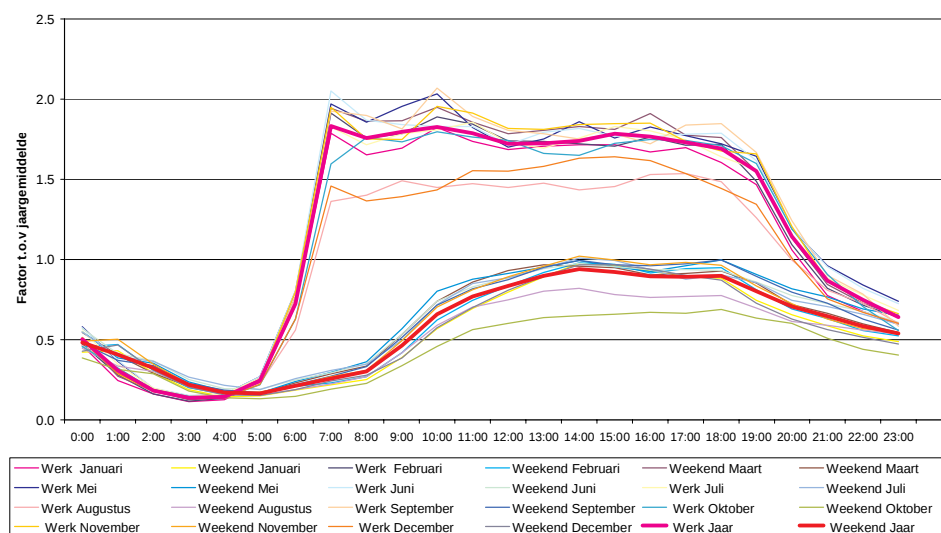


Bijlage 2 Dataverantwoording

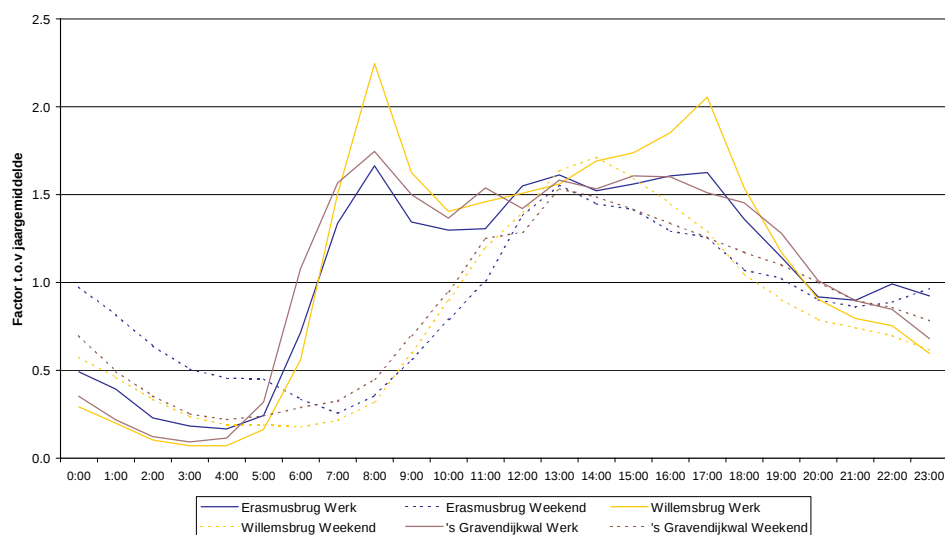
Onderwerp		Bedrijf/ Instantie	Soort data	Bron/Contactpersoon
Grid	Controle behoud informatie	Centraal Bureau voor de Statistiek	Aantal inwoners per wijk	Geotheek PZH
Emis-sies	Inwoners	E.ON Benelux b.v.	Warmtevraag per uur in 2003	Dhr. A. van der Marel
		DCMR Milieudienst Rijnmond	Temperatuur per uur in 2003	KNMI (Database DCMR)
	Verkeer binnenstad	Dienst Stedebouw en Volkshuisvesting	Gegevens tellussen: aantal voertuigen per uur in 2003	Dhr. W. Clerx Dhr. A.T. Molenaar
	Verkeer rijkswe-gen	Ministerie van Verkeer en Waterstaat		Dhr. V.T.E.G. Hooijmeijer
	Scheepvaart	Ministerie van Verkeer en Waterstaat	Persoonlijke informatie patroon scheepvaart	Dhr. R.F.E. Weekhout
Testen	NO _x -conversie	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu	Concentraties NO ₂ en O ₃ op de meetpunten per uur in 2002	www.lml.rivm.nl
	Validatie	DCMR Milieudienst Rijnmond		Database DCMR
		DCMR Milieudienst Rijnmond	Windrichting en -snelheid per uur in 2002	KNMI (Database DCMR)

Bijlage 3 Grafieken verkeersemissies

Maandelijkse relatieve emissies A13, werk- en weekenddagen

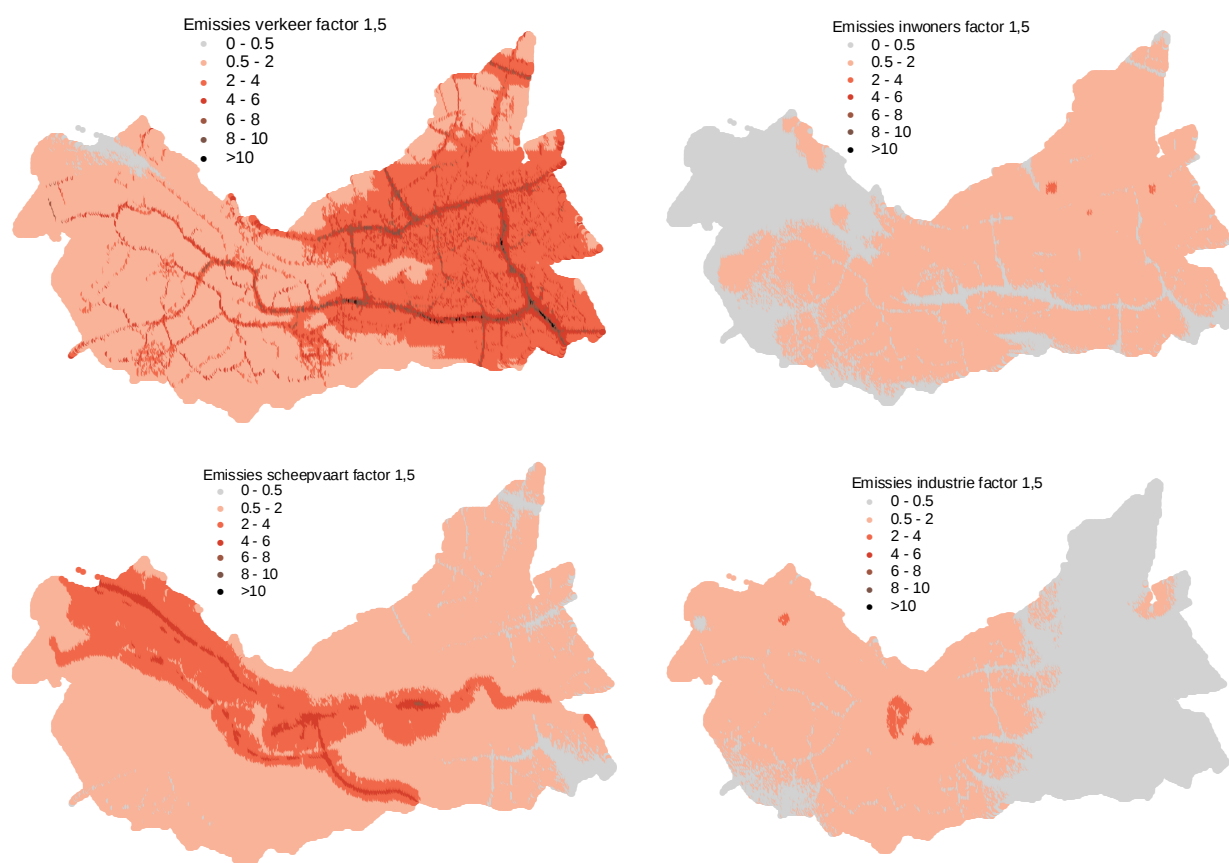


Relatieve emissies binnenstedelijke wegen, werk- en weekenddagen



Bijlage 4 Ruimtelijke weergave gevoeligheid emissievariatiës

Per bronsoort de ruimtelijke weergave van de verhoging van de concentratie bij een 50% hogere emissie ten opzichte van het jaargemiddelde.



Bijlage 5 Seizoensgemiddelden 2002

