

RIVM rapport 680705004/2007

**Kalibratie van het programma CAR II aan de
hand van metingen van het Landelijk Meetnet
Luchtkwaliteit van het RIVM**

J.P. Wesseling, F.J. Sauter

Contact:

J.P. Wesseling

Laboratorium voor Milieumetingen

Joost.Wesseling@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht en ten laste van het ministerie van VROM, in het kader van project Beleidsadviesing Stedelijke luchtkwaliteit, project M/680705/07

Abstract

Calibration of the program CAR II using measurements of the national measuring network of the RIVM

Research by the National Institute for Public Health and the Environment (RIVM) has shown that concentration levels calculated using the CAR II model are systematically too high. Application of a new calibration strongly improves the match between calculated and measured concentration levels.

Local authorities employ the CAR II (Calculation of Air pollution from Road traffic) model in order to determine concentration levels in streets. Since 2007 a new set of emission factors for road traffic has become available. For several substances the emissions are significantly higher than they were before. Using these emission factors in CAR II leads to substantial discrepancies between calculated and measured concentration levels.

By request of the Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment (VROM) the RIVM has determined a new calibration for CAR II. Based on traffic information provided by municipalities, calculations were performed using CAR II for the years 2003 - 2006 for those streets where a measuring station of the national air quality measuring network of the RIVM is located. The results of the calculations for nitrogen (di)oxide, carbon monoxide and particulate matter were compared with measurements during the same period. From this comparison it became clear that calculated concentration contributions must be multiplied by 0.62 in order to obtain a good agreement with the measured concentrations. As the emission factors that are used in CAR II have also changed in 2007, the calculated total concentration levels are not very different from those obtained during the last few years.

With the new calibration the calculated nitrogen dioxide and particulate matter concentrations exceed the measured values by 0.4 and 0.7 micrograms per cubic meter. Without the new calibration the calculated nitrogen dioxide and particulate matter concentrations would have exceeded the measured values by 5.7 and 2.4 micrograms per cubic meter.

Key words: air quality, CAR, calibration, emission factors.

Rapport in het kort

Kalibratie van het programma CAR II aan de hand van metingen van het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit van het RIVM

Uit onderzoek van het RIVM blijkt dat met het programma CAR II berekende concentraties systematisch te hoog zijn. Toepassing van een nieuwe ijking van het model verbetert de overeenkomst tussen de berekende en gemeten concentratieniveaus sterk.

Lokale overheden gebruiken het model CAR II (Calculation of Air pollution from Road traffic) voor de berekening van de luchtkwaliteit in verkeersbelaste situaties. Sinds begin 2007 wordt hierbij gerekend met nieuwe emissiefactoren voor wegverkeer welke voor verschillende stoffen aanmerkelijk hoger zijn dan eerder het geval was. Gebruik van deze nieuwe emissies leidde tot grote verschillen tussen berekende en gemeten concentraties.

Het RIVM heeft in opdracht van het ministerie van VROM een nieuwe ijking van het programma CAR II uitgevoerd. Op basis van door gemeenten aangeleverde verkeersgegevens zijn voor de jaren 2003 tot en met 2006 berekeningen met CAR II uitgevoerd in de straten waar meetstations van het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit van het RIVM staan. De resultaten van de berekeningen voor stikstof(di)oxide, koolmonoxide en fijn stof zijn vervolgens vergeleken met metingen in de straten over dezelfde periode. Uit de vergelijking blijkt dat de berekende concentratiebijdragen met 0.62 moeten worden vermenigvuldigd voor een goede overeenkomst met de gemeten waarden. Omdat de in CAR II gebruikte emissiefactoren in 2007 ook zijn aangepast veranderen de netto berekende concentratieniveaus in de straten slechts beperkt ten opzichte van de afgelopen jaren.

Na toepassing van de nieuwe ijking zijn de berekende stikstofdioxide- en fijnstofconcentraties gemiddeld 0.4 en 0.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (microgram per kubieke meter) hoger dan de gemeten concentraties. Zonder de ijking zouden de berekende stikstofdioxide- en fijnstofconcentraties gemiddeld 5.7 en 2.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ hoger zijn geworden dan de gemeten concentraties.

Trefwoorden: luchtkwaliteit, CAR, kalibratie, emissiefactoren.

Voorwoord

Bij het uitvoeren van de voorliggende studie is dankbaar gebruik gemaakt van informatie die door het MNP en TNO is verstrekt. Verschillende personen van het RIVM en het MNP hebben in discussies met de auteurs geholpen bij het helder formuleren van de gevolgde aanpak. Discussies met Maarten Krol van de WUR en de Universiteit van Utrecht hebben eveneens zeer geholpen om de uitgevoerde analyses helder en correct te beschrijven. Door medewerkers van het MNP, de DCMR, TNO, de GGD Amsterdam, Infomil en VROM is commentaar geleverd dat in het rapport is verwerkt.

Inhoud

Rapport in het kort 5

Samenvatting 11

1. Inleiding 13

- 1.1 *De oorsprong van van het CAR-model 15*
- 1.2 *CAR I en CAR II 16*
- 1.3 *Evaluatie van CAR II in 2001 17*
- 1.4 *Test van de GGD Amsterdam 18*
- 1.5 *CAR II in een studie van het MNP 19*
- 1.6 *Jaarlijkse updates van CAR II 20*
- 1.7 *Nieuwe inzichten in de verkeersemisies 20*
- 1.8 *Signaleringsfunctie van het CAR II model 23*

2. Het CAR II-model 25

- 2.1 *De concentratieberekening 25*
- 2.2 *NO_x/NO₂-conversie in het CAR II-model 27*
- 2.3 *Invoer 28*
- 2.4 *Correcties op de berekeningen 29*

3. Aanpassing van CAR 30

- 3.1 *Emissies 30*
- 3.2 *Verdunning 30*
- 3.3 *Achtergronden 30*

4. Kalibratie van het CAR II-model 30

- 4.1 *Kalibratie met VERSIT+ emissiefactoren 30*
- 4.2 *Kalibratie met de oude emissiefactoren van CAR 30*
- 4.3 *Invloed van de regiofactor 30*
- 4.4 *Samenvatting van de kalibratie 30*

5. Resultaat van de correctie 30

- 5.1 *Totale concentraties 30*
- 5.2 *PM₁₀-concentraties 30*
- 5.3 *NO₂-bijdragen 30*
 - 5.3.1 *De NO_x/NO₂-omzetting 30*
 - 5.3.2 *Invloed van de emissiefactoren 30*
 - 5.3.3 *Afwijkingen per station 30*
- 5.4 *Resterende verschillen tussen CAR II en het LML 30*
- 5.5 *Overzicht 30*

6. Trends en prognoses 30

7. Conclusies en aanbevelingen 30

Literatuur 30

Appendix A Onzekerheid in de ijking 30

Samenvatting

Lokale overheden gebruiken het model CAR II (Calculation of Air pollution from Road traffic) al sinds 2002 voor de berekening van de luchtkwaliteit in verkeersbelaste situaties. In die periode is verschillende malen onderzocht in hoeverre de berekende concentraties aansluiten bij de metingen van het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit (LML). In alle gevallen is hierbij geconstateerd dat de berekende concentraties de gemeten waarden overschatten. Sinds begin 2007 wordt gerekend met nieuwe emissiefactoren van TNO voor wegverkeer, welke voor verschillende stoffen aanmerkelijk hoger zijn dan eerder het geval was. Gebruik van deze nieuwe emissies leidde tot grote verschillen tussen berekende en gemeten concentraties.

Het RIVM heeft in opdracht van het ministerie van VROM een nieuwe ijking van het programma CAR II uitgevoerd. Op basis van door gemeenten aangeleverde verkeersgegevens zijn voor de jaren 2003 tot en met 2006 berekeningen met CAR II uitgevoerd in de straten waar meetstations van het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit van het RIVM staan. Eerst zijn de berekende concentratiebijdragen voor stikstofoxiden en koolmonoxide vergeleken met metingen in de straten over dezelfde periode. Uit deze vergelijking blijkt dat de berekende concentratiebijdragen met een kalibratiefactor van 0.62 ± 0.06 moeten worden vermenigvuldigd om een goede overeenkomst met de gemeten waarden te bereiken.

Bij praktisch gebruik van CAR II gaat de meeste aandacht uit naar de stoffen NO_2 en PM_{10} aangezien die voor toetsing aan het Besluit luchtkwaliteit het meest relevant zijn. De reden dat de overschatting door CAR II pas prominent opviel bij gebruik van nieuwe emissiefactoren is het gevolg van het tot op heden rekenen met te lage waarden voor de directe uitstoot van NO_2 . CAR II rekent tot op heden met 5% directe uitstoot van NO_2 terwijl al enige jaren duidelijk is dat deze fractie aan het toenemen is. Hierdoor is een systematische overschatting van de NO_2 -concentraties door CAR II deels gecompenseerd. Immers, de werkelijke emissies van directe NO_2 stegen terwijl CAR II met een lage waarde bleef rekenen. Voor PM_{10} heeft wegverkeer gemiddeld een beperkte concentratiebijdrage ten opzichte van de achtergrondconcentraties. Een overschatting van de concentratiebijdrage leidt dus maar beperkt tot een overschatting van het totale concentratieniveau.

Toepassing van de kalibratie leidt tot een redelijke overeenkomst tussen berekende en gemeten totale CO-concentraties en tot een goede overeenkomst tussen berekende en gemeten totale concentraties voor de stoffen NO_x , NO_2 en PM_{10} voor de jaren 2003 t/m 2006 en op dertien locaties van meetstations van het RIVM. De kalibratie lijkt daarmee robuust. Op basis van de beschikbare informatie kan de kalibratie van de concentratiebijdragen echter niet voor alle individuele stoffen, zoals PM_{10} , plaats vinden. Omdat de in CAR II gebruikte emissiefactoren in 2007 ook zijn aangepast veranderen de netto berekende concentratieniveaus in de straten na de kalibratie slechts beperkt ten opzichte van de afgelopen jaren. Na toepassing van de nieuwe ijking zijn de berekende stikstofdioxide- en fijnstofconcentraties gemiddeld 0.4 en 0.7 microgram per kubieke meter hoger dan de gemeten concentraties. Zonder de ijking zouden de berekende stikstofdioxide- en

fijnstofconcentraties gemiddeld 5.7 en 2.4 microgram per kubieke meter hoger zijn geworden dan de gemeten concentraties.

Met de gebruikte kalibratie vallen de berekende totale concentraties bij gebruik van de VERSIT+ emissiefactoren, op een enkele uitzondering na, allemaal binnen 30% van de gemeten waarden. Hiermee voldoet CAR II (ruimschoots) aan de in artikel 27 van het “Besluit luchtkwaliteit 2005” gestelde eisen voor de nauwkeurigheid van de bepaling van jaargemiddelde concentraties. Toepassing van CAR II wordt door de kalibratie nauwkeuriger. Een consequentie is echter dat de signaleringsfunctie van CAR II, met een gewenste overschatting van de concentratieniveaus, minder sterk wordt. Indien een signaleringsfunctie gewenst is, dan kan het ministerie van VROM er voor kiezen om een veiligheidsmarge in te bouwen.

Bij gebruik van het aangepaste CAR II-model in combinatie met de nieuwe emissiefactoren (met de verhoogde directe uitstoot van NO₂) en een kalibratiefactor van 0.62, treedt er voor NO₂ en PM₁₀ vanaf 2006 geen trendbreuk op in resultaten. De concentraties komen in 2010 gemiddeld iets lager uit dan met de vorige versie van CAR II het geval was. Voor de overige stoffen is er wel sprake van een beperkte trendbreuk. Maar de concentratieniveaus voor deze stoffen lagen, liggen en blijven ruim onder de wettelijke grenswaarden waardoor er geen bestuurlijke consequenties zijn.

Het is wenselijk om de uitgevoerde ijking jaarlijks uit te breiden met de nieuwste meet- en rekengegevens van het afgelopen jaar en alle resultaten te evalueren. Het CAR II-model kan dan worden opgevat als een methode om de in het Nationale Meetnet gemeten concentraties te extrapoleren naar andere verkeerssituaties.

1. Inleiding

Het programma/model CAR II (Calculation of Air pollution from Road traffic) wordt sinds begin 2002 door gemeenten gebruikt om de luchtkwaliteit in stedelijk gebied te bepalen. Het is een simpel model dat met een minimum aan invoergegevens een redelijk beeld geeft van de luchtkwaliteit. Het model hanteert een stapsgewijze benadering om concentraties in stedelijk gebied uit te rekenen:

1. eerst worden de emissies van het verkeer bepaald uit de verkeergegevens;
2. vervolgens wordt de verspreiding (verdunning) van de geëmitteerde stoffen in de straat berekend, dit levert de concentraties van de inerte, niet-reactieve, stoffen;
3. ingeval van een berekening van de NO₂-concentraties worden de NO_x-concentraties omgezet in NO₂-concentraties. Hierbij worden grootschalige ozon concentraties van het Milieu- en Natuurplanbureau (MNP) gebruikt, de zogenaamde Generiek Concentraties Nederland (GCN), zie Velders et al. (2007);
4. de berekende concentratiebijdragen worden uiteindelijk gecombineerd met de grootschalige concentraties volgens de GCN.

Met CAR II kunnen voor de volgende stoffen de jaargemiddelde concentraties worden berekend: NO₂, PM₁₀, CO (98-percentiel), SO₂, benzeen en B(a)P. Een beschrijving van CAR II wordt gegeven in Jonkers en Teeuwisse (2006). De binnenstedelijke rekenregels van CAR II zijn in 2006 als standaardrekenmethode 1 (SRM-1) in het Meet- en rekenvoorschrift bevoegdheden luchtkwaliteit (Mrv) opgenomen (Staatscourant, 2006).

In 2007 is een vergelijking gemaakt tussen met CAR II versie 5.0 berekende concentraties, op basis van de in 2006 gehanteerde emissiefactoren, en metingen op twaalf stations van het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit (LML) van het RIVM (Wesseling et al., 2007a en 2007b). Op basis van de beschikbare metingen en berekeningen kon worden geconcludeerd dat de met CAR II versie 5.0 berekende NO₂-concentraties, na correctie voor dubbel telling, goed met de op straatstations van het LML gemeten NO₂-concentraties overeenkomen. De gemiddelde afwijking bedraagt zonder correctie circa +3 µg/m³, waarbij CAR hoger uitkomt dan de metingen. Na correctie voor dubbel telling bedraagt de gemiddelde afwijking voor NO₂ ruim 2 µg/m³, waarbij CAR gemiddeld iets hoger uitkomt dan de metingen. Op basis van de beschikbare metingen en berekeningen kon verder worden geconcludeerd dat de met CAR II versie 5.0 berekende PM₁₀-concentraties de op straatstations van het LML gemeten PM₁₀ concentratie voor alle onderzochte jaren iets lijkt te overschatten. De gemiddelde afwijking bedraagt circa +1.5 µg/m³. De afwijking varieert per locatie meer dan bij NO₂ het geval is. Voor de resultaten van PM₁₀ moet echter worden opgemerkt dat deze zijn gebaseerd op metingen van het LML zonder dat de meest recente kalibratie van de meetapparatuur (Beijk et al., 2007) was toegepast. In de huidige studie is verder in één straat een fout in de gegevens gecorrigeerd.

Met ingang van 2007 zijn nieuwe schattingen voor voertuigemissies beschikbaar gekomen die zijn bepaald met behulp van het programma VERSIT+ (Smit et al., 2006). Bij

testberekeningen met de nieuwe emissies is gebleken dat vooral de NO₂-concentraties maar ook de PM₁₀-concentraties aanmerkelijk hoger uitkomen dan bij gebruik van de oude emissies. In vergelijking met metingen van het RIVM vallen de berekende NO₂ concentraties gemiddeld over de laatste jaren 6-8 µg/m³ hoger uit. Om na te gaan of deze overschatting het gevolg is van de emissiefactoren of een andere reden heeft is een ijking van CAR II aan de hand van metingen van het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit (LML) van het RIVM uitgevoerd.

Het voorliggende rapport heeft expliciet niet de bedoeling om de in CAR II gehanteerde structuur van berekening ter discussie te stellen. In het rapport worden eerst verschillende eerder uitgevoerde evaluaties van met CAR II berekende concentraties samengevat. Vervolgens wordt de structuur van de in CAR II ingebouwde berekeningswijze besproken. Vervolgens worden met CAR II berekende concentraties vergeleken met metingen van het LML. Deze vergelijking is uitgevoerd voor zowel de VERSIT+ als de oudere set van emissiefactoren. Om na te gaan of de in CAR II gehanteerde manier van berekening van de NO₂-concentratie bij gebruik van de nieuwe emissiefactoren afwijkingen geeft, wordt de modellering van het omzettingsproces ook expliciet gecontroleerd aan de hand van metingen. Uiteindelijk wordt nagegaan of er een onderdeel in de berekening zit dat voor aanpassing in aanmerking komt, waardoor de met CAR II berekende en de gemeten concentraties beter met elkaar in overeenstemming komen. Het effect van deze aanpassing op het concentratieverloop gedurende de afgelopen jaren wordt gecontroleerd, evenals het effect op prognoses voor het jaar 2010.

1.1 De oorsprong van van het CAR-model

In 1988 is een TNO rapport (R88/192) van Dick van den Hout en Hans-Peter Baars verschenen, waarin de ontwikkeling van twee modellen voor luchtkwaliteit wordt besproken. Het TNO Verkeersmodel is het meest uitgebreide van de twee. Het is een verbetering van het eerdere model WEGLUVO aan de hand van windtunnelmetingen. Uit dit TNO Verkeersmodel is een “vereenvoudigd” model afgeleid, het CAR-model. Met het TNO Verkeersmodel zijn hiervoor berekeningen uitgevoerd waarvan de resultaten zijn gecomprimeerd en waaraan vervolgens verdunningsfuncties zijn gefit. Het CAR-model is dus niet het directe resultaat van windtunnelmetingen. Voor de stedelijke straattypen zijn berekeningen met het TNO Verkeersmodel uitgevoerd waarbij een stedelijke omgeving is aangenomen. De variaties in concentraties langs een straat als functie van de oriëntatie van die straat zijn geschat als maximaal 14%. Daarom is indertijd besloten om de oriëntatie niet als parameter in het CAR-model mee te nemen.

De eerste versie van het CAR-model was niet bedoeld als conservatief model. In het betreffende TNO rapport zijn de auteurs echter terughoudend wat betreft de nauwkeurigheid van het model en het toepassingsbereik. Van dat laatste wordt gesteld dat het CAR-model niet geschikt is om het effect van maatregelen door te rekenen, in het bijzonder waar dit bebouwing betreft. Ten aanzien van de ijking van het CAR-model wordt onderaan pagina 74 van het rapport letterlijk geschreven:

“De mogelijkheid om het model te kalibreren is nadrukkelijk opengehouden. Er wordt gebruik gemaakt van emissiefactoren waarvan de nauwkeurigheid niet goed bekend is. De emissiefactoren veranderen bovendien onder invloed van emissiebeperkende maatregelen. Bovendien is het denkbaar dat de verdunningsfactor, die de verhouding tussen de concentratie en de emissie geeft, een systematische afwijking bevat o.a. doordat de invloed van de door het verkeer veroorzaakte turbulentie geschat moest worden. Inmiddels wordt een tiental verkeerstations in het Nationale Meetnet voor Luchtverontreiniging geïnstalleerd, die meetgegevens opleveren die gebruikt kunnen worden om deze systematische afwijkingen te kwantificeren. Het is dan ook aan te bevelen deze gegevens te gebruiken om het CAR model en/of het TNO Verkeersmodel te kalibreren door de waarde van een of enkele parameters aan de meetresultaten aan te passen. Hoe dit moet gebeuren is nog niet precies duidelijk. Een strikt mathematische fittingsprocedure is niet mogelijk wegens het grote aantal aanpasbare parameters. Voor fitting komen het meest in aanmerking de emissie- en verdunningsfactoren. Wanneer deze kalibratie jaarlijks wordt uitgevoerd kan het CAR model worden opgevat als een methode om de in het Nationale Meetnet gemeten concentraties te extrapoleren naar andere verkeerssituaties”.

In de hier beschreven (her)ijking door het RIVM is precies gedaan wat Van den Hout en Baars in hun originele rapport adviseren. Indien de huidige test en herijking, zoals aanbevolen, jaarlijks wordt uitgevoerd dan worden onvolkomenheden in de binnen het CAR-model gebruikte aannames en invoergegevens automatisch gecompenseerd.

1.2 CAR I en CAR II

Het oorspronkelijke CAR-model (in de huidige notatie eigenlijk CAR-I, versie 1.0) is in 1993 in een publicatie van Eerens et al. beschreven. Hierbij zijn berekende totale NO_x (jaargemiddelden), NO_2 (98-percentiel van 1-uurswaarden) en CO (98-percentiel van 8-uurswaarden) concentraties vergeleken met metingen van het LML. De gemeten verschillen tussen CAR en metingen bedroegen $-3\pm 9\%$ voor concentraties van CO, $8\pm 19\%$ voor NO_x en $6\pm 9\%$ voor NO_2 . In de door Eerens beschreven versie van CAR werd niet met de specifieke nationale grootschalige concentraties (GCN) van het Milieu en Natuur Planbureau (MNP) gerekend, aangezien GCN toen nog niet bestond, maar werd, als onderdeel van CAR, per stad een stedelijke achtergrond berekend gebaseerd op een gefitte relatie met de afmeting van de stad. Als gevolg van deze procedure zijn de bepaalde achtergronden veel minder specifiek voor een locatie dan met de huidige achtergrond het geval is. Daarom is het erg lastig om een goede vergelijking te maken tussen berekende en gemeten concentratiebijdragen.

In 1993 is ook een rapport verschenen van TNO over een model genaamd CAR-Special (Duijm en van Melle, 1993). Het hierin beschreven model is echter niet het eerder genoemde CAR-model. In het rapport wordt een onvolledige beschrijving gegeven van het TNO Verkeersmodel.

Rond 1995 is een internationale versie van CAR beschikbaar gekomen. Hierin konden door de gebruiker zelf ook emissiefactoren, windsnelheid en achtergrondconcentraties worden ingevuld. Een versie is nog steeds op het internet beschikbaar op de site <http://ww2.unhabitat.org/wuf/2006/aqm/tool13.htm>.

In 1998 is "CAR AmvB (versie 2.0)" beschreven (Vissenberg en van Velze, 1998). Het model lijkt sterk op de versies die door Van den Hout en Baars (1988) en Eerens et al. (1993) zijn beschreven maar is iets meer uitgewerkt. Zo wordt bijvoorbeeld meer nuancering aangebracht in de te gebruiken verkeersemisseries. Voor de NO_x/NO_2 -conversie worden weer iets andere parameters gebruikt dan in de voorgaande modelversies.

In 2002 is CAR II uitgebracht. Een belangrijk verschil tussen CAR II en de eerdere versies van CAR betreft de manier waarop met de grootschalige concentraties (de "achtergronden") wordt omgegaan. In CAR II is een interface ingebouwd die voor elke locatie in Nederland de door het MNP berekende grootschalige concentratie uit bestanden kan bepalen. Aangezien de grootschalige concentraties worden aangemaakt op een grid van uiteindelijk $1 \times 1 \text{ km}^2$ en deels ook worden gekalibreerd aan metingen op stedelijke achtergrondstations van het LML, mag worden verwacht dat ze een beter beeld van de (stedelijke) concentratieniveaus geven dan de eerdere methode deed.

Voor de NO_x/NO_2 -conversie worden in CAR II dezelfde parameters gebruikt als door Van den Hout en Baars (1988) zijn beschreven. De verdunningsfuncties zoals die in de verschillende versies van CAR worden gebruikt zijn in de loop der jaren niet aangepast.

1.3 Evaluatie van CAR II in 2001

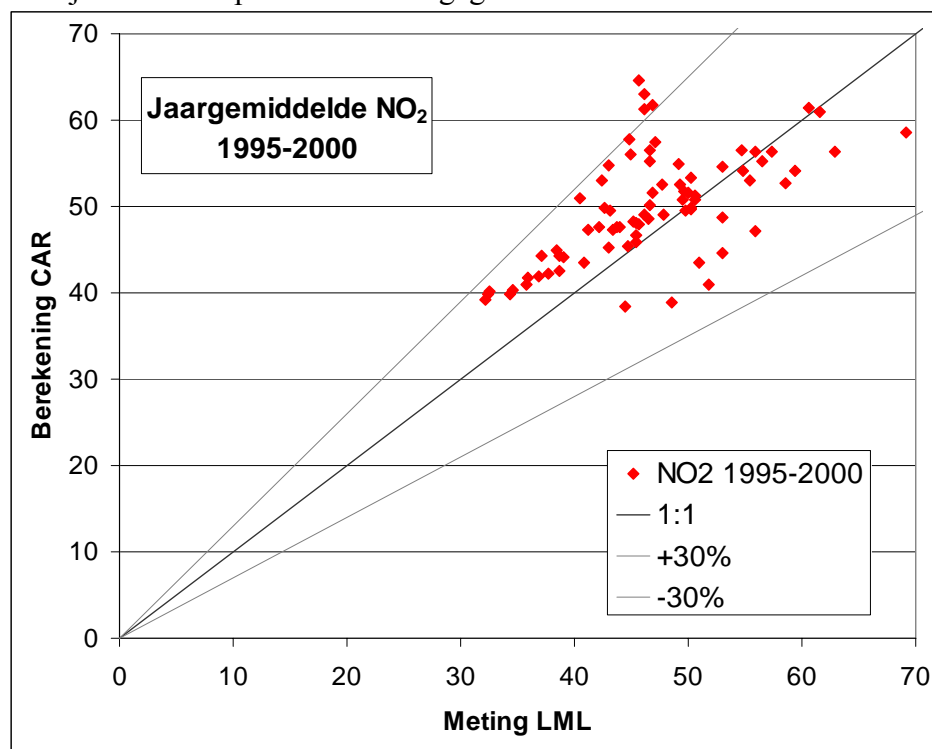
Bij het opzetten van het huidige CAR II-model op basis van de eerdere CAR AmvB is een analyse gedaan van de mate waarin de berekende concentraties overeenstemmen met gemeten concentraties (Teeuwisse, 2003). Hieruit kan het volgende worden geconcludeerd:

- de voor de periode 1995-2000 berekende totale NO₂-concentraties lagen gemiddeld circa 8% hoger dan de meetwaarden voor die jaren op het LML;
- voor PM₁₀ bedroeg de overschatting circa 19% van de totale concentratie;
- de berekende SO₂-concentraties lagen circa 30% hoger dan de meetwaarden;
- het berekende 98-percentiel van de uurwaarden voor CO lag iets onder de gemeten waarden.

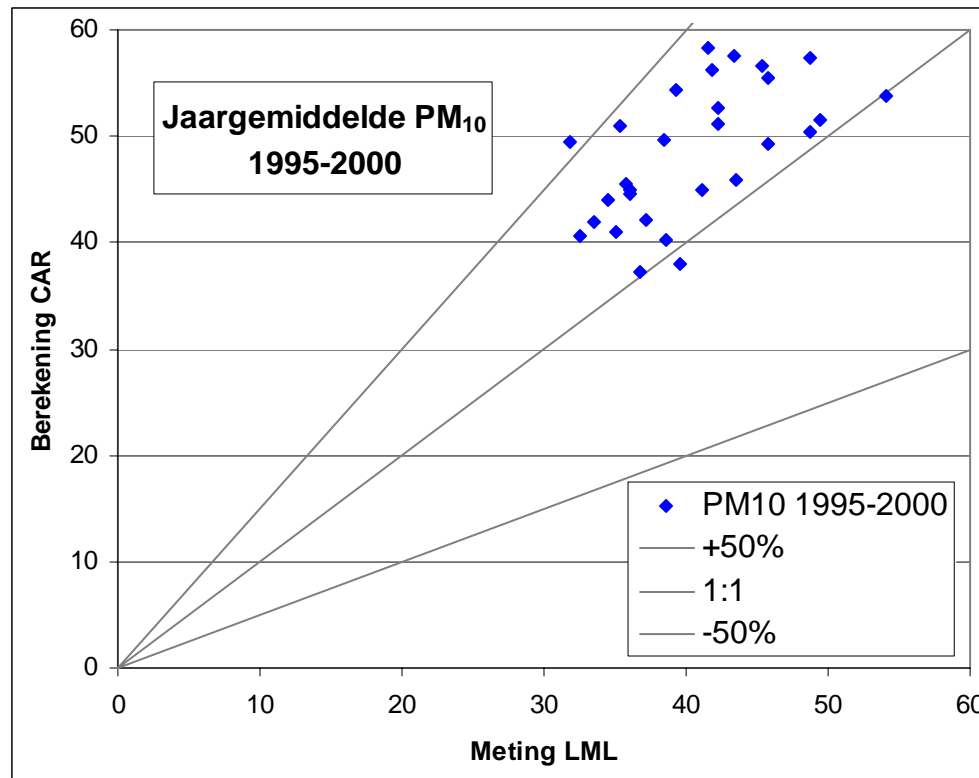
Dit laatste kental is echter minder geschikt om het CAR-model mee te valideren aangezien hiervoor de jaargemiddelde concentratie in het CAR-model met behulp van een statistische relatie moet worden omgerekend. De gehele evaluatie is uiteraard uitgevoerd met de toen beschikbare kennis van de emissiefactoren. De algemene conclusie van de validatie was:

“CAR II kan over het algemeen beschouwd worden als een conservatief model, dat wil zeggen dat de concentraties eerder overschat dan onderschat worden. Dit laatste geldt met name voor NO₂ en PM₁₀. Met betrekking tot de signaleringsfunctie van CAR II is dit een correct uitgangspunt.”

De in de studie gevonden correlaties tussen gemeten en berekende NO₂- en PM₁₀-concentraties zijn hieronder per station weergegeven.



Figuur 1 Vergelijking tussen gemeten en berekende totale NO₂-concentraties. Alle concentraties zijn in $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Bron: Teeuwisse (2003).



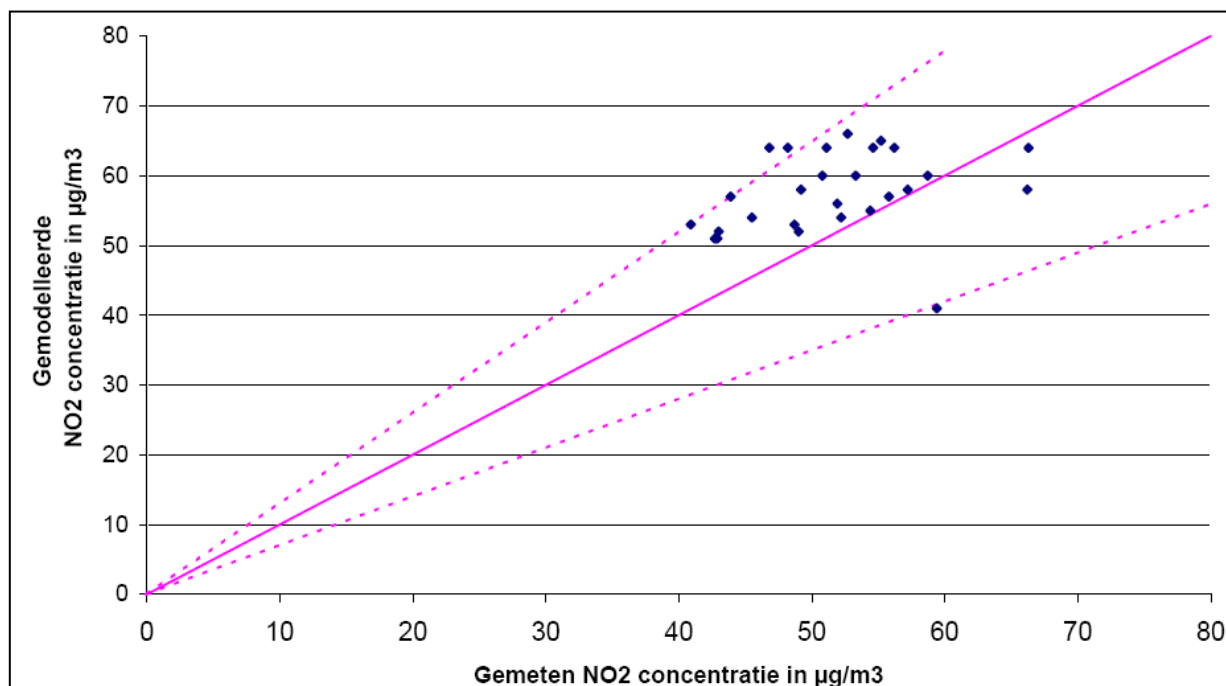
Figuur 2 Vergelijking tussen gemeten en berekende totale PM₁₀-concentraties. Alle concentraties zijn in $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Bron: Teeuwisse (2003).

Uit de figuren kan worden afgelezen dat de NO₂-concentraties in de testperiode met gemiddeld 8%, oftewel circa $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ worden overschat. Tevens is de spreiding in de verschillen groot. Voor PM₁₀ bedraagt het verschil 19%, of circa $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Hierbij moet worden opgemerkt dat de kalibratie van de PM₁₀-metingen in 2007 is aangepast.

1.4 Test van de GGD Amsterdam

Na de tests in 2001 en 2002 is slechts beperkt onderzocht in hoeverre CAR aansluit bij metingen. Een uitzondering is het onderzoek van de GGD Amsterdam (Van der Zee en van Wijnen, 2004) waarbij op 34 punten in Amsterdam met passieve samplers de jaargemiddelde NO₂-concentraties zijn gemeten. Op de locaties van de meetpunten zijn ook CAR II berekeningen uitgevoerd en de resultaten zijn met de metingen vergeleken. Hoewel metingen met diffusiebuisjes individueel niet voldoen aan de EU-eisen voor gebruik bij wettelijke toetsing, zijn ze wel geschikt om een globaal beeld van de concentraties te geven. Om de nauwkeurigheid te verhogen en systematische afwijkingen te voorkomen zijn de resultaten van de buisjes door de GGD aan de metingen van actieve monitoren uit hun meetnet geijkt.

Onderstaande Figuur 3 is uit het rapport van de GGD overgenomen.



Figuur 3 Vergelijking tussen gemeten en berekende totale NO₂-concentraties, overgenomen uit Van der Zee en van Wijnen, (2004).

Op basis van alle gegevens wordt in het rapport geconcludeerd:

“Samengevat, het CAR II model overschat de gemeten NO₂ concentratie met gemiddeld 13% en is daarmee een goed bruikbaar screeningsinstrument. Het gegeven dat het CAR II model geneigd is de ‘werkelijke’ NO₂ concentratie te overschatten leidt er toe dat er meer wegvakken als knelpunt worden bestempeld dan er in werkelijkheid zijn. Het omgekeerde, dat het model knelpunten ‘mist’ die er in werkelijkheid wel zijn, komt relatief weinig voor. Vanuit gezondheidskundig oogpunt is dit een wenselijke situatie.”

De door de GGD gevonden overschatting van 13% komt overeen met een gemiddelde overschatting van circa 5 µg/m³. Een beperking van het onderzoek van de GGD is dat enkel naar de chemisch actieve stof NO₂ is gekeken. Uit de vergelijking kan niet direct worden geconcludeerd of de overschatting het gevolg is van een te lage verdunning van de emissies, van de chemie, van de achtergrond of van een combinatie. Verder is de voor NO₂ relevante correctie voor dubbeltelling niet uitgevoerd aangezien er toen nog geen vuistregel beschikbaar was.

1.5 CAR II in een studie van het MNP

In een studie van het MNP (Folkert et al., 2005) naar de gevolgen van de thematische strategie van de EU op het gebied van luchtkwaliteit voor Nederland is voor de jaren 2001 – 2004 een grafisch overzicht gegeven van gemeten en met CAR II berekende NO₂- en PM₁₀-concentraties. Voor beide componenten voldoet de vergelijkbaarheid ruim aan de EU-eisen.

Verder wordt de vergelijkbaarheid niet gekwantificeerd maar een overschatting van enkele $\mu\text{g}/\text{m}^3$ lijkt aanwezig. Dit is grofweg van dezelfde orde als die welke eerder zijn gevonden. Hierbij moet worden aangetekend dat de verschillende studies betrekking hebben op verschillende perioden en locaties.

1.6 Jaarlijkse updates van CAR II

Sinds 2002 is elk jaar, rond maart of april, een nieuwe versie van het CAR II-model verschenen. Deze bevatte elk jaar nieuwe (prognoses voor) grootschalige concentraties, emissiefactoren, meteorologie en verschillende malen kleine aanpassingen aan het model. Bij de release van nieuwe versies zijn door verschillende partijen als Infomil, TNO en het RIVM tests uitgevoerd. Hierbij lag de nadruk op continuïteit, testen of nieuwe versies consistent waren met de oudere versies. De totale concentratieniveaus zijn voor enkele stoffen globaal vergeleken met metingen van het LML.

De reden dat de overschatting door het CAR II-model pas prominent opviel bij gebruik van nieuwe emissiefactoren (zie verder in dit rapport) is het gevolg van het tot op heden rekenen met te lage waarden voor de directe uitstoot van NO_2 . Het CAR II-model rekt tot op heden met 5% directe uitstoot terwijl al enige jaren duidelijk is dat deze fractie aan het toenemen is. Hierdoor is een systematische overschatting van de NO_2 -concentraties door CAR deels gemaskeerd. Immers, de werkelijke emissies van directe NO_2 stegen terwijl CAR II met een lage waarde bleef rekenen.

Deze toename is consistent met de metingen van het LML (Wesseling et al., 2007c). Als nu de juiste fractie directe uitstoot van circa 11-13% in CAR wordt gehanteerd, bij grofweg gelijkblijvende NO_x -emissies, dan neemt de berekende concentratiebijdrage van NO_2 sterk toe. Pas bij het invoeren van de VERSIT+ emissiefactoren zijn voldoende onderbouwde gegevens beschikbaar gekomen voor kwantitatieve analyses.

1.7 Nieuwe inzichten in de verkeersemisies

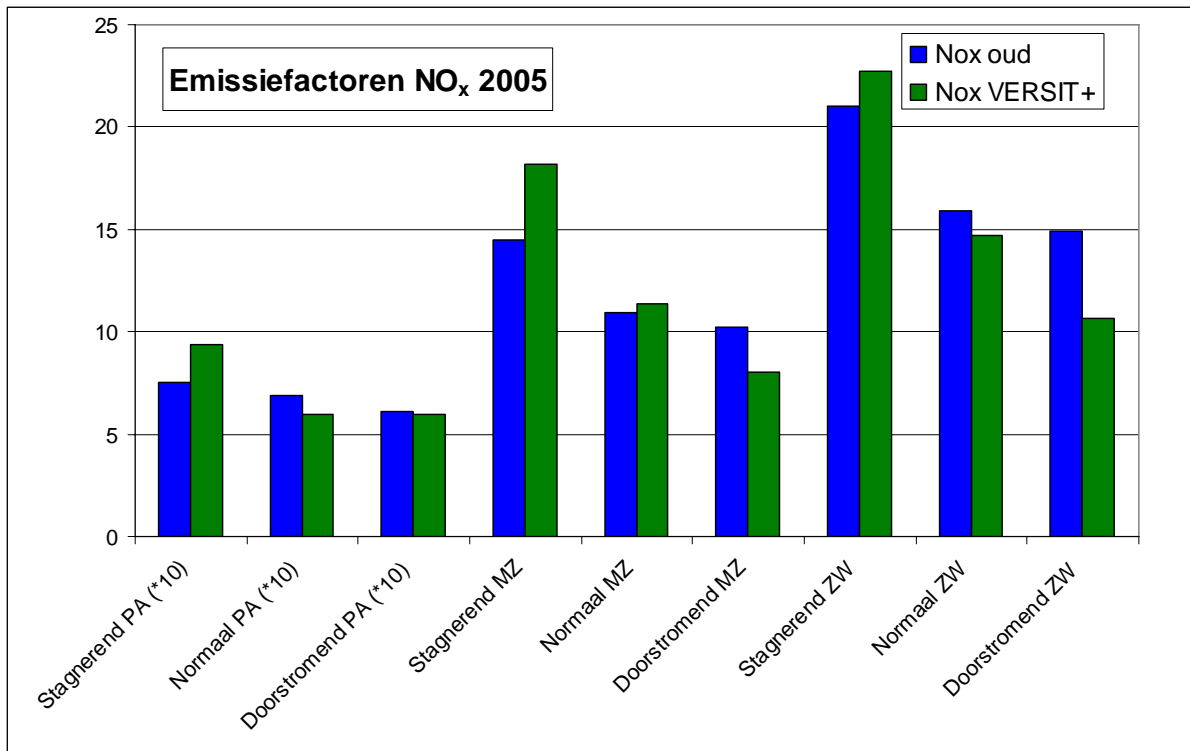
In het algemeen worden de NO_2 -concentraties in de buitenlucht sterk door verkeersemisies en lokale verdunning bepaald, terwijl de totale PM_{10} -concentraties vooral door de grootschalige achtergrond worden bepaald. Tot en met 2006 zijn in het CAR II-model de emissiefactoren voor verkeer gebruikt zoals het MNP die jaarlijks op haar site bekend maakt (<http://www.mnp.nl/nl/themasites/gcn/index.html>). Deze emissiefactoren zijn gebaseerd op de COPERT-systematiek (zie <http://lat.eng.auth.gr/copert/>). Hierbij worden de emissiefactoren beschreven als functie van enkel de gemiddelde snelheid. De mate waarin het afwikkelingsniveau van het verkeer afwijkt van de ritcyclus waarvoor dit gemiddelde representatief is wordt in de COPERT-systematiek echter niet of nauwelijks in rekening gebracht. Voor een nadere beschrijving van de achterliggende methodiek wordt naar de genoemde sites verwezen. Met ingang van 2007 zijn nieuwe schattingen voor voertuigemissies beschikbaar gekomen, die zijn bepaald met behulp van het programma VERSIT+ (Smit et al., 2006). Met dit empirische model is TNO in staat (anders dan in het verleden) om emissiefactoren nauwkeurig en consistent te voorspellen voor verkeerssituaties

die (nog) niet aan wegvoertuigen gemeten zijn. In VERSIT+ wordt uitgegaan van concrete ritcycli met de bijbehorende emissies. Om de gemiddelde emissies voor een situatie te bepalen worden de beschikbare emissies van alle bij die situatie passende ritten gemiddeld. Op deze manier wordt een betere verbinding gelegd tussen verkeersafwikkelingsniveaus en de geschatte gemiddelde emissies hiervan. Wegens de koppeling aan concrete rit- en voertuiggegevens wordt de kwaliteit van de VERSIT+ emissiefactoren als aanmerkelijk hoger geschat dan van de emissiefactoren uit de oude systematiek.

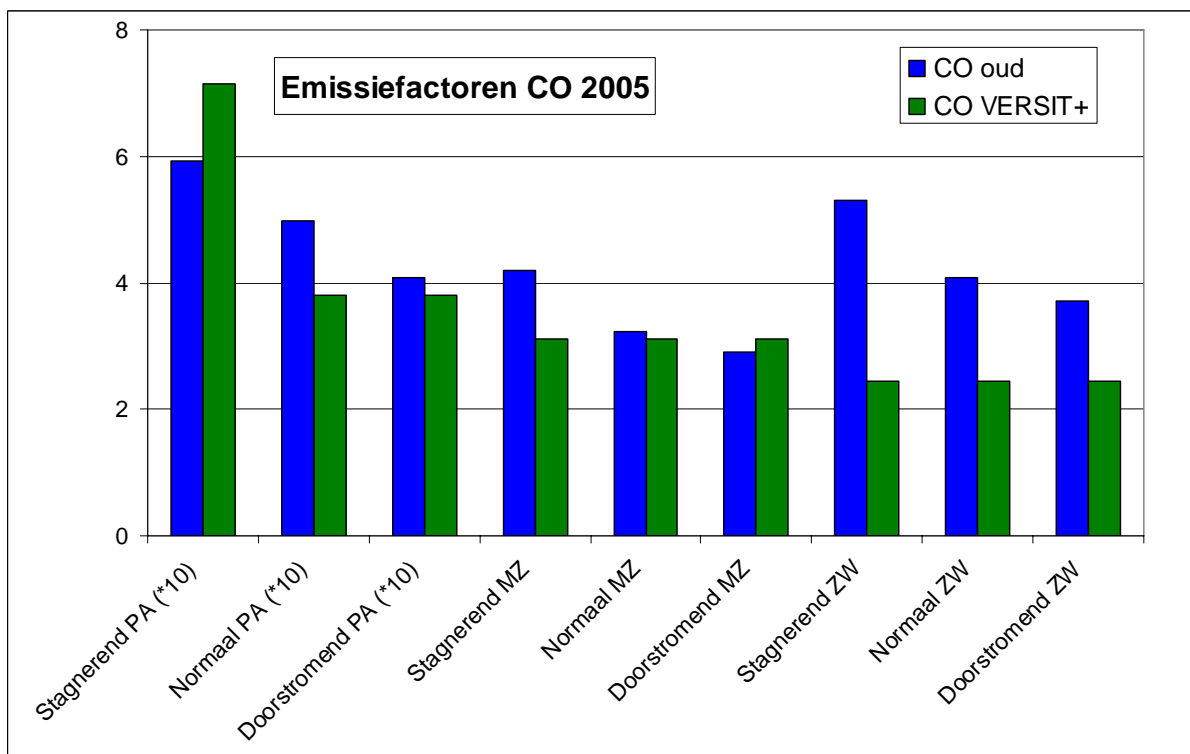
In de VERSIT+ systematiek zijn de NO_x -emissies iets lager dan eerder was aangenomen, maar de directe NO_2 -uitstoot is aanmerkelijk hoger dan voorheen. Een oorzaak is de veranderende samenstelling van het wagenpark. Zo neemt het aandeel voertuigen met een dieselmotor toe, deze hebben een hogere directe emissie van NO_2 dan voertuigen met een benzinemotor. Ook omdat er steeds meer dieselmotoren met een oxidatiekatalysator worden uitgerust neemt het percentage NO_2 dat direct uit de uitlaat van deze voertuigen komt de laatste jaren nog meer toe. Op basis van metingen op het LML wordt vermoed dat de fractie directe uitstoot van NO_2 in grote steden in Nederland momenteel, gemiddeld over het gehele wagenpark al tussen de 10% en 15% ligt (Wesseling et al., 2007c), dit is in redelijk goede overeenstemming met de emissiecijfers van VERSIT+. De emissies van fijn stof zijn in de nieuwe systematiek hoger dan in de oude systematiek. De mate waarin de met VERSIT+ bepaalde emissies verschillen van de eerder gehanteerde getallen verschilt per toetsjaar en per categorie verkeer.

De NO_x -emissiefactoren zijn in de VERSIT+ systematiek gemiddeld lager dan in de eerdere systematiek, de mate waarin varieert per jaar. Naarmate meer moderne motoren deel uitmaken van het Nederlandse wagenpark gaan de NO_x -emissies meer omlaag. Belangrijke verschillen zijn vooral te zien in de mate waarin stagnerend verkeer tot hogere en doorstromend verkeer tot lagere emissies leidt. Volgens VERSIT+ zijn de extra emissies ten gevolge van stagnerend verkeer wezenlijk hoger dan eerder werd aangenomen. In andere situaties is het beeld gevarieerd. Voor CO zijn de meeste VERSIT+ emissiefactoren lager dan eerder het geval was, met uitzondering van stagnerend personenverkeer. Verder zijn de CO-emissiefactoren van vrachtverkeer en bussen gelijk voor stagnerend, normaal en doorstromend stadsverkeer, er zijn onvoldoende gegevens om zinvol te differentiëren (Smit, 2007).

De oude en de VERSIT+ emissiefactoren voor NO_x en CO zijn in Figuur 4 en Figuur 5 weergegeven voor het jaar 2005. In de figuren wordt de codering PA = personenauto's, MZ = middelzwaar vrachtverkeer en ZW = zwaar vrachtverkeer gebruikt. De fractie direct uitgestoten NO_2 bedraagt in de VERSIT+ systematiek voor 2005 voor personenauto's circa 18% en voor alle vrachtverkeer en bussen is deze fractie circa 7%. De fractie varieert nauwelijks tot niet over verschillende afwikkelingsniveaus. In de oude systematiek is het percentage voor alle soorten verkeer en afwikkelingsniveaus 5%.



Figuur 4 *NO_x-emissiefactoren in gram per kilometer voor 2005 voor personenauto's (PA, emissiefactor keer tien), middelzwaar (MZ) en zwaar vrachtverkeer (ZW).*



Figuur 5 *CO-emissiefactoren in gram per kilometer voor 2005 voor personenauto's (PA, emissiefactor keer tien), middelzwaar (MZ) en zwaar vrachtverkeer (ZW).*

1.8 Signaleringsfunctie van het CAR II model

Normstelling is een beleidsmatige keuze waarbij een afweging tussen gezondheid en andere belangen wordt gemaakt. Hetzelfde geldt voor de omgang met de norm, bijvoorbeeld de keuze om een systematische overschatting in het instrumentarium te introduceren waardoor een potentieel onterechte conclusie van voldoen aan de norm kan worden voorkomen. Vanuit gezondheidsoverwegingen kan dat wenselijk worden geacht. Het is aan VROM om eventueel voor een dergelijke veiligheidsmarge te kiezen. Alvorens een onderbouwde keuze voor een eventuele veiligheidsmarge in het CAR II-model kan worden gevoerd, moet eerst helder zijn in welke mate de met het model berekende concentraties met metingen overeenkomen.

2. Het CAR II-model

2.1 De concentratieberekening

Een uitgebreide beschrijving van het CAR II-model wordt in de handleiding bij het programma gegeven (Jonkers en Teeuwisse, 2006). Hieronder wordt de berekening van de concentratie kort beschreven.

In CAR II is er voor gekozen om een simpele parametrisatie te gebruiken waarbij de volgende typen straten worden onderscheiden, variërend van betrekkelijk open gebied tot gesloten straten:

- Voor buitenstedelijk gebruik is er een straattypen 1 dat overeenkomt met een min of meer vrij gelegen weg.
- In stedelijk gebied is er een straattypen 2 gedefinieerd als zijnde alle andere typen dan 3 en 4. Dit komt neer op een gebied met verspreide losse gebouwen, zonder een duidelijke tweedimensionale structuur hierin.
- Er zijn twee typen street canyons gedefinieerd, een relatief smal type (3b) met een breedte/hogte verhouding kleiner dan 3.0 en een breed type (3a) met een breedte/hogte verhouding van 3.0 – 6.0.
- Verder is er een type 4 met eenzijdige bebouwing gedefinieerd met een breedte/hogte verhouding $W/H < 3$.

Voor de verschillende straattypen zijn verdunningsrelaties bepaald (Van den Hout en Baars, 1988). Deze relaties geven de (gemiddelde) verdunning van emissies als functie van de afstand tot de as van de weg. De in het CAR II-model gebruikte relatie voor de verdunning in het straattypen 1 heeft de vorm:

$$F(x) = a \cdot x^{\frac{b \cdot x + e}{x}} \cdot (c \cdot x + d) \quad (2.1)$$

En voor straattypen 2, 3a, 3b en 4 de vorm:

$$F(x) = a x^2 + b x + c \quad (2.2)$$

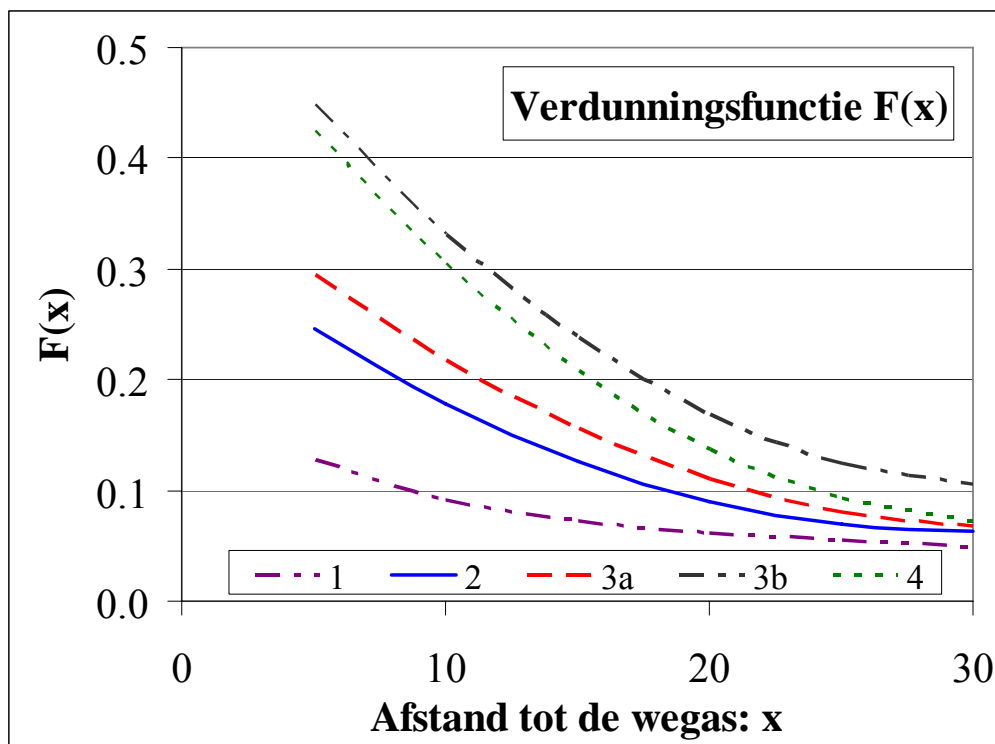
Met x de afstand van de as van de weg tot het rekenpunt in meter en $F(x)$ de verdunningsfactor.

De waarden van de coëfficiënten voor de verdunningsfactor variëren met het wegtype:

Tabel 1 Coëfficiënten in de CAR verdunningsfactoren.

CAR straatype	Coëfficiënt				
	a	b	c	d	e
1	0.725	-0.77	-0.0011	1.20	2.70
2	0.000310	-0.0182	0.33	-	-
3a	0.000325	-0.0205	0.39	-	-
3b	0.000488	-0.0308	0.59	-	-
4	0.000500	-0.0316	0.57	-	-

De verdunningen zijn hieronder in Figuur 6 geplote als functie van de afstand tot de as van de weg.



Figuur 6 Verdunningsfactoren van het programma CAR voor de verschillende wegtypen.

De curve voor straatype 1 heeft een bereik van 300 meter. Door de oorspronkelijk gekozen vorm van de gefitte relatie (een 2^e orde polynoom) voor de andere straatypes zijn de berekende verdunningen enkel tot 30 meter van de wegas bruikbaar. Bij grotere afstanden gaan de polynomen weer toenemen waardoor de relatie onbruikbaar wordt.

De jaargemiddelde concentratiebijdrage ($C_{b,jm}$) van het verkeer wordt bepaald door de emissie met verschillende factoren te vermenigvuldigen:

$$C_{b,jm} = E \cdot F(x) \cdot F_b \cdot F_{regio} \quad (2.3)$$

waarbij:

- E : Emissie [$\mu\text{g}/\text{m}/\text{s}$].
 $F(x)$: Verdunningsfactor bij de aangenomen gemiddelde meteorologische omstandigheden [s/m^2].
 F_b : Bomenfactor (1.00, 1.25, 1.50).
 F_{regio} : Meteorologische factor welke per regio in Nederland kan variëren. Deze factor wordt jaarlijks aangepast en heeft typisch waarden tussen circa 0.7 en circa 1.4.

Combinatie van de aldus bepaalde concentratiebijdrage met de grootschalige achtergrond volgens GCN geeft voor inerte stoffen direct de totale concentratie van chemisch inerte stoffen.

2.2 NO_x / NO_2 -conversie in het CAR II-model

Voor bepaling van de NO_2 -concentratie wordt eerst de NO_x -concentratie berekend welke vervolgens wordt omgezet in een NO_2 -concentratie. De jaargemiddelde NO_2 -concentratie wordt als volgt bepaald:

$$C[\text{NO}_2] = f_{\text{NO}_2} \cdot C_{bij}[\text{NO}_x] + \frac{B \cdot C_{GCN}[\text{O}_3] \cdot C_{bij}[\text{NO}_x] \cdot (1 - f_{\text{NO}_2})}{C_{bij}[\text{NO}_x] \cdot (1 - f_{\text{NO}_2}) + K} + C_{GCN}[\text{NO}_2] \quad (2.4)$$

met

- $C[\text{NO}_2]$: Totale jaargemiddelde concentratie NO_2 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$];
 $C_{bij}[\text{NO}_x]$: Jaargemiddelde concentratiebijdrage verkeer aan NO_x [$\mu\text{g}/\text{m}^3$];
 $C_{GCN}[\text{NO}_2]$: Jaargemiddelde grootschalige concentratie NO_2 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$];
 $C_{GCN}[\text{O}_3]$: Jaargemiddelde grootschalige concentratie ozon (O_3) [$\mu\text{g}/\text{m}^3$];
 f_{NO_2} : Gewogen fractie direct uitgestoten NO_2 .
 Deze factor is in het verleden vastgesteld op 0.05 maar is vermoedelijk aan het toenemen;
 K : Empirisch bepaalde parameter voor de omzetting van NO naar NO_2 , waarde 100 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$].
 B : Factor die in rekening brengt dat een receptor meestal éénzijdig, over ruim een halve windroos, door verkeer wordt belast. In die situatie geldt $B=7/12$, afgerond op 0.6. In straattipe 4 wordt een receptor bij alle windrichtingen belast en geldt eigenlijk $B=1.0$, zie Van den Hout en Baars (1988).

Voor de benodigde NO_2 - en O_3 -achtergrondconcentraties wordt gebruik gemaakt van de gegevens van de GCN. In de CAR II-berekening is de NO_x -achtergrondconcentratie niet nodig en deze is dan ook niet beschikbaar in de standaardversie van CAR II.

Om de berekende concentraties van de geëmitteerde stoffen met behulp van recente metingen van het LML te controleren, zijn met behulp van een aangepaste versie van CAR de jaargemiddelde concentraties van twee stoffen, namelijk stikstofoxiden ($\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}_2$, waarvan de som als inert kan worden beschouwd) en inert koolmonoxide (CO), bepaald. Deze twee stoffen zijn in principe geschikt voor deze tests omdat ze een relatief hoge verkeersbijdrage hebben ten opzichte van de heersende achtergrondconcentraties. De concentratiebepaling is gedaan op de locaties van veertien meetstations van het LML. Het voordeel van het gebruik van inerte stoffen is dat, mits de emissies correct zijn, enkel de verdunning van de geëmitteerde stof de concentratie bepaalt. De verdunning is onafhankelijk van de chemische reacties. Hoewel de samenstelling van de NO_x kan variëren wordt de som van de NO en NO_2 in de huidige studie als een inert gas behandeld¹.

2.3 Invoer

In de voorliggende studie is voor alle betrokken straten, zie onderstaande tabel, een keuze gemaakt voor het te gebruiken CAR straattype. Voor meer informatie over de stationskenmerken en de CAR II modellering zie Wesseling et al. (2007b).

Tabel 2 *In de studie gebruikte stations van het LML.*

Stationnummer	Locatie	Straattype	Meteoregio
136	Heerlen, Looierstraat	2	6
236	Eindhoven, Genovevalaan	4	5
237	Eindhoven, Noord Brabantlaan	4	5
240	Breda-Tilburgseweg	2	5
433	Vlaardingen, Marathonweg	2	2
445	Den Haag, Veerkade	3b	2
447	Leiden, Willem de Zwijgerlaan	2	2
448	Rotterdam- Bentinckplein	2	2
537	Haarlem, Amsterdamsevaart	2	2
544	Amsterdam, Bernhardplein	2	2
636	Utrecht, De Jongweg	2	5
639	Utrecht, Erzeijstraat	3a	5
741	Nijmegen, Graafseweg	2	6
937	Groningen, Europaweg	2	1

Bij het maken van een keuze van het straattype moet worden bedacht dat de straattypen 3 en 4 in CAR geïdealiseerde tweedimensionale straten zijn. Variaties in de bebouwing langs de straat kunnen de keuze van het juiste type bemoeilijken. Over het algemeen moet voor de keuze worden uitgegaan van de gemiddelde, representatieve, situatie in een straat ter plaatse van het toetspunt. Voor de huidige studie is, voor zover mogelijk, uitgegaan van de gemiddelde situatie in de straat voor minimaal 50 meter aan weerszijden van het meetpunt. Waar de situatie duidelijk niet paste bij een van de straattypen 3 of 4 is voor type 2 (overig)

¹ In de OPS-berekeningen van het MNP zijn PAN (peroxy acetylnitrat) en HNO_2 tot en met 2005 ook tot de NO_x gerekend (Velders et al., 2007). In het LML worden enkel NO en NO_2 tot de NO_x gerekend. Omdat in de huidige studie alleen gekalibreerde bestanden van het MNP worden gebruikt, die zijn gefit aan regionale en stadsachtergrondstations van het LML, wordt aangenomen dat de invloed van PAN en HNO_2 op de eindresultaten klein is.

gekozen. De afstand van de locatie van het station tot de as van de weg is bepaald aan de hand van bij het RIVM aanwezige gegevens, eventueel aangevuld met informatie verkregen met Google Earth² en inspectie ter plaatse. Uiteindelijk is twee maal gekozen voor een type 4 (eenzijdige bebouwing), één maal voor type 3a (brede street canyon) en één maal voor type 3b (smalle street canyon). In alle andere gevallen komen de straten het meeste overeen met type 2 (basistype). Straattypen 1 komt in de studie geheel niet voor.

In de analyse zijn de resultaten voor LML-station 445, de Veerkade te Den Haag niet gebruikt. Dit station staat in het midden van de straat en past eigenlijk dus niet goed in de systematiek van CAR II. De resultaten van de analyse worden voor de volledigheid echter ook voor station 445 getoond. Als voorwaarde voor het gebruik van gemeten jaargemiddelde concentraties is een databeschikbaarheid van minimaal 50% van de jaarlijkse uren gehanteerd. Stations die in de loop van een jaar beschikbaar zijn gekomen zijn niet in de analyse betrokken.

2.4 Correcties op de berekeningen

Verfijning van de snelwegbijdrage

De LML-stations waarop de concentraties in de huidige studie met CAR berekeningen worden vergeleken, liggen alle binnen 1-4 kilometer van een drukke snelweg. Het is bekend (Hoogerbrugge, 2005) dat snelwegen bij lokale studies tot een zogenaamde “dubbeltelling” leiden. De naam “dubbeltelling” stamt van het feit dat in gedetailleerde studies aan snelwegen de snelwegbijdrage zowel in de grootschalige concentraties van het MNP is verwerkt als in de lokale berekening. In de grootschalige concentraties van het MNP zijn de emissies op de snelweg over een groot gebied uitgesmeerd. Om te corrigeren dient de uitgesmeerde invloed van de emissies op de snelweg in mindering te worden gebracht op de grootschalige, dit geeft een snelwegloze achtergrond, waarna deze vervolgens worden gecombineerd met de in groot ruimtelijk detail berekende bijdrage van de betreffende snelweg. Deze verfijning is vooral van belang voor NO₂, de bijdrage van PM₁₀ aan de totale concentratie is over het algemeen zo klein dat een correctie voor dubbeltelling niet significant is.

Om een indruk te krijgen van de invloed van dubbeltelling op de huidige vergelijking is deze correctie voor NO₂ voor alle locaties berekend. De bijdragen van de snelwegen zijn ontleend aan de rapportage van het Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN) in het kader van het Besluit luchtkwaliteit voor 2005 (Vermeulen en Bleeker, 2006). De correctie varieert voor de onderzochte locaties van -3 µg/m³ tot +3 µg/m³.

De vuistregel voor dubbeltelling geeft ook een schatting voor de invloed van de snelweg in de NO_x-concentraties. In de gegevens van het ECN zijn de gedetailleerde bijdragen van de NO_x-emissies op de snelwegen niet beschikbaar. Daarom is voor de nettocorrectie voor de NO_x (dubbeltelling plus bijdragen snelwegen) als benadering aangenomen dat deze procentueel net zo groot zijn als die voor NO₂.

² Zie <http://earth.google.com/>

Hoogte

De CAR II-modelberekeningen gelden op een hoogte van 1.50 meter boven het maaiveld terwijl de inlaten van de LML-meetstations op 2.5 – 4.0 meter hoog zitten. Volgens een eerdere analyse van Eerens (1993) leidt de grotere hoogte van de inlaatpunten van de meting tot een lagere waarde van de concentratiebijdragen. De factor die hiervoor door Eerens is genoemd bedraagt 0.91 en is met behulp van metingen bepaald. Voor dit effect is in de huidige analyses de bijdrage van het lokale verkeer tot de concentraties gecorrigeerd. Voor NO₂ is een correctie voor het hoogteverschil van 0.95 gehanteerd aangezien veranderingen in de NO_x slechts voor een deel doorwerken als veranderingen in NO₂.

3. Aanpassing van CAR

Toepassing van de nieuwe inzichten op het gebied van verkeersemissies in CAR II leidt dus vooral voor NO₂, en in mindere mate voor PM₁₀ tot (aanmerkelijk) hogere concentratiebijdragen van het verkeer. Zoals gezegd hanteert CAR een stapsgewijze benadering om concentraties in stedelijk gebied uit te rekenen:

1. Eerst worden de emissies van het verkeer bepaald uit de verkeersgegevens.
2. Vervolgens wordt de verspreiding (verdunding) van de geëmitteerde stoffen in de straat berekend. Dit levert de concentraties van de inerte, niet-reactieve, stoffen. Bij deze stap wordt rekening gehouden met de effecten van de meteorologie en van bomen.
3. Ingeval van een berekening van de NO₂-concentraties worden de NO_x-concentraties omgezet in NO₂-concentraties.
4. De berekende concentratiebijdragen worden met de grootschalige concentraties van GCN gecombineerd.

Een logische eerste stap in een test van CAR II is dus controle van de berekende emissie en verdunding van de geëmitteerde inerte stoffen (zoals NO_x en CO) in de straten. De logische tweede stap is controle van de chemische omzetting. Indien blijkt dat de inerte concentraties niet goed worden berekend dan kan de invloed van modelparameters worden onderzocht.

3.1 Emissies

Met VERSIT+ is TNO in staat om emissiefactoren nauwkeuriger en consistentier te voorspellen voor verkeerssituaties die (nog) niet aan wegvoertuigen gemeten zijn, dan eerder het geval was. De totale emissies die in CAR worden gebruikt zijn het product van de verkeersintensiteiten, uitgesplitst naar voertuigcategorie en afwikkelingsniveau, en de bijbehorende emissiefactoren. De verkeerscijfers in de onderzochte straten zijn zeer divers:

- de verkeersintensiteit varieert tussen circa 10000 en circa 50000 voertuigen per etmaal;
- de fractie vrachtverkeer (middelzwaar en zwaar samen) varieert tussen circa 3% en circa 10%;
- de fractie bussen (middelzwaar en zwaar samen) varieert tussen 0% en circa 8%.

Het afwikkelingsniveau (stagnerend, normaal of doorstromend stadsverkeer) varieert ook binnen de testset. De keuze van het te hanteren afwikkelingsniveau is gebaseerd op basis van gegevens die zijn verstrekt door de gemeenten, eventueel aangevuld met andere gegevens en inspectie ter plaatse.

3.2 Verdunning

Verdunning is op zich een fysische grootheid. Echter, de verdunningsfuncties zoals die in CAR worden gebruikt zijn niet direct gebaseerd op fysische metingen maar op berekeningen met het TNO Verkeersmodel, met hun eigen onzekerheid.

In 2005 heeft TNO meerdere aspecten van het TNO Verkeersmodel aangepast (Wesseling en Zandveld, 2006a en 2006b). Als gevolg van deze aanpassingen zijn de concentratieniveaus die bij gemiddelde stedelijke omstandigheden door het model voor alle stoffen worden berekend, grofweg gehalveerd. Aangezien de verdunningsfactoren in CAR zijn bepaald uit berekeningen met het TNO Verkeersmodel (weliswaar een veel eerdere versie dan de huidige, met een andere berekening van de windsnelheid en waarin de invloed van gebouwen expliciet kon worden berekend) kan niet worden uitgesloten dat de verdunningsfuncties ook moeten worden gecontroleerd en, indien nodig, aangepast.

De verdunning van de emissies is opgebouwd uit drie factoren, zie ook relatie (2.3):

- Basisverdunning
Met het TNO Verkeersmodel zijn indertijd berekeningen uitgevoerd waarvan de resultaten zijn gecompriëerd in straattypes en verwerkt tot verdunningsfuncties die in CAR worden gebruikt.
- Bomenfactor
De bomenfactor brengt in rekening dat de aanwezigheid van bomen de berekende concentraties aanmerkelijk kan beïnvloeden. Een systematische evaluatie van de bomenfactor is in het kader van de huidige studie niet realistisch aangezien in de meeste straten in de testset geen bomen voorkomen.
- Meteorologische factor (Regiofactor)
De meteorologische factor brengt in rekening dat de windsnelheid over het grondgebied van Nederland varieert. Als gevolg hiervan variëren concentratiebijdragen van bronnen evenzo. Een systematische afwijking in de regiofactor is pas waarschijnlijk indien duidelijke verschillen worden gevonden in de overeenkomst tussen berekende en gemeten concentraties in verschillende delen van Nederland. De systematiek van de regiofactor wordt in een aparte studie van het RIVM nader geanalyseerd (Mooibroek en Wesseling, 2007).

Binnen de huidige ijking aan veldmetingen, zoals die door het RIVM is uitgevoerd, bestaat er een relatie tussen de in de ijking gehanteerde emissiefactoren, verdunningsfactoren en meetresultaten van het LML. Als een keuze voor de te hanteren emissiefactoren wordt gemaakt dan volgt hieruit een schatting voor de verdunningsfactoren.

3.3 Achtergronden

De met GCN bepaalde achtergronden worden voor verschillende stoffen geïjkt aan metingen van het LML op stadsachtergrond- en op regionale locaties. Het is dan ook niet te verwachten dat GCN systematische afwijkingen bevat die in een groot gebied of zelfs in geheel Nederland voorkomen. Eventuele afwijkingen zullen lokaal zijn en vooral in stedelijk gebied. Het MNP zegt op haar website³ hierover:

“De kaarten zijn gebaseerd op de best beschikbare informatie, zoals door het MNP gebruikt bij evaluaties en verkenningen. De nauwkeurigheid van de informatie in de kaarten wordt door een aantal factoren beïnvloed. Naast de nauwkeurigheid van het gebruikte model zijn nog enkele andere bronnen van onzekerheid te noemen. Het detailniveau van de gebruikte informatie over emissiebronnen in binnen- en buitenland kent om praktische redenen zijn beperkingen. Hetzelfde geldt voor meteorologische en omgevingsfactoren die van invloed zijn op de verspreiding van luchtverontreiniging. Binnen een gridcel is bovendien de werkelijke concentratie niet overal gelijk. Een onzekerheidsmarge rond de weergegeven waarden is het gevolg. De onzekerheid bedraagt, afhankelijk van stof en jaar, van 20% tot 60% voor concentraties en van 50% tot 100% voor deposities.”

Als bij de huidige test van CAR globale systematische afwijkingen worden gevonden zullen de achtergronden daarom niet als mogelijke oorzaak worden onderzocht. Bij de vergelijking van individuele metingen en berekeningen moet bovenstaande echter in gedachten worden gehouden. In deze studie worden eerst met zowel de oude als de nieuwe emissiefactoren en de huidige verdunningsfactoren inerte concentraties berekend en met metingen vergeleken. Afhankelijk van het resultaat zal zo nodig worden gezocht naar een aanpassing om de berekeningen en de metingen met elkaar in overeenstemming te brengen.

³ <http://www.mnp.nl/nl/themasites/gcn/index.html>

4. Kalibratie van het CAR II-model

Omdat in de standaardversie van CAR II geen jaargemiddelde NO_x - en CO-concentraties worden berekend is hiervoor een aanpassing aan het programma gemaakt. Voor de achtergrondconcentraties zijn door het MNP gekalibreerde CO- en NO_x -bestanden beschikbaar gesteld (Velze, 2007). Deze velden verschillen van de standaardbestanden omdat ze aan de metingen van het LML zijn gekalibreerd. In vergelijking tot NO_x is de beschikbare kennis over CO-emissies en de ruimtelijke verdeling minder nauwkeurig, terwijl ook het aantal voor kalibratie beschikbare CO-metpunten geringer is. De verklaring hiervoor is dat de EU beoordelingsdrempels voor CO niet zijn overschreden en dat daarom de noodzaak om deze stof goed in beeld te hebben kleiner is. Tevens zijn de NO_x -emissiefactoren voor zowel de verschillende verkeerscategorieën (personen, middelzwaar en zwaar vrachtverkeer) als de verschillende afwikkelingsniveaus uitgesplitst terwijl dat voor de CO-emissiefactoren enkel naar verkeerscategorie is gedaan. Om deze redenen wordt in deze studie meer waarde gehecht aan de NO_x -resultaten dan de CO-resultaten. De in CAR II gebruikte NO_2 - en O_3 -concentraties zijn altijd gekalibreerd door een ijking aan metingen van het LML.

Voor de kalibratie zijn de volgende berekeningen uitgevoerd:

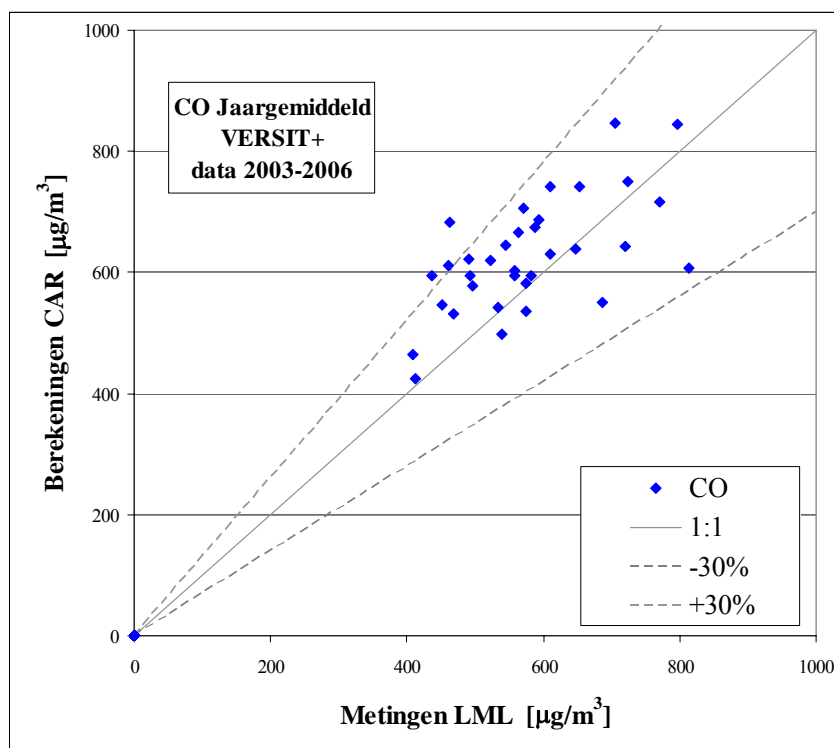
1. berekeningen van de CO- en NO_x -concentratiebijdragen voor de jaren 2003 – 2006 met de standaardverduunning van CAR en de in 2007 vrijgegeven VERSIT+ emissiefactoren;
2. berekeningen van de CO- en NO_x -concentratiebijdragen voor de jaren 2001 – 2006 met de standaardverduunning van CAR en de “oude” emissiefactoren zoals voor de periode 2000-2006 bekend zijn gemaakt.

In de eerste stap worden de berekende en gemeten concentratiebijdragen met elkaar vergeleken. In CAR II worden de concentratiebijdragen direct berekend. Voor de vergelijking met de gemeten concentratiebijdragen wordt de GCN-achtergrondconcentratie van de op het LML gemeten concentratie afgetrokken. Als gevolg is de onzekerheid in de “gemeten” bijdrage groter dan die van de LML-meting. Door de ijking met zowel de oude als de nieuwe emissiefactoren uit te voeren wordt duidelijk of de gekozen systematiek van emissiefactoren invloed heeft op de ijking.

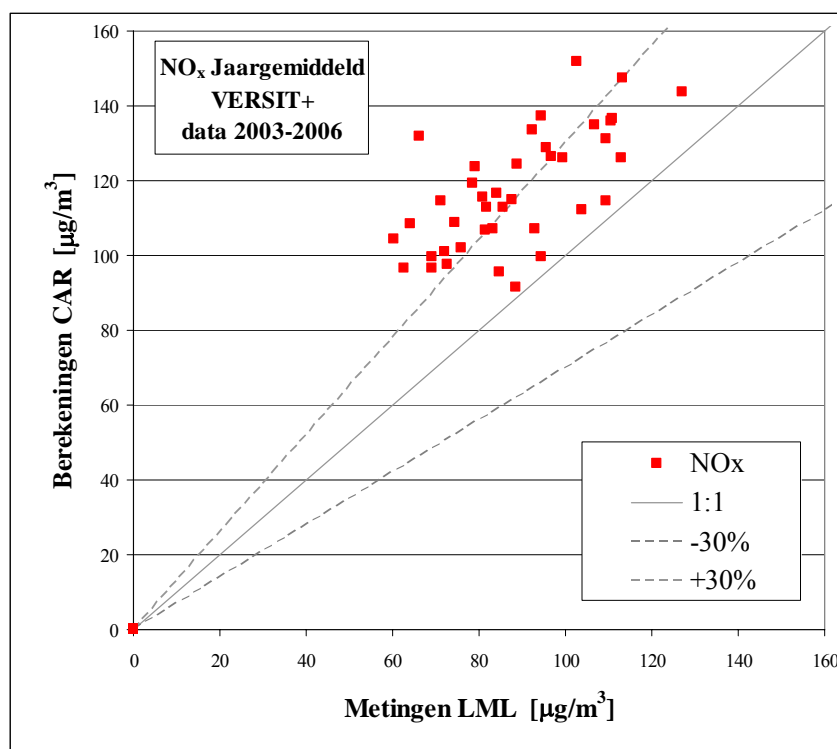
Met behulp van de resultaten van de eerste set van berekeningen is een vergelijking gemaakt tussen de met CAR II berekende en de gemeten concentratiebijdragen in de straten bij gebruik van de VERSIT+ emissiefactoren. Om het effect van de invoering van de VERSIT+ emissiefactoren te bestuderen, zijn ook berekeningen uitgevoerd met gebruikmaking van de oude emissiefactoren. Vervolgens zijn de totale concentraties, voor elke stof de concentratiebijdrage plus de achtergrondconcentratie, met beschikbare metingen vergeleken. In alle gevallen is vervolgens nagegaan hoe de overeenkomst tussen berekende en gemeten concentraties is.

4.1 Kalibratie met VERSIT+ emissiefactoren

Omdat de VERSIT+ emissiefactoren van TNO enkel voor de jaren vanaf 2005 bekend zijn is er, na overleg met de leverancier, voor gekozen om de waarden voor 2003 en 2004 uit de beschikbare getallen voor 2005 en 2010 te extrapoleren (Smit, 2007). Extrapolatie naar eerdere jaren werd door TNO niet verantwoord geacht. In de Figuren 7 en 8 zijn de met de standaardverdunning berekende jaargemiddelde totale NO_x- en CO-concentraties uitgezet tegen de op het LML gemeten NO_x- en CO-concentraties. De met CAR II berekende concentraties zijn met de eerder genoemde factor van 0.91 vermenigvuldigd om voor het hoogteverschil tussen meet- en rekenhoogten te corrigeren. Deze correctie is in alle figuren, waarin een vergelijking van berekende en gemeten concentraties wordt gepresenteerd, toegepast.

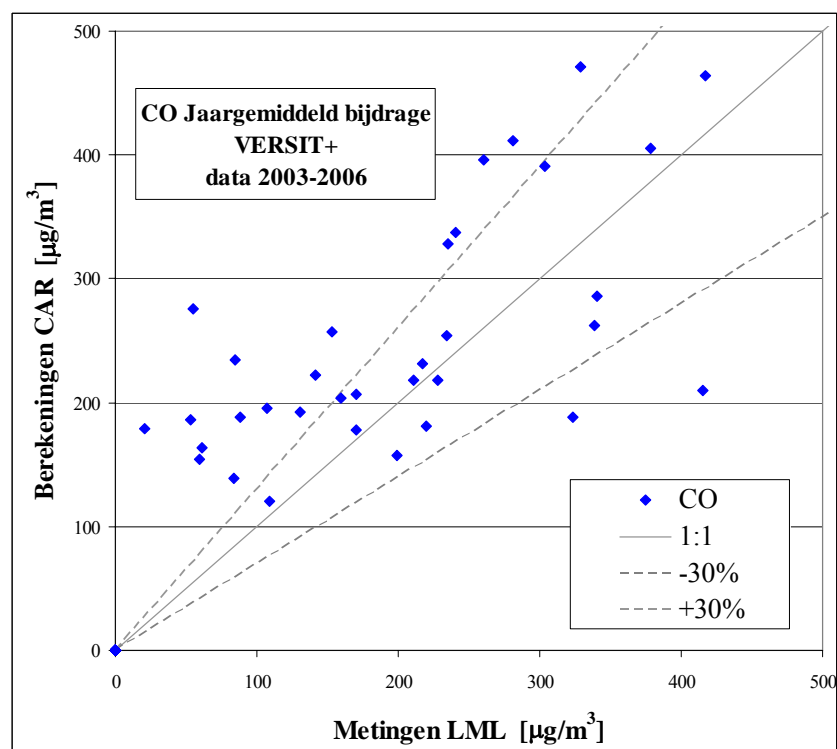


Figuur 7 Vergelijking tussen gemeten en met de standaardverdunning berekende totale CO-concentraties bij gebruik van de VERSIT+-emissiefactoren.

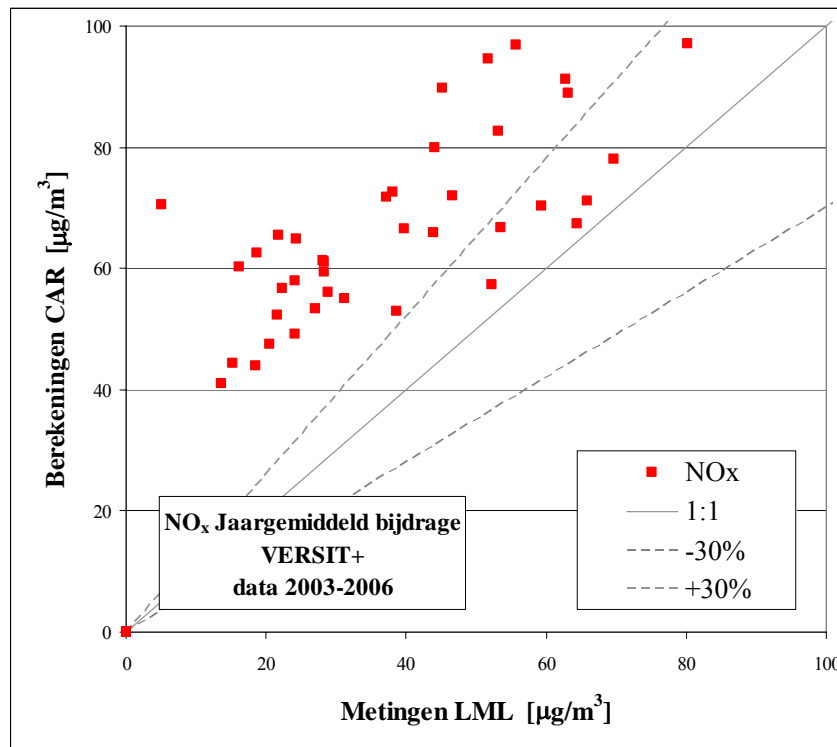


Figuur 8 Vergelijking tussen gemeten en met de standaardverdunning berekende totale NO_x-concentraties bij gebruik van de VERSIT+-emissiefactoren.

De berekende totale concentraties voor beide stoffen zijn evident hoger dan de gemeten totale concentraties.



Figuur 9 Vergelijking tussen gemeten en met de standaardverdunning berekende CO-concentratiebijdragen bij gebruik van de VERSIT+-emissiefactoren.

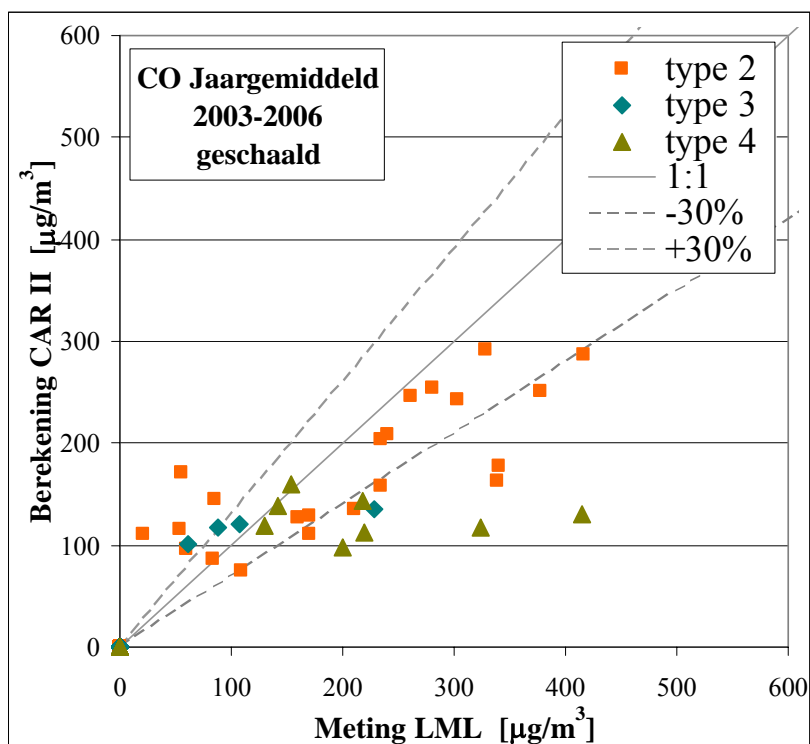


Figuur 10 Vergelijking tussen gemeten en met de standaardverduunning berekende NO_x-concentratiebijdragen bij gebruik van de VERSIT+-emissiefactoren.

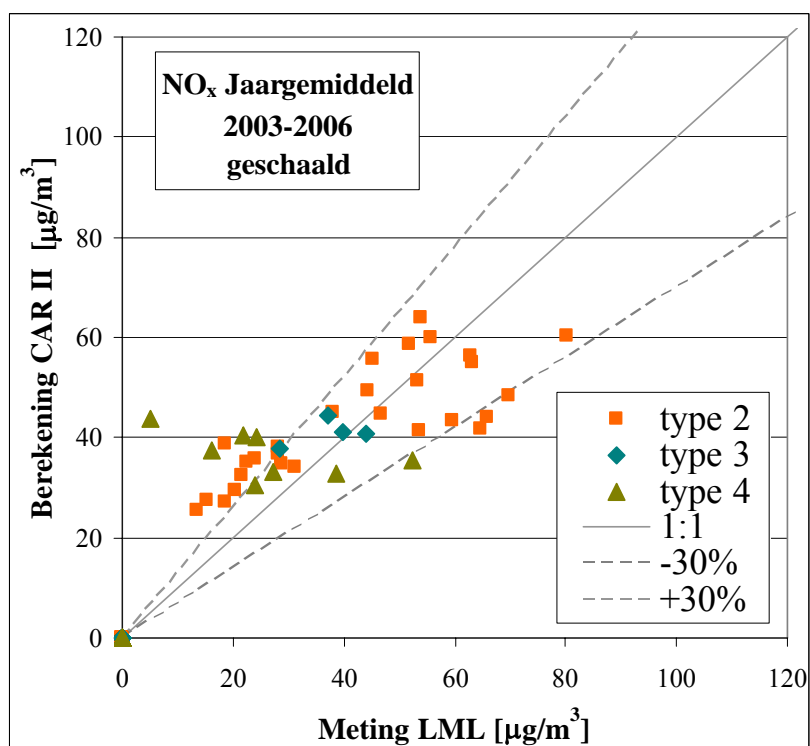
Uit de Figuren 9 en 10 is duidelijk dat de *berekende* verkeersbijdragen aan de concentraties voor beide stoffen gemiddeld meer dan 30% hoger zijn dan de *gemeten* concentratiebijdragen. De berekende NO_x concentratiebijdragen lijken de gemeten concentratiebijdragen iets meer te overschatten dan voor CO het geval is. In het algemeen valt op dat de dynamiek in de CAR II-resultaten beperkter is dan die in de metingen.

In de analyse wordt aangenomen dat er een lineaire correlatie bestaat tussen de gemeten en berekende concentratiebijdragen en dat er geen sprake is van een offset, oftewel dat de berekende concentraties gelijk zijn aan de gemeten waarden maal een factor. Op basis van standaard kleinste kwadraten regressie aan de NO_x-data moeten de berekende concentratiebijdragen met 0.65 worden geschaald om gemiddeld een-op-een te correleren met de metingen. Bij toepassing van een orthogonale regressieanalyse, waarbij onzekerheden in zowel de metingen als in de berekeningen doorwerken, bedraagt de benodigde schaalfactor 0.62 ± 0.06 . Op basis van standaard kleinste kwadraten regressie aan de CO-data moeten de berekende concentratiebijdragen met 0.92 worden geschaald om gemiddeld een-op-een te correleren met de metingen. Bij toepassing van een orthogonale regressieanalyse, waarbij onzekerheden in zowel de metingen als in de berekeningen doorwerken, bedraagt de benodigde schaalfactor 0.85. In de Appendix wordt een korte analyse van de onzekerheden beschreven.

Om een indruk te krijgen van de invloed van de straattypen (2, 3 of 4) op de correlatie zijn de berekende en gemeten concentratiebijdragen, na toepassing van de kalibratiefactor van 0.62, apart geplott.



Figuur 11 Vergelijking tussen gemeten en met 62% geschaalde berekende concentratiebijdragen van CO voor straattype 2,3 en 4 bij gebruik van de VERSIT- emissiefactoren.

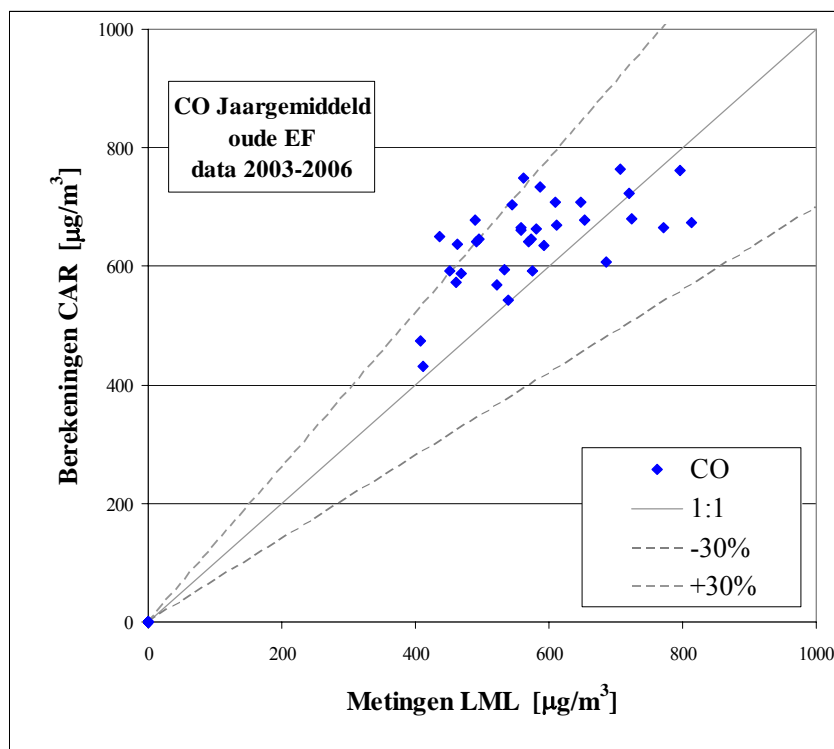


Figuur 12 Vergelijking tussen gemeten en met 62% geschaalde berekende concentratiebijdragen van NO_x voor straattype 2,3 en 4 bij gebruik van de VERSIT+-emissiefactoren.

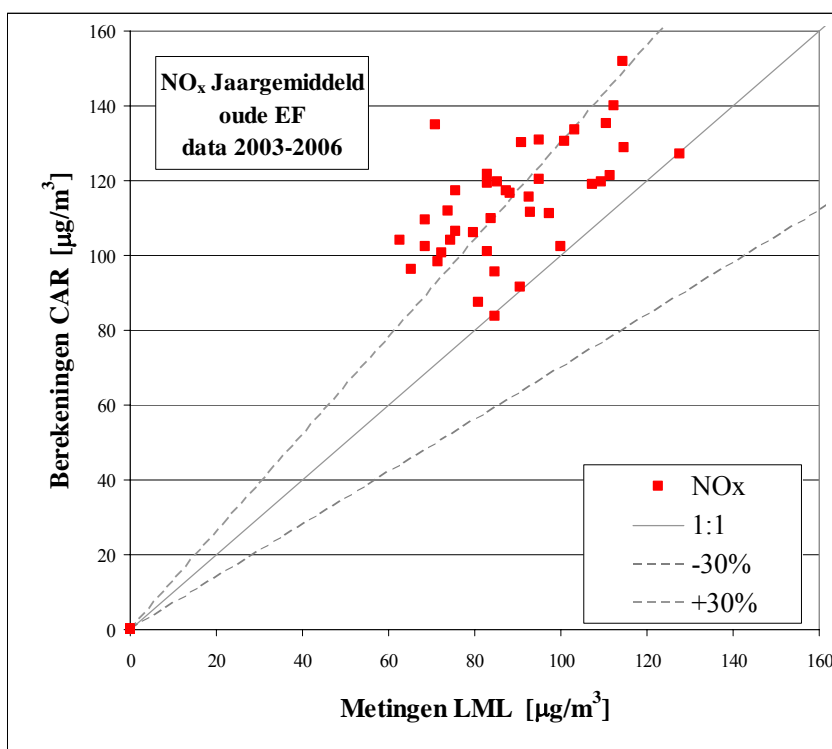
Na toepassing van de schaal- of kalibratiefactor zijn de overeenkomsten tussen de berekende en gemeten NO_x - en CO-concentraties beter dan zonder de correctie. Vooral voor NO_x is de overeenkomst goed. Bij lagere concentraties blijft CAR II een overschatting houden. Voor CO is er, met name bij de wat hogere concentraties, een iets minder goede overeenkomst. Aangezien de LML-stations hoofdzakelijk in straten voorkomen die in CAR II worden geclassificeerd als type 2 is de gevonden kalibratiefactor hoofdzakelijk voor dat straattypen van toepassing. De beperkte data voor straattypen 3 en 4 doen voorsnog echter vermoeden dat de correctie voor die straattypen vergelijkbaar is.

4.2 Kalibratie met de oude emissiefactoren van CAR

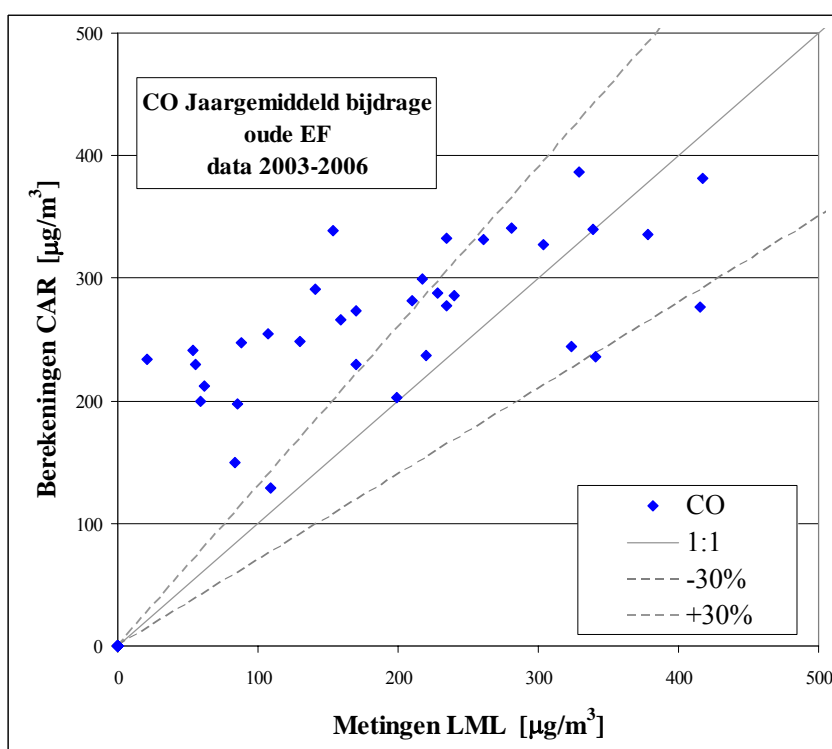
Om na te gaan of de gevonden kalibratiefactor het gevolg is van de gekozen emissiefactoren zijn, net als hierboven, berekeningen uitgevoerd maar nu met gebruik van de emissiefactoren zoals deze tot en met 2006 in CAR II zijn gebruikt.



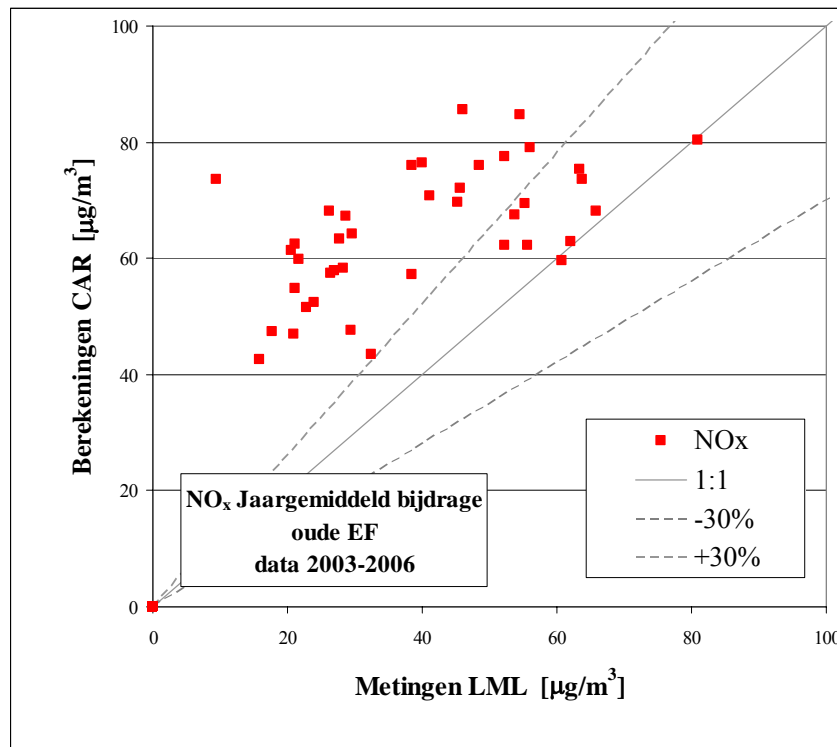
Figuur 13 *Vergelijking tussen gemeten en berekende CO totale concentraties bij gebruik van de oude emissiefactoren.*



Figuur 14 Vergelijking tussen gemeten en berekende NO_x totale concentraties bij gebruik van de oude emissiefactoren.



Figuur 15 Vergelijking tussen gemeten en berekende CO-concentratiebijdragen bij gebruik van de oude emissiefactoren.



Figuur 16 Vergelijking tussen gemeten en berekende NO_x-concentratiebijdragen bij gebruik van de oude emissiefactoren.

Vergeleken met de correlaties zoals weergegeven in de Figuren 9 en 10 valt op dat de CAR berekeningen in combinatie met de VERSIT+ emissiefactoren bij lage concentraties iets lager uitkomen dan bij gebruik van de oude emissiefactoren, de verdeling lijkt iets minder vlak. Met name de NO_x-concentratiebijdragen liggen in combinatie met de VERSIT+-emissiefactoren wat meer langs de diagonaal. De dynamiek in de met CAR II berekende concentraties is kleiner dan bij gebruik van de VERSIT+-emissiefactoren het geval was.

Op basis van standaard kleinste kwadraten regressie aan de NO_x-data moeten de berekende concentratiebijdragen met 0.69 worden geschaald om een-op-een te correleren met de metingen. Bij toepassing van een orthogonale regressieanalyse, waarbij onzekerheden in zowel de metingen als in de berekeningen doorwerken, is de benodigde schaalfactor 0.65. Op basis van standaard kleinste kwadraten regressie aan de CO-data moeten de berekende concentratiebijdragen met 0.90 worden geschaald om een-op-een te correleren met de metingen. Bij toepassing van een orthogonale regressieanalyse, waarbij onzekerheden in zowel de metingen als in de berekeningen doorwerken, is de benodigde schaalfactor 0.83.

4.3 Invloed van de regiofactor

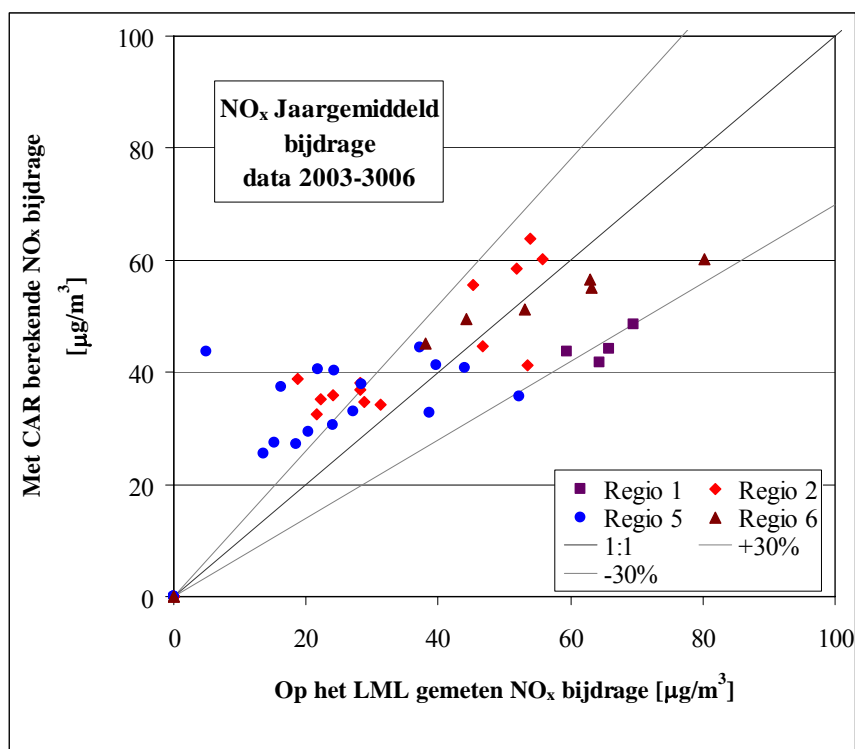
Om de mogelijke invloed van de regiofactor te bepalen is berekend in hoeverre het gemiddelde verschil tussen LML en CAR van de regio afhangt. Helaas zijn er alleen maar LML-straatstations beschikbaar in de meteorologische regio's 1 (noord), 2 (west), 5 (midden) en 6 (zuid-oost). In Tabel 3 zijn per regio de gemiddelde berekende NO_x-bijdragen van het verkeer en de gemiddelde afwijking tussen de berekende en gemeten NO_x-bijdragen vermeld.

Tabel 3 Berekende en gemeten NO_x -bijdragen per regio in $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Regio	1	2	5	6
Aantal stations	1	6	5	2
Gemiddelde NO_x	44.5	43.6	35.5	52.9
Gemiddelde CAR-LML	-16.6	6.4	6.8	-5.1

De verdeling van de teststraten over de meteorologische regio's in CAR is niet uniform, zie Tabel 2. In regio 1 valt maar één station, namelijk LML937 in Groningen. In regio 6 vallen maar twee stations, LML136 te Heerlen en LML741 te Nijmegen. In regio 2 vallen zes stations en in regio 5 vallen vijf stations.

In Figuur 17 zijn de berekende en gemeten NO_x -concentratiebijdragen weergegeven, uitgesplitst naar de meteorologische regio waarin ze liggen.



Figuur 17 Vergelijking tussen gemeten en met 0.62 geschaalde berekende NO_x -concentratiebijdragen bij gebruik van de VERSIT+-emissiefactoren.

Wezenlijke onderschatting van de NO_x -concentratiebijdragen door CAR treedt voor twee stations op: LML741 (Nijmegen) en LML937 (Groningen). In een lopende studie van Mooibroek en Wesseling (2007) naar de wijze waarop de meteorologie in CAR is ingebouwd is geconstateerd dat de regiofactor van de regio waar Groningen in ligt uitgaat van hoge windsnelheden. Dit is deels het gevolg van de invloed van meteorologisch station Lauwersoog. Als de regiofactor voor LML937 wordt gebaseerd op meer voor de stad Groningen representatieve meteorologische gegevens van de luchthaven Eelde gaan de NO_x - en CO -concentratiebijdragen van verkeer in de stad met circa 20% omhoog. Op andere plaatsen in Nederland lijkt een soortgelijke systematische afwijking niet op te treden. Uit de studie komt wel naar voren dat de in regio 5 berekende concentratiebijdragen mogelijk circa

10% te hoog zijn. Verder wordt in de studie geconstateerd dat indien in CAR gebruik wordt gemaakt van over Nederland geïnterpoleerde regiofactoren, in plaats van de huidige discrete indeling in zes regio's, de gemiddelde overeenkomst tussen de met 0.62 geschaalde concentratiebijdragen en de metingen op het LML significant verbetert.

4.4 Samenvatting van de kalibratie

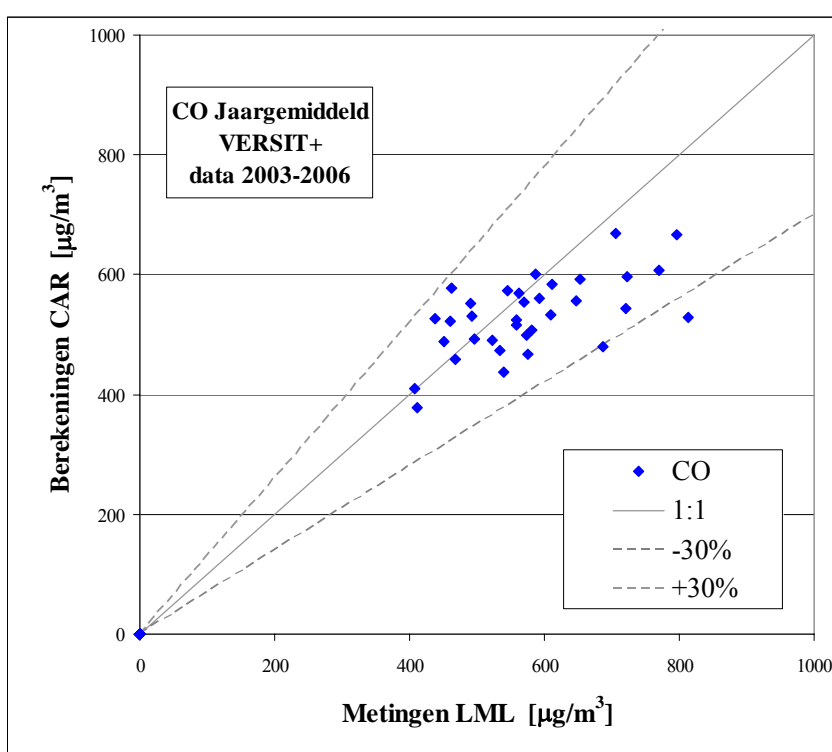
Op basis van de uitgevoerde tests kan het volgende worden geconcludeerd:

- Ondanks de verschillen tussen de oude en VERSIT+ emissiefactoren wordt praktisch dezelfde factor gevonden tussen gemeten en berekende concentraties. Dit is een gevolg van het feit dat het verschil tussen de oudere NO_x-emissies en die van VERSIT+ in de laatste jaren beperkt is. De som van de NO_x-bijdragen in de testset van straten verschilt bijvoorbeeld netto maar 1.7% bij gebruik van de oude of de nieuwe emissiefactoren. De gevonden factor tussen berekende en gemeten inerte concentraties lijkt dus niet direct het gevolg te zijn van de VERSIT+-emissiefactoren.
- In vergelijking tot NO_x is de beschikbare kennis over CO-emissies en de ruimtelijke verdeling minder nauwkeurig, terwijl ook het aantal voor kalibratie beschikbare CO-meetpunten geringer is. Tevens zijn de NO_x-emissiefactoren voor zowel de verschillende verkeerscategorieën als de verschillende afwikkelingsniveaus uitgesplitst terwijl dat voor de CO emissiefactoren enkel naar verkeerscategorie is gedaan. Om deze redenen wordt in deze studie meer waarde gehecht aan de NO_x-resultaten dan de CO-resultaten. Op basis van de beschikbare informatie en de testresultaten ligt het meest voor de hand dat de verdunningsfactoren moeten worden aangepast door deze met 0.62 ± 0.06 te vermenigvuldigen.
- De uiteindelijke kalibratiefactor is op basis van de gemeten en berekende NO_x-concentraties bepaald. Hierbij wordt aangenomen dat er geen systematische verschillen zijn in de nauwkeurigheid waarmee de verschillende emissiefactoren bekend zijn. Echter, hierbij moet worden bedacht dat voor PM₁₀ de totale emissiefactor is opgebouwd uit zowel motoremissies als emissies ten gevolge van slijtage. In Nederland wordt voor PM₁₀ de bijdrage van eventuele resuspensie altijd verwaarloosd.
- De exacte waarde van de in CAR te hanteren gekalibreerde verdunning is afhankelijk van de gebruikte emissiefactoren. Als die toch iets hoger uitvallen wordt de kalibratiefactor iets lager en omgekeerd. Ingeval van geheel nieuwe inzichten in de voertuigemissies dient de ijking van CAR II opnieuw te worden uitgevoerd. Omdat de praktijk leert dat de emissiefactoren van tijd tot tijd in meer of mindere mate worden aangepast en er geen reden is om aan te nemen dat de huidige set van VERSIT+ de ultieme waarden zijn, is het wenselijk om de hier uitgevoerde test en ijking van CAR periodiek te evalueren.

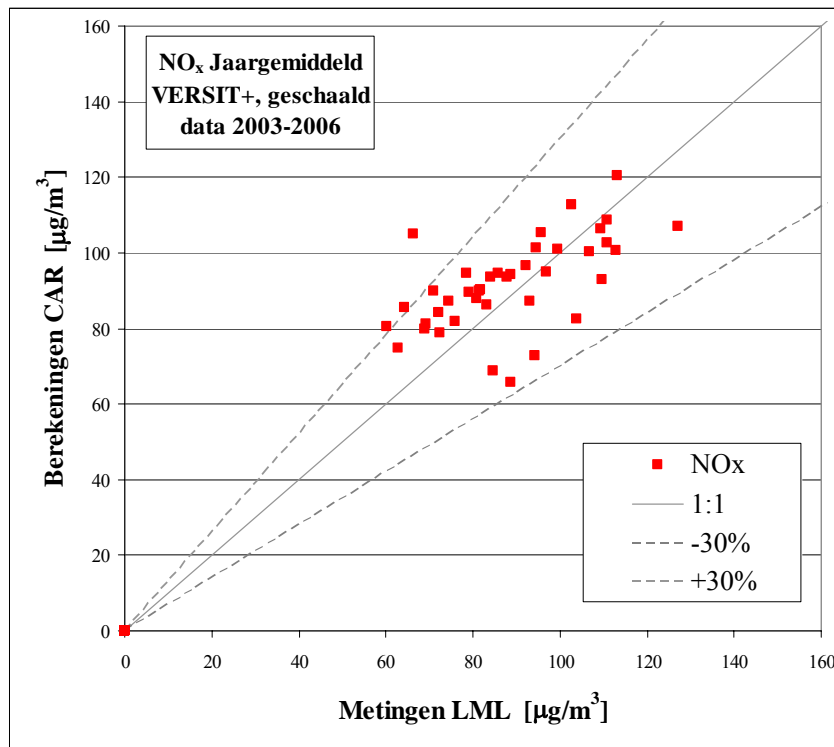
5. Resultaat van de correctie

5.1 Totale concentraties

Geschaald met de factor 0.62 zijn, gebruik makend van de VERSIT+-emissiefactoren, de CO-, NO_x-, NO₂- en PM₁₀-concentraties berekend. De resultaten zijn hieronder weergegeven. Zoals eerder gemeld zijn de concentratiebijdragen van inerte stoffen met een factor 0.92 en de concentratiebijdragen van NO₂ met een factor 0.95 vermenigvuldigd om te compenseren voor het hoogteverschil tussen de berekening en de meting.

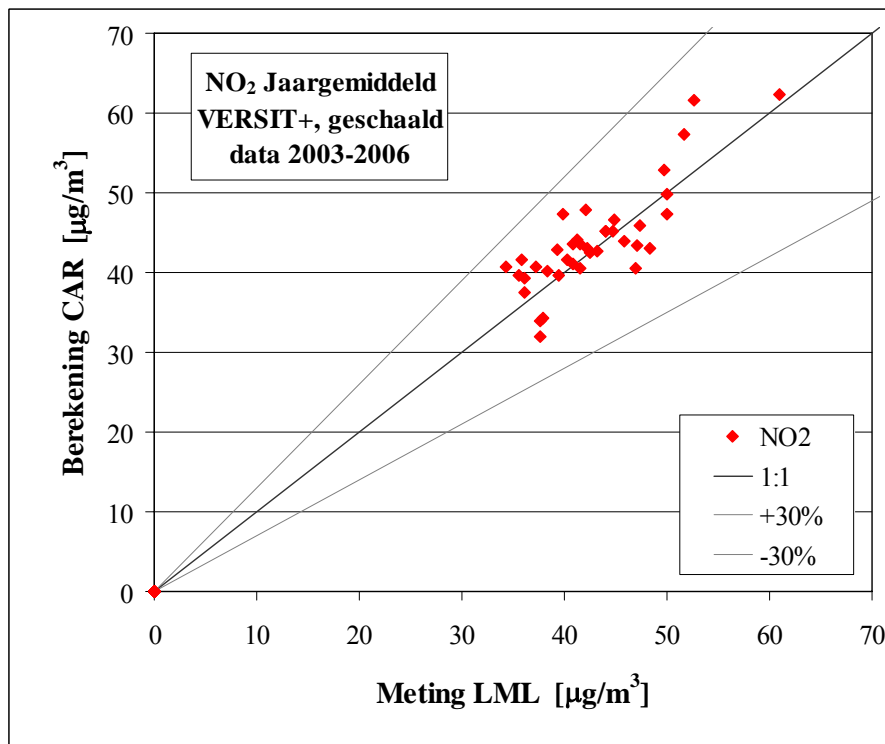


Figuur 18 Vergelijking tussen gemeten en berekende totale CO-concentraties bij toepassing van een correctie van 0.62 en met gebruik van de VERSIT+-emissiefactoren.

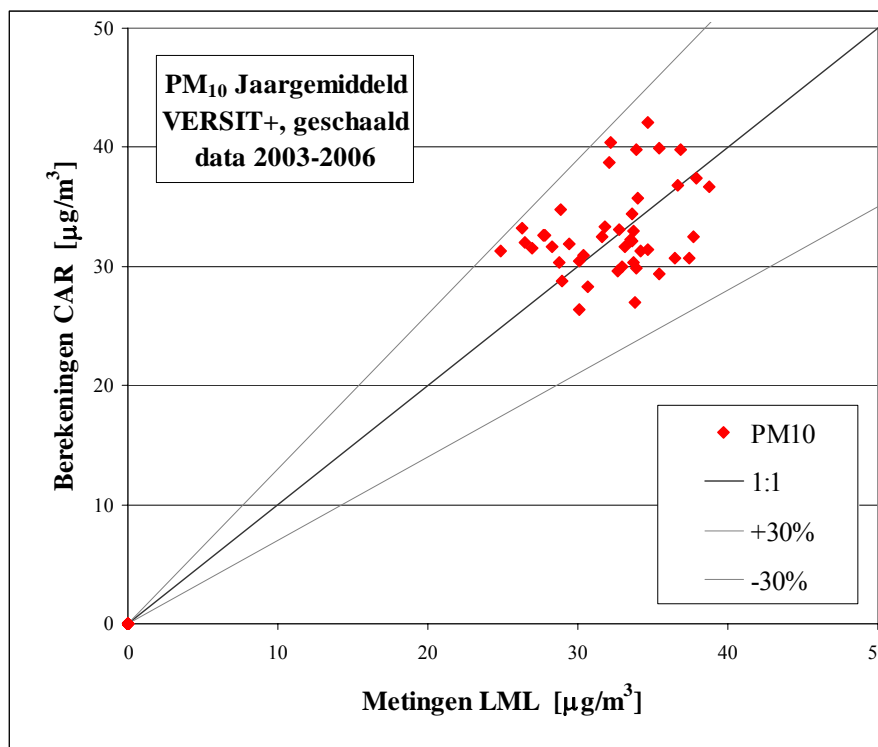


Figuur 19 Vergelijking tussen gemeten en berekende totale NO_x-concentraties bij toepassing van een correctie van 0.62 en met gebruik van de VERSIT+-emissiefactoren.

De overeenkomsten tussen berekende en gemeten totale NO_x-concentraties is, zoals verwacht, goed. De overeenkomsten tussen berekende en gemeten totale CO-concentraties is iets minder goed. De berekende concentraties onderschatten de gemeten waarden iets.



Figuur 20 Vergelijking tussen gemeten en berekende totale NO₂-concentraties bij toepassing van een correctie van 0.62 en met gebruik van de VERSIT+-emissiefactoren.



Figuur 21 Vergelijking tussen gemeten en berekende totale PM_{10} -concentraties bij toepassing van een correctie van 0.62 en met gebruik van de VERSIT+ emissiefactoren.

Ook de overeenkomsten tussen berekende en gemeten NO_2 - en PM_{10} -concentraties zijn, zoals verwacht, beter dan die in de studies van Teeuwisse (2003) en Van der Zee en van Wijnen (2004) zijn gevonden. Met de gebruikte factor 0.62 vallen de berekende concentraties, op een enkele uitzondering na, allemaal binnen 30% van de gemeten waarden. Hiermee voldoet CAR II (ruimschoots) aan de in artikel 27 van het Besluit luchtkwaliteit 2005 (Staatscourant, 2005) gestelde eisen voor de nauwkeurigheid van de bepaling van jaargemiddelde concentraties.

5.2 PM_{10} -concentraties

In tegenstelling tot de gasvormige stoffen is de emissiefactor voor PM_{10} opgebouwd uit bijdragen van verschillende bronnen: uitlaatemissies en slijtage. De vraag kan dus worden gesteld in hoeverre de op basis van NO_x afgeleide kalibratie van toepassing is voor PM_{10} . De berekende gemiddelde PM_{10} -bijdrage van het verkeer in de studie van 2004 tot en met 2006 vóór de ijking is circa $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en na de ijking circa $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Aangezien de variaties in de grootschalige PM_{10} -concentraties volgens GCN groter zijn dan de verkeersbijdragen is het niet zinvol om per jaar en station een een-op-een vergelijking te maken tussen berekende en gemeten concentratiebijdragen. Voor PM_{10} worden dus enkel de totale gemeten en berekende concentratieniveaus met elkaar vergeleken. Bij toepassing van de op NO_x gebaseerde kalibratie is de systematische afwijking tussen de met CAR II berekende en de gemeten PM_{10} -concentraties verwaarloosbaar.

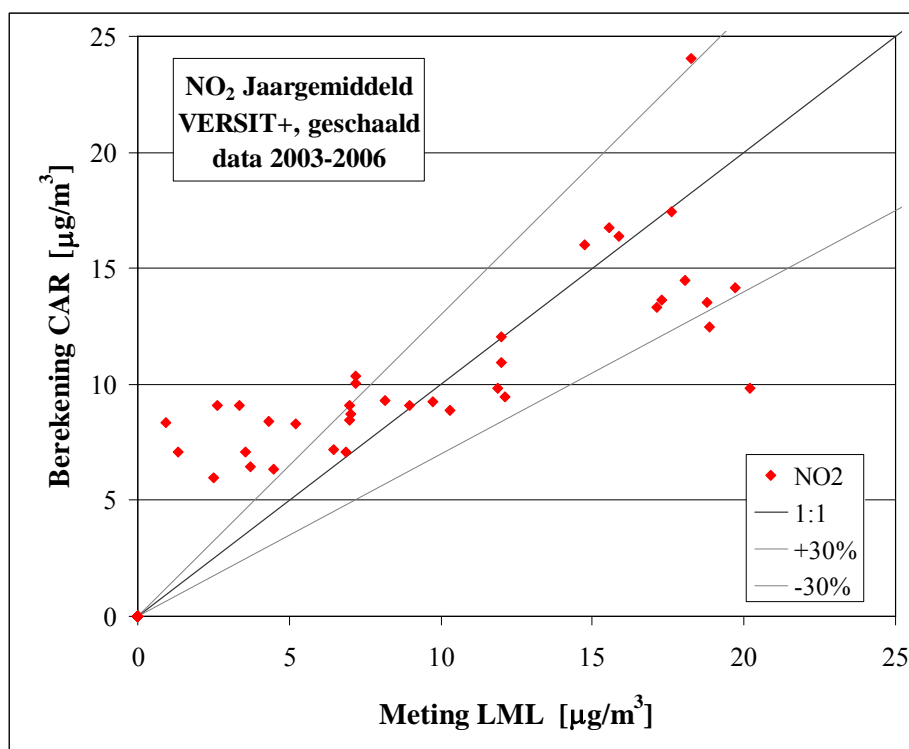
Beijk et al.(2007) hebben een analyse gemaakt van de effecten van de kalibratie van PM₁₀-monitoren. In dit rapport is ook nagegaan hoe de resultaten van CAR en de subset van langjarige metingen op het LML zich gemiddeld verhouden. Beijk et al. hebben voor deze subset gekozen om een zuiver beeld van het effect van de kalibratie van de metingen te geven. Met name in 2005 en 2006 zijn er relatief veel gegevens van stations op zwaar belaste locaties bijgekomen. Die nieuwe meetgegevens opnemen in een vergelijking van gemiddelden over verschillende jaren geeft een vertekend beeld. In de herijking van CAR II zijn de gekalibreerde meetcijfers voor PM₁₀ gebruikt. Voor de ijking van CAR II zijn, voor een zo groot mogelijke dataset, de totale concentraties op *alle* stations gebruikt.

De in het rapport van Beijk et al. genoemde overeenkomst tussen gemeten en berekende concentraties, het gemiddelde verschil bedraagt 1.1 µg/m³, wordt door de herijking van CAR iets anders, het gemiddelde verschil wordt circa -1.3 µg/m³ voor de in dat rapport gebruikte subset van stations. Gemiddeld over alle beschikbare stations zijn de met CAR berekende PM₁₀-concentraties in 2005 en 2006 echter 0.1 µg/m³ lager, respectievelijk hoger dan de op het LML gemeten concentraties. Verder moet worden aangetekend dat gedurende de studie van Beijk et al. de GCN-waarden voor 2007 nog niet beschikbaar waren.

5.3 NO₂-bijdragen

5.3.1 De NO_x/NO₂-omzetting

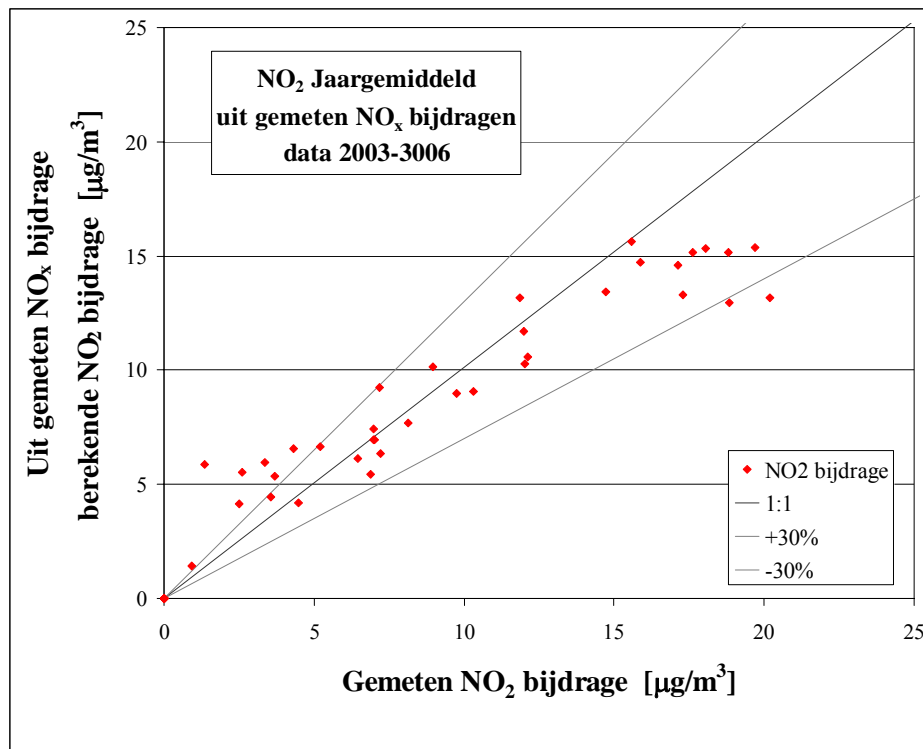
De voorliggende studie is vooral begonnen naar aanleiding van toenemende verschillen tussen berekende en gemeten NO₂-concentraties bij toepassing van de VERSIT+ emissiefactoren. De NO₂-concentraties worden in CAR II met behulp van een simpel conversieschema uit de heersende ozon-achtergrond en de NO_x bijdragen berekend, zie paragraaf 2.2. Om na te gaan in hoeverre het gebruikte mechanisme, na toepassing van de aanpassing, de metingen kan beschrijven zijn de berekende en gemeten NO₂-concentratiebijdragen in Figuur 21 met elkaar vergeleken.



Figuur 22 Vergelijking tussen gemeten en berekende NO₂-concentratiebijdragen bij toepassing van een correctie van 0.62 en met gebruik van de VERSIT+ emissiefactoren.

Globaal is er een redelijk goede overeenkomst tussen berekende en gemeten concentratiebijdragen. Bij lagere concentratiebijdragen liggen de CAR II-berekeningen hoger dan de metingen. Zoals in Figuur 12 is te zien liggen de lagere met CAR II berekende NO_x-concentratiebijdragen ook al iets boven de gemeten waarden. Als de NO_x-bijdragen al te hoog zijn zullen de NO₂-bijdragen dat naar verwachting ook zijn, die volgen immers uit de NO_x-bijdragen. Als test van het chemische reactieschema zijn daarom niet de met CAR II berekende NO_x-bijdragen maar de op het LML gemeten NO_x-bijdragen als invoer voor de NO_x/NO₂-conversie gebruikt. In een dergelijke test zegt de vergelijking tussen de aldus berekende en gemeten concentratiebijdragen enkel iets over het conversiemechanisme zelf, inclusief de beschikbare ozon. Deze test is onafhankelijk van de door CAR II berekende verdunning.

Het resultaat is in Figuur 23 weergegeven. Zowel de NO_x- als de NO₂-concentratiebijdragen zijn voor dubbeltelling en snelwegbijdragen gecorrigeerd.



Figuur 23 Vergelijking tussen gemeten NO₂-concentratiebijdragen en uit gemeten NO_x-concentratiebijdragen berekende NO₂-concentratiebijdragen.

De overeenkomst tussen de gemeten NO₂-concentratiebijdragen en de uit gemeten NO_x concentratiebijdragen berekende NO₂-concentratiebijdragen is ronduit goed te noemen, gemiddeld liggen de berekende en gemeten concentratiebijdragen binnen 0.6 µg/m³ van elkaar. Voor een aantal locaties worden de bijdragen overschat en voor een aantal andere onderschat. Het laatste treedt voornamelijk voor drie stations op: LML448 (Rotterdam-Bentienckplein), LML741 (Nijmegen) en LML937 (Groningen).

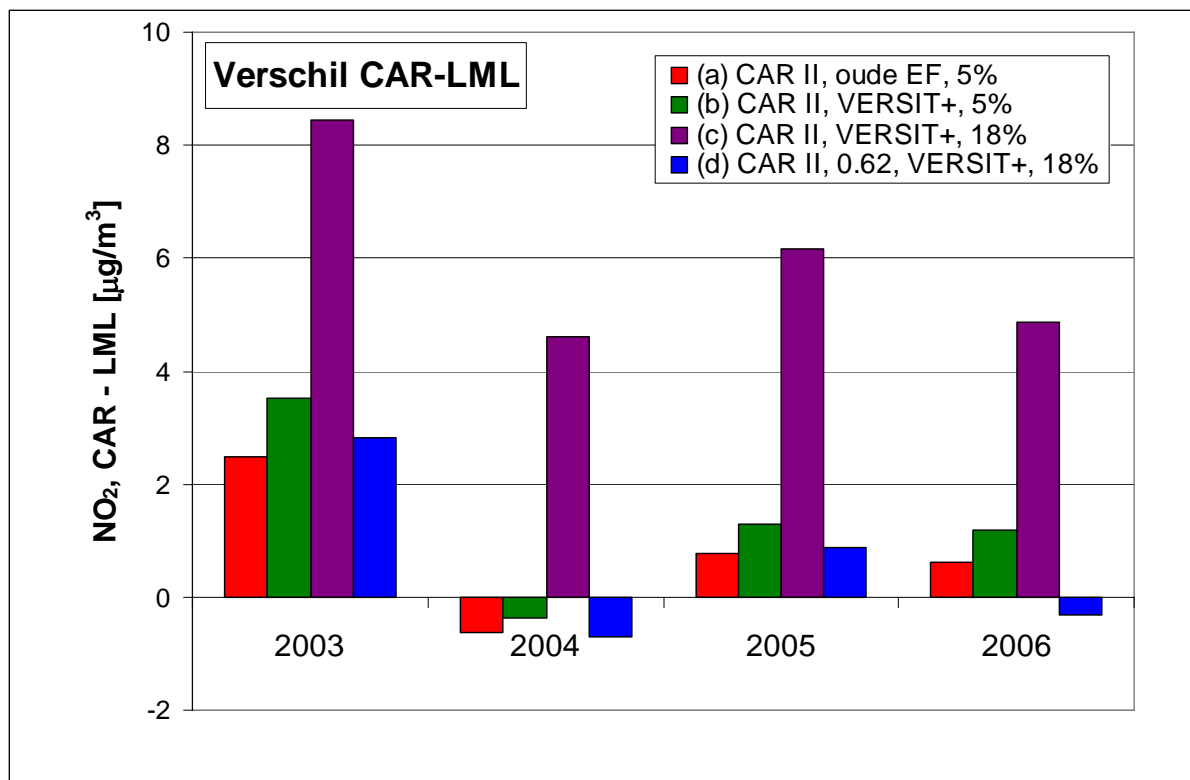
Uit bovenstaande kan worden geconcludeerd dat gebruik van het simpele NO_x/NO₂-conversieschema, voor de onderzochte situaties, een goede beschrijving van de metingen geeft.

5.3.2 Invloed van de emissiefactoren

Bij toepassing van de VERSIT+ emissiefactoren en de bijbehorende verhoogde fracties directe uitstoot van NO₂ is het verschil tussen de berekende en gemeten concentraties kleiner dan bij toepassing van de oude waarden uit CAR II versie 5.1. In Figuur 24 zijn de verschillen tussen berekende en gemeten NO₂-concentraties weergegeven wanneer wordt gerekend met verschillende instellingen van CAR II:

- standaardverdunning in CAR II, oude emissiefactoren met oude 5% directe NO₂-uitstoot;
- standaardverdunning in CAR II, VERSIT+-emissiefactoren met oude 5% directe NO₂-uitstoot, dit is de situatie in CAR II versie 6.0;
- standaard verdunning in CAR II, VERSIT+-emissiefactoren met verhoogde directe NO₂-uitstoot (18% personen/7% vracht);

- (d) aangepaste verdunning in CAR II (huidige ijking), VERSIT+ emissiefactoren met verhoogde directe NO₂-uitstoot.

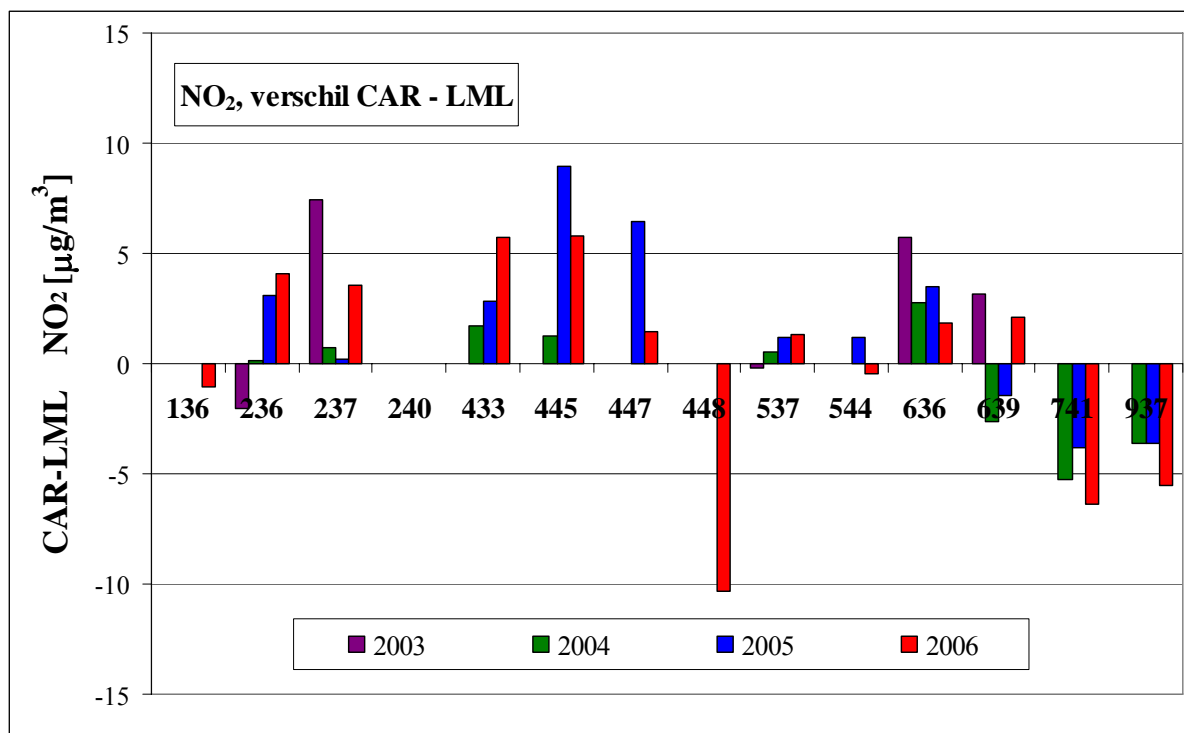


Figuur 24 Verloop van de gemiddelde verschillen tussen berekende en gemeten NO₂-concentraties over de laatste jaren.

Effectief levert rekenen met (a) voor de afgelopen jaren numeriek ongeveer hetzelfde resultaat als met (b). De reden is gelegen in het feit dat de NO_x-emissies in de oude en VERSIT+ systematiek voor de emissiefactoren voor de afgelopen jaren niet erg verschillen. Vandaar dat deze oplossing in CAR II versie 6.0, is gekozen. Rekenen met verhoogde directe uitstoot van NO₂, (c) in de figuur, geeft een aanmerkelijke verhoging van de totale NO₂-concentraties. De nieuwe ijking (d) levert, in combinatie met de verhoogde directe uitstoot van NO₂ een gemiddeld goede overeenkomst tussen gemeten en berekende concentraties. Aangezien de verhouding tussen de NO_x-emissies en de NO₂-uitstoot in de loop der jaren gaat veranderen, zal gebruik van de oude verdunning en oude directe uitstoot in de toekomst niet meer grofweg gelijk uitkomen met gebruik van de juiste verdunning en directe uitstoot van NO₂.

5.3.3 Afwijkingen per station

De afwijkingen (CAR – LML) zijn voor de verschillende stations in Figuur 25 weergegeven. Op station 445, de Veerkade in Den Haag, wordt een aanmerkelijk hogere NO₂-concentratie berekend dan gemeten. Zoals eerder al aangegeven wijkt de situatie ter plekke van dat station sterk af van de situaties waarvoor CAR II is ontwikkeld.



Figuur 25 De verschillen tussen berekende en gemeten NO₂ concentraties voor de LML-stations die in de ijking zijn betrokken.

Net als eerder voor de NO_x- en voor de NO₂-concentratiebijdragen is geconstateerd, treedt wezenlijke onderschatting van de NO₂-concentraties door CAR voor drie stations op: LML448 (Rotterdam-Bentinkplein), LML741 (Nijmegen-Graafseweg) en LML937 (Groningen-Europaweg). Indien, zoals eerder beschreven, de regiofactor voor LML937 wordt gebaseerd op meer voor de stad Groningen representatieve meteorologische gegevens, gaan de concentratiebijdragen van verkeer in de stad met circa 20% omhoog. Op het Bentickplein wordt de NO₂ concentratie door CAR II sterk onderschat terwijl de NO_x-concentratie slechts beperkt wordt onderschat. Het verdient aanbeveling om de omstandigheden op deze stations nader te onderzoeken.

Samenvattend is er voor de totale NO₂-concentratie op de in de ijking gebruikte locaties nog steeds sprake van een gemiddelde overschatting door CAR van 0.4 µg/m³. Dit gemiddelde verschil tussen de berekende en gemeten NO₂ concentraties ligt aanmerkelijk dicht bij de nul dan eerder het geval was. Toepassing van het CAR II-model wordt hierdoor nauwkeuriger. Een consequentie is dat de zogenaamde signaleringsfunctie van CAR II minder sterk wordt. De in Teeuwisse (2003) en Van der Zee en van Wijnen (2004) als wenselijk omschreven overschatting van de concentraties is minder groot geworden.

5.4 Resterende verschillen tussen CAR II en het LML

De overeenkomst tussen berekende en gemeten concentraties is voor zowel inerte stoffen als voor NO₂ na vermenigvuldiging met een factor 0.62 goed. Er blijven echter verschillen bestaan. Mogelijke redenen voor de resterende verschillen tussen CAR en de resultaten van het LML zijn, onder andere:

- CAR is een geschematiseerde weergave van de realiteit. De in CAR ingebouwde standaardstraattypes zullen maar beperkt overeen komen met de feitelijke situatie in een straat, dus ook niet met de in deze studie onderzochte straten.
- De beschikbare kennis over CO-emissies en de ruimtelijke verdeling hiervan is minder nauwkeurig dan die van NO_x, terwijl ook het aantal voor kalibratie beschikbare CO-meetpunten geringer is. Tevens zijn de emissiefactoren voor CO alleen naar de verschillende verkeerscategorieën (personen, middelzwaar en zwaar vrachtverkeer) uitgesplitst maar niet naar de verschillende afwikkelingsniveaus. Dit laatste kan mogelijk voor een deel verklaren waarom de berekende CO-concentraties de gemeten waarde onderschatten.
- CAR deelt Nederland op in zes meteorologische regio's. Het aangenomen windklimaat in een regio is correct voor de gemiddelde situatie in die regio. In de praktijk ligt elke straat wel iets meer of minder door andere bebouwing voor de wind afgeschermd dan gemiddeld is aangenomen. Variaties tot 20% in de inerte concentraties kunnen voorkomen.
- CAR gebruikt de achtergrondconcentraties zoals berekend door het MNP. Door de structuur van deze achtergronden, met name het feit dat ze op een betrekkelijk grove ruimtelijke structuur zijn bepaald, mag niet verwacht worden dat ze op elk punt exact overeenkomen met de feitelijk optredende concentratieniveaus.
- CAR brengt het effect van de oriëntatie van de straat op de windroos niet in rekening. Omdat zowel de windfrequenties als de achtergronden niet uniform over de windroos zijn verdeeld geeft dit een kleine afwijking tussen berekening en meting.
- In de chemische omzetting zoals die in CAR II wordt gebruikt zitten verschillende schematische aannames die per situatie meer of minder van toepassing zijn.

5.5 Overzicht

Jaargemiddelde concentratie

Toepassing van de factor 0.62 ± 0.06 leidt tot een betere overeenkomst tussen met CAR II berekende concentraties en metingen op het LML. In Tabel 4 worden over 2003 t/m 2006 gemiddelde concentratieverschillen, CAR II – LML, vergeleken voor een aantal situaties. Alle verschillen zijn in microgram per kubieke meter.

Tabel 4 Gemiddelde verschillen tussen CAR II en het LML (in $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

	ΔNO_x	ΔCO	ΔNO_2	ΔPM_{10}
(CAR II, oude emissiefactoren) - LML	26	68	0.7	1.9
(CAR II, VERSIT+ emissiefactoren) - LML	28	50	5.7	2.4
(CAR II, 62%, VERSIT+ emissiefactoren) - LML	3	-45	0.4	0.7

Na toepassing van de factor komen de verdunningsfuncties van de stedelijke straattypes (2, 3 en 4) vanaf circa 18 meter van de as van de weg lager uit dan de verdunning van het buitenstedelijke straattype 1. Op zich is dit mogelijk, aangezien straattype 1 is gedefinieerd voor een vlakke omgeving zonder bebouwing waarin de verdunning aanmerkelijk minder sterk is dan in stedelijk gebied, met als resultaat hogere concentraties. De standaarddeviaties van de verschillen tussen de met CAR berekende en op het LML gemeten jaargemiddeldeconcentraties zijn in Tabel 5 vermeld.

Tabel 5 Standaarddeviaties van de verschillen tussen CAR II en het LML (in $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

	ΔNO_x	ΔCO	ΔNO_2	ΔPM_{10}
(CAR II, 62%, VERSIT+ emissiefactoren) - LML	13	85	4	6

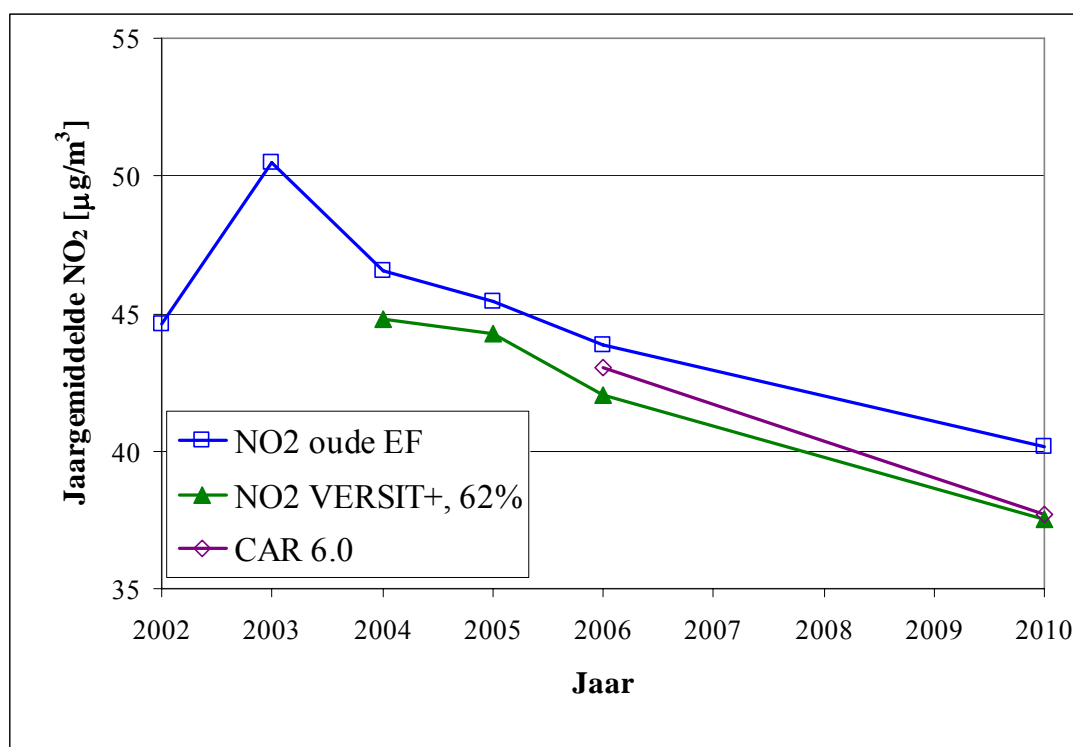
Signaleringsfunctie

Met behulp van de Figuren 20 en 21 kan worden geteld hoe vaak er bij gebruik van CAR II, met de nieuwe kalibratie, in de testset sprake is van een resultaat dat “vals positief” of “vals negatief”. Het eerste houdt in dat CAR II een overschrijding van de grenswaarde geeft terwijl dat volgens de meting niet het geval is en het tweede betekent dat CAR II geen overschrijding van de grenswaarde geeft terwijl dat volgens de meting juist wel het geval is. Voor NO_2 , getoetst aan de jaargemiddelde grenswaarde van $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, treedt geheel geen vals negatief op, tegen zes maal vals positief. Voor PM_{10} , getoetst aan de jaargemiddelde concentratie van $31.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (toetswaarde voor overschrijding van de etmaalnorm), treedt acht maal vals negatief op, tegen acht maal vals positief.

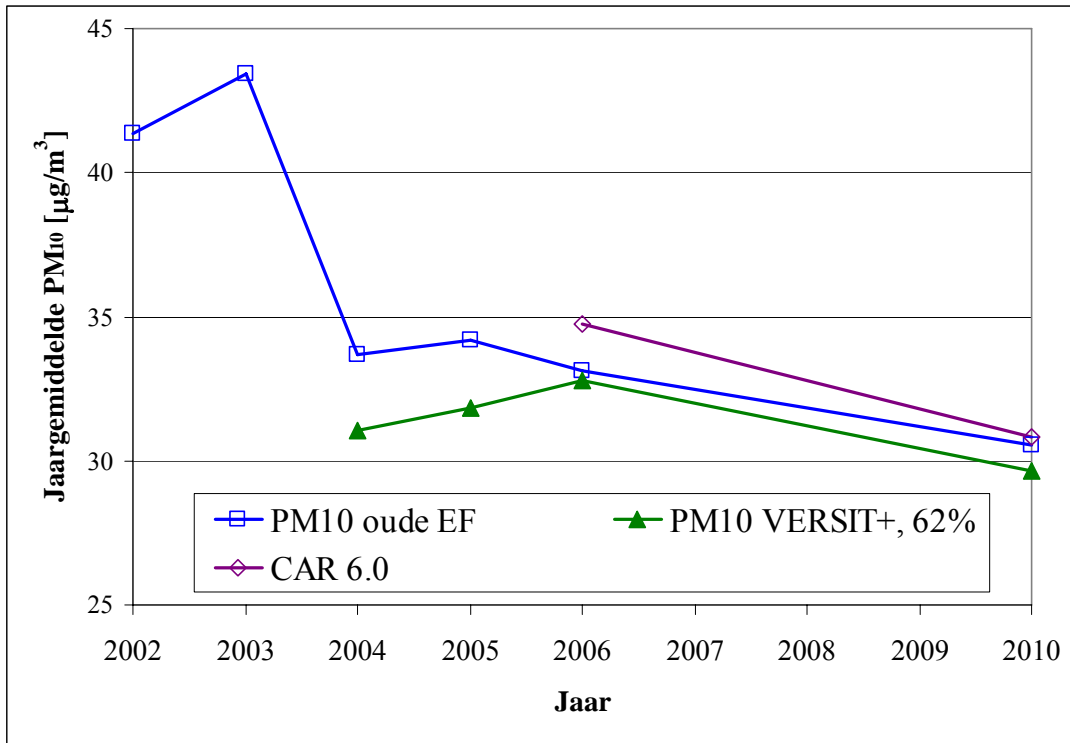
6. Trends en prognoses

Bij gebruik van modellen is continuïteit van belang. Om na te gaan in hoeverre de toepassing van VERSIT+ emissiefactoren met de bijbehorende verhoogde directe uitstoot van NO₂ en een factor van 0.62 tot een trendbreuk zal leiden, zijn berekeningen uitgevoerd voor de gepasseerde jaren en voor 2010. De gemiddelde concentraties zoals gevonden op de veertien rekenlocaties in deze studie zijn in onderstaande figuren weergegeven, samen met de gemiddelde metingen over de laatste jaren. Voor de stoffen NO₂ en PM₁₀ zijn ook de resultaten van CAR II versie 6.0 weergegeven. Deze versie rekent met de standaardverdunding van CAR II en met de VERSIT+ emissiefactoren met oude 5% directe NO₂-uitstoot. Invoering van de factor resulteert voor PM₁₀ in een afname van de concentraties. Voor NO₂ is het resultaat gevarieerd. In vijf gevallen gaan de berekende concentraties omhoog en in negen gevallen gaan ze omlaag. Gemiddeld over alle straatstations is het verschil klein.

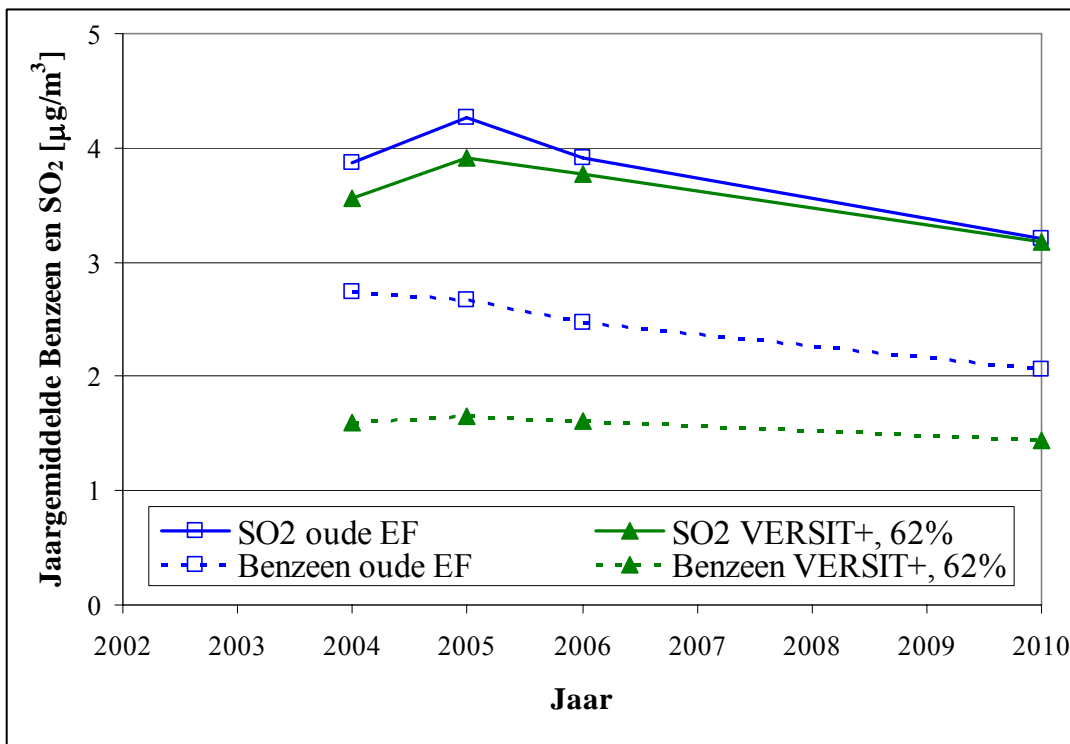
De getoonde waarden zijn kale rekenwaarden, zonder correcties voor hoogte en dubbeltelling aangezien de getallen niet met metingen worden vergeleken maar enkel met andere CAR-berekeningen.



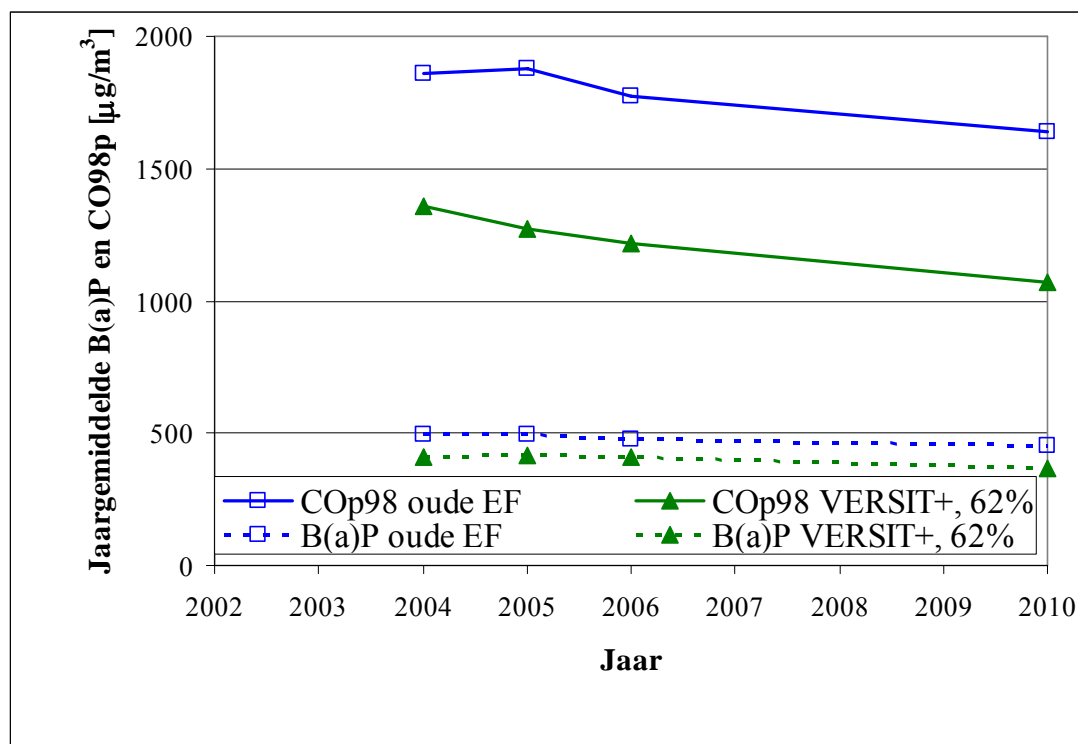
Figuur 26 Gemiddelde berekende NO₂-concentraties voor de locaties van LML-stations.



Figuur 27 Gemiddelde berekende PM_{10} -concentraties voor de locaties van LML-stations.



Figuur 28 Gemiddelde berekende SO_2 - en Benzeenconcentraties voor de locaties van LML-stations.



Figuur 29 Gemiddelde berekende CO(98-percentiel) en B(a)P-concentraties voor de locaties van LML-stations.

Uit de vergelijkingen kan worden geconcludeerd dat gebruik van CAR II met de VERSIT+ emissiefactoren en een factor van 0.62 voor NO_2 en PM_{10} niet tot een trendbreuk zal leiden. De prognoses voor 2010 komen iets lager uit dan bij gebruik van de standaard CAR II versie 5. Voor de inerte stoffen CO(98-percentiel), benzeen, B(a)P en SO_2 is er wel sprake van een beperkte trendbreuk. Aangezien de concentratieniveaus voor deze stoffen zowel met als zonder de veranderingen in CAR II al ruim onder de wettelijke grenswaarden liggen heeft de beperkte trendbreuk geen bestuurlijke consequenties.

7. Conclusies en aanbevelingen

Op basis van de uitgevoerde analyses kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Vanaf de eerste versie van CAR II is bekend, en gerapporteerd, dat de NO₂- en PM₁₀-concentraties in straten worden overschat.
- Uit een analyse van NO_x-concentraties is duidelijk geworden dat de met CAR II berekende concentratiebijdragen voor de stedelijke straattypen 2, 3 en 4 met een factor van 0.62 ± 0.06 moeten worden vermenigvuldigd om in overeenstemming te komen met de gemeten concentratiebijdragen. Na toepassing van deze factor is de verhouding tussen met CAR II berekende en op het LML gemeten NO_x-concentratiebijdragen 1.01 ± 0.10 .
- Voor NO_x kan de verkeersbijdrage nauwkeurig bepaald worden en is de verdeling van de grootschalige concentraties goed bekend. Daarom zijn de NO_x-concentraties gebruikt voor de bepaling van de kalibratie. Toepassing van de kalibratie leidt tot een redelijke overeenkomst tussen berekende en gemeten totale CO-concentraties en tot een goede overeenkomst tussen berekende en gemeten totale concentraties voor de stoffen NO_x, NO₂ en PM₁₀ voor de jaren 2003 t/m 2006 en op dertien locaties van meetstations van het RIVM. De kalibratie lijkt daarmee robuust.
- De keuze voor de gebruikte emissiefactoren, ofwel de oude emissiefactoren of de nieuwe VERSIT+ emissiefactoren heeft geen wezenlijk effect op de op de NO_x-concentraties berekende kalibratie. Bij gebruik van de oude of de VERSIT+ emissiefactoren bedraagt de factor 0.65, respectievelijk 0.62.
- Uit een expliciete test van het in CAR II gehanteerde simpele NO_x/NO₂-conversieschema kan worden geconcludeerd dat het, voor de onderzochte situaties en jaren, goed aansluit bij de metingen. Het verdient aanbeveling om de waarde van de parameter *B* in de omzettingsformule nader aan de praktijk te toetsen.
- Met de gebruikte kalibratie vallen de berekende totale concentraties bij gebruik van de VERSIT+ emissiefactoren, op een enkele uitzondering na, allemaal binnen 30% van de gemeten waarden. Hiermee voldoet CAR II (ruimschoots) aan de in artikel 27 van het “Besluit luchtkwaliteit 2005” gestelde eisen voor de nauwkeurigheid van de bepaling van jaargemiddelde concentraties.
- Toepassing van CAR II wordt door de kalibratie nauwkeuriger. Een consequentie is dat de signaleringsfunctie van CAR II, met een gewenste overschatting van de concentratieniveaus, minder sterk wordt. Indien toch een signaleringsfunctie gewenst wordt geacht, dan kan VROM er voor kiezen om een additionele veiligheidsmarge in te bouwen.
- Bij gebruik van de aangepaste kalibratie voor CAR II, in combinatie met de VERSIT+ emissiefactoren (met de verhoogde directe uitstoot van NO₂) treedt voor NO₂ en PM₁₀

vanaf 2006 geen trendbreuk op in resultaten. De concentraties komen in 2010 iets lager uit. Voor de overige stoffen is er wel sprake van een beperkte trendbreuk waarbij de concentraties bij gebruik van de nieuwe kalibratie lager uitkomen. Maar de concentratieniveaus voor deze stoffen lagen, liggen en blijven ruim onder de wettelijke grenswaarden waardoor er geen bestuurlijke consequenties zijn.

- Het is wenselijk om de in dit rapport beschreven ijking jaarlijks uit te breiden met de nieuwste meet- en rekengegevens van het afgelopen jaar en alle resultaten te evalueren. Het CAR II-model kan dan worden opgevat als een methode om de in het Nationale Meetnet gemeten concentraties te extrapoleren naar andere verkeerssituaties, zoals eerder al door Van den Hout en Baars voorgesteld.

Literatuur

Beijk R, Hoogerbrugge R, Hafkenscheid TL, Arkel FTh van, Stefess GC, Meulen A van der, Wesseling JP, Sauter FJ, Albers RAW. 2007. PM10: Validatie en equivalentie 2006. RIVM rapport 680708001.

Blank FT. 2001. Meetonzekerheid Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit (LML). KEMA rapport 50050870-KPS/TCM 01-3063.

Duijm NJ en Melle A van. 1993. Ontwikkeling van CAR-Special. TNO Rapport 92-305.

Eerens HC, Sliggers CJ, Hout KD van den. 1993. The CAR model: the Dutch method to determine city street air quality. Atmospheric Environment 27B: 389-399.

Folkert RJM et al. 2005. Consequences for the Netherlands of the EU thematic strategy on air pollution. MNP Report 500034002/2005.

Hoogerbrugge R. 2005. Het effect van dubbeltelling bij luchtkwaliteitberekeningen in de buurt van bestaande snelwegen. Notitie RIVM-MEV. Beschikbaar via Infomil (www.infomil.nl).

Hout KD van den, Baars HP. 1988. Ontwikkeling van twee modellen voor de verspreiding van luchtverontreiniging door verkeer: het TNO-Verkeersmodel en het CAR Model. TNO rapport R88/192.

Jonkers S en Teeuwisse SD. 2006. Handleiding bij software pakket CAR II versie 5.0. TNO rapport R 2006-A/078/B versie 2.

Mooibroek D. en Wesseling JP. 2007. Meteorologie in CAR II. RIVM rapport 680705002.(in voorbereiding).

Smit R, Smokers R, Schoen E, Hensema A. 2006. A New Modelling Approach for Road Traffic Emissions – VERSIT+ Light Duty. TNO Rapport 06.OR.VM.016.1/RS, 2006.

Staatscourant. 2005. Staatscourant 142. 26 juli 2005.

Staatscourant. 2006. Staatscourant 215. 3 november 2006.

Stuit, R. 2007. Privémededeling.

Teeuwisse SD. 2003. CAR II: Aanpassing van CAR aan de nieuwe Europese richtlijnen. TNO rapport 2003/119.

Velders GJM, Aben JMM, Beck JP, W.F. Blom, Dam JD van, Elzenga HE, Geilenkirchen GP, Hoen, Jimmink ABA, Matthijsen, Peek CJ, Velze K van, Visser H, Vries WJ de. 2007 Concentratiekaarten voor grootschalige luchtverontreiniging in Nederland. Rapportage 2007. MNP Rapport 500088001.

Velze K van. 2007. Privémededeling, 28 februari 2007.

- Vermeulen AT en Bleeker A. 2005. Software behorende bij Rapportage Blk 2005, ECN.
- Vissenberg HA, en Velze K van. 1998. Handleiding CAR-AMvB programma (versie 2.0). RIVM rapport 722101035.
- Wesseling JP en Zandveld PYJ. 2006a. HEAVEN 2.0 en Verkeersmodel 6.0. TNO Rapport 2006-A-R0029/C.
- Wesseling JP en Zandveld PYJ. 2006b. Pluim Snelweg; (Verkeersmodel 6.1). TNO Rapport 2006-A-R0065/A.
- Wesseling JP, Mooibroek D, Pul WAJ van. 2007a. Een vergelijking tussen CAR II en NO2 metingen Milieu 2-2007.
- Wesseling JP, Mooibroek D, Pul WAJ van. 2007b. Een vergelijking tussen met CAR II versie 5.0 berekende concentraties en metingen van het LML. RIVM rapport 680600003/2007.
- Wesseling JP, Mooibroek D, Pul WAJ van. 2007c. Trends in jaargemiddelde stikstofdioxide, Milieu 3-2007 28-30.
- Zee SC van der en Wijnen JH van. 2004. Vergelijking van de gemodelleerde en gemeten stikstofdioxide concentraties op drukke wegvakken in Amsterdam. GGD Amsterdam.

Appendix A Onzekerheid in de ijking

Verschillende onzekerheden zijn van belang in de bepaling van de kalibratiefactor:

Metingen LML

De metingen op het LML hebben op jaargemiddelde basis een onzekerheid van circa 10% (Blank, 2001). Voor de NO_x-metingen komt dit gemiddeld neer op een onzekerheid van circa 9 µg/m³.

Grootschalige concentraties GCN

De grootschalige concentraties zoals gegeven door GCN hebben op jaargemiddelde basis een onzekerheid van circa 20% (Velders et al., 2007). Een vergelijking tussen de grootschalige concentraties NO_x en metingen op stedelijke achtergrondlocaties geeft in de huidige studie een verschil van circa 5 µg/m³. Hierbij moet worden aangetekend dat gebruik wordt gemaakt van gekalibreerde concentraties die zijn gefit aan metingen van regionale en stadsachtergrondstations van het LML. Waar een van die stations in de buurt van een deelnemend straatstation ligt zal de onzekerheid in de grootschalige concentratie kleiner zijn. Voor de NO_x-metingen komt 20% neer op een onzekerheid van gemiddeld circa 18 µg/m³.

Combinaties van LML en GCN

Bij de bepaling van de “gemeten” concentratiebijdragen worden op het LML gemeten concentraties verminderd met de grootschalige achtergrond volgens de GCN. Hierbij wordt aangenomen dat de totale onzekerheid in het verschil in de orde van 20% ligt.

Met CAR berekende bijdragen

In Teeuwisse (2003) wordt een kwalitatieve analyse gegeven van de onzekerheid van CAR-berekeningen. Hierin wordt gesteld dat de totale onzekerheid in de orde van 30% bedraagt, dit is dus inclusief de onzekerheden in de grootschalige concentraties. Voor de huidige analyse wordt aangenomen dat de onzekerheid in de met CAR berekende concentratiebijdrage circa 20% bedraagt. Deze onzekerheid is opgebouwd uit een onzekerheid betreffende de verkeersgegevens (aantallen en afwikkelingsniveau) in de onderzochte straten en de onzekerheid in de gehanteerde emissiefactoren.

Op basis van bovenstaande is aangenomen dat de onzekerheid in de in paragraaf 2.4.1 gebruikte “gemeten” en berekende NO_x-concentratiebijdragen circa 18 µg/m³ bedraagt. Na toepassing van een kalibratiefactor van 0.62 op de met CAR II berekende concentratiebijdragen is een Monte Carlo-analyse uitgevoerd naar het effect van de onzekerheden in de concentratiebijdragen. Voor 10000 realisaties van de onzekerheden in de gemeten en berekende concentraties zijn orthogonale regressieanalyses uitgevoerd. Uit de gevonden frequentieverdeling van mogelijke regressieparameters is vervolgens de 2σ-onzekerheid bepaald. Het resultaat is een factor 1.01 met een 2σ-onzekerheid van 10%.