

Luchtkwaliteit op (de) weg met ITS

De invloed van *Intelligente Transport Systemen* op de uitstoot van luchtverontreinigende stoffen door het verkeer



Wout Drewes

Den Haag, augustus 2006



Luchtkwaliteit op (de) weg met ITS

*De invloed van Intelligente Transport Systemen
op de uitstoot van luchtverontreinigende stoffen door het verkeer*

Gemodelleerd met behulp van de **VERSNEL-rekenmethode**,
ontwikkeld voor het bepalen van voertuigemissies op microscopisch niveau

Afstudeeronderzoek voor de opleiding Civiele Techniek aan de Universiteit Twente.

Het afstudeeronderzoek is uitgevoerd bij de adviesgroep dynamische
verkeersmanagement van het ingenieursbureau Witteveen+Bos.

Auteur	W.L. Drewes, studentnummer 0014257
Datum	4 augustus 2006
Afstudeercommissie	prof. dr. ir. B. Van Arem (afstudeerprofessor) prof. dr. ir. M.F.A.M. Van Maarseveen (Universiteit Twente) dr. W.F.M. Spit (Witteveen+Bos en DWW, Rijkswaterstaat) ir. J. W. Goemans (Witteveen+Bos)
Begeleiding	dr. ir. F. Tillema (Universiteit Twente) dr. W.F.M. Spit en ir. J. W. Goemans (Witteveen+Bos)



Witteveen+Bos raadgevende ingenieurs
Vestiging Den Haag
Nassaulaan 4, 2508 CP, Den Haag
Tel. 070 370 07 00

Universiteit Twente
Faculteit Construerende Technische Wetenschappen
Civiele Techniek, afdeling Verkeer, Vervoer en Ruimte
Applications of Integrated Driver Assistance (AIDA)



VOORWOORD

Civiele Techniek, een breed vakgebied met een sterk maatschappelijke raakvlak. Met die gedachten ben ik zes jaar geleden begonnen aan de studie Civiele Techniek & Management aan de Universiteit Twente. Na drie jaar de volle breedte van de Civiele Techniek te hebben verkend, ben ik me gaan verdiepen in Verkeer, Vervoer en Ruimte. Het vakgebied van de Civiele Techniek waarin geprobeerd wordt het gedrag van de mens te begrijpen, te voorspellen en te beïnvloeden, de meest eenvoudige tot zeer geavanceerde systemen worden ingezet en het langst (bestaande) aaneengesloten civiele kunstwerk centraal staat.

Met dit rapport sluit ik met tevredenheid mijn studietijd in Enschede af. Zoals de titel aangeeft staan hierin Intelligente Transport Systemen en de luchtkwaliteit centraal. De luchtkwaliteitsproblematiek is een actueel maatschappelijk onderwerp waarbij 'slimme' technieken tot mooie oplossingen kunnen leiden. Ik denk een aardige afspiegeling van de studie zoals ik die in het begin voor ogen had. Graag wil ik de mensen van de opleiding Civiele Techniek bedanken voor de mooie en leerzame tijd in Twente.

Het onderzoek heb ik uitgevoerd bij het ingenieursbureau Witteveen+Bos. Hoewel ik ook een aantal keren op het hoofdkantoor in Deventer aan het werk ben geweest, heb ik dikwijls de afstand van Enschede naar Den Haag overbrugd. Bij Witteveen+Bos heb ik goed ervaren hoe het is iets van de andere kant te bekijken. Niet alleen Nederland vanuit het westen, maar voornamelijk ook verkeers- en vervoervraagstukken vanuit de rol van adviseur. De mensen van Witteveen+Bos wil ik graag bedanken voor hun inhoudelijke adviezen en voor de gezellige praatjes tussen het werk door. Het was plezierig werken aan de Nassaulaan in Den Haag. En dat kwam niet alleen door het mooie gebouw!

Het beheersen van de luchtkwaliteit is een belangrijke maar geen eenvoudige opgave. In mijn afstudeeronderzoek heb ik me gericht op het modelleren van de relatie tussen het verkeer en de emissie van vervuilende stoffen. Een onderdeel van de luchtkwaliteitsproblematiek dat alleen al grote uitdagingen kent. Ik wil dan ook graag mijn begeleiders bedanken voor het resultaat dat ik met ze heb kunnen bereiken.

Vanaf het moment dat ik mijn eerste gedachten over een mogelijk afstudeeronderwerp op papier had gezet, was professor Van Arem betrokken bij mijn afstuderen. Ik wil hem hartelijk danken voor de deskundige en degelijke adviezen tijdens het opzetten en uitvoeren van het onderzoek. Voor vragen, opmerkingen of een praatje kon ik dagelijks bij Frans Tillema terecht. Frans bedankt voor je behulpzame en vriendelijke begeleiding. Professor Van Maarseveen wil ik bedanken voor zijn bereidheid om als tweede waarnemer zitting te nemen in de afstudeercommissie.

Bij Witteveen+Bos lag de dagelijkse begeleiding, tijdens het grootste gedeelte van mijn afstudeertraject, in handen van Werenfried Spit. Werenfried hartelijk dank voor de vakkundige begeleiding en de kennis en praktische tips die je me hebt meegegeven. Daarnaast wil ik ook graag Jan-Willem Goemans bedanken voor de prettige begeleiding tijdens het laatste stukje tot aan de eindstreep.

Tot slot wil ik graag mijn familie en vrienden bedanken voor de bijdrage die zij, ieder op zijn of haar eigen manier, hebben geleverd aan mijn studie(tijd) en het afronden daarvan.

Wout Drewes

Den Haag, 4 augustus 2006

SUMMARY

Air quality on the road (improved) with ITS

The impact of Intelligent Transport Systems on exhaust vehicle emissions

- development of the VERSNEL-method for microscopic emission modelling -

Introduction

Since 1999, the implementation of new air quality guidelines in the European Union started. The new guidelines contain fixed limit values concerning the concentration of pollutants in ambient air. In the European Member States these developments cause political and social commotion about the seriousness of polluted air people live in. Air quality measurements on several locations throughout Europe indicate that concentrations of pollutants frequently exceed the limit values. Poor air quality becomes a serious threat to public health. More appropriate air quality measures should be implemented to comply with the European guidelines. To improve air quality, vehicle emission should be reduced. Because of the oil depended economy a large-scale use of clean vehicles (like electric (hybride) or hydrogen powered vehicles) will not be realised in a short term.

Intelligent traffic measures (ITS-measures), which affect driving behaviour, can contribute to the reduction of vehicle emission. Traffic dependent traffic signals and traffic signal coordination (like the 'green wave'), DRIP's (Dynamic Route Information Panels) and in-car applications, which are systems developed to increase road capacity, can also be used to reduce the air pollution caused by traffic. Advanced modelling methods are required to forecast the impacts of these ITS-measures. Impact assessment in advance (on network performance and air quality) is needed to realise a successful implementation of the ITS-measures.

Research objective and activities

The objective of this Master's Thesis is twofold. First, the research aims to distinguish those factors that have an important explanatory value within the relation between driving behaviour and vehicle emissions. Second, the research aims to develop a modelling method which is capable of assessing vehicle exhaust emissions, including the effects of ITS-measures, on a microscopic level.

The research contains (1) an analysis of the locations with bad air quality, (2) a literature study on traffic, emission and air quality models used to determine traffic emissions, (3) a literature study on empirical studies examining the relations between driving behaviour and vehicle emissions and (4) the development and application (case study) of the VERSNEL-method.

Research findings

Several methods used nowadays determine the air quality with a macroscopic link between traffic models and air quality models (based on mean flow and speed). The uncertainties in the results of these macroscopic models are in general large (average 30%, maximum 50%). The models are not able to model the influence of individual movements of vehicles, like speed variations and complete stops, on the emissions of pollutants. These factors are affected by the ITS-measures and should be taken into account. Because of the important influence of individual driving behaviour and the fact that a large amount of uncertainty is caused by the dispersion of the pollutants, microscopic emission models (without dispersion modelling) should be used to assess the air quality effects of ITS-measures.

Within the research, the VERSNEL-method is developed. The method is developed to assess local effects of ITS-measures on exhaust vehicle emissions by analysing individual driving patterns. The method calculates fuel use and emissions of NO_x (oxides of nitrogen), PM₁₀ (particulate matter), HC (hydrocarbons) and CO (carbon monoxide). The VERSNEL-method combines the microscopic traffic simulation model VISSIM with acceleration and vehicle type specific emission factors, composed with use of the power based vehicle simulation model ADVISOR. The emission factors (grams of pollutant per second) are defined for several speed and acceleration categories. The VERSNEL-method is implemented and validated in a case study. In the case study the impact of a traffic signal coordination ('green wave') in a real life traffic situation is assessed. The exhaust vehicle emissions are modelled before and after the implementation of the ITS-measure.

Conclusions and recommendations

The main conclusions which can be drawn from the research are as follows:

- The ITS-measures expected to be the most effective in reducing the vehicle emissions are those measures that reduce traffic volumes or the dynamic character of the traffic flow on a specific part of the road network using traffic calming, rerouting or traffic signal coordination strategies.
- From the analysis of several empirical studies the conclusion can be drawn that the most descriptive characteristics of the relation between driving behaviour and vehicle emission are the driving behaviour characteristics speed and acceleration combined with vehicle type characteristics mass and engine power.
- With use of simplified complete driving patterns, the VERSNEL-method is capable of determining the effects on the exhaust vehicle emissions achieved with ITS-measures that affect driving behaviour. In the case study the green wave appeared to be an effective measure to reduce vehicle exhaust emission by influencing individual driving behaviour (calculated emission reduction up to 30%).
- The results of the case study show that the driving behaviour characteristics speed and acceleration and vehicle characteristics engine type and weight have an important descriptive value to vehicle emissions. Furthermore the results show that the traffic composition on a location can be decisive to the total amount of emission on a network level.
- The variation in emission effects related to vehicle types, locations in the network and pollutants asks for emission modelling on a microscopic level. Microscopic modelling methods like the VERSNEL-method, are suited to judge and visualise in which traffic situations a traffic measure is effective.

Regarding further development and application of the VERSNEL-method and microscopic emission models in general, the following recommendations can be made:

- The results should be evaluated with use of a sensitivity and uncertainty analysis. The essence of this analysis is to visualise the uncertainties in the results. This should clarify whether the effects of the measures can be justified with a sufficient degree of significance.
- The VERSNEL-method can be improved with an addition of more (qualitative) emission data and redefining the speed and acceleration categories or create a direct link between the emission data and driving patterns without emission factors. Furthermore, because of the complexity of microscopic models, it is important to compare the modelling results with exhaust emission measured in real traffic situations.
- In air quality investigation, it is important to determine the local traffic composition. With this knowledge, ITS-measures can be adjusted to specific vehicle types and be more efficient and effective.
- More microscopic studies on traffic emission will extend the knowledge of the factors that influence exhaust vehicle emissions and can be affected by ITS-measures. With this knowledge further development of microscopic emission models can be realised. Advanced microscopic emission models will improve the decision making process and the possibilities to adjust ITS-measures to traffic situations. The models can be applied to make more balanced choices between desired environmental and traffic flow impacts, which in addition can be contradictory.

In the future, microscopic modelling techniques should be integrated in dynamic systems controlling the balance between actual traffic flow and air quality with the application of dynamic (ITS-)measures.

SAMENVATTING

Het onderzoek in het kort

De Europese luchtkwaliteitsproblematiek vraagt om maatregelen die de uitstoot van luchtverontreinigende stoffen terugdringen. In het ontstaan van luchtkwaliteitsknelpunten, daar waar de Europese normen voor de luchtkwaliteit worden overschreden, speelt de uitstoot van luchtverontreinigende stoffen door het verkeer een belangrijke rol. Aangezien het rijgedrag, in combinatie met de voertuigkarakteristieken, bepalend is voor de uitstoot van het voertuig, worden ITS-maatregelen die op deze factoren ingrijpen, kansrijk geacht om de uitstoot van verontreinigende stoffen door het verkeer (verkeersemisies) te reduceren. Om de effectiviteit van ITS-maatregelen aan te kunnen tonen, is de microscopische VERSNEL-rekenmethode ontwikkeld. Met deze methode wordt, op basis van de individuele voertuigkarakteristieken en een VEReenvoudiging van het SNELheidspatroon, de emissie bepaald. De methode is toegepast op de verkeerssituatie van de N65 bij Vught. In deze case studie staat één van de 'kansrijke' ITS-maatregelen, de groene golf, centraal. De resultaten geven inzicht in de kwaliteit van de rekenmethode, de emissiebijdrage en emissiegevoeligheid van de verschillende voertuigtypen en de effectiviteit van de groene golf.

Inleiding

De luchtvervuiling bestaat uit een overmatige concentratie van vervuilende stoffen in de lucht. Luchtkwaliteitsmetingen wijzen uit dat op diverse locaties in de wereld op bepaalde momenten de concentraties van schadelijke stoffen hoog zijn. De grenswaarden voor de concentraties NO_x (stikstofoxiden) en PM_{10} (fijnstof), vastgelegd in Europese richtlijnen, worden in Nederland veelvuldig overschreden. In het buitenland zorgen ook HC (koolwaterstoffen), CO (koolmonoxide) en SO_2 (zwaveldioxide) voor problemen. Maatregelen zijn nodig voor een voldoende bescherming van de gezondheid van de mens.

Verkeersmaatregelen zullen een belangrijke rol spelen bij het bestrijden van de luchtkwaliteitsknelpunten. Daar waar de problemen het grootst zijn levert het verkeer een belangrijke bijdrage aan de emissie van vervuilende stoffen. Op de geconstateerde knelpuntlocaties, die voornamelijk voorkomen in de stedelijke omgeving en langs intensief belaste hoofdverbindingswegen, is de uitstoot van verontreinigende stoffen door het verkeer groot. In steden kan de bijdrage van het verkeer aan NO_x en PM_{10} oplopen tot gemiddeld 60%. Echter op de meeste knelpuntlocaties speelt ook de uitstoot van de andere bronnen (de achtergrondconcentratie) een belangrijke rol. Op situaties waar het verkeer niet de grootste vervuiler is, kan de bijdrage van het verkeer juist het verschil maken tussen het wel of niet overschrijden van de norm. Bovendien is de bijdrage van het verkeer lokaal goed aan te wijzen en door de flexibiliteit in ruimte en tijd goed aan te pakken. Aangezien een grootschalige overstap naar schone voertuigen (zoals hybride- en waterstofvoertuigen) op korte termijn 'aardolie-economisch onhaalbaar' is, wordt gezocht naar slimme maatregelen die met behoud van de huidige verkeersprestaties de milieubelasting van het verkeer aanpakken.

Doelstelling

Centraal in het onderzoek staat het op microscopisch niveau modelleren van de invloed van ITS-maatregelen op de uitstoot van luchtverontreinigende stoffen door het verkeer. Het doel van het onderzoek is het onderscheiden van de factoren die bepalend zijn voor de relatie tussen rijgedrag en verkeersemissies en het ontwikkelen van een praktische methodiek waarmee het effect van ITS-maatregelen op verkeersemissies gemodelleerd kan worden.

Resultaten

De voornaamste luchtkwaliteitsknelpunten komen voor in de stedelijke omgeving en kennen een dynamisch verkeerskarakter (zie *Tabel S.1*). Op de knelpunten komen veel optrekkende en afremmende voertuigbewegingen voor.

locatiekenmerken	verkeersafwikkelings-kenmerken	achterliggend proces van verplaatsen en verkeersafwikkeling
stedelijk gebied	relatief veel voertuigbewegingen	naar en tussen stedelijke attractieve gebieden verplaatsen zich de meeste mensen, hierdoor is het verkeersaanbod groot en worden de knelpunten gekenmerkt door veel voertuigbewegingen
knooppunten en kruisingen	relatief veel conflicten en variatie in snelheid	waar wegen bij elkaar komen verandert de verkeerssituatie en ontstaan conflicten, (gedwongen) verandering in het rijgedrag zijn het gevolg, het dynamische verkeerskarakter wordt versterkt en het aantal optrekkende en afremmende bewegingen vermeerderd, dit effect is sterker wanneer het verkeersaanbod toeneemt, zeker wanneer dit leidt tot het ontstaan van wachtrijen en files
	wachtrijen en files en variatie in snelheid	door het bij elkaar komen van verkeersstromen kennen de knelpunten een groot verkeersaanbod waarbij extra ruimte en tijd nodig is voor het kruisen of samenvoegen van de verkeersstromen, wanneer de capaciteit van het netwerk het verkeersaanbod niet kan opvangen ontstaan wachtrijen en files waarbij veel optrekkende en afremmende bewegingen voorkomen

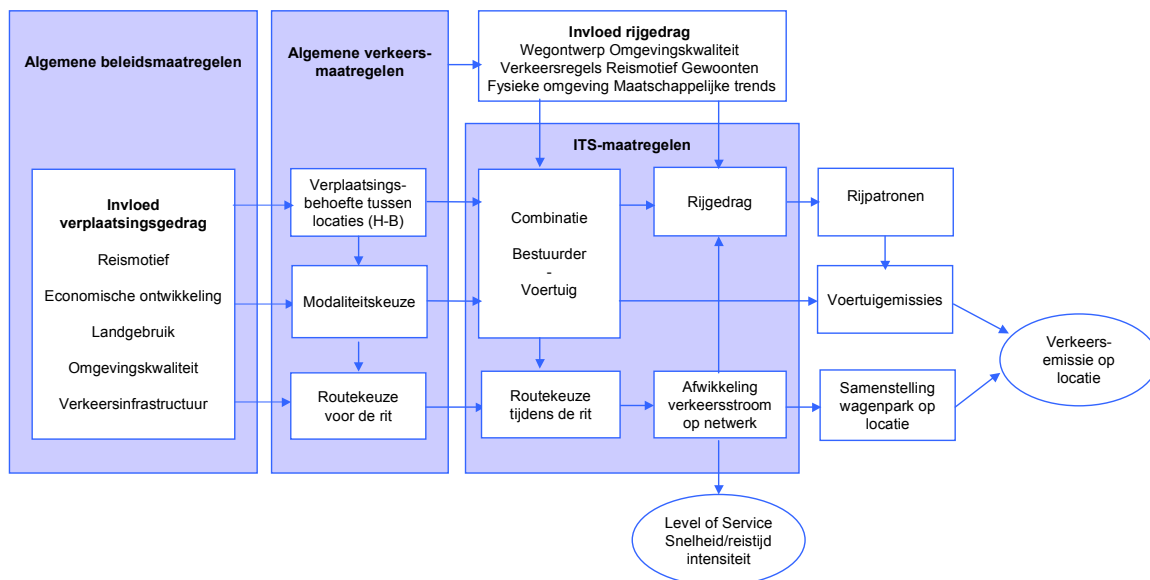
Tabel S.1 Kenmerken van de verkeersknelpunten voor de luchtkwaliteit

Uit empirische studies blijkt dat de uitstoot van vervuilende stoffen door het verkeer afhankelijk is van het rijgedrag. Diverse empirische studies naar verkeersemissie tonen aan dat de voor de emissie bepalende factoren bestaan uit de rijgedragkarakteristieken snelheid en sterkte van versnelling en voertuigkarakteristieken motortype (vermogen en type brandstof) en gewicht.

ITS-maatregelen zijn verkeersmaatregelen die gebruik maken van Intelligente Transport Systemen (ITS) zoals verkeersafhankelijke VRI's (Verkeersregelininstallatie), DRIP's (Dynamisch Route Informatie Paneel) en in-car applicaties. De maatregelen die het rijgedrag aanpassen en oorspronkelijk zijn gericht op het vergroten van de netwerkprestaties, kunnen ook specifiek voor het verminderen van de verkeersemisatie ingezet worden.

Doordat ITS-maatregelen ingrijpen op het individuele rijgedrag biedt dit type maatregelen goede mogelijkheden om in tijd en ruimte gericht de emissie van vervuilende stoffen aan te pakken. De meest 'kansrijke' ITS-maatregelen zijn het dynamische beperken van voertuigen in een bepaald gebied, het routeren van voertuigen, het reduceren van de dynamiek in het verkeer door snelheidsmaatregelen en het milieuvriendelijk instellen van verkeersregelininstallaties.

Op basis van de kenmerken van de luchtkwaliteitsknelpunten en de ITS-maatregelen bestaat de verwachting dat ITS-maatregelen van betekenis kunnen zijn voor het terugdringen van de luchtkwaliteitsbelasting door het wegverkeer. De wijze waarop de maatregelen de verkeersafwikkeling en verkeersemisatie beïnvloeden, staat weergegeven in *Figuur S.1*.

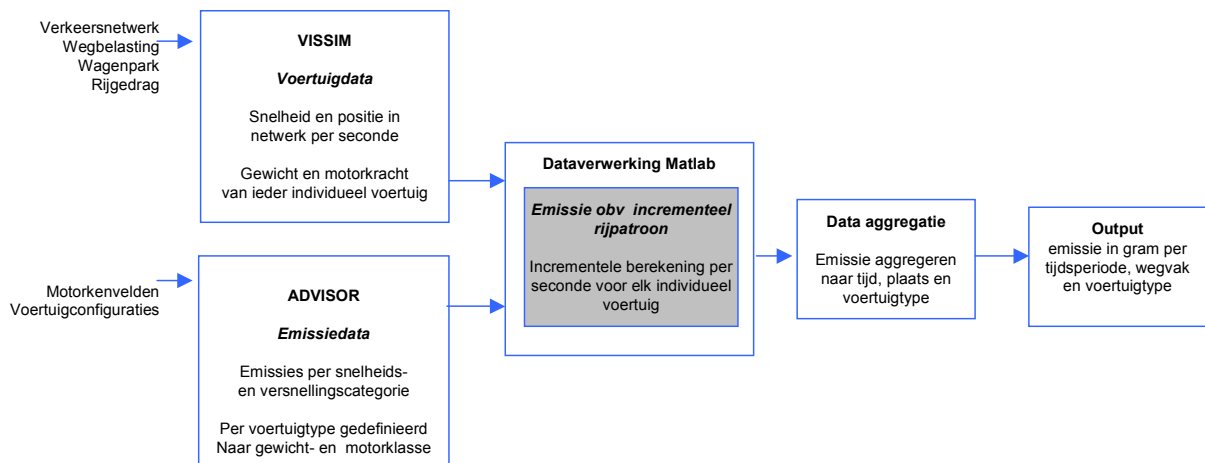


Figuur S.1 Factoren die bepalend zijn voor het effect van maatregelen op de verkeersemisatie

Het bepalen van de effecten van ITS-maatregelen kan het beste plaatsvinden door gebruik te maken van microscopische emissiemodellen. Hiervoor zijn twee belangrijke redenen. Ten eerste hebben de meeste huidige luchtkwaliteitsberekeningen een onvoldoende detailniveau en beschrijven niet of in beperkte mate de invloed van het rijgedrag op de emissie. De methoden kennen een macroscopische koppeling (op basis van gemiddelde intensiteiten en snelheden) tussen verkeers- en luchtkwaliteitsmodellen en zijn niet in staat om de invloed van voertuigbewegingen, zoals snelheidswisselingen en stops, op de uitstoot van schadelijke stoffen in de emissieberekening mee te nemen. Ten tweede is de luchtkwaliteit, zowel in werkelijkheid als in de modellen, onderhevig aan grote invloeden van de wisselende weer en omgevingsomstandigheden. Door de aanzienlijke onzekerheden in de luchtkwaliteitsberekeningen is de kans dat de berekende luchtconcentraties afwijken van de werkelijke concentratie groot. Dit betekent dat met luchtkwaliteitsberekeningen de werkelijke maatreegeffecten niet goed zijn vast te stellen.

Door de effectberekening te beperken tot het modelleren van de voertuigemissie kan de versturende invloed van de genoemde externe factoren uitgesloten worden. Bovendien kennen huidige microscopische verkeers- en emissiemodellen een voldoende detailniveau waarmee de invloed van het rijgedrag en voertuigkarakteristieken meegenomen kunnen worden.

De VERSNEL-rekenmethode is opgezet om afhankelijk van het individuele rijgedrag het effect van ITS-maatregelen op de verkeersemisatie te bepalen. De methode bepaald de emissie per voertuig. Het individuele rijpatroon van de voertuigen wordt met behulp van snelheids- en versnellingscategorieën omgezet naar een VEReenvoudigd SNELheidspatroon. Voor iedere snelheid- en versnellingcategorie zijn met het voertuigsimulatiemodel ADVISOR voertuigtype specifieke emissiefactoren gegenereerd. De individuele rijpatronen worden gemodelleerd met het microscopische verkeerssimulatiemodel VISSIM. De structuur staat weergegeven in *Figuur S.2*.



Figuur S.2 Input, verwerking en output binnen de rekenmethode

De toetsing van de VERSNEL-rekenmethode toont aan dat emissieberekening op basis van vereenvoudigde snelheidpatronen een goede benadering oplevert van de emissie die wordt verkregen wanneer de emissie continu aan het rijpatroon wordt berekend. Daarnaast komt de trend in de berekende emissies voor verschillende snelheden overeen met de officiële standaard emissiefactoren (die vastgesteld worden door het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM)).

Door de VERSNEL-rekenmethode toe te passen op een case studie waarin de implementatie van een ITS-maatregelen centraal staat (N65 nabij Vught, Nederland), wordt meer inzicht verkregen in de kwaliteit en toepassingsmogelijkheden van de rekenmethode en de effectiviteit van ITS-maatregelen om de emissie veroorzaakt door voertuigen te reduceren. Met de VERSNEL-rekenmethode zijn het brandstofverbruik en de emissies van de stoffen NO_x, PM₁₀, HC en CO in een situatie voor en na de introductie van een groene golf (één van de 'kansrijke' ITS-maatregelen) bepaald.

Conclusies en aanbevelingen

De belangrijkste conclusie van het onderzoek zijn:

- De case studie toont aan dat de VERSNEL-rekenmethode in staat is het effect van ‘kansrijke’ ITS-maatregelen (maatregelen zoals de groene golf die het rijgedrag beïnvloeden) op de verkeersemmissie te bepalen. Op basis van de resultaten kan geconcludeerd worden dat de groene golf een effectieve maatregel is om via het rijgedrag de emissie van voertuigen te reduceren. Er worden emissiereducties tot 30% waargenomen.
- Met de resultaten van de case studie wordt onderschreven dat de rijgedragkarakteristieken snelheid en sterkte van versnelling en voertuigkarakteristieken motortype (vermogen en type brandstof) en gewicht bepalende factoren zijn voor voertuigemissies. Daarnaast is de samenstelling van het wagenpark van doorslaggevend belang voor de totale emissie op netwerkniveau.
- De uitstoot verschilt per voertuig, per locatie en per stof. Dit geeft aan hoe waardevol microscopische modeltechnieken kunnen zijn voor het bepalen van de effecten van een maatregel.
- Microscopische methoden voor het berekenen van verkeersemmissies, zoals de VERSNEL-rekenmethode kunnen ingezet worden om te beoordelen in welke situaties een maatregel minder of meer effectief is, hierbij kan de samenstelling van het wagenpark of het rijgedrag doorslaggevend zijn.

De belangrijkste aanbeveling van het onderzoek zijn:

- Om de uiteindelijke kwaliteit van de uitkomsten te kunnen bepalen zal een gevoeligheids- en onzekerheidsanalyse uitgevoerd moeten worden.
- Belangrijke verbeterpunten van de rekenmethode zijn het vergroten van de hoeveelheid en de kwaliteit van de emissiedata op basis waarvan de emissiefactoren zijn opgesteld en het verfijnen van de snelheids- en versnellingscategorieën of het opzetten van een directe koppeling tussen de emissiedata en de rijpatronen. Door het complexe karakter van de microscopische modellen is daarbij een toetsing van de resultaten aan voertuigemissies die in de praktijk gemeten zijn, zeer waardevol.
- Gezien de variatie in de invloed op de emissie van verschillende voertuigtypen is het voor luchtkwaliteitsstudie zinvol te investeren in het in kaart brengen van de lokale samenstelling van het wagenpark. Dan kunnen maatregelen gericht op specifieke voertuigtypen ingezet worden. Juist ITS-maatregelen zijn hiertoe in staat.
- Met meer microscopische studies kan het inzicht in de factoren die bepalend zijn voor de verkeersemmissie en de invloed van (ITS-)maatregelen daarop verbeterd worden. Inzicht waarmee de keuze tussen verschillende (ITS-)maatregelen beter onderbouwd kan worden en een betere afstemming van maatregelen onderling en van de maatregelen op de verkeerssituatie kan plaatsvinden. De effecten op de verkeersafwikkeling en op de luchtkwaliteit, die ook tegenstrijdig beïnvloedt kunnen worden, kunnen daarmee beter op elkaar afgestemd worden, hetgeen nodig is om een doelgerichte en daadwerkelijk effectieve inzet van de maatregelen te kunnen realiseren.
- In de toekomst moeten microscopische modellen opgenomen worden in dynamische systemen waarmee continu de balans tussen verkeer en milieu gecontroleerd en met dynamische (ITS-)maatregelen beheerst kan worden.

INHOUDSOPGAVE

VOORWOORD	II
SUMMARY	III
SAMENVATTING	V
INHOUDSOPGAVE	XI
1 INLEIDING	1
1.1 Luchtkwaliteit, wereldwijd een lokaal probleem	1
1.2 Onderzoek naar ITS-maatregelen en voertuigemissie	2
1.3 De richting van het onderzoek	3
1.4 Onderzoeksstrategie	5
1.5 Leeswijzer	5
1.6 Definities	8
2 LUCHTKWALITEITSPROBLEMATIEK	10
2.1 Luchtkwaliteit van de buitenlucht	10
2.2 Bronnen van luchtverontreinigende stoffen	12
2.3 Analyse van de knelpunten	14
2.4 Samenvatting	15
3 MAATREGELEN VOOR DE LUCHTKWALITEIT	16
3.1 Overzicht van maatregelen voor de luchtkwaliteit	16
3.2 Verkeersmaatregelen voor de luchtkwaliteit	17
3.3 ITS-maatregelen voor de luchtkwaliteit	18
3.4 Selectie van 'kansrijke' ITS-maatregelen	20
3.5 Werking van ITS-maatregelen voor de luchtkwaliteit	22
3.6 Schaalniveau van het maatreegeleffect	23
3.7 Samenvatting	23
4 HET MODELLEREN VAN DE LUCHTKWALITEIT	26
4.1 Het modelleren van de luchtkwaliteit	26
4.2 Type modellen bij het bepalen van effecten van verkeersmaatregelen op de luchtkwaliteit	27
4.3 Beperkingen bij de luchtkwaliteitsberekening	29
4.4 Integratie en detaillering binnen de luchtkwaliteitsmodellering	31
4.5 Onzekerheid in modelberekeningen	32
4.6 Samenvatting	35
5 ONDERZOEK NAAR VERKEERSKARAKTERISTIEKEN EN EMISSIE	37
5.1 Onderzoek naar de relatie tussen verkeer en emissie op microscopisch niveau	37
5.2 Relaties tussen rijgedrag en emissie in geanalyseerde studies	38
5.3 Reflectie op onderzoek naar relatie rijgedrag en emissie	44
5.4 Samenvatting	44
6 OPZET VAN DE VERSNEL-REKENMETHODE	46
6.1 De VERSNEL-rekenmethode in grote lijnen	46
6.2 Inzet van bestaande modellen	46
6.3 Opzet van de VERSNEL-rekenmethode	48
6.4 De koppeling tussen rijpatronen en emissiedata in Matlab	53
6.5 Toetsing met ADVISOR	54
6.6 Toetsing met standaard emissiefactoren	56
6.7 Samenvatting	59

7	CASE STUDIE GROENE GOLF	61
7.1	Doel en opzet van de case studie	61
7.2	De onderzoeksomgeving N65 Vught met groene golf	61
7.3	Opzet van de simulaties	64
7.4	Validatie van de referentiesituatie	66
7.5	Samenvatting	66
8	RESULTATEN EN DISCUSSIE	68
8.1	Effect van de groene golf op de netwerkprestaties	68
8.2	Effect van de groene golf op de emissie - standaard emissiefactoren	68
8.3	Effect van de groene golf op brandstofverbruik en emissie - VERSNEL-rekenmethode	70
8.4	Betrouwbaarheid van de emissie	77
8.5	Discussie VERSNEL-rekenmethode	77
8.6	Samenvatting	81
9	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	83
9.1	Conclusies	83
9.2	Aanbevelingen	85
9.3	Tot slot	86
10	REFERENTIES	88

1 INLEIDING

1.1 Luchtkwaliteit, wereldwijd een lokaal probleem

Tot ongeveer vijf jaar geleden werd de luchtkwaliteitsproblematiek voornamelijk geassocieerd met de smogvorming rond grote metropolen als Bangkok, Mexico Stad, New York en Turijn. Over deze steden hangt door de concentratie van verkeer en industrie, geregeld een zichtbare en aan de luchtwegen merkbare sluier van onder andere koolstofdioxide (CO₂), stikstofdioxide (NO₂) ozon (O₃) en fijnstof (PM₁₀)¹. De aandacht ging met name uit naar verzuring en het broeikas effect en de uitstoot van CO₂ en NO_x op nationaal niveau, waarbij voornamelijk de regulering van de uitstoot van grote industrieën en de introductie van nieuwe (voertuig)technieken als beleidsstrategieën werden ingezet. Echter met het inwerkingtreden van de nieuwe Europese regelgeving voor luchtkwaliteit in 1999 is bevestigd dat de problematiek zich niet enkel tot de grootste steden in de wereld beperkt. Verspreid over de meeste Europese landen worden lokaal, en voornamelijk in de steden, de leefbaarheidnormen overschreden. De luchtkwaliteit is, als gevolg van met name hoge concentraties stikstofdioxide en fijnstof, onacceptabel laag en vormt een gevaar voor de volksgezondheid. Het onderwerp staat hoog op de politieke agenda, ook in Nederland.

1.1.1 Luchtkwaliteit onder grote aandacht

Nadat in 2004 de Raad van State op basis van het Besluit luchtkwaliteit 2001 meerdere bouwbesluiten had afgekeurd werden niet alleen de verstrekende gevolgen van de Europese luchtkwaliteitsnormen zichtbaar maar is ook de aandacht voor de luchtkwaliteit als zodanig toegenomen. Zowel in de politiek, bij de lagere overheidsinstellingen, in de bouwwereld als onder de burgers werd verontrust gereageerd. Uitspraken als 'Nederland zit op slot door de Europese regelgeving' en 'het rijk neemt op het gebied van luchtkwaliteit te weinig maatregelen' wisselden elkaar af. De ophef heeft tot nieuwe onderzoeken naar de ernst, oorzaak en aanpak van de luchtvervuiling geleid. Daarmee is de beeldvorming over de luchtkwaliteitsproblematiek sterk verbeterd en zijn de mogelijkheden en kennis voor het inzetten van maatregelen voor de luchtkwaliteit vergroot. Zo zijn de inzichten in de luchtverontreiniging door fijnstof, waarover de meeste onduidelijkheid bestaat, verbeterd. De berekening van de concentraties is onlangs herzien en toont nu lagere concentraties (MNP, 2006b). Daarnaast lijken met het Besluit luchtkwaliteit 2005 en de onlangs voorgestelde nieuwe Wet Luchtkwaliteit de meeste bouwplannen toch doorgang te kunnen vinden. Hierbij wordt wel de voorwaarde gesteld dat onderzoek naar de gevolgen voor luchtkwaliteit is uitgevoerd en bij uitvoering geen verslechtering van de luchtkwaliteit optreedt of de verslechtering door extra maatregelen wordt gecompenseerd. De meeste planontwikkelingen zullen in Nederland pas doorgang kunnen vinden als in de plannen maatregelen worden opgenomen die een verslechtering van de luchtkwaliteit tegengaan.

De trends van de afgelopen decennia tonen aan dat de luchtkwaliteitsvervuiling vermindert als gevolg van Europees en nationaal beleid. (Tussen 1985 en 2003 is de uitstoot van NO_x en PM₁₀ in Nederland gemiddelde met meer dan 30% gedaald, Dossier Luchtkwaliteit, www.rivm.nl). Echter de luchtkwaliteitsproblematiek is daarmee nog niet opgelost. Nog steeds worden op diverse locaties in Nederland de Europese normen nu en (met de huidige trends) in de toekomst overschreden en is de piekbelasting van de luchtkwaliteit in de steden groot (MNP, 2006a). Op basis van diverse schattingen kan verondersteld worden dat in Nederland jaarlijks rond de 5000 mensen vroegtijdig overlijden aan de gevolgen van luchtverontreiniging (Fischer, 2004 en CROW, 2005).

Geconcludeerd kan worden dat hoewel de luchtkwaliteit de afgelopen jaren is verbeterd, deze nog steeds voornamelijk in de steden te laag is en daarom de aanpak van de luchtvervuiling noodzakelijk is. De huidige ontwikkelingen vragen om maatregelen die de luchtverontreiniging, waaronder de luchtvervuiling als gevolg van de emissie van het verkeer, terugdringen.

1.1.2 Luchtkwaliteit en verkeer

Doordat wereldwijd de luchtvervuiling al enige tijd als één van de grootste milieuproblemen wordt gezien zijn diverse onderzoeken naar de oorzaken, gevolgen en aanpak van de luchtverontreiniging uitgevoerd. Uit verscheidene onderzoeken komt naar voren dat de leefbaarheid van de stedelijke omgevingen voornamelijk door de luchtverontreiniging wordt geschaad en het verkeer daarvan één van de belangrijkste veroorzakers is (o.a. Maja et al., 1997 Reynolds & Broderick, 1998 en Parkhurst,

¹ PM₁₀ is de aanduiding voor fijnstof met een diameter van maximaal 10 micrometer. Voor meer informatie over de verschillende stoffen wordt verwezen naar hoofdstuk 2.

2004). In Nederland is op nationaal niveau de bijdrage van het verkeer aan de concentraties NO_x en PM_{10} respectievelijk 40% en 10% (MNP, 2005). Op lokaal niveau kunnen deze bijdragen oplopen tot zeker 60% respectievelijk 40% (Tilburg, 2005). De gemeente Tilburg acht de sector verkeer en vervoer voor 80% verantwoordelijk voor de lokale emissie van luchtverontreinigende stoffen. Als gevolg van de bijdrage van het wegverkeer aan de luchtvervuiling (die ondanks schonere voertuigtechnieken door groei van het verkeer lokaal toeneemt) bestaat er een wezenlijk conflict tussen mobiliteit en milieu. Enerzijds is een goede bereikbaarheid van stedelijke centra een cruciale stimulator voor de economische ontwikkeling en hecht de individuele automobilist grote waarde aan een eigen persoonlijke vervoersmedium. Anderzijds zorgen de huidige motortechnieken die bewegingsenergie opwekken door de verbranding van fossiele brandstoffen voor de emissie van luchtvervuilende stoffen. Doordat de wereldeconomie in sterke mate afhankelijk is van de productie en consumptie van aardolieproducten kan op korte termijn nog geen grootschalige overstap naar schone voertuigen (zoals hybride- en waterstofvoertuigen) verwacht worden. Gezocht moet worden naar slimme maatregelen die met behoud van de huidige verkeersprestaties de milieubelasting van het verkeer aanpakken.

1.1.3 ITS-maatregelen voor een betere luchtkwaliteit

ITS-maatregelen, maatregelen waarbij gebruik wordt gemaakt van informatie- en communicatietechnologie, worden steeds vaker toegepast. Daarbij wordt veelal door beïnvloeding van het individuele rijgedrag de benutting van of de doorstroming op het verkeersnetwerk bevorderd. Uit studies naar de relatie tussen rijgedrag en emissie (onder anderen uitgevoerd onder het onderzoeksprogramma 'Het nieuwe rijden', www.hetnieuwerijden.nl / www.ecodrive.org) blijkt dat het rijgedrag de voertuigemissies sterk kan beïnvloeden (Gense, 2000). Gezien deze relaties wordt verwacht dat ITS-maatregelen ook succesvol ingezet kunnen worden om de emissie van het verkeer terug te dringen. Initiatieven zijn ontstaan om ITS-maatregelen specifiek voor de luchtkwaliteit te ontwikkelen en in te zetten. De uitdaging is om de ITS-maatregelen zo in te laten grijpen op het individuele rijgedrag dat ze in staat zijn juist die bewegingen die belastend zijn voor de luchtkwaliteit, zoals het aantal stops, aan te pakken.

1.2 Onderzoek naar ITS-maatregelen en voertuigemissie

In de voorgaande paragrafen is een inleiding gegeven op de luchtkwaliteitsproblematiek. Uit de problematiek komt naar voren dat er behoefte is aan (nieuwe) effectieve maatregelen om de uitstoot van verontreinigende stoffen door het verkeer terug te dringen. De ITS-maatregelen in relatie tot de luchtkwaliteitsproblematiek staan centraal in dit onderzoek. In deze paragraaf worden de directe aanleiding, de probleemdefinitie en de doelstelling die de basis vormen voor het onderzoek beschreven.

1.2.1 Aanleiding

Het feit dat de luchtkwaliteit in Nederland op meerdere plekken niet aan Europese normen voldoet, is één van de signalen van de mondiale luchtkwaliteitsproblematiek. Met name in de stedelijke gebieden draagt het verkeer aanzienlijk bij aan de slechte luchtkwaliteit. Gezocht wordt naar maatregelen die de luchtkwaliteitsbelasting van het verkeer tegen kunnen gaan. Het inzetten van ITS-maatregelen lijkt een goede strategie. Over de precieze effecten van ITS-maatregelen op de luchtkwaliteit is echter nog weinig bekend. De toepasbaarheid van ITS-maatregelen om de luchtverontreiniging van verkeer te verminderen kan nog maar deels aangetoond worden.

1.2.2 Probleemdefinitie en relevantie

Meerdere methoden (veelal een combinatie van separaat ontwikkelde verkeers-, emissie- en dispersiemodellen) worden gebruikt om het effect van verkeersmaatregelen op de luchtkwaliteit te bepalen. De meeste methoden zijn echter beperkt in het beschrijven van de relatie tussen verkeer en luchtkwaliteit en de specifieke werking van ITS-maatregelen. De veelal op verkeerskundig vlak macroscopisch georiënteerde methoden houden geen rekening met het individuele rijgedrag, hetgeen juist bij de werking van ITS-maatregelen een sleutelrol speelt en een bepalende factor is voor de mate waarin voertuigen emissies produceren. Microscopische modeltechnieken voor het volgen van individuele voertuigen zijn beschikbaar maar worden nog maar beperkt bij luchtkwaliteitsberekeningen toegepast.

Om het gebruik van ITS-maatregelen beter te kunnen onderbouwen is er een behoefte aan methoden en modeltechnieken die in staat zijn om, rekeninghoudend met de specifieke kenmerken van het individuele rijgedrag en de werking van verkeersmaatregelen, de luchtkwaliteitseffecten te bepalen.

1.2.3 Doelstelling

De kernvraag die uit de in *paragraaf 1.1* beschreven problematiek naar voren komt is: *In welke mate zijn ITS-maatregelen geschikt om de luchtkwaliteitsproblematiek aan te pakken?*. Dit onderzoek is opgezet om bij te dragen aan het beantwoorden van deze vraag en kent de volgende doelstelling.

Het onderzoek heeft tot doel de factoren die bepalend zijn voor de relatie tussen rijgedrag en verkeersemisies te onderscheiden en een *praktische methodiek* te ontwikkelen waarmee het effect van ITS-maatregelen op verkeersemisies gemodelleerd kan worden.

De in de doelstelling beschreven **praktische methodiek** bestaat uit een transparante koppeling tussen verkeer- en emissiemodellen waarbinnen de *modeltechnische relaties* die relevant zijn voor de effectberekening van ITS-maatregelen zijn opgenomen. De methodiek beschrijft op welke wijze het inwinnen en verwerken van benodigde verkeer- en emissiedata en de informatieoverdracht tussen de modellen uitgevoerd moet worden. De methodiek is in staat om gekwantificeerde luchtkwaliteitseffecten van ITS-maatregelen te genereren.

Onder de hierboven genoemde **modeltechnische relaties** worden geprogrammeerde numerieke regels en wiskundige formules verstaan die de relaties respectievelijk tussen en binnen de modellen beschrijven. De wiskundige formules bestaan uit parameters die verkeersafwikkelingskarakteristieken en voertuigeigenschappen als onafhankelijke en verkeersemisie als afhankelijke variabelen beschrijven. Met behulp van de modeltechnische relaties kan het effect van ITS-maatregelen op de verkeersafwikkeling en de daaraan gerelateerde emissie gekwantificeerd worden.

1.3 De richting van het onderzoek

Zoals de doelstelling van dit onderzoek aangeeft is het onderzoek gericht op de bijdrage die ITS-maatregelen kunnen leveren aan het oplossen van de luchtkwaliteitsproblematiek. Binnen het complexe veld van factoren die gezamenlijk voor de actuele luchtkwaliteit zorgen, is bij dit onderzoek gekozen voor de afbakening zoals beschreven in de volgende paragraaf. Vervolgens worden de daarbij geformuleerd onderzoeksvragen weergegeven.

1.3.1 Afbakening

Grofweg kunnen modelstudies naar luchtkwaliteit opgedeeld worden in het modelleren van de emissie en het modelleren van de verspreiding van luchtverontreinigende stoffen. Daarbij kunnen de modellen in detailniveau verschillen van het modelleren met algemene relaties (macroscopisch niveau) tot het beschrijven van gedetailleerde processen (microscopisch niveau). Daarnaast kan onderscheid gemaakt worden in meerdere bronnen die voor de uitstoot van stoffen zorgen. In grote lijnen zijn dit het wegverkeer en overig transport, industrie, energievoorziening, landbouw en consumenten. *Dit onderzoek richt zich op de modellering van de emissie door het wegverkeer op microscopisch niveau.* Deze keuze wordt hieronder nader toegelicht.

Focus op het emissieproces

Het onderzoek richt zich op het emissiegedeelte van het luchtvervuilingsproces, en laat daarmee het verbreidingsproces buiten beschouwing. De lokale luchtvervuiling is niet alleen afhankelijk van de emissie van vervuilende stoffen maar wordt ook sterk beïnvloed door complexe verspreidingsprocessen. De verspreiding van vervuilende stoffen in de lucht is afhankelijk van de omgeving en de meteorologische omstandigheden. De invloed van deze omstandigheden is erg sterk en onzeker (met name als gevolg van het weer). Het onderzoek laat de verspreidingsprocessen buiten aangezien door de onzekerheden effect op de luchtvervuiling moeilijk zijn aan te tonen. De effecten op de emissie zijn vast te stellen. Daarnaast worden alleen de emissieprocessen direct door het verkeer beïnvloedt. Op basis van de effecten op de emissie zijn verkeersmaatregelen beter te vergelijken. Bij het interpreteren van de resultaten is het van belang te realiseren dat de emissie slechts een deel van het gehele luchtvervuilingsproces is.

Focus op de emissie van het wegverkeer²

Het onderzoek is gericht op de luchtverontreinigende stoffen die door het wegverkeer worden uitgestoten. Alleen de uitstoot van deze stoffen kan met ITS-maatregelen beïnvloed worden. In het onderzoek staan die luchtverontreinigende stoffen centraal die op dit moment voor de meeste problemen zorgen en onder anderen worden uitgestoten door het verkeer. Het gaat om de stoffen waarvan de geldende en toekomstige normen worden overschreden. Dit zijn stikstofdioxide (NO₂)³ en fijnstof (PM₁₀)⁴. Daarnaast is binnen de modelstudie ook aandacht voor het brandstofverbruik en de emissie van koolmonoxide (CO) en koolwaterstoffen (HC).

Focus op een analyse op microscopisch niveau

De relatie tussen verkeer, emissie en de werking van ITS-maatregelen wordt op microscopisch niveau geanalyseerd. Dit houdt in dat het verkeer wordt gemodelleerd op basis van individuele voertuig- en rijgedragkarakteristieken. Deze insteek is gebaseerd op twee veronderstellingen die in het onderzoek nader onderzocht zijn.

1. Voertuigkenmerken en individueel rijgedrag zijn bepalende factoren voor de emissie van verontreinigende stoffen door het wegverkeer.
2. Een groot aantal ITS-maatregelen beïnvloeden de verkeersafwikkeling door in te grijpen op het individuele rijgedrag.

Om daadwerkelijk inzicht te krijgen in het effect van ITS-maatregelen op voertuigemissies is detailniveau vereist waarbij individuele voertuig- en rijgedragkarakteristieken gemodelleerd worden.

1.3.2 Onderzoeksvragen

Bij de ontwikkeling van een methode waarmee het effect van ITS-maatregelen op de luchtkwaliteit bepaald kan worden moet de relatie tussen verkeerskarakteristieken, de verkeersemmissie van vervuilende stoffen en de werking van ITS-maatregelen bestudeerd worden. Het is van belang een goed beeld te hebben van de rol van het verkeer in de luchtkwaliteitsproblematiek. Voorafgaand aan het vormgeven van de praktische methodiek moet bekend zijn welke variaties over tijd en ruimte optreden in de luchtverontreiniging, wat de bijdrage van het verkeer daarin is en welke factoren daarvoor verantwoordelijk zijn. De volgende twee onderzoeksvragen gelden dan ook als leidraad voor het onderzoek.

1. Welke factoren zijn bepalend voor de bijdrage van het verkeer aan de concentratie van luchtverontreinigende stoffen in de lucht en (op welke wijze) kunnen ITS-maatregelen hier op ingrijpen?
2. Op welke wijze kunnen de factoren vertaald worden naar een praktische methodiek die in staat is het effect van ITS-maatregelen op verkeersemmissies te kwantificeren?

² Wanneer verder in deze rapportage wordt gesproken over verkeer, wordt daarmee bedoeld op het wegverkeer.

³ Stikstofdioxide is één van de stikstofoxiden (NO_x). NO₂ zelf wordt maar beperkt uitgestoten door het verkeer en wordt hoofdzakelijk in de lucht gevormd uit een verzameling stikstofoxiden die onder anderen door het verkeer worden uitgestoten.

⁴ Tot op heden wordt met fijnstof voornamelijk op PM₁₀ (fijnstof met een diameter kleiner dan 10 micrometer) gedoeld. Echter recent verschuift de aandacht steeds meer naar de kleinste stofdeeltjes. Deze zijn het meest schadelijk voor de gezondheid. De Europese Commissie buigt zich momenteel over het opstellen van normen voor PM_{2.5}. De verwachting is dat bij invoering van deze nieuwe normen het aantal overschrijdingen zal toenemen. Daarnaast wordt gespeculeerd dat juist nieuwe dieselmotoren relatief veel kleine roetdeeltje uitstoten.

Voor het beantwoorden van de centrale onderzoeksvragen is gebruik gemaakt van de volgende subvragen.

- 1.1 Waar en wanneer doen de problemen met de luchtkwaliteit zich voor en wat is de bijdrage van het verkeer daarin?
- 1.2 Welke ITS-maatregelen zijn geschikt om effectief de luchtverontreiniging van het verkeer aan te pakken en welke maatregelkenmerken spelen hierbij een rol?
- 1.3 Welke methoden en modellen zijn beschikbaar om de luchtverontreiniging veroorzaakt door het verkeer en het effect van maatregelen daarop, te kunnen bepalen?
- 1.4 Welke rijgedrag- en voertuigkarakteristieken zijn bepalend voor de bijdrage van het verkeer aan de luchtverontreiniging?
- 2.1 In welke mate zijn de beschikbare methoden en modellen geschikt om opgenomen te worden in de praktische methodiek?
- 2.2 Welke data en modeltechnische relaties zijn aanvullend benodigd voor de ontwikkeling van de praktische methodiek?
- 2.3 Hoe moet de praktische methodiek vormgegeven worden zodat daarmee in een case studie het effect van een ITS-maatregel op de verkeersemmissie bepaald kan worden?
- 2.4 Wat zeggen de resultaten die verkregen die voortkomen uit de case studie over kwaliteit van de methodiek, de invloedrijkheid van rijgedrag- en voertuigkarakteristieken en de effectiviteit van de ITS-maatregel op luchtkwaliteitsgebied?

1.4 Onderzoeksstrategie

Om de benodigde kennis voor de beantwoording van de onderzoeksvragen te vergaren, is een onderzoeksstrategie ingezet die gericht is op het ontwikkelen van een praktische methodiek waarmee binnen het onderzoek een case studie uitgevoerd kan worden.

Parallel aan de onderzoeksvragen is vanuit de onderzoeksstrategie het onderzoek in twee fasen opgedeeld. De eerste fase van het onderzoek bestaat uit de analyse van de luchtkwaliteitsproblematiek, de rol van het verkeer daarin en de mogelijkheden om met ITS-maatregelen de verkeersemmissies te reduceren. Deze analyse is gemaakt op basis van literatuurstudie, het bestuderen van relevante modellen en het raadplegen van het werkveld en enkele experts. Van daaruit is de relatie tussen verkeersgedrag, verkeersafwikkeling en verkeersemmissie en de werking van ITS-maatregelen op microscopisch niveau in kaart gebracht en bepaald wat de mogelijkheden en beperkingen van de beschikbare verkeers- en luchtkwaliteitsmodellen zijn om het voorgaande te kunnen modelleren.

In de tweede fase van het onderzoek is op basis van de analyse van zowel de methodieken die momenteel toegepast worden om de luchtkwaliteit te bepalen als alternatieve modellen of databronnen, de VERSNEL-rekenmethode tot stand gekomen. De mate waarin de factoren (voortkomend uit de beantwoording van de eerste centrale onderzoeksvraag) gemodelleerd kunnen worden met de huidige methodieken, is bepalend geweest voor de ontwikkeling van de rekenmethode. Om een beoordeling te kunnen maken van de kwaliteit van de VERSNEL-rekenmethode is met een case studie een analyse gemaakt van de kwantitatieve effecten van één van de 'kansrijke' ITS-maatregelen. Daarnaast is de case studie erop gericht om met de resultaten een indicatie te geven van de inzetbaarheid van ITS-maatregelen voor het verbeteren de luchtkwaliteit.

1.5 Leeswijzer

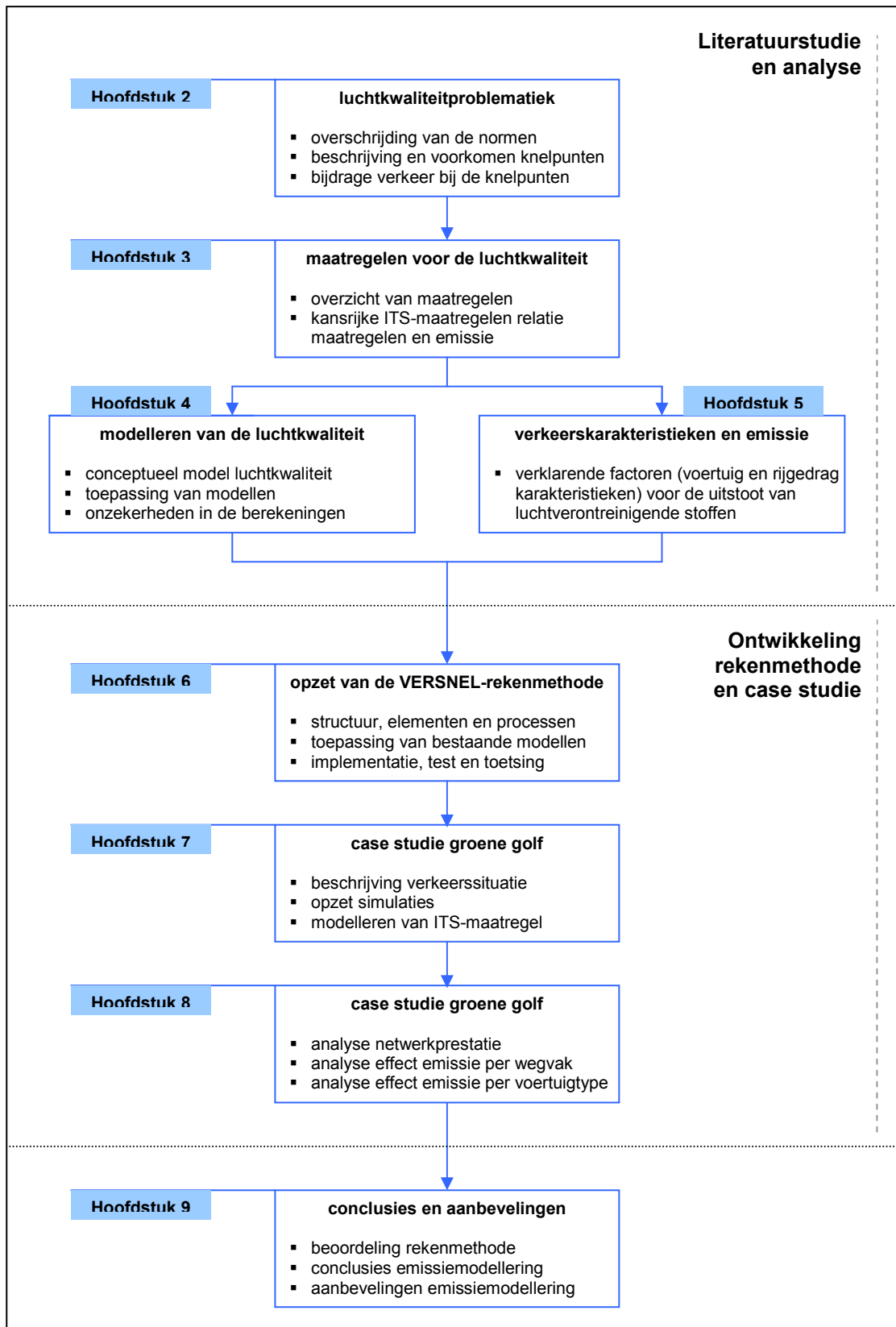
De twee fasen in het onderzoek vormen de hoofdstructuur structuur van dit rapport. Achtereenvolgens komen in de rapportage de literatuurstudie en analyse en de ontwikkeling van de VERSNEL-rekenmethode en de toepassing daarvan in de case studie aan bod. De schematische leeswijzer in *Figuur 1.1* geeft aan hoe de verschillende hoofdstukken in deze rapportage bijdragen aan het weergegeven van de onderzoeksresultaten van beide onderzoeksfasen.

Het eerste hoofdstukken komen voort uit de literatuurstudie en de analyse van modellen en methoden. In hoofdstuk 2 wordt de luchtkwaliteitsproblematiek uitgewerkt. De analyse de luchtkwaliteitsknelpunten en de mogelijke maatregelen voor het verbeteren van de luchtkwaliteit heeft geleid tot de selectie van voor wat betreft de emissiereductie, 'kansrijke' ITS-maatregelen. Deze

analyse en selectie wordt beschreven in hoofdstuk 3. Als inleiding op de ontwikkeling van de rekenmethode worden in hoofdstuk 4 en 5 de bevindingen van de literatuurstudies naar respectievelijk de verkeer-, emissie- en luchtkwaliteitsmodellen en naar de relaties tussen verkeer en emissie, weergegeven. In hoofdstuk 4 wordt ingegaan op de mogelijkheden en beperking van de modellen om het effect van ITS-maatregelen te modelleren. Voor zover mogelijk wordt ingegaan op de kwaliteit (onzekerheid) van de modeluitkomsten. Hoofdstuk 5 bevat een analyse van de informatie uit onderzoeksrapportages waarin on-road emissiemetingen worden behandeld. De voor de emissie meest verklarende karakteristieken van het rijgedrag (bijvoorbeeld snelheid en versnelling) en van het voertuig (bijvoorbeeld gewicht en type motor) worden per stof bekeken.

Vanaf hoofdstuk 6 gaat de rapportage in op de ontwikkeling en toetsing van de praktische methodiek, de VERSNEL-rekenmethode, voor het berekenen van het effecten van ITS-maatregelen op voertuigemissies. In hoofdstuk 6, wordt de opzet van de rekenmethode beschreven. Ingegaan wordt op het gebruik van modellen en de manier van dataverwerking in de rekenmethode. Het hoofdstuk wordt afgesloten met een toets of de relatie tussen verkeer en emissie correct door de rekenmethode wordt gerepresenteerd. In hoofdstuk 7 wordt de case studie beschreven waarop de rekenmethode is toegepast. Van de case studie wordt aangegeven hoe de verkeerssituatie er uit ziet, welke data van de praktijksituatie beschikbaar zijn en welke maatregel in de case studie toegepast kan worden. De resultaten van de case studie worden besproken in hoofdstuk 8. Daarnaast wordt aangegeven wat dit voor consequenties heeft voor de interpretatie van de effecten van de gemodelleerde maatregel die door de rekenmethode geproduceerd worden.

Hoofdstuk 9 bevat de conclusies en aanbeveling van het onderzoek. Ingegaan wordt op de kwaliteit en toepassingsmogelijkheden van de VERSNEL-rekenmethode. Met aanbevelingen over onder anderen het gebruik en mogelijke verbeteringen van de VERSNEL-rekenmethode en de toepassing van microscopische emissiemodellen bij luchtkwaliteitsstudies in het algemeen, wordt de rapportage afgesloten.



Figuur 1.1 Schematische leeswijzer

1.6 Definities

Binnen het onderzoek zijn de definities gehanteerd zoals weergegeven in *Tabel 1.1*.

dynamisch verkeersmanagement (DVM)	Verkeersmanagement met behulp van verkeersmaatregelen die tijdsafhankelijk worden ingezet. (In dit verband worden onder tijdsafhankelijk verstaan: een variatie over een tijdschaal liggend tussen enkele seconden en acht uur (dagdeel))
emissiefactor	Maat (uitgedrukt in g/km) voor de uitstoot van vervuilende stoffen per gereden kilometer in een bepaalde verkeerssituatie (veel gebruikt onderscheid: binnenstedelijk, provinciaal en snelweg) en gebaseerd op motorkarakteristieken van een specifiek voertuig of het gehele wagenpark
intelligente transport systemen en services (ITS)	Systemen en services die, als resultaat van de koppeling van informatie- en communicatietechnologie met voertuigen en verkeersinfrastructuur, ten dienste staan van het verplaatsen van mensen en goederen
ITS-maatregel	Maatregelen die door middel van de inzet van ITS ingrijpen op het transport van mensen en goederen
luchtverontreiniging	Overmatige concentraties van luchtverontreinigende stoffen in de buitenlucht. Luchtverontreinigende stoffen zijn stoffen die direct danwel indirect via de lucht de gezondheid van levende organismen (en in het bijzonder van de mens) aantasten. Onder luchtverontreinigende stoffen vallen: benzeen, fijnstof, lood, ozon, stikstofdioxide en zwaveldioxide (CROW, 2005 en Dossier Luchtkwaliteit, www.vrom.nl)
motorkarakteristieken	Eigenschappen van de verbrandingsmotor in voertuigen uitgedrukt met parameters als benzineverbruik en uitstoot van vervuilende stoffen in standaard situatie, bij koude start en bij optrekkende en afremmende bewegingen
rijgedrag	Beschrijving van de wijze waarop de bestuurder zijn voertuig bediend. Het rijgedrag bestaat niet alleen uit rijpatroonkarakteristieken maar bevat tevens het schakel- (moment van op- en terugschakelen) en stuurgedrag en de bediening van de gas-, rem- en koppelingspedalen.
rijpatroon-karakteristieken	Kenmerken van de bewegingen van individuele voertuigen uitgedrukt in parameters als snelheid, versnelling, verliestijd, aantal stops, individuele routes en afgelegde kilometers, welke worden berekend op basis van voertuig specifieke data
verkeersemissie	Uitstoot van luchtverontreinigende stoffen door het wegverkeer
verkeersmanagement	Het sturen (route en richting) en reguleren (vraag en aanbod) van de verkeersstromen over het verkeersnetwerk met als doel een vanuit veelal verkeerskundig oogpunt (maar dit kan ook vanuit andere invalshoeken, bijvoorbeeld milieutechnisch, benaderd worden) optimale verkeersafwikkeling te verkrijgen
verkeers-karakteristieken	Kenmerken van het verkeer zoals de samenstelling van het wagenpark en de eigenschappen van de voertuigen en de bewegingen van het verkeer, welke uitgedrukt kunnen worden in verkeersstroom- en rijpatroonkarakteristieken
verkeersstroom-karakteristieken	Kenmerken van verkeersafwikkeling van meerdere voertuigen uitgedrukt met parameters als intensiteit, gemiddelde snelheid, afgelegde routes, afgelegd aantal kilometers en reistijd, welke waarden kennen gebaseerd op geaggregeerde data
voertuig-karakteristieken	Kenmerken van individuele voertuigen zoals gewicht, omvang, motortype, motorvermogen, brandstoftype

Tabel 1.1 Binnen het onderzoek gehanteerde definities

2 LUCHTKWALITEITSPROBLEMATIEK

In dit hoofdstuk wordt een ingegaan op de luchtkwaliteitsproblematiek en de rol die het verkeer daarin speelt. In verschillende onderzoeken en literatuur worden de knelpunten op het gebied van de luchtkwaliteit beschreven. De meeste problemen met de luchtkwaliteit in Nederland doen zich voor in en rond steden (CROW, 2005). Internationale studies wijzen uit dat het aantal steden waarvoor de luchtvervuiling een wezenlijk maatschappelijk probleem is, wereldwijd toeneemt (Maja et al, 1997). Op diverse locaties worden hoge of zelfs, ten opzichte van de geldende normen, te hoge concentraties vervuilende stoffen gemeten. In Nederland komen stikstofdioxide (NO₂) en fijnstof (PM₁₀) voornamelijk in gezondheid bedreigende concentraties voor. In het buitenland zorgen CO, SO₂, benzeen en NH_x ook voor problemen en komt smog vaker en in ergere vorm voor⁵. In Nederland kan op warme zomerdagen met weinig wind matige smog voorkomen. Naast de hoge piekconcentraties NO₂, PM₁₀, SO₂ is een hoge concentratie ozon (O₃) een belangrijke indicator voor smog⁶. Alvorens ingegaan wordt op het beschrijven van de aard en de oorzaken van de luchtkwaliteitsknelpunten wordt eerst ingegaan op de definitie van luchtkwaliteit en welke (Europese) wet en regelgeving de aandacht voor de problematiek hebben doen opwaaien. De toetsing van de normen door middel van metingen en berekeningen, zoals vastgelegd in de luchtkwaliteitsregelingen, geven inzicht in locatie, aard en oorzaken van de luchtkwaliteitsknelpunten.

2.1 Luchtkwaliteit van de buitenlucht

Lucht is een samenstelling van duizenden verschillende stoffen. Luchtkwaliteit kan gedefinieerd worden als een beoordelingsmaat voor de mate waarin de stoffen in de lucht in een voor mens, dier en milieu gezonde verhouding voorkomen. Over het algemeen, zo ook in deze rapportage, wordt met het woord luchtkwaliteit bedoeld op de kwaliteit van de buitenlucht. De luchtkwaliteit wordt bepaald aan de hand van de concentratie verontreinigende stoffen in de lucht. Luchtverontreinigende stoffen zijn stoffen die direct dan wel indirect via de lucht de gezondheid van levende organismen (en in het bijzonder van de mens) aantasten. De concentratie van deze stoffen wordt uitgedrukt in microgram per kubieke meter lucht. De luchtkwaliteit op een bepaalde locatie is afhankelijk van de uitstoot (emissie) en verspreiding (dispersie) van de luchtverontreinigende stoffen.

2.1.1 Het beheersen van de luchtkwaliteit

Het beheersen van de luchtkwaliteit in Europa wordt sterk bepaald door Europese wet- en regelgeving. De luchtverontreiniging wordt langs drie wegen begrensd. Via nationale emissieplafonds, via emissienormen voor voertuigen en via luchtkwaliteitsnormen.

Nationale emissieplafonds

Wereldwijd zijn afspraken gemaakt over maximale uitstoot van vervuilende stoffen door landen. De basis voor de emissieplafonds zijn de protocollen opgenomen in het verdrag 'Convention on Long-range Transboundary Air Pollution' van de Europese economische commissie van de Verenigde Naties (Unece). Het Gotenborg protocol stelt grenzen (nationale emissieplafonds) aan de totale uitstoot van emissies (van ammoniak (NH₃), zwaveldioxide (SO₂), stikstofoxiden (NO_x) en vluchtige organische stoffen (VOS)) door de Unece-landen. Het protocol is echter nog niet officieel in werking getreden omdat het nog niet door voldoende landen is bekrachtigd. In 2001 is door de Europese Commissie de NEC-richtlijn (2001/81/EG) opgesteld (National Emission Ceilings). Hiermee zijn de emissieplafonds (waarvan een aantal nog verder omlaag zijn gebracht) voor de EU-lidstaten verplichtend.

Emissienormen nieuwe voertuigen

Naast de algemene emissieplafonds worden ook grenzen gesteld aan de specifieke emissie door het wegverkeer. Deze emissienormering voor voertuigen staat bekend als de Euro 1 tot inmiddels Euro 5 emissiestandaarden. Deze normen stellen grenzen aan de uitstoot van de stoffen CO, HC, NO_x, en PM₁₀ voor nieuwe personenauto's (emissie van het voertuig (98/69/EC) en vrachtovervoersmiddelen (emissie van de motor (1999/96/EC)). De keuring van de voertuigen vindt plaats met behulp van het, onder laboratorium condities, rijden van 'testcycli' op een rollerbank. Hier is echter ophef over omdat de cycli de motoren slechts ideaal belasten (Novem-PSV, 2006 en Kågeson, 1998).

⁵ Een uitgebreide beschrijving van de verschillende vervuilende stoffen, de bronnen en de gezondheidsrisico's is te vinden in *bijlage 2*. Dit overzicht is gebaseerd op informatie van het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM).

⁶ Voor het monitoren en beheersen van de smogvorming in Nederland heeft het ministerie van VROM de smogregeling opgesteld (VROM, 2001). De regeling bevat onder anderen grenswaarden van de concentratie O₃, NO₂, PM₁₀, en SO₂ waarbij sprake van geen smog, matige smog of ernstige smog. In Nederland kan (op warme zomerdagen) matige smog voorkomen.

Luchtkwaliteitsnormen

De derde belangrijke normstelling is niet op de uitstoot van vervuilende stoffen gericht maar stelt grenzen aan de gevolgen daarvan, de luchtvervuiling. De Europese luchtkwaliteitsnormen zijn de normen die op dit moment de meest verstrekende gevolgen hebben voor de Europese lidstaten. Ze zijn de oorzaak van grote aandacht voor de luchtkwaliteitsproblematiek. De normen opgesteld door de Europese Commissie moeten de inwoners van Europa beschermen tegen de schadelijke gevolgen van luchtverontreiniging. De normen zijn in de vorm van grenswaarden voor verontreinigende stoffen vastgesteld in de Europese kaderrichtlijn luchtkwaliteit (96/92/EG) en bijbehorende dochterrichtlijnen. In Nederland hebben de Europese richtlijnen geleid tot het opstellen van het Besluit luchtkwaliteit 2001⁷. In dit besluit zijn de Europese grenswaarden voor de vervuilende stoffen overgenomen. Voor de Raad van State was het Besluitluchtkwaliteit 2001 aanleiding om meerdere bouwbesluiten af te keuren.

2.1.2 Toetsing aan de grenswaarden voor de luchtkwaliteit

Voor het toetsen of aan de normen wordt voldaan, worden zowel metingen als berekeningen aan de luchtkwaliteit en aan de emissie van bronnen verricht. In deze paragraaf wordt ingegaan op de toetsing aan de luchtkwaliteitsnormen. De luchtkwaliteit wordt op twee manieren vastgesteld.

Metingen

Luchtkwaliteitsmetingen worden centraal uitgevoerd en gerapporteerd door het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit (LML) dat opgezet is door het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM)). Het RIVM maakt hiervoor gebruik van een aantal meetstations verspreid over Nederland. Afhankelijk van het type meetstation en de locatie worden metingen verricht op regionaal, stedelijk of straatniveau. Het structureel meten en monitoren van de luchtkwaliteit in de steden wordt echter nog beperkt uitgevoerd. Resultaten van de metingen zijn terug te vinden op www.rivm.nl, www.cbs.nl en www.emissieregistratie.nl.

Modelberekeningen

Voor het overgrote deel wordt de luchtkwaliteit bepaald met modellen. Voor de gemeenten wordt het relatief eenvoudige luchtkwaliteitsmodel CAR-II (binnenstedelijke wegen) voorgeschreven. Op nationaal niveau wordt gebruik gemaakt van het TNO-verkeersmodel (buitenstedelijke wegen) en het Nieuwe Nationale Model (stedelijke wegen), zie voor meer informatie over de modellen hoofdstuk 4.

De verantwoordelijkheid voor het beheersen van de luchtkwaliteit ligt zowel bij de landelijke als de regionale overheid. Primair zijn de nationale overheden verantwoordelijk voor uitstoot van verontreinigende stoffen en de daarvan afhankelijke luchtkwaliteit binnen de landsgrenzen. In Nederland richt de nationale overheid zich op het beheersen van de emissie op nationaal niveau en de luchtkwaliteit langs rijkswegen. De verantwoordelijkheid voor de stedelijke luchtkwaliteit is overgedragen aan de gemeenten. De gemeenten herkennen steeds meer de problematiek waardoor meer prioriteit wordt gegeven aan de uitvoering van metingen aan en analyse van de actuele luchtkwaliteit op binnenstedelijke locaties. De gemeenten (gemeenten met meer dan 100.000 inwoners per 2005) en provincies zijn met het Besluit luchtkwaliteit verplicht om te rapporteren over de luchtkwaliteit. In de rapporten wordt de luchtkwaliteit vastgesteld en aangeven of de normen worden overschreden. Op basis daarvan wordt de nationale rapportage luchtkwaliteit vastgesteld die, zoals vastgelegd in de Europese richtlijnen, voorgelegd wordt aan de Europese Raad.

2.1.3 De in Nederland overschreden grenswaarden

Uit Europese rapportages die de metingen en berekeningen uitgevoerd door heel Europa samenvatten, blijkt dat in alle Europese landen (waarvoor metingen en berekeningen uitgevoerd zijn) steden zijn waar de normen voor NO₂ en PM₁₀ worden overschreden (EC, 1997 en EC, 2004). Om inzicht te krijgen in de luchtkwaliteitsknelpunten is bekeken welke grenswaarden momenteel in Nederland worden overschreden. Uit metingen en berekeningen blijkt dat in Nederland de jaargemiddelde grenswaarde voor NO₂ en de daggemiddelde grenswaarde voor PM₁₀ structureel overschreden worden (Schutte-Postma, 2005 en MNP, 2005).

Om een goed beeld te kunnen vormen van de luchtkwaliteitsproblematiek is het van belang waar de grenswaarden overschreden worden. Voor de stoffen NO₂ en PM₁₀ werden in 2004 op meerdere

⁷ In *bijlage 1* wordt een beschrijving gegeven van de inhoud en het tot stand komen van de Europese kader- en dochterrichtlijnen voor de luchtkwaliteit en het daaraan gekoppelde Nederlandse Besluit luchtkwaliteit.

locaties hogere concentraties berekend (voornamelijk) en gemeten dan dat de normen voorschrijven. In Den Haag zijn voor negentien locaties normoverschrijdende concentraties berekend. (Gemeente Den Haag, 2004). Aangezien het om berekeningen gaat is wel sprake van onzekerheid. Metingen worden slechts op een beperkt aantal locaties uitgevoerd (alleen daar waar meetstation van het LML van het RIVM zijn neergezet). Metingen op de Amsterdamse Veerkade en Stille Veerkade in Den Haag, waar een meetstation is gesitueerd, onderschrijven de berekende overschrijding van de normen. Dit zijn de meeste vervuilde (gemeten) straten van Nederland (Milieu Defensie, 2006). Ook bij metingen in andere steden worden overschrijdingen waargenomen. Bij diverse stad- en straatstations worden jaargemiddelde van NO₂ en PM₁₀ en daggemiddelde van PM₁₀ overschreden. Een overzicht van de steden staat in *bijlage 1*.

De grenswaarden die in Nederland op dit moment en naar verwachting in de toekomst worden overschreden staan in *Tabel 2.1* weergegeven.

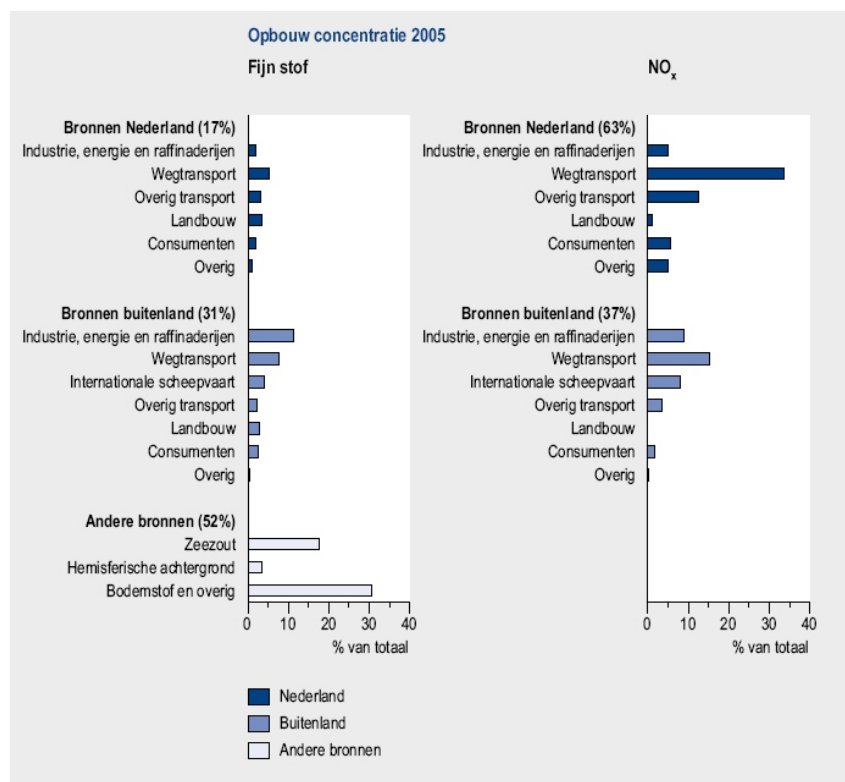
stof	NO ₂ (van kracht per 1 januari 2010)	PM ₁₀ (van kracht per 1 jan 2005)
overschrijding normen op dit moment	jaargemiddelde norm van 40 µg/m ³	daggemiddelde norm maximaal 35 overschrijdingen van 50 µg/m ³ jaargemiddelde norm van 40 µg/m ³
gemeten locaties in 2005 (LML, RIVM)	1 van de 8 stadstation (Rotterdam) 10 van 14 straatstations	3 van de 17 regionale stations 4 van de 8 stadstations 12 van de 15 straatstations 2 van de 15 straatstations (jaargemiddelde)
berekende locaties modellen <i>gemeenten:</i> CAR-II <i>DHV-TNO-RIGO:</i> CAR-II, TNO-verkeersmodel, URBIS, OPS <i>Blom:</i> CAR-II, RIVM-EMPORA	groot aantal steden overschrijdingen berekend met CAR-II (bron gemeentelijke rapportages luchtkwaliteit) op diverse locaties langs de snelwegen (DHV-TNO-RIGO, 2005) Overschrijdingen berekend op diverse locaties langs A1, A2, A4, A8, A9, A10, A12, A15, A16, A20, A27, A50, A73 (AVV, 2004 en Blom, 2003)	groot aantal steden overschrijdingen berekend met CAR-II (bron gemeentelijke rapportages luchtkwaliteit) op diverse locaties langs de snelwegen (DHV-TNO-RIGO, 2005) op groot aantal locaties langs snelwegen in geheel midden en zuid Nederland, met name nabij grote steden meest urgent ivm woningbouw langs langs wegen (MNP, 2006)

stof	NO ₂ (van kracht per 1 januari 2010)	PM ₁₀ (van kracht per 1 jan 2005)
overschrijding normen verwacht in de toekomst	jaargemiddelde norm van 40 µg/m ³ met huidig beleid blijven drukke straten	daggemiddelde norm maximaal 35 overschrijdingen van 50 µg/m ³
berekende locaties modellen <i>gemeenten:</i> CAR-II <i>DHV-TNO-RIGO:</i> CAR-II, TNO-verkeersmodel, URBIS, OPS <i>Blom:</i> CAR-II, RIVM-EMPORA	in de steden knelpunten (MNP, 2006) overschrijdingen in 2015 in gebieden met woningen met name langs snelwegen in de regio Rotterdam, Utrecht en Amsterdam (Blom, 2003 en DHV-TNO-RIGO, 2005) Voornaamste knelpuntlocaties: A10: Amsterdam, A20: Rotterdam, A13: Rotterdam, A16: Rotterdam, A16: Dordrecht, A12: Den Haag / Voorburg A9: Badhoevedorp, A12: Utrecht A2: Waardenburg (AVV, 2004 en Luchtkwaliteitsdossier VROM)	met huidig beleid blijven drukke straten in met name de grote steden in de Randstad en zuidelijk Nederland knelpunten (MNP, 2006) verwachte aanhoudende overschrijdingssituaties langs een aantal snelwegen (rond Utrecht, Amsterdam, Den Bosch, Eindhoven en Rotterdam (volledige Rijnmond) (DHV-TNO-RIGO, 2005 en MNP, 2006)

Tabel 2.1 Overschrijding Europese grenswaarden in Nederland, huidige situatie en toekomst

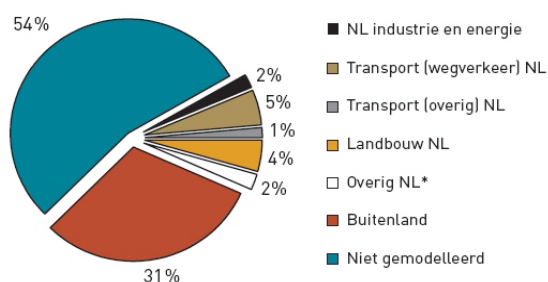
2.2 Bronnen van luchtverontreinigende stoffen

De luchtverontreinigende stoffen kennen verschillende bronnen. In het algemeen worden transport, de industrie, de landbouw, consumenten en natuurlijke bronnen onderscheiden. Verschillende bronnen zijn verantwoordelijk voor de uitstoot van deze schadelijke stoffen. De voornaamste bronnen zijn industrie, transport (waaronder het wegverkeer), consumenten (huishoudens) en natuurlijke bronnen (MNP, 2006). De bijdrage van de verschillende bronnen staat weergegeven in *Figuur 2.1*.

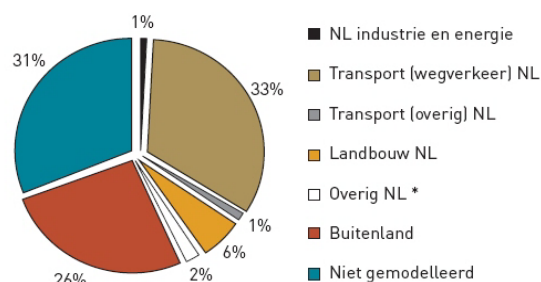


Figuur 2.1 Bijdrage van verschillende bronnen aan de gemiddelde concentraties fijnstof (PM₁₀) en NO_x in Nederland (bron MNP, 2006)

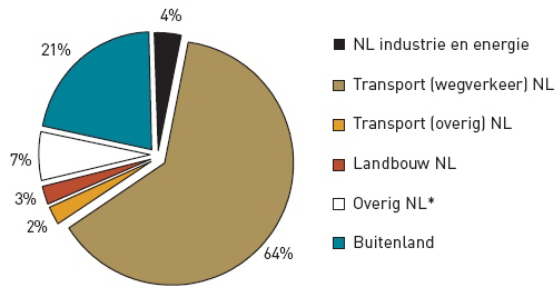
Binnen de antropogene (door de mens veroorzaakte) bronnen in Nederland heeft het wegtransport een belangrijk aandeel. Daarnaast blijkt uit de figuur de belangrijke rol van buitenlandse bronnen (meer dan 30% bijdrage voor zowel PM₁₀ als NO_x) en van natuurlijke bronnen (50% bijdrage aan PM₁₀). De eerste drie bronnen concentreren zich voornamelijk in de buurt van de steden en zorgen daar voor hoge concentraties vervuilende stoffen. Dit effect is voor het verkeer het grootst. Het verkeer dat in sterke mate door de stad wordt aangetrokken en zich verspreid over het stedelijk gebied op knooppunten concentreert, is de bijdrage van het verkeer in de stedelijke gebieden beduidend groter dan de gemiddelde bijdrage in Nederland. Door deze bijdrage aan de luchtvervuiling is het verkeer mede bepalend voor het ontstaan en de aard van de luchtkwaliteitsknelpunten. De figuren 2.2 t/m 2.5 illustreren duidelijk de belangrijke rol van de bijdrage van het verkeer aan de overschrijding van de normen van PM₁₀ en NO₂.



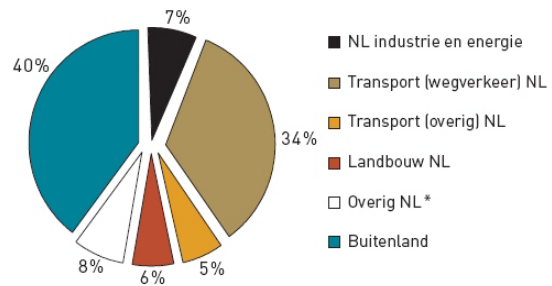
Figuur 2.2 Opbouw jaargemiddelde totale achtergrond concentratie PM₁₀ in 2002 gemiddeld over Nederland (bron VROM, 2004)



Figuur 2.3 Concentratieopbouw PM₁₀ in 2002 voor een drukke straat in Eindhoven (bron VROM, 2004)



Figuur 2.4 Opbouw jaargemiddelde totale achtergrond concentratie NO_2 in 2002 gemiddeld over Nederland (bron VROM, 2004)



Figuur 2.5 Concentratieopbouw NO_2 in 2002 voor een drukke straat in Eindhoven (bron VROM, 2004)

Hoewel de bijdrage van de Nederlandse bronnen, voor zover gemodelleerd, voor de landelijke concentratie PM_{10} niet heel groot is, is het wegverkeer wel de grootste Nederlandse bron. De bijdrage van het verkeer aan de concentratie NO_2 is op landelijk niveau ten opzichte van de andere bronnen aanzienlijk, nagenoeg de helft van de Nederlandse bronbijdragen. Voor beide stoffen geldt dat de bijdrage van het wegverkeer in de stad beduidend hoger is.

2.3 Analyse van de knelpunten

In het ontstaan van de hoge concentratie vervuulende stoffen in de stedelijke omgeving spelen twee factoren een doorslaggevende rol. Ten eerste is de uitstoot van schadelijke stoffen door het verkeer in stedelijke omgevingen groot. Ten tweede is door de veel voorkomende dichte en hoge bebouwing in de stad de invloed van de wind en dus de verspreiding van de stoffen gering. De uitgestoten stoffen blijven in de straten hangen. Hierdoor is juist de bijdrage van het verkeer op deze locatie overheersend. (Het komt overigens ook voor dat door bebouwing langs de weg juist grote windsnelheden ontstaan en vervuulende stoffen snel verspreid worden.) De eerste factor kan gezien worden als de bron van de luchtkwaliteitsproblemen en de tweede factor als versterkend effect. Aangezien verkeersmaatregelen ingrijpen op de eerste factor, het verminderen van uitstoot van het verkeer in stedelijke omgevingen, is het noodzakelijk de oorzaken van de grote verkeersemissie te begrijpen.

2.3.1 Dynamische verkeersafwikkeling

In algemene zin kan de aanzienlijke verkeersemissie in de stedelijke omgevingen worden verklaard doordat in deze omgevingen verreweg de meeste voertuigbewegingen plaatsvinden. De stedelijke omgeving wordt gekenmerkt door een concentratie van economische activiteit en een omvangrijk verkeersnetwerk, bestaande uit zowel het hoofdwegennet als het onderliggende wegennet, dat als gevolg van de attractie van de activiteiten intensief belast wordt. Wanneer echter de processen van luchtvervuiling nauwkeuriger worden bekeken blijkt dat dit niet het enige stedelijke (verkeers)kenmerk is dat de hoge concentraties vervuulende stoffen in de stedelijke omgevingen verklaart. Lokaal georiënteerde studies tonen empirisch (op basis van metingen) aan dat verkeerssituaties waarbij zich veel verkeerskundige conflicten (kruising van rijpatronen) voordoen, situatie waarvan het aantal juist in de stedelijke omgevingen groot is, leiden tot hogere luchtconcentraties vervuulende stoffen (o.a. De Vlieger, 1997, El-Fadel et al., 1999, Ericsson, 2001). De grootste luchtvervuiling wordt gemeten op locaties zoals kruispunten, weefvakken en filelocaties. Deze knelpuntlocaties worden gekenmerkt door verkeerssituaties waarbij zich veel (verkeerskundige) conflicten voordoen en al dan niet worden beheerst met regelinstanties. Door het grote aanbod aan individuele voertuigen en kruisende routes ontstaan veel complexe interacties. De variatie in de beweging van de voertuigen is groot waardoor de bestuurders op elkaar moeten reageren. Met name de frequentie van bewegingen zoals optrekken en afremmen zorgt voor hoge piekbelastingen op specifieke locaties. Daarnaast worden de locaties gekenmerkt door het regelmatig voorkomen van wachtrijen en files. De (al dan niet geregelde) conflicten vertalen zich in wachtrijen en files waarbij veel en intensieve afremmende en optrekkende bewegingen voorkomen. Uit onderzoek is gebleken dat een toename van de variatie in snelheid en de intensiteit van versnellingen gepaard gaat met een toenemende luchtkwaliteitsbelasting (Ericsson, 1999 en Ericsson, 2001). In het algemeen kennen de knelpuntlocaties dus een verkeersafwikkeling met een sterk dynamisch snelheidsverloop (veel optrekkende en afremmende bewegingen) waarbij het brandstofgebruik en de uitstoot van schadelijke stoffen, groot is. Uit onderzoek blijkt dat op

locaties met een dynamische verkeersafwikkeling en sterk oscillerende rijpatronen hogere luchtconcentraties vervuilende stoffen worden waargenomen (o.a. De Vlieger, 1997, Maja et al., 1997, El-Fadel et al., 1999 en Patania et al., 2004).

De bovenstaande analyse wordt onderbouwd door modelstudies waarbij in de emissieberekening aparte emissiewaarden worden opgesteld voor de grillige verkeersafwikkeling op kruisingen. Dergelijke emissiewaarden worden bepaald met behulp van correlaties tussen wegvakspecifieke verkeersafwikkeling en emissie die op basis van een analyse van emissiedata verkregen met 'on-road' emissiemetingen worden vastgesteld. Bijvoorbeeld in Nockel (2005) worden op een dergelijke wijze op kruisingen hogere concentraties luchtverontreinigende stoffen gevonden dan op de tussenliggende wegvakken. In Tabel 2.2 zijn de kenmerken van de luchtkwaliteitsknelpunten samengevat.

locatiekenmerken	verkeersafwikkelings-kenmerken	achterliggend proces van verplaatsen en verkeersafwikkeling
stedelijk gebied	relatief veel voertuigbewegingen	naar en tussen stedelijke attractieve gebieden verplaatsen zich de meeste mensen, hierdoor is het verkeersaanbod groot en worden de knelpunten gekenmerkt door veel voertuigbewegingen
knooppunten en kruisingen	relatief veel conflicten en variatie in snelheid	waar wegen bij elkaar komen verandert de verkeerssituatie en ontstaan conflicten, (gedwongen) verandering in het rijgedrag zijn het gevolg, het dynamische verkeerskarakter wordt versterkt en het aantal optrekkende en afremmende bewegingen vermeerderd, dit effect is sterker wanneer het verkeersaanbod toeneemt, zeker wanneer dit leidt tot het ontstaan van wachtrijen en files
	wachtrijen en files en variatie in snelheid	door het bij elkaar komen van verkeersstromen kennen de knelpunten een groot verkeersaanbod waarbij extra ruimte en tijd nodig is voor het kruisen of samenvoegen van de verkeersstromen, wanneer de capaciteit van het netwerk het verkeersaanbod niet kan opvangen ontstaan wachtrijen en files waarbij veel optrekkende en afremmende bewegingen voorkomen

Tabel 2.2 Kenmerken van de verkeersknelpunten voor de luchtkwaliteit

2.3.2 Dynamische knelpunten

Naast de hierboven aangegeven kenmerken van de processen achter het ontstaan van de knelpunten op het gebied van de luchtkwaliteit, kennen de knelpunten zelf ook een sterk dynamisch karakter. Hier wordt mee bedoeld dat de knelpunten variëren over tijd en plaats. De bijdrage van de verschillende vervuilende bronnen verschilt over de tijd en per locatie. Het aandeel vervuilende stoffen afkomstig van industrie, huishoudens en natuurlijke bronnen in de lokale achtergrondconcentraties, is afhankelijk van de variatie in emissie en weersomstandigheden. Het weer beïnvloedt sterk de verspreiding van de emissie en dus de uiteindelijke concentratie luchtverontreinigende stoffen op de locaties. Bovendien is, als gevolg van de sterke veranderingen in het verkeersaanbod, de lokale bijdrage van het verkeer variabel. Hierbij kunnen files, en daarmee de knelpunten, zich ook over het netwerk verplaatsen. Dit is zeker het geval wanneer verkeersmaatregelen worden toegepast of wegwerkzaamheden worden uitgevoerd. Het variabele karakter in het zich voordoen van de knelpunten vereist extra maatwerk bij het aanpakken van de knelpunten.

2.4 Samenvatting

De luchtkwaliteit neemt af door de toenemende concentraties van vervuilende stoffen in de lucht. De luchtvervuiling begint bij de bron. Verkeer, industrieën, landbouwactiviteiten en huishoudens zorgen voor de uitstoot van schadelijke stoffen. De Europese Commissie heeft verschillende normen opgesteld om de luchtvervuiling terug te dringen en de gezondheid van de mens te beschermen. De Europese luchtkwaliteitsnormen worden echter door heel Europa overschreden. In Nederland zorgen de stoffen stikstofdioxide (NO₂) en fijnstof (PM₁₀) voor de grootste problemen.

Op de locaties waar de normen het meest worden overschreden, de luchtkwaliteitsknelpunten, is de lokale bijdrage van het verkeer aan de concentratie vervuilende stoffen vaak groot. De optelling van lokale emissie en de achtergrondconcentraties zorgt voor de overschrijding van de normen. De knelpunten komen met name voor in de stedelijke omgeving en bij knooppunten en kruisingen. Op deze locaties kent de verkeersafwikkeling een grote dynamiek als gevolg van kruisende verkeersstromen en het voorkomen van wachtrijen en files.

3 MAATREGELEN VOOR DE LUCHTKWALITEIT

De nationale en regionale overheden zoeken naar maatregelen die een oplossing bieden voor de heersende luchtkwaliteitsproblematiek. Aangezien dit onderzoek er op gericht is inzichtelijk te maken wat ITS-maatregelen op dit gebied kunnen betekenen, wordt in dit hoofdstuk na een algemeen overzicht van de luchtkwaliteitsmaatregelen ingezoomd op de ITS-maatregelen waarmee de luchtverontreiniging veroorzaakt door het verkeer aangepakt kan worden. Daarbij wordt tevens aandacht besteed aan de rol van ITS-maatregelen in de huidige en toekomstige verkeers- en milieubeleid. Uiteindelijk leidt de analyse van de maatregelen voor de luchtkwaliteit tot een selectie van een aantal (naar verwachting) 'kansrijke' ITS-maatregelen. Eén van de maatregelen met een potentieel groot (ten opzichte van alternatieve maatregelen) effect op de luchtkwaliteit staat centraal in de binnen het onderzoek uitgevoerde case studie.

3.1 Overzicht van maatregelen voor de luchtkwaliteit

Zoals aangegeven in het vorige hoofdstuk zijn de verschillende overheden in Nederland verplicht te rapporteren over de luchtkwaliteit. De daaraan voorafgaande studies hebben al in diverse gemeenten geleid tot een serieuze analyse van de problemen en (in mindere mate) daarvoor noodzakelijke maatregelen. Dit blijkt uit de beleidsplannen voor de aanpak van de luchtkwaliteit die door meerdere gemeenten worden uitgegeven (onder anderen de gemeenten Breda, Den Haag, Nijmegen en Tilburg hebben uitgebreide rapportage opgemaakt). Ook op nationaal niveau wordt gezocht naar oplossingen voor de luchtkwaliteitsproblematiek (o.a. VROM, 2005 en diverse rapportages van het RIVM en het MNP). Hierbij zijn ook verschillende wetenschappelijke organisatie en specialistische adviesbureaus ingeschakeld.

Uit de verschillende rapportages blijkt dat het aantal maatregelen dat ingezet kan worden om de luchtvervuiling als gevolg van de uitstoot van schadelijke stoffen te reduceren, omvangrijk is. De maatregelen die ingezet kunnen worden voor het bevorderen van de luchtkwaliteit zijn zeer divers. Zowel bronmaatregelen (zoals snelheidsbeperkende en harmoniserende maatregelen en het roetfilter) als volumemaatregelen (zoals toegangsbeperkingen en routing) als overdrachts- en ontvangstmaatregelen (zoals afschermen) worden beschreven. *Tabel 3.1* geeft een algemeen overzicht van strategieën en bijbehorende oplossingsrichtingen voor het verbeteren van de luchtkwaliteit.

Maatregelstrategie	Oplossingsrichting	Maatregeltype ⁸
Reduceren van verkeersemisatie	▪ hoeveelheid (vervuilend) verkeer verminderen ▪ verkeersafwikkeling verbeteren ▪ milieuvriendelijk rijgedrag bevorderen ▪ schone voertuigtechniek bevorderen	bron en volume
Reduceren van emissie door industrie-, energie- transport, en consumenten	▪ emissiegrenzen opleggen ▪ schone technieken bevorderen	bron en volume
Bevorderen verspreiding	▪ afstand tussen bron en blootgestelde personen vergroten, aanleg groenstroken ▪ vermenging met schonere lucht bevorderen	overdracht / ontvangst
Voorkomen van blootstelling	▪ aantal blootgestelde personen door afschermen, isolatie of verwijderen van woningen of kantoren verminderen	overdracht / ontvangst

Tabel 3.1 Indeling maatregelen voor de luchtkwaliteit

⁸ De hier gebruikte indeling is opgezet vanuit een verkeerskundige invalshoek en is één van de vele mogelijke indelingen naar maatregeltype. Vanuit andere invalshoeken zal een andere indeling van bron, volume en overdrachts- en ontvangstmaatregelen tot stand komen.

3.2 Verkeersmaatregelen voor de luchtkwaliteit

Aangezien het verkeer de vervuilende stoffen direct in de open lucht uitstoot, ligt de meeste adequate aanpak van de problematiek bij de maatregelen die de bron, het verkeer, aanpakken (in *Tabel 3.1* de bovenste rij). Dit zijn de bron- en volumemaatregelen die uit een aantal typische milieumaatregelen die het voertuig zelf aanpassen (zoals het roetfilter) en een groot aantal verkeersmanagementmaatregelen die het gebruik van het voertuig beïnvloeden. Veel van de als laatste genoemde maatregelen worden al vanuit verkeersmanagementoverwegingen (bijvoorbeeld voor het bevorderen van de doorstroming of de benutting van het netwerk) toegepast. Ze leveren, zoals al eerder opgemerkt, een belangrijke bijdrage aan de uitvoering van het huidige verkeersbeleid. In overheidsplannen en wetenschappelijke literatuur wordt veel aandacht besteed aan de maatregelen die ingezet kunnen worden om de uitstoot van het verkeer aan te pakken. De beschikbare (en deels nog (verder) te ontwikkelen) maatregelen van dit type zijn in *Tabel 3.2* weergegeven.

volumemaatregelen	bronmaatregelen
beperkte toegang steden	doorstromingsmaatregelen
gedeeld autogebruik	roetfilter (en andere nabehandeling)
routing (van specifieke voertuigtypen)	schone voertuigtechnieken (motorisch)
snelheidsbeperkingen	snelheidsbeperkingen
toegangsbeperkingen	milieuvriendelijk afstellen VRI
stimuleren alternatieve vervoerswijzen	voertuig volg systeem
toeritdosering	rijbaan volg systeem
blokkijden	intelligent snelheidsaanpassing
tolheffing	applicatie voor efficiënt brandstofverbruik
verkeersinformatie	
wisselstroken	

Tabel 3.2 Milieuvriendelijke verkeersmaatregelen

Voor een aantal van de maatregelen zijn al effecten bekend. Hieronder wordt een overzicht gegeven van de maatregelen die (naar verwachting) de grootste effecten uitoefenen op de verkeersemisatie. Voor zover bekend zijn de effecten in procenten aangegeven.

- Maatregelen die het autogebruik terugdringen, in het geheel of op bepaalde locatie
 - De maatregel toeritdosering blijkt effectief op de Catherijnesingel in Utrecht (CROW, 2005). Betere luchtkwaliteit op de singel door een reductie van 20% in het verkeersvolume. De voertuigen staan nu op een gunstiger locatie te wachten. Op die locatie kunnen de stoffen zich beter verspreiden zodat daar de luchtkwaliteit niet heel veel slechter is geworden.
 - Door het invoeren van de Congestion Charge London is de luchtkwaliteit in de stad verbeterd. De verbetering van de luchtkwaliteit wordt verklaard door een afname van de hoeveelheid verkeer in het centrum van Londen.
- Maatregelen die het rijgedrag aanpassen en uitgaan van huidige (groei in) verkeersvolume
 - 80-kilometermaatregel Overschie heeft de luchtkwaliteit verbeterd (Wesseling, 2003). Van vergelijkbare maatregelen op andere locatie zijn de effecten nog wisselvallig.
 - Doorstromingsmaatregelen op het hoofdwegennet kunnen leiden tot een emissiereductie van 2,3 % (Metz, 2000)
 - Maatregel LARGAS (Langzaam Rijden Gaat Sneller) op Diependaalselaan in Hilversum (website www.sinternovem.nl). Op traject van geen effect tot 9% reductie van NO_x concentratie.
- Maatregelen die auto's schoner maken en uitgaan van huidige (groei in) verkeersvolume
 - Invoering van brandstofaccijns of biobrandstof.
 - Verbeteren van voertuigtechnieken en invoeren van roetfilter en nieuwe type katalysator.
 - Ontwikkeling van voertuigen op alternatieve brandstoffen (hybride en waterstofvoertuigen)

De inzet van verkeersmanagementmaatregelen zal doordat naast de directe verkeerskundige effecten ook de luchtkwaliteitsbelasting wordt beïnvloed, worden uitgebreid en veranderen. Dit betekent dat enerzijds de maatregelen voor de luchtkwaliteit niet op zichzelf staan maar moeten worden beschouwd als onderdeel van het totale verkeersbeleid en anderzijds de luchtkwaliteitsproblematiek beleidsmakers dwingt om bij het afwegen van verkeers(management)maatregelen de milieueffecten

mee te nemen. In de volgende paragraaf zal ingegaan worden op de wijze waarop ITS-maatregelen bijdragen aan het vinden van juiste balans tussen verkeer en luchtkwaliteit.

3.3 ITS-maatregelen voor de luchtkwaliteit

Alvorens een overzicht wordt gegeven van de verschillende ITS-maatregelen die ingezet zouden kunnen worden voor het verbeteren van de luchtkwaliteit wordt ingegaan op de recente ontwikkelingen in het verkeersbeleid en de rol die ITS daarbij spelen.

3.3.1 Verkeersbeleid en luchtkwaliteit

Het huidige verkeersbeleid is door de actuele luchtkwaliteitsproblematiek aan het veranderen. De problemen met de luchtkwaliteit vragen om verkeersbeleid dat actief rekening houdt met de milieubelasting van het verkeer. Bij het vormgeven van het verkeersbeleid moet altijd een balans worden gezocht tussen de verschillende aspecten van het verkeer, zoals verkeersefficiëntie (wat betreft toegankelijkheid, doorstroming, reistijden) verkeersveiligheid en milieueffecten (Wilmink et al., 2005). Met het aanscherpen van de regelgeving op het gebied van de luchtkwaliteit blijkt de verkeersefficiëntie niet in evenwicht te zijn met de belasting van het milieu. Door doelgericht luchtkwaliteitsmaatregelen in het verkeersbeleid op te nemen moet de balans teruggevonden worden. (Slim) verkeersmanagement is nodig om zowel de bereikbaarheid als de luchtkwaliteit te kunnen verbeteren (www.integaire.org, 2005). De mogelijkheden voor het (dynamisch) beheersen van verkeersstromen nemen door de ontwikkeling van de Informatie- en Communicatietechnologie (ICT) en de toepassing daarvan op Intelligente Transport Systemen en services (ITS) toe. Bij de uitvoering van verkeersbeleid wordt in toenemende mate gebruik gemaakt van ITS en Dynamisch Verkeersmanagement (DVM). In het vervolg van dit hoofdstuk zal blijken dat ITS en in het bijzonder DVM goed kunnen helpen bij het controleren van de balans tussen verkeer en luchtkwaliteit.

3.3.2 ITS gedefinieerd

Dat de ICT een belangrijke plek heeft ingenomen in de maatschappij wordt weerspiegeld door het sterk toegenomen gebruik van ICT binnen de verkeer- en transportsector. ICT speelt een belangrijke rol bij de ontwikkeling van de huidige transportsystemen en -services. Het resultaat van deze toepassing van ICT zijn ITS. ITS omvatten de systemen en services die gebruikmakend van ICT ten diensten staan van het transport van mensen en/of goederen.

Eén van de meest prominente vormen van ITS is de dynamische verkeersmanagement (DVM). Verkeersmanagement is met de opkomst van de moderne ICT meer en meer intelligent en dynamisch geworden. De ontwikkeling van DVM is met de opkomst van de moderne ICT in een stroomversnelling gekomen. Met de sterke groei van de mogelijkheden voor het monitoren, voorspellen en beheersen van verkeersstromen, heeft DVM wereldwijd haar intrede gedaan. De verkeersbeheersende kracht van verkeersmaatregelen is aanzienlijk toegenomen. Wanneer bij de verkeersbeheersing gebruik gemaakt wordt van verkeersmaatregelen die tijdsafhankelijke ingezet worden, is sprake van DVM. De definities van ITS en DVM worden in *Tabel 3.3* geïllustreerd. Voorbeelden van verkeersmaatregelen worden tussen haakjes gegeven.

Verkeersbeheersing	tijdsafhankelijk	tijdsonafhankelijk
met toepassing ICT (vb maatregel)	DVM als ITS (DRIP's)	ITS (ISA)
zonder toepassing ICT (vb maatregel)	DVM (wisselstrook zonder ICT)	conventionele aanpak (verkeersborden)

Tabel 3.3 Onderscheid tussen ITS, DVM en conventionele verkeersmaatregelen

Uit *Tabel 3.3* blijkt dat DVM niet per definitie onder ITS hoeft te vallen. Vormen van DVM die niet onder ITS vallen zijn bijvoorbeeld verkeersborden waarvan de informatie in bijzondere situaties handmatig wordt aangepast en wisselstroken of kruisingen waarop de rijrichting door het plaatsen van fysieke elementen wordt geregeld. Echter deze vormen komen steeds minder vaak voor. DVM wordt dan ook (tegenwoordig) internationaal beschouwd als een onderdeel van ITS.

3.3.3 ITS-maatregelen

ITS-maatregelen (maatregelen waarbij gebruik wordt gemaakt van ITS) worden binnen het verkeersbeleid voor vele doeleinden (bereikbaarheid, doorstroming, voorspellingen en veiligheid) ingezet. Daarbij wordt van verschillende systemen (VRI's, wegportalen, detectoren en centrale verkeerssimulatie en –monitoringssystemen) (veelal gecombineerd) gebruik gemaakt.

De ITS-maatregelen vallen op basis van hun toepassing onder te verdelen in vier hoofdgroepen. De beoogde effecten van de maatregelen worden bereikt door het beïnvloeden (veelal beperken) van de snelheid, het geven van verkeersinformatie, het verlenen van bestuurdersondersteuning of het uitvoeren van verkeersmanagement (ERTICO – ITS Europe & Navigation Technologies, 2002). Voor een uitgebreid overzicht en toelichting op deze indeling wordt verwezen naar de *bijlage 3*.

Op basis van de functionaliteiten van de maatregelen is een selectie gemaakt van de ITS-maatregelen die ingezet kunnen worden voor het verminderen van de uitstoot van luchtverontreinigende stoffen door het verkeer. Hierbij is gebruik gemaakt van de 'European ITS Framework Architecture' dat ontwikkeld is binnen het Europese KAREN project. Hierbij worden de verschillende vormen van ITS ingedeeld met behulp van acht 'Functional Areas' (KAREN – ITS Framework Architecture, 2000). De 'Functional Areas' bevatten functionaliteiten waarvan de doelen en activiteiten aan elkaar gerelateerd zijn. De namen van 'Functional Areas' beschrijven het verantwoordelijkheidsgebied waarin de functionaliteiten voorzien. Een overzicht van de 'Functional Areas' die onderscheiden worden, staan weergegeven in *bijlage 3*.

De 'Functional Areas' die van belang worden geacht voor de toepassing van ITS voor het beheersen van de luchtkwaliteit zijn in *Tabel 3.4* uitgewerkt (de oorspronkelijke nummering van de 'Functional Areas' is aangehouden). Aan wordt gegeven welke maatregelen per 'Functional Area' ingezet kunnen worden om de luchtkwaliteitsbelasting van het verkeer te beïnvloeden.

Maatregelstrategie	Functional Area	ITS-Maatregel
Verkeersmanagement (inclusief snelheidsbeperkende maatregelen)	1 Voorzieningen voor elektronisch betalen	▪ beprijzen van autogebruik (tol- of kilometerheffing)
	3 Verkeersmanagement	▪ routing van (specifieke) voertuigen (bijvoorbeeld vervuilende vrachtauto's) ▪ capaciteit infrastructuur (voor specifieke voertuigen) beperken of beschikbaar stellen, intelligente wisselstroken ▪ weren van (specifieke) voertuigen (bijvoorbeeld vervuilende vrachtauto's) in een bepaald gebied ▪ doseren van de toestroom van voertuigen bij de toerit, afrit, stadsrand of corridor ▪ homogeniseren van verkeersstromen ▪ snelheid reducerende of verhogende maatregelen ▪ prioritering van specifieke voertuigen (openbaar vervoer of hulpdiensten)
	4 Management van openbaar vervoer	▪ (dynamische) prioriteit verlenen aan het openbaar vervoer ▪ inzet van (vervuilende) voertuigen beperken ▪ routing van voertuigen
Bestuurders-ondersteuning	8 Management van vrachtvervoer en vrachtvoertuigen	▪ inzet van (vervuilende) vrachtvoertuigen beperken ▪ weren van vrachtvoertuigen in bepaalde gebieden ▪ routing van vrachtvoertuigen
	5 Voorzien in 'Advanced Driver Assistance Systems' (ADAS)	▪ invoeren van voertuig volg systeem ▪ invoeren van rijbaan volg systeem ▪ invoeren van intelligent snelheidsaanpassing ▪ invoeren van applicatie voor efficiënt brandstofverbruik
Verkeersinformatie	6 Voorzien in reisondersteuning voor reizigers	▪ informatie leveren over de status en belasting van het verkeersnetwerk (status van weg, verkeerssituatie, weersomstandigheden, omgevingsinformatie) ▪ route advies (zoals parkeerroutes of alternatieve routes bij stremmingen) verzorgen ▪ informatie leveren over omleidingen (bijvoorbeeld als gevolg van ongevallen of slechte luchtkwaliteit)

Tabel 3.4 Overzicht van ITS-maatregelen per KAREN Functional Area

3.3.4 De toepassing van ITS voor de luchtkwaliteit

Als gevolg van de luchtkwaliteitsproblematiek moeten het verkeers- en milieubeleid op elkaar afgestemd worden. Gezocht wordt naar een juiste balans tussen verkeer en milieu. ITS-maatregelen kunnen daaraan bijdragen. In de afgelopen jaren is een breed scala aan ITS ontwikkeld dat voor veel verschillende doeleinden wordt ingezet. ITS kunnen ingezet worden voor het verbeteren van de doorstroming van het verkeer en het veiliger maken van het verkeer, maar ook voor het verminderen van de verkeersemisatie. Zo kunnen bijvoorbeeld de maatregelen snelheidsverlaging, homogeniseren van verkeersstromen en het weren van verkeersdeelnemers uitgevoerd worden door via in-car systemen (zoals een applicatie voor intelligente snelheidsaanpassing (ISA)) wegportalen (zoals Dynamische Route Informatie Panelen (DRIP's)) de bestuurder elektronisch te informeren over de te volgen snelheid of route. De milieuvriendelijke rij-assistent en de DRIP's kunnen de bestuurder helpen een zo milieuvriendelijk mogelijke rit uit te voeren door op de snelweg versnellingen en vertragingen te beperken, in de stad de zoektocht naar een parkeerplaats te vergemakkelijken of het rijgedrag zelf milieuvriendelijker te maken. De resultaten van onderzoek van Rijkswaterstaat die uitwijzen dat met een verlaging van de maximumsnelheid met 20 km/h een maximale reductie van 5% voor NO₂ en 1,0 % voor PM₁₀ in de totale lokale luchtconcentratie kan worden verkregen, zijn veelbelovend (Olde Kalter et al., 2005). Hoewel bij de ontwikkeling van ITS-maatregelen vooralsnog hoofdzakelijk verkeerskundige argumenten centraal stonden, spelen op dit moment juist ook de mogelijkheden voor het beheersen van de luchtkwaliteitsbelasting van het verkeer een belangrijke rol. Het is echter niet zo dat een verbeterde doorstroming altijd gepaard gaat met een vermindering van de luchtkwaliteitsbelasting. Afhankelijk van de locatie kan het effect positief of negatief uitpakken (Olde-Kalter et al., 2005). Bovendien blijkt onder anderen uit de recent uitgevoerde 80-kilometermaatregelen op de Nederlandse autosnelwegen dat ook het effect op de doorstroming per locatie sterk kan verschillen. Hoewel de effecten nog niet officieel bekend zijn, neemt op een aantal locaties (Den Haag en Utrecht) de lengte van de files toe (Versteegt & Wilmink, 2006). De verwachting is dat er zowel locaties zullen zijn waar de maatregel een positief effect als locaties waar de maatregel een negatief effect op de luchtkwaliteit uitoefent.

3.4 Selectie van 'kansrijke' ITS-maatregelen

Zoals beschreven in *paragraaf 3.2* kunnen, vanuit de functionele toepassing, grote verschillen bestaan tussen de ITS-maatregelen. Dit betekent dat de ITS-maatregelen op verschillende wijze het reis- en rijgedrag van personen beïnvloeden. Daarmee zal ook de invloed op de luchtkwaliteitsbelasting van het verkeer per ITS-maatregel verschillen. Om de luchtkwaliteitsknelpunten adequaat aan te pakken is het van belang te richten op de maatregelen waarvan de eigenschappen aansluiten op de kenmerken van de knelpunten. Bovendien zullen de toetsing van de VERSNEL-rekenmethode en de resultaten van de case studie van meer betekenis wanneer duidelijke effecten kunnen worden verkregen. Dit heeft geleid tot een selectie van 'kansrijke' ITS-maatregelen (*Tabel 3.5*). 'Kansrijk' houdt in dat de maatregel naar verwachting een relatief grote (in vergelijking met alternatieve maatregelen) invloed uitoefent op de luchtkwaliteitsbelasting van het verkeer. Voor het selecteren van deze maatregelen is een aantal criteria opgesteld (*zie bijlage 4*).

KAREN Functional Area	ITS- Maatregel	Relatie locatie- en verkeersafwikkelings- kenmerken luchtkwaliteitsknelpunten
Voorzieningen voor elektronisch betalen	▪ beprijzen van autogebruik (tol- of kilometerheffing)	minder voertuigbewegingen in stedelijk gebied met veel knelpunten
Verkeersmanagement	▪ routing van (specifieke) voertuigen ▪ weren van (specifieke) voertuigen in een bepaald gebied ▪ doseren van de toestroom van voertuigen op toe- of afritten, kruisingen, wegvakken ▪ verlagen (of verhogen) van de maximumsnelheid of adviessnelheid ▪ VRI's milieuvriendelijk afstellen (o.a. groene golf)	minder voertuigbewegingen op kruisingen en knooppunten minder voertuigbewegingen in stedelijk gebied met veel knelpunten minder voertuigbewegingen, conflicten en variatie in snelheid op knooppunten minder conflicten in files en variatie in snelheid op knelpunten minder wachtrijen en variatie in snelheid op kruispunten
Management van openbaar vervoer	▪ inzet van vervuilende voertuigen beperken ▪ routing van voertuigen ▪ VRI's voor OV milieuvriendelijk afstellen	verminderen van het aantal voertuigbewegingen van vervuilend verkeer minder voertuigbewegingen op kruisingen en knooppunten minder wachtrijen en variatie in snelheid op kruispunten
Management van vrachtovervoer en vrachtovertuigen	▪ inzet van (vervuilende) vrachtovertuigen beperken ▪ weren van vrachtovertuigen in bepaalde gebieden ▪ routing van vrachtovertuigen ▪ VRI's voor vrachtoverkeer milieuvriendelijk afstellen	verminderen van het aantal voertuigbewegingen van vervuilend verkeer minder voertuigbewegingen in stedelijk gebied met veel knelpunten minder voertuigbewegingen op kruisingen en knooppunten minder wachtrijen en variatie in snelheid op kruispunten
Voorzien in 'Advanced Driver Assistance Systems' (ADAS)	▪ invoeren van intelligent snelheidsaanpassing ▪ invoeren van applicatie voor efficiënt brandstofverbruik	minder conflicten en variatie in snelheid op knelpunten minder variatie in snelheid op knelpunten
Voorzien in reisondersteuning voor reizigers	▪ informatie over omleningen (bijvoorbeeld als gevolg van ongevallen of slechte luchtkwaliteit)	minder voertuigbewegingen op kruisingen en knooppunten

Tabel 3.5 Overzicht van 'kansrijke' ITS-maatregelen

Dit onderzoek richt zich specifiek op die maatregelen die kansrijk worden geacht om via de beïnvloeding van het rijgedrag de luchtkwaliteitsbelasting van het verkeer te verminderen. De maatregelen die invloed uitoefenen op het rijgedrag staan weergegeven in *Tabel 3.6*.

KAREN Functional Area	ITS- Maatregel	Relatie locatie- en verkeersafwikkelingskenmerken luchtkwaliteitsknelpunten
Verkeersmanagement	▪ doseren van de toestroom van voertuigen op toe- of afritten, kruisingen, wegvakken ▪ verlagen (of verhogen) van de maximumsnelheid of adviessnelheid ▪ VRI's milieuvriendelijk afstellen (o.a. groene golf)	minder voertuigbewegingen, conflicten en variatie in snelheid op knooppunten minder conflicten in files en variatie in snelheid op knelpunten minder wachtrijen en variatie in snelheid op kruispunten
Management van openbaar vervoer	▪ VRI's voor OV milieuvriendelijk afstellen	minder wachtrijen en variatie in snelheid op kruispunten
Management van vrachtovervoer en vrachtovertuigen	▪ VRI's voor vrachtoverkeer milieuvriendelijk afstellen	minder wachtrijen en variatie in snelheid op kruispunten
Voorzien in 'Advanced Driver Assistance Systems' (ADAS)	▪ invoeren van intelligent snelheidsaanpassing ▪ invoeren van applicatie voor efficiënt brandstofverbruik	minder conflicten en variatie in snelheid op knelpunten minder variatie in snelheid op knelpunten

Tabel 3.6 Overzicht van 'kansrijke' ITS-maatregelen door beïnvloeding van het rijgedrag

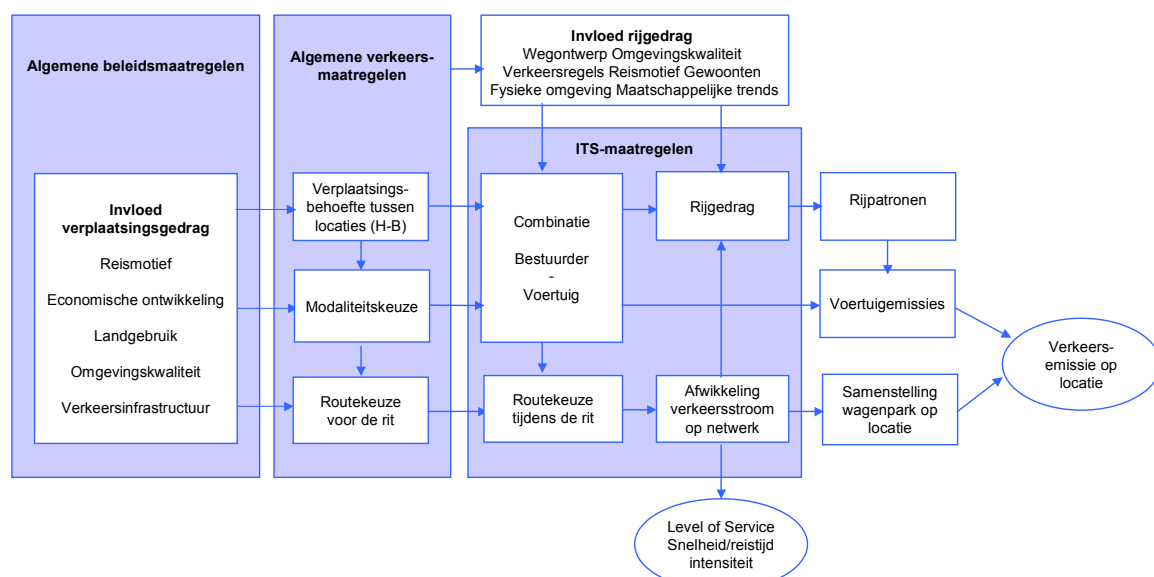
Maatregelen die de vraag en het aanbod van het verkeer beïnvloeden worden niet onderzocht. Dit zijn vaak maatregelen die – als het gaat om het verminderen van de milieubelasting – het reizen met de auto minder aantrekkelijk maken en het reizen met het alternatieve vervoerswijzen stimuleren. Voorbeelden van maatregelen die buiten de modelstudie vallen zijn kilometerheffing, routing en reisinformatie.

3.5 Werking van ITS-maatregelen voor de luchtkwaliteit

De verwachting dat ITS een waardevolle rol kunnen spelen bij het verminderen van de luchtkwaliteitsbelasting door het verkeer komt voort uit de aard van de luchtkwaliteitsknelpunten en de wijze waarop met ITS daarop ingespeeld kan worden. De aard van de knelpunten is beschreven in hoofdstuk 2. De knelpunten op het gebied van de luchtkwaliteit hebben een sterk variabel karakter doordat de concentratie op locatie door variatie in emissie van de bronnen en variatie in de weersomstandigheden. Spit en Rooijmans (2005) concluderen dat het daardoor zinvol is de luchtkwaliteitsproblemen aan te pakken met dynamische verkeersmaatregelen die maatwerk leveren op specifieke tijden en plaatsen. Zoals aangegeven kunnen juist ITS-maatregelen dynamisch ingezet worden.

Daarnaast is geconstateerd dat ook het variabele karakter van het verkeer binnen de perioden van groot verkeersaanbod kenmerkend is voor de knelpunten. De locaties waarop hoofdzakelijk knelpunten voorkomen zijn kruispunten, weefvakken en filelocaties. Deze knelpuntlocaties worden gekenmerkt door een verkeersafwikkeling waarbij veel en intensieve afremmende en optrekkende bewegingen voorkomen. Uit onderzoek blijkt dat op deze locaties met veel dynamiek in de verkeersafwikkeling en de rijpatronen, hogere luchtconcentraties vervuilende stoffen worden waargenomen (o.a. De Vlieger, 1997, Maja et al., 1997, El-Fadel et al., 1999, Patania et al., 2004, en Nockel, 2005). Daarnaast blijkt uit empirische studies dat de verkeersafwikkeling en rijpatronen (of rijgedrag) een significante invloed uitoefenen op de voertuigemissie en plaatselijke luchtkwaliteit (o.a. Ericsson, 1999, Ericsson, 2001, Gense, 2000 en Rakha et al., 2001). Met ITS-maatregelen kan, doordat deze geavanceerde maatregelen gericht zijn op het verbeteren van de doorstroming en aangrijpen op het individuele rijgedrag, de verkeersemmissie aangepakt worden.

Figuur 3.1 geeft aan op welke wijze het verkeer door de uitstoot van luchtverontreinigende stoffen de luchtkwaliteit beïnvloedt en waar en op welke wijze ITS-maatregelen op dit proces ingrijpen.



Figuur 3.1 Factoren die van invloed zijn op de verkeersemmissie

Figuur 3.1 toont de beïnvloeding van de prestaties van het verkeerssysteem door verkeersmaatregelen. Onderscheid wordt gemaakt tussen de netwerkprestaties en milieuprestaties van het verkeerssysteem. Deze staan weergegeven in ronde tekstvakken. Het verkeerssysteem bestaat uit verschillende elementen die gezamenlijk de uiteindelijke wijze van verplaatsen van personen en de prestaties van het verkeerssysteem bepalen. De te onderscheiden elementen zijn de zich (potentieel) verplaatsende personen, de beschikbare modaliteiten en de beschikbare infrastructuur. Bij elk van deze onderdelen moet door de personen (die eenmaal de keuze hebben gemaakt om zich te gaan verplaatsen) keuze gemaakt worden over de wijze waarop zij zich verplaatsen. De keuzes zijn afhankelijk van een aantal factoren die op korte termijn constant zijn. Deze factoren staan weergegeven in de twee grote blokken aan de buitenkant van de figuur en worden meer door, in tijd en ruimte en wat betreft beleidsterrein, algemeen beleid beïnvloed.

De pijlen in *Figuur 3.1* geven alleen de primaire relaties tussen de stappen in het (keuze) gedrag van de verplaatsende personen weer. Hierbij zijn de lijnen van terugkoppeling achterwege gelaten. Voorbeelden hiervan zijn dat de verplaatsingsbehoefte tussen verschillende herkomsten en bestemmingen (in de figuur H-B) en de modaliteitskeuze afhankelijk zijn van het afwikkelingsniveau en het afwikkelingsniveau van (de wisselwerking tussen) het rijgedrag (van de verschillende bestuurders op het netwerk). De centrale positie van de ITS-maatregelen geeft aan dat deze voor een belangrijk deel bijdragen aan het realiseren van het verkeersbeleid. Daarbij moet wel rekening gehouden worden met de andere typen maatregelen en factoren die het rij- en verplaatsingsgedrag beïnvloeden.

3.6 Schaalniveau van het maatreegeffect

De effecten van ITS-maatregelen op de verkeersafwikkeling en de luchtkwaliteit manifesteren zich op verschillend ruimtelijk schaalniveau. Dit niveauverschil is bepalend voor de wijze waarop (met de inzet van welk type modellen) het effect het beste bepaald kan worden. Het schaalniveau waarop het effect van een maatregel optreedt, is niet alleen afhankelijk van het type maatregel maar ook van de wijze waarop de maatregel wordt uitgevoerd. Zo zal het schaalniveau waarop een maatregel met een lokaal karakter effect heeft, toe kunnen nemen wanneer de maatregel op grote schaal (bijvoorbeeld in strengen aangestuurde VRI's of een serie TDI's) wordt toegepast. Oftewel grijpt de maatregel lokaal, op één punt, of over een groter ruimtelijk gebied in op de verkeersafwikkeling. In algemene zin kan bijvoorbeeld gesteld worden dat een serie DRIP's toegepast op de snelweg met name op grote schaal en een VRI op een kruispunt juist voornamelijk op kleine schaal invloed uitoefent op het verkeer. Echter als lokaal de doorstroming wordt verbeterd kan dit ook heel goed de doorstroming elders in het netwerk beïnvloeden. Hierdoor kunnen op andere locatie knelpunten verdwijnen maar ook ontstaan. Zo worden bij een Toerit Doseer Installatie (TDI), die typisch lokaal ingrijpt op de verkeersafwikkeling, juist ook effecten op grote schaal verkregen.

Zelfde effecten zijn waar te nemen bij maatregelen die een macroscopisch karakter hebben. In het voorbeeld van de DRIP's toegepast op de snelweg kunnen naast de effecten op grote schaal op lokale knelpunten zoals bij een invoeging echter onrustiger verkeerssituaties ontstaan waarbij als gevolg van een toename in optrekkende bewegingen de emissie toeneemt. Een recent voorbeeld hiervan is de 80-kilometermaatregel nabij Utrecht. Daar blijkt een meer gestroomlijnde doorstroming te zorgen voor onrustiger invoegend verkeer waar naar verwachting de luchtkwaliteit niet door is bevorderd.

Zoals hierboven aangegeven oefenen maatregelen op verschillend ruimtelijk schaalniveau effect uit (afhankelijk van karakter en toepassing). Verkeersmodellen zijn in te delen in verschillend niveau (micro-, meso- en macroniveau). Macroscopische modellen berekenen effecten met parameters die verkeerskarakteristieken op relatief groot ruimtelijk schaalniveau beschrijven. Microscopische modellen beschrijven de verkeerskarakteristieken in detail en kunnen daarmee nauwkeuriger het effect op lokale schaal bepalen. De microscopische modellen kunnen ook ingezet worden om, met het meenemen van individueel rijgedrag, op grotere ruimtelijke schaal de effecten nauwkeuriger te bepalen. Echter databewerkingen nemen dan al snel toe en bovendien hoeft de nauwkeurigheid op lokale schaal niet voor dezelfde nauwkeurigheid op grote schaal te zorgen. Dit betekent dat macroscopische modellen op grotere schaal beter kunnen presteren of in ieder geval met minder inspanning voldoende resultaat opleveren. Doorslaggevend in de prestatie van de modellen op groter schaalniveau, is de mate waarin het maatreegeffect bepaald wordt door microscopische verkeerskarakteristieken, welke alleen door het microscopische verkeersmodel worden weergegeven.

3.7 Samenvatting

Het aantal maatregelen dat ingezet kan worden om de luchtkwaliteitsbelasting van het verkeer te reduceren, is omvangrijk. Een deel van de verkeersmaatregelen dat al toegepast wordt om de doorstroming van het verkeer te bevorderen, kan ook ingezet worden om de bijdrage van het verkeer aan de uitstoot van vervuilende stoffen te verminderen. Bij de inzet van verkeersmaatregelen spelen de mogelijkheden voor het beheersen van de luchtkwaliteitsbelasting van het verkeer een belangrijke rol. Er wordt als gevolg van de luchtkwaliteitsproblematiek gezocht naar een betere balans tussen het verkeer en het milieu. De emissie reducerende verkeersmaatregelen vallen onder de bron- en volumemaatregelen. De maatregelen zorgen er voor dat het individuele voertuig minder uitstoot of de het verkeersvolume afneemt. Onder de verkeersmaatregelen vallen de ITS-maatregelen. Met deze maatregelen waarbij moderne informatie en communicatie technologie wordt toegepast, zijn de mogelijkheden voor het sturen en beheersen van de verkeersstromen toegenomen. Doordat de ITS-maatregelen ingrijpen op de dynamiek van het verkeer zijn deze maatregelen, naar verwachting, geschikt om de luchtkwaliteitsbelasting van het verkeer gericht te beperken.

De meest 'kansrijke' ITS-maatregelen zijn het dynamische beperken van voertuigen in een bepaald gebied, het routeren van voertuigen, het reduceren van de dynamiek in het verkeer door snelheidsmaatregelen en het milieuvriendelijk instellen van verkeersregelininstallaties. De ITS-maatregelen zijn voor de verkeersbeheersing en het bereiken van de doelstellingen van het huidige en toekomstige verkeersbeleid van toenemend groot belang.

4 HET MODELLEREN VAN DE LUCHTKWALITEIT

Modellen spelen een belangrijke rol bij het bepalen van de luchtkwaliteit. Zoals aangegeven in hoofdstuk 2 wordt de actuele en toekomstige luchtkwaliteit getoetst aan de geldende normen. Om de actuele luchtkwaliteit te bepalen worden metingen en modelberekeningen uitgevoerd. Naast deze toepassing worden modellen ingezet om de invloed van toekomstige ontwikkelingen op de luchtkwaliteit te bepalen. Het gaat dan om ontwikkelingen waarbij nieuwe bronnen worden geplaatst of verdwijnen of de emissie van bestaande bronnen verandert. Een derde toepassing is de inzet van de modellen voor het voorspellen van de effecten van maatregelen die de luchtkwaliteit moeten bevorderen. Het implementeren van kostbare maatregelen en naderhand constateren dat niet het gewenste effect wordt bereikt is niet aanvaardbaar. Dit geldt ook voor verkeersmaatregelen die ingezet worden om de emissie van het verkeer te reduceren.

Verschillende instellingen en bedrijven hebben modellen in ontwikkeling voor het bepalen van de luchtkwaliteit. Deze modellen verschillen onderling sterk in de mate waarin de relatie tussen het verkeer en de luchtkwaliteit is uitgewerkt. Uit de onderzoeksactiviteiten blijkt dat naar aanleiding van de toenemende luchtkwaliteitsproblemen het onderzoek naar nauwkeurige luchtkwaliteitsmodellen sterk in ontwikkeling is (o.a. Reynolds & Broderick, 1998). Na een algemene weergave van de wijze waarop de luchtkwaliteit gemodelleerd wordt, wordt in dit hoofdstuk ingegaan op de methoden en modellen die worden toegepast bij studies naar de luchtkwaliteit. Hierbij wordt in het bijzonder aandacht besteedt aan de mate waarin de huidige methoden en modellen in staat zijn om de effecten van ITS-maatregelen te bepalen.

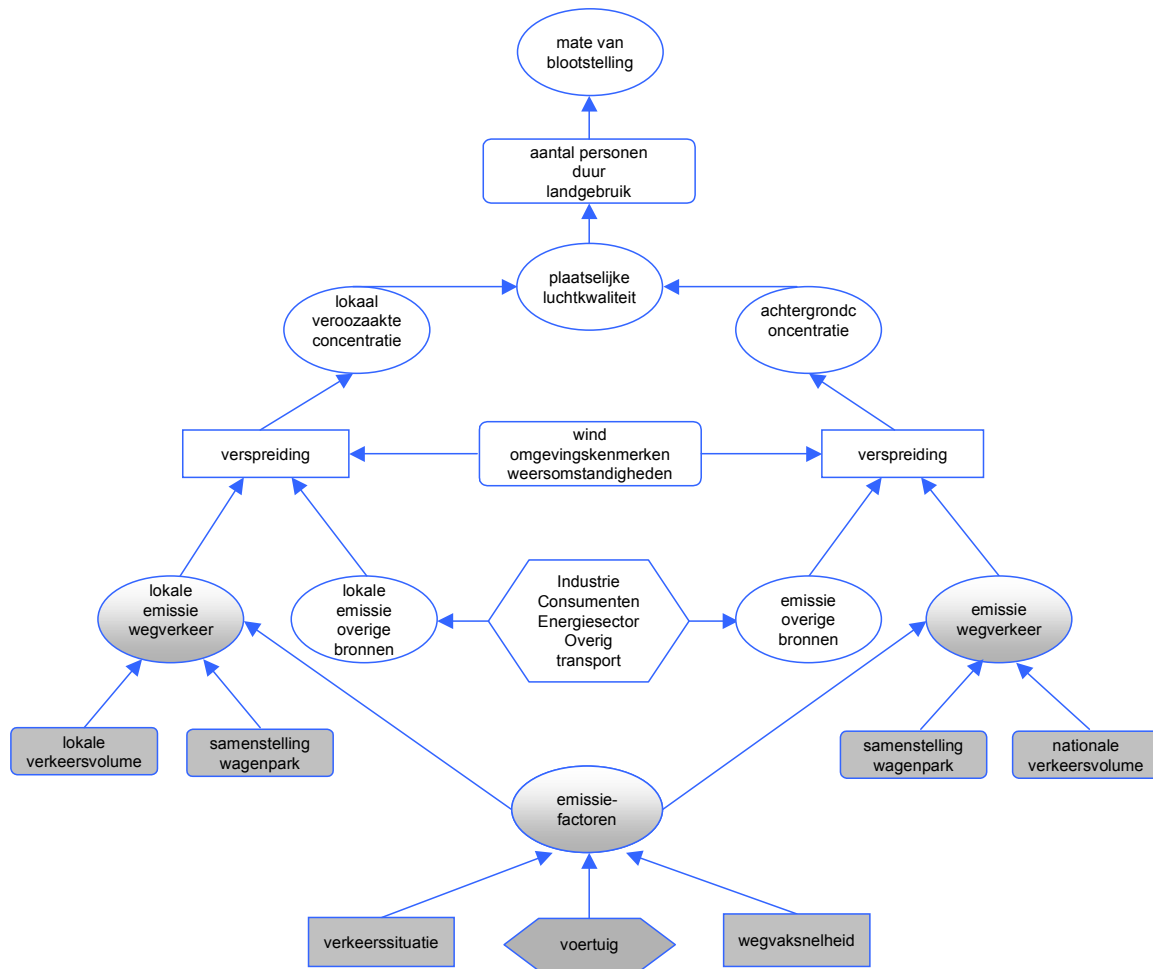
4.1 Het modelleren van de luchtkwaliteit

De voornaamste activiteit binnen de luchtkwaliteitsproblematiek is de toetsing van de huidige of toekomstige luchtkwaliteit aan de geldende normen (hoofdstuk 2). In de voorgaande hoofdstukken is gebleken dat de luchtkwaliteit sterk per locatie verschilt en niet overal eenvoudig is vast te stellen. Metingen zijn maar beperkt uitvoerbaar en de luchtkwaliteit is niet direct af te leiden uit de plaatselijke emissie. Dit betekent dat de luchtkwaliteit voor de meeste locaties wordt bepaald met modellen. De luchtkwaliteit op een bepaalde locatie is afhankelijk van verschillende processen en vele beïnvloedende factoren. De twee hoofdprocessen zijn het emissie- en verspreidingsproces. Deze twee processen staan ook centraal in de methoden voor het bepalen van de luchtkwaliteit. *Figuur 4.1* geeft een conceptueel model voor het bepalen van de luchtkwaliteit. Dit model beschrijft de wijze waarop (in Nederland) de luchtkwaliteit wordt bepaald. Het conceptueel model is gebaseerd op het model weergegeven in Spanjer (2005).

Het model is aangepast op basis een analyse van de methoden gepresenteerd in onder anderen DHV-TNO-RIGO (2005), AVV (2004), Teeuwisse (2005) en Blom (2003).

Belangrijke uitgangspunten van het conceptueel model zijn het onderscheid tussen de bijdrage van het verkeer en de verschillende overige bronnen en het onderscheid tussen het emissieproces en het verspreidingsproces. Binnen het modelleren van de verspreiding worden de achtergrond concentraties en de lokale bijdragen van bronnen onderscheiden. De uiteindelijke concentratie op locatie, samengesteld uit de achtergrondconcentratie en de lokale bijdrage, dient als maat voor de luchtkwaliteit.

Het proces van modelleren zoals weergegeven in *Figuur 4.1* wordt ingevuld door verschillende computermodellen. De bijdrage van de verkeersmodellen is aangegeven met de grijze inkleuring. De bronbijdrage van het verkeer wordt uitgebreider gemodelleerd dan de emissie van de andere bronnen.



Figuur 4.1 Conceptueel model voor het bepalen van de luchtkwaliteit

Huidige onderzoeken naar luchtkwaliteit op locaties worden gekenmerkt door emissieberekeningen waarbij vooraf opgestelde en/of voorgeschreven emissiefactoren een belangrijke rol spelen. De berekeningen vinden met modellen plaats en kennen doorgaans twee processtappen (Reynolds & Broderick, 2000). In de eerste stap wordt op basis van een (empirische) analyse van de emissie bij verschillende verkeersafwikkeling en onder bepaalde omstandigheden een set emissiefactoren, opgesteld. De emissiefactoren geven de emissie per activiteitsmaat aan. In Nederland wordt bij de berekeningen van de emissie van het wegverkeer op nationaal niveau gebruik gemaakt van emissiefactoren opgesteld door het RIVM.

In de tweede stap worden de verkeers- en voertuigactiviteiten (voornamelijk de verkeersafwikkeling uitgedrukt in afstand, snelheid en intensiteit) in een bepaalde verkeerssituatie waargenomen en gekoppeld aan de emissiefactoren. Het vaststellen van de emissiefactoren wordt of gedaan onder gecontroleerde laboratoriumcondities en/of met behulp van veldstudie waarbij on-board emissies worden gemeten. De verkeersactiviteiten worden bepaald met verkeersmodellen of met behulp van verkeersonderzoeken en verkeersstellingen.

Een centrale rol voor de bijdrage van het verkeer spelen de emissiefactoren. De emissiefactoren zijn een maat voor de emissie bij verschillende verkeerssituaties (snelwegen, stedelijke wegen, rurale wegen), wegvaksnelheden (als maat voor het afwikkelingsniveau) en voertuigtypen. De emissiefactoren worden in de modellen die de emissie en verspreiding modelleren toegepast. In de hierna volgende paragrafen wordt ingegaan op de verschillende modellen en de afstemming daartussen.

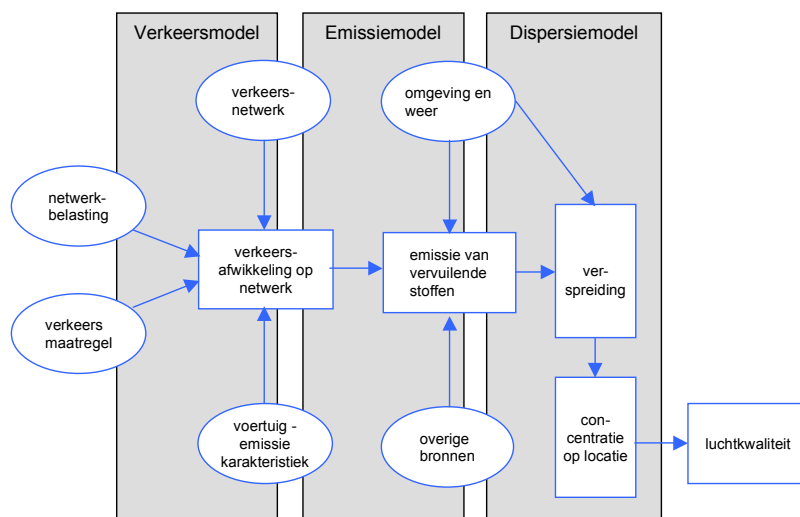
4.2 Type modellen bij het bepalen van effecten van verkeersmaatregelen op de luchtkwaliteit

Bij onderzoeken naar de luchtkwaliteitseffecten van verkeer wordt tot dusver voornamelijk gebruik gemaakt van meerdere, apart ontwikkelde, modellen (Reiter, 1997, Erbrink et al., 2003 en DHV-TNO-

RIGO, 2005). Deze modellen zijn onder te verdelen in verkeersmodellen en de (al dan niet gecombineerde) luchtkwaliteitsmodellen voor emissie en dispersie. De basis van deze modellen wordt gevormd door de beschrijving van de processen die ten grondslag liggen aan de uitstoot en verspreiding van schadelijke stoffen. Ze beschrijven hoe de emissie van het verkeer en de industrieën leiden tot toenemende concentraties van koolwaterstoffen, stikstofoxiden (NO_x) en fijnstof (PM_{10}) en een afnemende luchtkwaliteit. Bij de luchtkwaliteitsberekeningen wordt de uitkomst van de verkeersmodellen (de samenstelling, verdeling en doorstroming van voertuigen op wegvakken) als invoer gebruikt voor de luchtkwaliteitsmodellen.

De gebruikelijke manier voor het berekenen van het effect van het verkeer op de luchtkwaliteit bestaat uit het eerst bepalen van verkeersstroomkarakteristieken met verkeersmodellen. Met behulp van toedielings- en verkeersstroommodellen wordt de stroom van voertuigen op wegvakken en kruisingen bepaald. Vervolgens wordt met luchtkwaliteitsmodellen op basis van deze verkeersgegevens de luchtkwaliteit bepaald. De output van de verkeersmodellen wordt als input gebruikt voor emissiemodellen, die de uitstoot van de voertuigen bepalen. Als laatste stap wordt met dispersiemodellen de concentraties op specifieke locaties bepaald. De concentratie van vervuilende stoffen op locaties is de uiteindelijke maat voor de luchtkwaliteit.

De verschillende modellen en onderlinge relaties worden in *Figuur 4.2* weergegeven.



Figuur 4.2 Modellen en hun onderlinge relaties bij het berekenen van de luchtkwaliteit

De pijlen in *Figuur 4.2* geven de input- en output van de modellen aan. De gegevens in de vierkante vakken geven de output weer. De output van het ene model is in het luchtkwaliteit modelleringsproces input voor een volgend model. De ronde tekstvakken geven aan dat het externe invoergegevens zijn. Aangezien *Figuur 4.2* een afspiegeling is van gemodelleerde relaties staan niet alle relaties die in de werkelijkheid voorkomen weergegeven. In de werkelijkheid heeft bijvoorbeeld het weer een sterke invloed op de verkeersafwikkeling. Deze invloed wordt echter zelden gemodelleerd. De weersinvloeden op de emissie en de verspreiding worden wel gemodelleerd en staan dus wel in de figuur aangegeven. De weersinvloed op de emissie bestaat hoofdzakelijk uit de temperatuursinvloed en de verspreiding wordt met name beïnvloed door de wind.

In *Tabel 4.1* zijn de relaties tussen de modellen inhoudelijk uitgewerkt. In de tabel wordt, afhankelijk van het detailniveau, beschreven welke verkeerskarakteristieken in de verkeers-, emissie- en dispersiemodellen gemodelleerd worden om de emissie en de luchtkwaliteitsbelasting van het verkeer te bepalen.

Uit *Tabel 4.1* komt naar voren dat bij de verschillende modellen gegevens en modelparameters terugkomen, waarmee voor de koppeling van de modellen wordt gezorgd. Op macroscopisch niveau spelen categorisering en klassering (zoals de emissiefactoren) een belangrijke rol. Verder geeft de tabel aan dat bij alle drie typen modellen gedetailleerde microscopische modeltechnieken worden toegepast. Belangrijke externe componenten daarbij zijn gedetailleerde emissiemetingen en meerjarentrends van het weer.

Voorbeelden van modellen en methoden die voor het bepalen van de luchtkwaliteitsbelasting van het verkeer zijn ontwikkeld worden besproken in *bijlage 15*. In deze bijlage wordt ingegaan op hoe het gecombineerde gebruik van de verkeers- en luchtkwaliteitsmodellen wordt uitgevoerd, op welke manier het verkeer in relatie tot emissie wordt gemodelleerd en tot welke (kwaliteit van) resultaten dit leidt. In de hierna volgende paragrafen wordt verder ingegaan op de beperkingen die bij de luchtkwaliteitsberekeningen als gevolg van de wijze waarop de koppeling tussen modellen plaats vindt, optreden.

	Verkeersmodellen	Emissiemodellen	Dispersiemodellen
Algemeen	Beschrijven de afwikkeling van verkeer op het verkeersnetwerk, waarbij het evenwicht tussen verkeersaanbod en wegcapaciteit centraal staat.	Beschrijven de relatie tussen bron eigenschappen en gemeten uitstoot van luchtverontreinigende stoffen. Hier gaat het om de modellen die verkeersemissies bepalen.	Beschrijven de verspreiding van stoffen door de lucht die sterk afhankelijk is van de wind, omgevingskenmerken en overige weersomstandigheden.
Macroscopisch niveau	Uitkomsten relevant voor emissieberekeningen - verkeersvolume verschillende modaliteiten op basis van attractie en productie - verkeersbelasting en intensiteit per uur - verkeersafwikkeling in gemiddelde snelheid wegvakken	Bepalen van emissie - in grote gebieden, langs snelwegen en voor emissie op landelijk niveau Op basis van - globale standaard emissiefactoren (gram stof per kilometer) - in meer en mindere uitgewerkte naar snelheid- en voertuigklassen (type brandstof), verkeerssituaties, motortechniek en koude start	Bepalen van verspreiding - over gebieden langs snelwegen en op landelijk niveau Op basis van - sterk geschematiseerde punt- en lijnbronnen en kennen, meteorologische trends, beperkt aantal typen omgeving en obstakels
Microscopisch niveau	Uitkomsten relevant voor emissieberekeningen - gedetailleerde informatie over intensiteit, snelheid, individuele rijgedrag per specifiek voertuig tot op kruispuntniveau - in tijd en ruimte nauwkeurige verkeersafwikkeling per rijstrook - invloed van regelingen, verkeersinformatiesystemen, verkeerscontrolesystemen en route verwijssystemen	Bepalen van emissie - in complexe verkeerssituaties op snelwegen en stedelijk wegen Op basis van - verkeerssituatiespecifieke relaties tussen voertuigdynamiek en emissie ('modal' emissiemodellen) - individuele rijpatronen en beschrijving fysieke emissieproces met motorvermogen en -snelheid ('power-based emissiemodellen') - gedetailleerde emissiedata van dynamometertests of 'on-road' metingen	Bepalen van verspreiding - in complexe omgevingen zoals de stad Op basis van - in tijd en ruimte nauwkeurige dispersieformules met vele beïnvloedende (omgevings)factoren - uitgewerkte omgevingskenmerken en bronkarakteristieken en uitgebreide meerjaren trends van het weer

Tabel 4.1 Bijdragen van de verschillende modellen bij het bepalen van de luchtkwaliteit

4.3 Beperkingen bij de luchtkwaliteitsberekening

Nu geavanceerde verkeersmaatregelen ingezet gaan worden voor de luchtkwaliteit hebben de huidige luchtkwaliteitsberekeningen niet altijd de gewenste nauwkeurigheid. De analyse van de luchtkwaliteitsknelpunten (beschreven in paragraaf 2.3) wijst uit dat de dynamiek van het verkeer een belangrijke factor is in het ontstaan van luchtvervuiling in de stedelijke omgeving. Bovendien mag worden verwacht dat de rol van de piekbelastingen in de problematiek zal toenemen. Door de toename van schonere voertuigen worden het lokale aanbod en het lokale rijgedrag belangrijker dan het totaal aantal afgelegde kilometers (Veurman et al., 2002). Voor meer inzicht in het ontstaan van piekbelastingen zijn modellen nodig die met voldoende detailniveau het lokaal en temporaal variërend verkeerskarakter op het stedelijke netwerk in relatie met de luchtvervuiling kunnen beschrijven.

De verkeers- en emissie- en dispersiemodellen hebben tegelijk met de ontwikkeling van de informatie en communicatie technologie, een sterke ontwikkeling doorgemaakt. Van alle drie de type modellen zijn gedetailleerde modellen in ontwikkeling. Het valt echter op dat de koppeling tussen de modellen met relatief (ten opzichte van de complexiteit van de gebruikte modellen) eenvoudige relaties wordt uitgevoerd. De verschillende verkeerskarakteristieken worden maar beperkt gebruikt in de luchtkwaliteitsberekeningen.

4.3.1 Het gebruik van emissiefactoren

In de huidige luchtkwaliteitstudies staan emissiefactoren centraal die de invloed van verkeerskarakteristieken veelal vereenvoudigd beschrijven (Erbrink et al., 2003). Gewerkt wordt met vrij ruwe klassenindelingen van onder andere de verkeerssituatie, het wegtype en de snelheid waarbij de verkeersafwikkeling wordt beschreven met parameters op verkeersstroomniveau, zoals gemiddelde snelheid en intensiteit. Het gebruik van de emissiefactoren is voortgekomen uit de toepassing van de emissie- en verspreidingsmodellen voor de berekening van de emissie op landelijk niveau en de luchtkwaliteit langs snelwegen. De individuele voertuigdynamiek wordt bij het gebruik van emissiefactoren nauwelijks meegenomen, terwijl deze juist belangrijk is voor het bepalen van de emissie in complexe en dynamische verkeerssituaties. Voertuigen kunnen in verschillende verkeerssituaties dezelfde gemiddelde snelheid hebben maar daarentegen sterk verschillen in de hoeveelheid emissie. Binnen de (Europese) wetenschap heerst de consensus dat de gemiddelde snelheid als indicator voor het bepalen van lokale verkeersemissie niet voldoende toereikend is (INTEGAIRE, 2005). Op basis van een vergelijking van emissieschattingen van verschillende modellen met meetresultaten concludeert Rakha (2000) dat modellen die enkel rekenen met gemiddelde ritsnelheden falen in het berekenen van de juiste emissiewaarden. Reiter constateert eind jaren negentig (al) dat door het werken met geaggregeerde data de complexe invloeden van verkeersgedrag, snelheid en versnelling van individuele voertuigen achterwege worden gelaten. In de studie wordt aangetoond dat bij kleine veranderingen in de versnelling de emissie sterk kan toenemen (Reiter, 1997).

4.3.2 Beperkte verkeersinformatie

Naast het gebruik van de emissiefactoren komt de eenvoudige koppeling tussen de modellen ook voort uit de toepassing waarvoor de verkeersmodellen oorspronkelijk zijn ontwikkeld. Voor een gedetailleerde emissieberekening zijn meer gedetailleerde en gespecificeerde gegevens nodig dan die voor de gebruikelijke verkeersonderzoeken (met metingen en berekeningen) worden verkregen. Met andere woorden verkeers- en luchtkwaliteitstudies hebben niet dezelfde databehoeft.

verkeersstudie	luchtkwaliteitstudie
▪ Beperkt onderscheid personen- en vrachtverkeer ▪ Gemiddelde snelheden ▪ Etnaal- of jaargemiddelde intensiteiten ▪ Verliestijd ▪ Informatie per wegvak ▪ Informatie over selectie van wegvakken	▪ Samenstelling wagenpark naar grote en brandstof ▪ Snelheidsverloop over de tijd (minstens per uur) ▪ Intensiteitsverloop over de tijd (minstens per uur) ▪ Voertuigtrajectoriën ▪ Informatie per voertuig ▪ Informatie over volledig netwerk

Tabel 4.2 Informatiebehoefte verkeers- en luchtkwaliteitstudie

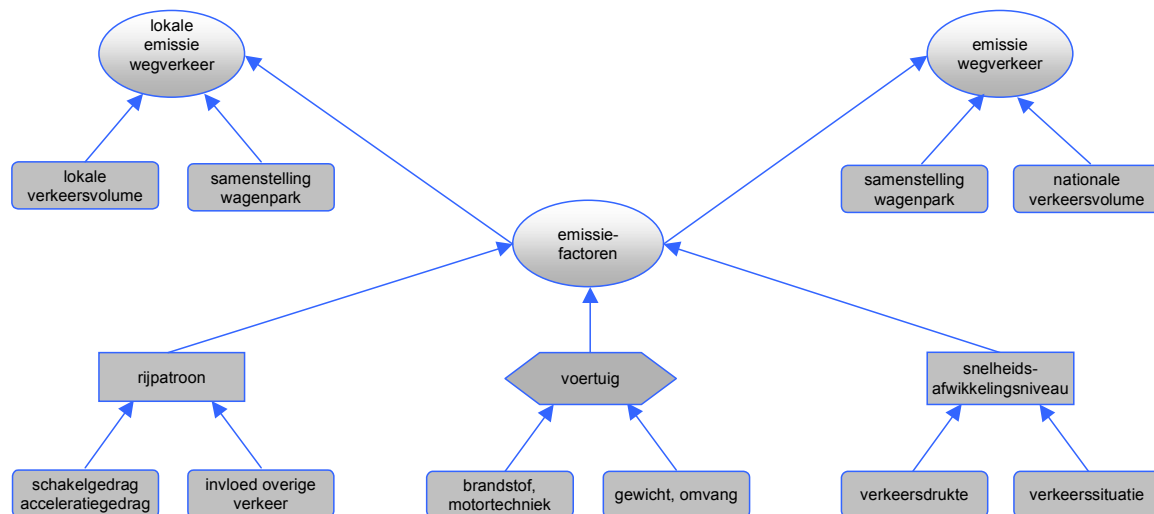
Voorbeelden hiervan zijn dat niet altijd onderscheid wordt gemaakt tussen verschillende voertuigtypen terwijl dit voor de mate van milieubelasting juist van belang is, de verkeersafwikkeling alleen beschreven wordt met intensiteiten waardoor het verkeerskarakter, dat mede bepalend is voor de milieubelasting, niet of nauwelijks wordt meegenomen en enkel etmaalintensiteiten beschikbaar zijn (en geen intensiteiten over kleinere perioden) waardoor met jaargemiddelden wordt gewerkt terwijl de milieubelasting van het verkeer sterk over de tijd fluctueert. Daarnaast is over het algemeen bij de bedrijven en instanties die zich bezig houden met verkeersstudie de beschikbaarheid van en de kennis op het gebied van verkeersemissiemodellen beperkt. Veelal zijn ze wel bekend met uitgebreide maar (nog) op zichzelfstaande verkeers- en dispersiemodellen. Het gevolg is dat geaggregeerde verkeersgegevens uit complexe verkeersmodellen gebruikt worden in relatief eenvoudige emissieberekeningen. Enkel specialistische onderzoeksbureaus hebben luchtkwaliteitsmodellen (in ontwikkeling) waarin de emissie van het wegverkeer met meer detail wordt beschreven.

4.4 Integratie en detaillering binnen de luchtkwaliteitsmodellering

Bij het bepalen van de luchtkwaliteit kennen de verschillende verkeers-, emissie en dispersie modellen en/of de koppelingen tussen de modellen onvoldoende detail om de invloeden van voertuigeigenschappen en rijgedragkenmerken mee te nemen. Om de invloed van voertuigeigenschappen en het rijgedrag op de emissie te kunnen bepalen moet ingezoomd worden op het verkeer.

4.4.1 De verkeerscomponent nader belicht

De huidige luchtkwaliteitsproblematiek vraagt om nauwkeurige modelberekeningen. De bescherming van de gezondheid van mens en natuur serieus worden aangepakt. De wettelijke toetsing moet secuur worden uitgevoerd en de luchtkwaliteitsknelpunten vragen om geavanceerde verkeersmaatregelen. Om deze reden wordt het grijze gedeelte uit het conceptueel model in *Figuur 4.1* uitgebreider en geavanceerder uitgevoerd. Gedetailleerde verkeersmodellen worden ingezet om betere emissiefactoren te bepalen. De modelelementen die daarbij een belangrijke rol spelen staan in *Figuur 4.3* weergegeven.



Figuur 4.3 Uitgebreide weergave verkeerscomponent conceptueel model luchtkwaliteit

Het toenemend gecombineerde gebruik van de verschillende modellen heeft geleid tot de ontwikkeling van integrale luchtkwaliteitsmodellen. Deze modellen zijn gericht op het zo direct mogelijk modelleren van de verkeersemissie. Dit betekent dat de koppeling met emissiefactoren wordt verfijnd of zelfs geheel wordt weggewerkt. De verschillende fysieke modellen worden nauwkeurig op elkaar afgestemd of gecombineerd.

4.4.2 Microscopische verkeers- en emissiemodellen

Voor de emissiemodellering is het van belang welke voertuigen in het verkeer voorkomen en welke bewegingen deze voertuigen maken. Microscopische modellen gaan op deze factoren in. Internationaal wordt het belang van de microscopische modeltechnieken voor het aanpakken van de luchtkwaliteitsproblematiek onderkent. Zo staat binnen het Europese project INTEGAIRE, dat gericht is op het monitoren en bewaken van de stedelijke luchtkwaliteit, de microscopische benadering centraal. Gezien de diversiteit en het detail van de output bieden microscopische modellen de beste mogelijkheden voor het analyseren van brandstofverbruik en emissie van vervuilende stoffen (INTEGAIRE, 2005). Sbayti et al. (2002) hebben onderzoek verricht naar het effect van het verschil in aggregatieniveau waarop het netwerk wordt beschreven. De emissies die zijn bepaald met een macro-, meso- en microscopische benadering zijn vergeleken. Sbayti et al. (2002) geven aan dat de keuze van het niveau waarop de emissie wordt bepaald, sterk afhangt van het type studie. Staat in een studie een complex netwerk centraal dan kan het beste gekozen worden voor een microscopische benadering.

De geschiktheid van microscopische modellen voor het beschrijven van de relatie tussen voertuigdynamiek en emissie blijkt ook uit onderzoek van Wilmink (en anderen). In het kader van het

Europese project IMAGINE (Improved Methods for the Assessment of Generic Impact of Noise in the Environment) is een studie verricht naar de geschiktheid van vier verschillende typen verkeersmodellen voor het modelleren van geluid (Wilmink et al., 2005). De modellen zijn getoetst op de mate waarin ze instaat om voor de parameters verkeersvolume, snelheid, snelheidverdeling, versnelling en verkeerssamenstelling betrouwbare gedetailleerde output te leveren. De studie wijst uit dat de microsimulatiemodellen, afgezet tegen modeltechnieken op meso- en macroscopische niveau (statisch, dynamische en continuüm model), het beste in staat zijn om snelheid, snelheidverdeling, versnelling en verkeerssamenstelling in de detail te modelleren. Parameters die naar verwachting ook van groot belang zijn voor het modelleren van de luchtkwaliteitsbelasting. Tegelijk wordt daarbij wel de kanttekening gemaakt dat, ten opzichte van de andere modellen, voor het ontwikkelen, kalibreren en onderhouden van microscopische modellen grote inspanning benodigd is.

Daarnaast wijst onderzoek uit dat microscopische modellering van de verkeersafwikkeling waarbij de invloed van het individuele rijgedrag wordt meegenomen en de emissie nauwkeuriger in tijd en ruimte wordt bepaald leidt tot een berekening van hogere concentraties op kruisingen (Nockel, 2005). Bij huidige macroscopische methoden zijn de piekbelastingen vaak wel impliciet in de emissiefactoren opgenomen maar worden bij de luchtkwaliteitsberekening over de wegvakken uitgespreid. Met andere woorden microscopische modellen zijn in staat om knelpunten nauwkeuriger in kaart te brengen.

4.4.3 Dynamische luchtkwaliteitsmodellen

Naast de verfijning van de koppeling is de integratie van de modellen ook gericht op de ontwikkeling van dynamische systemen. Met de uitgebreide computertechnieken is het mogelijk zogenaamde dynamische luchtkwaliteitsmodellen te ontwikkelen waarmee de processen tussen verkeer en luchtkwaliteit dynamisch worden gemodelleerd. Deze modellen, vaak wel gebaseerd op de oorspronkelijke aparte modellen, bestaan niet meer uit de onafhankelijke verkeers- emissie en dispersiemodellen maar zijn dusdanig geïntegreerd dat de verkeersafwikkeling, emissieproductie en verspreiding gelijktijdig worden gesimuleerd. Wanneer het dus gaat om de berekening van de luchtkwaliteit wordt de emissie van verschillende bronnen, waarvan verkeer er één is, gecombineerd en onder invloed van onder andere de meteorologische omstandigheden gemodelleerd. Het zijn uitgebreide systemen waarin verschillende modellen zijn geïntegreerd en zodoende tijdens simulaties de effecten op zowel de verkeerskundige netwerkprestaties als op de omgevingskwaliteit kunnen worden beoordeeld en beïnvloedt.

Een voorbeeld hiervan is het model SIMTRAP (Noekel, 1998). SIMTRAP bestaat uit een koppeling van het dynamische verkeerssimulatiemodel DYNEMO met het driedimensionale luchtkwaliteitsmodel DYMOS. In de literatuur wordt gepleit voor een verdere ontwikkeling van geavanceerde milieumanagementsystemen. Deze systemen zijn nodig zodat bij de ontwikkeling van beleidsstrategieën rekening gehouden kan worden met actuele en verwachte verkeersbelasting en luchtkwaliteit (Costabile, 2005). De modellen kunnen toegepast worden bij het sturen van de verkeersstromen vanuit bijvoorbeeld stedelijke verkeerscentrales.

4.5 Onzekerheid in modelberekeningen

Een belangrijk aspect bij de ontwikkeling en het gebruik van modellen is de onzekerheid in modelresultaten. Het belang, maar ook de moeilijkheid, van het bepalen van de onzekerheden neemt bij complexe microscopische modellen toe. Voor het verbinden van conclusies aan de uitkomsten is het van belang te weten met welke zekerheid de werkelijkheid wordt benaderd. Daarnaast biedt het onderscheiden van de verschillende bronnen van onzekerheid aanknopingspunten voor verbeteringen (aan bijvoorbeeld de invoergegevens of de modelopzet).

In Erbrink et al. (2003) wordt een analyse gemaakt van de onzekerheid in de uitvoer van de meest vooraanstaande modellen die toegepast worden bij luchtkwaliteitsberekeningen. De onzekerheid wordt gedefinieerd als de mate van variatie in de uitkomsten ten gevolge van aspecten die redelijkerwijs niet door de gebruiker zijn te beïnvloeden. Onder de aspecten worden onbekende factoren die de grootte van de invoerparameters bepalen, onbekende processen die in het model niet zijn meegenomen of bekende processen die vereenvoudigd zijn weergegeven, verstaan.

4.5.1 Bronnen van onzekerheid bij studies naar de luchtkwaliteit

Een aantal studies naar de onzekerheid in modelresultaten voor berekeningen op landelijk niveau zijn uitgevoerd (o.a. Erbrink et al., 2003). Onderzoek naar onzekerheid in berekeningen van de

luchtkwaliteit op lokaal niveau gebruikmakend van microscopische emissiemodellen is nog maar weinig uitgevoerd.

De onzekerheid in modelstudies is opgebouwd uit onzekerheden in de gegevens en data die als invoer van het model fungeren, de onzekerheden ten gevolge van de wijze van modelleren en de onzekerheden die voortkomen uit de beschikbaarheid van informatie en kennis en kunde met betrekking tot het gebruik van de invoer en het model zelf. De invoergegevens die in Erbrink et al. (2003) worden genoemd zijn de meteorologie, de achtergrondconcentraties, de verkeersintensiteiten en -snelheden, het aandeel en type vrachtverkeer, de emissiekenmerken van het verkeer de omgevingsfactoren en gegevens over obstakels langs de wegen. De bronnen van onzekerheid in de invoer en in het model staan in *Tabel 4.3* voor studies naar de luchtkwaliteit uitgewerkt.

Onzekerheden	data	model
Verkeer	- Beschrijving verkeerssituatie - Patronen in verkeersvolume - Juistheid en gedetailleerdheid verkeerssamenstelling (inclusief percentage koude motor) - Beschrijving voertuigeigenschappen	- Niveau van modelleren in relatie tot presentatie niveau van uitkomsten - Modelleertechniek verkeersaanbod, routekeuze, verkeersafwikkeling - Beschrijving rijgedrag en voertuiginteractie - Invloed omgevingskenmerken - Uitwerking van regelstrategieën en maatregelen
Emissie	- Uitbreidbaarheid van situatie of voertuigspecifieke emissies - Methode van emissiemetingen in praktijk of laboratorium - Methodiek en inzichtelijkheid achtergrond concentraties	- Uitwerking voertuigkarakteristieke relatie tussen combinatie van motorbelasting, toerental, weerstandsfactoren, rijpatroon en emissie - Koppeling van verkeerssituatie, verkeersafwikkeling, rijgedrag, voertuigeigenschappen met emissiedata
Dispersie	- Beschrijving van meteorologische historie en trends - Beschrijving omgevingskenmerken en obstakels	- Verwerking meteorologie - Uitwerking van chemische processen in de lucht - Invloed van omgevingskenmerken en obstakels

Tabel 4.3 Onzekerheden bij luchtkwaliteitsberekeningen

Bij de verschillende onderdelen in luchtkwaliteitsberekening wordt gebruik gemaakt van verschillende data, modellen en relaties die elk voor een deel bijdrage aan de onzekerheid in de modeluitkomsten. In de meeste studies naar (de ontwikkeling van modellen voor het bepalen van) de luchtkwaliteit wordt ingegaan op de bronnen die voor onzekerheid in de modelberekeningen zorgen. De omvang van de onzekerheid in de uitkomsten van het model blijken echter moeilijk te kwantificeren. Veelal worden wel schattingen gemaakt van de onzekerheid in de gepresenteerde uitkomsten, echter het inzicht in de mate waarin de verschillende bronnen van onzekerheid elkaar versterken of verzwakken en de mate waarin de berekende onzekerheden in verschillende modellen zijn te vergelijken zijn beperkt.

Tabel 4.4 geeft een samenvatting van algemene, niet modelspecifieke, onzekerheden die blijken uit een aantal studies naar (modellen voor het bepalen van) de luchtkwaliteit (Erbrink et al. (2003) en DHV-TNO-RIGO (2005)).

onzekerheden	data		model	
verkeer	(voorspelling) intensiteiten	+/- 5-25 %	rijgedrag	+/- 10-15 %
emissie	personenvoertuigen	+/- 10 %	voertuigclassificatie	+/- 10-15 %
	vrachtvoertuigen	+/- 15-20 %		
dispersie	meteorologie	+/- 15-30 %	weergave verkeerssituatie en	+/- 5-15 %
	terreingegevens	+/- 10-20 %	wegtype	
	(afhankelijk van afstand vanaf de weg)		terreingegevens	+/-10-20%
			processen in lucht	+/- 15-30 %
gemiddelde onzekerheid	Algemene schatting +/- 30 %			
maximale onzekerheid	PM ₁₀ / achtergrondconcentratie +/- 40 % / +/- 10 %			
	NO ₂ / achtergrondconcentratie +/- 45 % / +/- 20 %			
	Algemene schatting +/- 50 %			
De onzekerheid is uitgedrukt in de variatiecoëfficiënt, de standaarddeviatie van mogelijke afwijkingen gedeeld door het gemiddelde. Een onzekerheid van 10% betekent dat 70% van de metingen niet meer dan 10% afwijkt van het gemiddelde en 95% van de metingen niet meer dan 20%.				

Tabel 4.4 Onzekerheden bij luchtkwaliteitsberekeningen

De onzekerheden gelden voor studies naar emissies op landelijk niveau en studies naar knelpunten op het gebied van de luchtkwaliteit langs snelwegen. De getallen zijn indicatief aangezien de waarden per specifieke situatie verschillend zullen zijn. Naast de onzekerheid in de berekening is ook de onzekerheid in de schattingsmethode voor toekomstige intensiteiten (en verkeerssamenstelling) meegenomen. Een uitgebreid overzicht van de onzekerheden bepaald in deze studie is te vinden in *bijlage 7*.

In Erbrink (2003) worden een aantal luchtkwaliteitsmodellen vergeleken en beoordeeld op basis van onzekerheden. De verschillen in de onzekerheid tussen de modellen zijn gering. Dit komt doordat de achtergrondconcentraties een grote bijdrage leveren aan de totale onzekerheid en er tussen de modellen geen verschil is in de wijze waarop deze mee wordt genomen. Hetzelfde geldt voor het gebruik van de emissiefactoren. Doordat in de modellen veelal dezelfde standaard emissiefactoren op een vergelijkbare wijze worden toegepast, zijn de emissiefactoren verantwoordelijk voor een onzekerheid in de modeluitvoer die voor alle modellen in dezelfde orde van grootte ligt. De totale onzekerheid ligt gemiddeld voor alle modellen rond de 30% of lager. (In complexe situaties, situatie met bijvoorbeeld bebouwing en hoogte verschillen, ligt de onzekerheid boven de 30%)

4.5.2 Onzekerheden ten gevolge van emissiekenmerken

De onzekerheid wordt voor een deel geïntroduceerd door emissiedata die de emissiekenmerken van het verkeer beschrijven. In meerdere onderzoeken wordt het verschil tussen de gestandaardiseerde emissiebepalingen, opgesteld op basis van het laboratoriumproeven, en de werkelijke in praktijksituaties aangekaart (Ericsson, 2000, MNP, 2005, MNP, 2006a en PSV, 2006). Een belangrijke verklaring hiervoor is dat de motoren van de voertuigen tijdens laboratoriumtests alleen binnen het door de fabrikanten geoptimaliseerde vermogenbereik worden belast. Daarnaast geldt dat de emissie door moderne, schonere, voertuigen steeds meer wordt bepaald door snelheidsveranderingen dan door de gemiddelde snelheid.

In Erbrink et al. (2003) worden verschillende bronnen behandeld waaruit blijkt dat de emissiekenmerken voor onzekerheid zorgen in de emissieberekening. Bij onderzoek van TNO uit 2001 wordt 50% afwijking van metingen ten opzichte van laboratoriumresultaten geconstateerd. De organisatie Infomil (www.infomil.nl) geeft aan dat een verandering in de hoeveelheid fileverkeer kan leiden tot een 20-40% verandering van de verkeers emissie. Uit onderzoek van het RIVM (2003) komt naar voren dat de onzekerheid in emissieschattingen met betrekking tot het Nederlandse verkeer onvoldoende bekend is. Op basis van buitenlandse studies wordt het effect van wisselend rijgedrag ingeschat op 10% verandering in de emissies. In Erbrink et al. (2003) wordt de onzekerheid in de berekening van concentratie NO_x op landelijk niveau geschat op 10%. Van deze 10% onzekerheid wordt weer 10% toegewezen aan de onzekerheid in de berekening van de emissie van het personenverkeer. Daarbij wordt aangegeven dat de invloed van de gemiddelde snelheid als invoerparameter gering is (rond de 5%). Belangrijk bij de interpretatie van deze cijfers is dat het hier gaat om berekeningen van de emissie en luchtkwaliteit op landelijk niveau. Echter gezien de bevindingen bij de in dit onderzoek uitgevoerde analyse van de luchtkwaliteitsknelpunten (hoofdstuk 2) mag aangenomen worden dat de onnauwkeurigheid in de berekening op lokaal niveau als gevolg van het rekenen met gemiddelde snelheden, groter is. In ieder geval kan uit de schattingen in Erbrink et al. (2003) geconcludeerd worden dat de emissiekenmerken als invoerparameters niet altijd juist zijn. Wanneer het beschrijven van de emissiekenmerken voor bepaalde typen verkeer, verkeerssituaties en ook zeker rijgedrag verbeterd kan worden kan dit de onzekerheid in de modelresultaten verminderen.

De vooraanstaande strategieën om de onzekerheden in de modellen te reduceren zijn het verfijnen van de emissiefactoren en emissiemodellen, het uitvoeren van validatie met behulp van uitgebreidere (buitenlandse) datasets en het doorrekenen van complexe situaties (Erbrink et al. (2003)).

4.5.3 Gevolgtrekkingen onzekerheden voor onderzoek

Bij het modelleren van voertuigemissies ontstaan onzekerheden als gevolg van de variatie in voertuigkenmerken. Met betrekking tot de uitstoot van luchtverontreinigende stoffen gedraagt elk voertuig zich anders. Absolute waarden van emissies en concentraties in lokale verkeerssituaties moeten dan ook met voorzichtigheid gehanteerd worden. Analyse knelpunten nog grotere onzekerheid in 10% onzekerheid in vereersbijdrage.

Daarentegen zijn de berekeningen van relatieve veranderingen in emissies door het constant houden van de factoren goed bruikbaar voor het aantonen van effecten die met maatregelen bereikt kunnen worden. Ze geven een duidelijke indicatie van de luchtkwaliteitseffecten die met maatregelen bereikt kunnen worden in bepaalde verkeerssituaties.

In tegenstelling tot luchtkwaliteitsmetingen kunnen met emissieberekeningen de effecten van een maatregel geïsoleerd bepaald worden. Bij metingen worden de effecten verstoord doordat bij voor- en nametingen langs de weg niet de emissie maar de luchtkwaliteit wordt bepaald. De luchtkwaliteit is van vele factoren afhankelijk zodat bij effectmetingen neveneffecten als weerinvloeden en wijziging van de samenstelling van het verkeer worden meegenomen. Het is lastig om de effecten die toe te schrijven zijn aan de maatregel te onderscheiden van de neveneffecten. Daarnaast kan voor locaties in het netwerk verschillen of het effect positief of negatief is en is bovendien de meting sterk afhankelijk van de stand van de wind ten opzichte van de meetlocatie. Metingen zijn belangrijk omdat ze de luchtkwaliteit, daar waar het uiteindelijk om gaat, bepalen maar zijn niet direct te vertalen naar de effectiviteit van de maatregel. Met nauwkeurige emissieberekening kan meer zekerheid over het effect van de maatregel gegeven worden.

4.6 Samenvatting

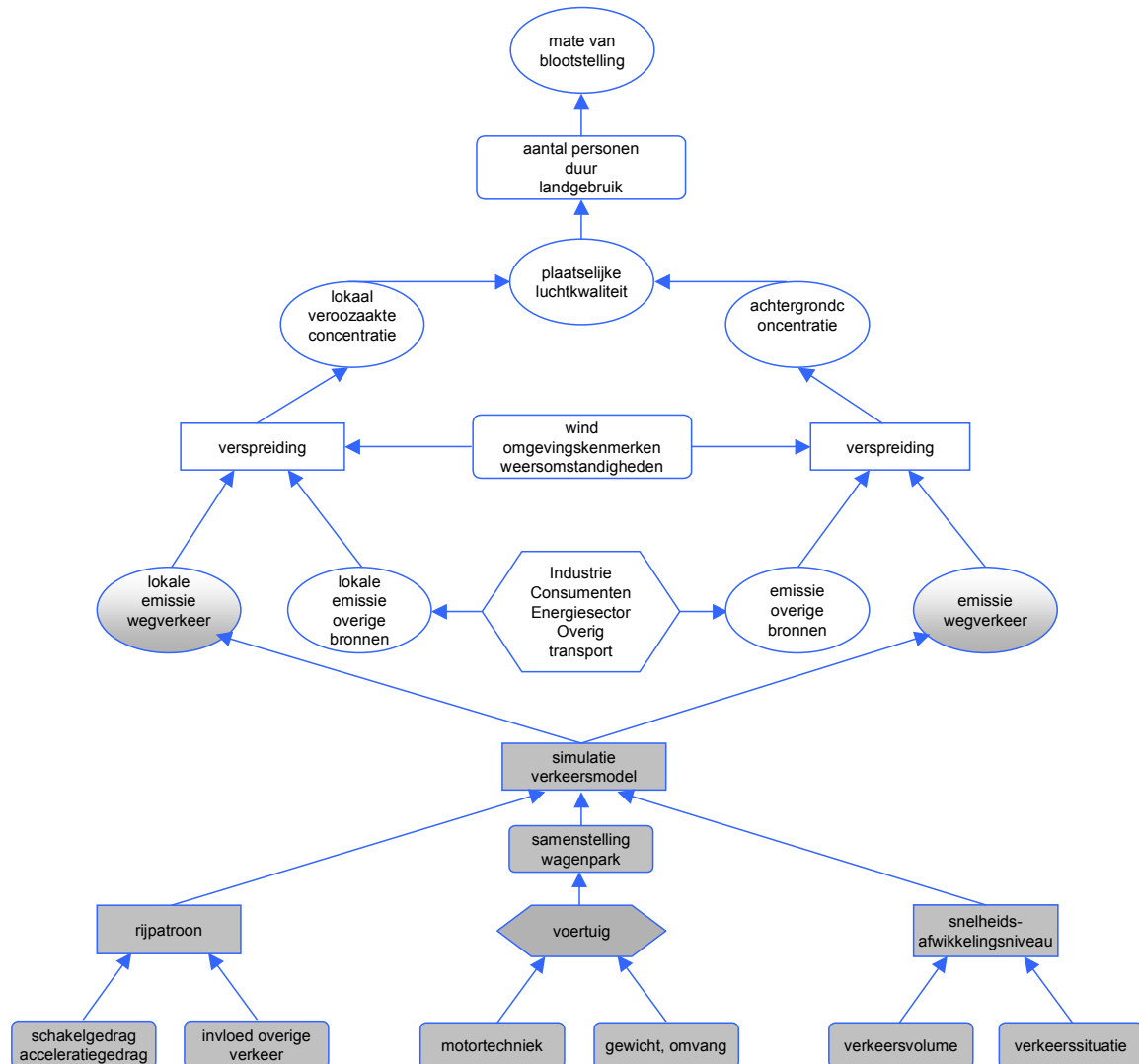
Sinds de totstandkoming van de nieuwe Europese richtlijn voor luchtkwaliteit, die harde grenzen stelt aan jaargemiddelde concentraties én het aantal overschrijdingen van piekbelastingen, moeten door alle nationale, lokale en regionale overheden luchtkwaliteitsmetingen danwel -berekeningen uitgevoerd worden. Met het oog op de implementatie van luchtkwaliteitsmaatregelen zijn, én worden, modellen ontwikkeld die de effecten van de maatregelen kunnen voorspellen. Door de toenemende problemen met de luchtkwaliteit is, zo blijkt uit verscheidene (wetenschappelijke) literatuur, de ontwikkeling van methoden en modellen om de luchtkwaliteit te bepalen en te voorspellen in Europa (Erbrink et al., 2003 en Reynolds & Broderick, 1998 en Reynolds & Broderick, 2000) en daarbuiten (Ericsson, 1999), toegenomen.

Aangezien de werkelijke luchtkwaliteit zowel afhankelijk is van de uitstoot van vervuilende stoffen als van de verspreiding (afhankelijk van omgevingskenmerken en meteorologische omstandigheden), bestaat de luchtkwaliteitsberekening uit twee onderdelen. Het emissiedeel waarin de uitstoot van vervuilende stoffen het verkeer (en overige bronnen) centraal staat en het dispersiedeel dat in gaat op de verspreiding van de vervuilende stoffen in de lucht.

Het beperkte detailniveau en de relatief eenvoudige informatieoverdracht tussen de modellen zorgen voor onnauwkeurigheid in de luchtkwaliteitsberekeningen. De onzekerheden voortvloeiend uit de verkeerscomponenten van de modellen zijn terug te voeren op de samenstelling van de emissiefactoren en de wijze waarop deze gebruikt worden. Voor Nederlandse studies wordt gebruik gemaakt van de door het RIVM voorgeschreven emissiefactoren. De emissiefactoren zijn opgesteld voor een beperkt aantal verkeerssituaties en nog beperkter aantal rijgedragscategorieën. Dit zorgt voor onzekerheden in de modelberekeningen.

Dit kan, naar verwachting, verbeterd worden door verkeersstroomkarakteristieken en individuele rijkarakteristieken, die bepalend zijn voor de luchtkwaliteitsbelasting, uitgebreider in de modellen op te nemen en de processen van verkeersafwikkeling, emissie en dispersie op microscopisch niveau op elkaar af te stemmen. De lokale en tijdelijke aard van de knelpunten, de reeds in onderzoek aangetoonde significante invloed van verkeersstroomkarakteristieken en individuele rijkarakteristieken op de verkeersemissie én de wijze waarop de ITS-maatregelen hierop kunnen ingrijpen, vragen om een analyse op detailniveau. Op knelpunten in stedelijke omgevingen kent het verkeer veel dynamiek. ITS-maatregelen haken hier op in door het individuele rijgedrag te beïnvloeden. Microscopische modellen kunnen deze relaties beschrijven en moeten ingezet worden wanneer de emissie en het effect van ITS-maatregelen op knelpuntlocaties (zoals kruispunten, weefvakken en opstelstroken voor doseerlichten) bepaald moet worden. Huidig onderzoek is gericht op de ontwikkeling van microscopische modellen die de in tijd en ruimte wisselende karakteristieken van het verkeer met een set van gedetailleerde parameters (zoals snelheid en versnelling gedifferentieerd naar tijd en plaats) beschrijven (Ericsson, 2001, Sbayti et al., 2002 en Wilmink et al., 2005).

Concluderend komt het er op neer dat de verkeer- en emissiemodellen naar elkaar toe groeien en worden samengevoegd. Deze verandering is in *Figuur 4.4* geïllustreerd met de aanpassing van het conceptueel model voor de luchtkwaliteit. De simulatie van de verkeersafwikkeling en het modelleren van de emissie vinden binnen het verkeersmodel gelijktijdig plaats.



Figuur 4.4 Integratie binnen de luchtkwaliteitsmodellering

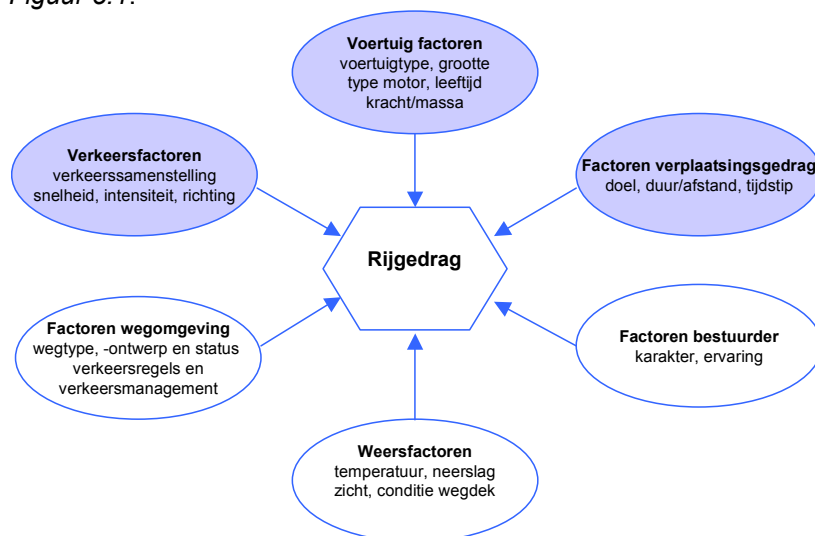
De luchtkwaliteitsberekeningen kennen met name grote onzekerheden als gevolg van het verspreidingsproces dat sterk afhankelijk is van weersinvloeden. Dit betekent dat de uiteindelijke effecten van verkeersmaatregelen op de luchtkwaliteit niet met grote zekerheid zijn aan te tonen. Effecten van verkeersmaatregelen op de verkeersemissie kunnen wel met meer zekerheid bepaald worden. De effecten van ITS-maatregelen kunnen dan ook het beste met microscopische verkeers- en emissiemodellen bepaald worden.

5 ONDERZOEK NAAR VERKEERSKARAKTERISTIEKEN EN EMISSIE

Uit de voorgaande hoofdstukken blijkt dat de effectberekening van ITS-maatregelen vraagt om modellen die de invloed van het verkeerskarakter, en in het bijzonder het rijgedrag, op de emissie nauwkeuriger beschrijven. Om de grote hoeveelheid verkeersemissie op de knelpuntlocaties (in de stedelijke omgeving) te kunnen verklaren en aan te pakken, is het van belang inzicht te hebben in welke voertuigeigenschappen en rijgedragkenmerken bepalend zijn voor de emissie van een bepaald voertuig. In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de uitgebreide onderzoeken die de complexe relatie tussen voertuig- en rijpatroonkarakteristieken en emissie door voertuigen bestuderen, relaties die ten grondslag liggen aan de microscopische emissiemodellering. Op basis van een analyse van deze onderzoeken wordt aangegeven wat de bepalende factoren zijn voor de uitstoot van luchtverontreinigende stoffen door het wegverkeer.

5.1 Onderzoek naar de relatie tussen verkeer en emissie op microscopisch niveau

Sinds de jaren negentig zijn meerdere onderzoeken verricht naar de relatie tussen verkeerskarakteristieken en de emissie van voertuigen. In de studies naar verkeersemissie op microscopisch niveau staat het rijgedrag centraal. Deze empirische studies zijn er op gericht om met behulp van laboratorium- of praktijktesten de relatie tussen rijgedrag en de emissie van verschillende stoffen, onder invloed van andere verkeerskarakteristieken, te bepalen. Onder de andere verkeerskarakteristieken vallen de kenmerken van de voertuigen (type voertuig en motor, gewicht, historisch gebruik, nabehandeling (katalysator, roetfilter)), omgevingskenmerken (wegdek, hellingshoek van de weg, buiten temperatuur en weersomstandigheden) en overige factoren zoals het rijden met koude motor. Daarnaast is het onderscheid van de verschillende verontreinigende stoffen van belang. De invloed van het rijgedrag en de verkeerskarakteristieken verschilt per stof. De verschillende factoren staan voor een groot deel in relatie met elkaar en zo is ook het rijgedrag deels van de genoemde verkeerskarakteristieken afhankelijk. De afhankelijkheden van het rijgedrag staan weergegeven in *Figuur 5.1*.



Figuur 5.1 Factoren die van invloed zijn op het rijgedrag

In de studies die in dit hoofdstuk besproken worden is onderzocht welke combinaties van rijgedrag en ander verkeerskarakteristieken een significante invloed uitoefenen op het brandstofverbruik en de emissie van verschillende stoffen (De Vlieger, 1997, Maja, 1997, Reiter, 1997, Reynolds & Broderick, 1998, El-Fadel et al., 1999 en Ericsson, 1999). De resultaten van deze onderzoeken worden gebruikt voor het opstellen van emissiefactoren die afhankelijk van de omstandigheden per activiteitsmaat de emissie van een bepaald type voertuig weergeven of het beschrijven van directe relaties tussen verkeerskarakteristieken en emissies.

Binnen de onderzoeken die door het bestuderen van de praktijksituatie de relatie tussen verkeerskarakteristieken en emissie proberen te bepalen, zijn twee type onderzoeken te onderscheiden. Het ene type onderzoek tracht door empirische data (informatie ingewonnen met laboratorium of 'on-road' metingen) te analyseren relaties tussen vooraf opgestelde mogelijke verklarende verkeerskarakteristieke variabelen (zoals het aantal stops en de gemiddelde versnelling) en de waargenomen emissie te vinden. Hierbij wordt ook vaak gebruik gemaakt van

regressieanalyses. Deze analyses zoeken de beste combinatie van verklarende variabelen voor het beschrijven van een bepaalde dataset.

Het andere type onderzoek kent een meer deterministisch karakter en stelt uit emissie- en verkeerskarakteristieke variabelen formules op (veelal gebruikmakend van emissiefactoren) voor het berekenen van de emissie in bepaalde situaties, welke vervolgens met gemeten verkeers- en luchtkwaliteitsdata worden gevalideerd. Hierbij wordt vaak gebruik gemaakt van voorgeschreven emissiefactoren die per type voertuig en onder specifieke condities de emissie per afgelegde afstand aangeven. Deze emissiefactoren worden opgesteld op basis van laboratorium- en veldstudies en hebben een vergelijkbaar empirische achtergrond als het eerste hierboven beschreven onderzoek maar houden doorgaans minder rekening met verkeerskarakteristieken. Aan de hand van een beschrijving van twee voorbeelden van dergelijke onderzoeken worden in *bijlage 8* bij de benaderingen nader toegelicht.

5.2 Relaties tussen rijgedrag en emissie in geanalyseerde studies

Om inzicht te krijgen in de relatie tussen rijgedrag en emissie zijn een aantal onderzoeken die onder de in *paragraaf 5.1* aangegeven typen onderzoeken vallen bestudeerd. De belangrijkste constatering die in deze onderzoeken naar voren komen, worden in deze paragraaf belicht. De geanalyseerde onderzoeken zelf staan beschreven in *bijlage 8*.

5.2.1 Aangetoonde relaties

Algemeen

Voor de emissie voertuigen is naast het snelheidsniveau ook de versnelling en de motorbelasting van belang. Reiter (1997) toont aan dat kleine veranderingen in gemiddelde snelheid en versnellingsgraad de uitstoot van CO (koolmonoxide) en HC (koolwaterstoffen) sterk beïnvloeden. De invloed van versnelling wordt ook vaak indirect aangeduid met het aantal stops en de vertragingstijd per wegvaak (veelal voor kruispunten). De motorbelasting wordt voornamelijk beschreven aan de hand van het vermogen dat van de motor gevraagd wordt en de motorsnelheid (en het schakelgedrag). Beiden staan sterk in relatie met het versnellingsgedrag van de bestuurder.

Verder valt op dat in de formules die voor het berekenen van de emissie gebruik maken van emissiefactoren, onderscheid wordt gemaakt in de emissieprocessen tijdens een warme en een koude motor door de 'koude start' emissie te hanteren. Aangezien veel ritten in de stad beginnen is de 'koude start' emissie zeer relevant voor het stedelijke verkeer. Daarnaast houden deze formules rekening met de snelheid, afgelegde afstand, wegtype en verkeerssituatie en in mindere mate de rijkarakteristiek.

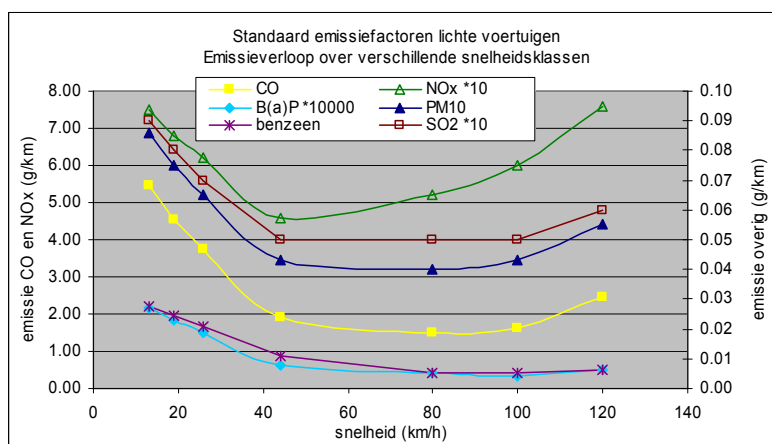
Invloed van snelheidsniveau

De invloed van het snelheidsniveau wordt in de geanalyseerde studies het meeste belicht. Deze invloed is ook het beste te meten en te modelleren. De emissie bij bepaalde snelheidsniveau's speelt een belangrijke rol bij het opstellen van de emissiefactoren. In vele landen is in de loop der jaren een uitgebreide set aan emissiedata verkregen op basis waarvan de emissiefactoren jaarlijks worden opgesteld. In Nederland worden de emissiefactoren vastgesteld door het MNP (Milieu en natuurplanbureau van het RIVM)⁹. Wanneer de emissiefactoren over de verschillende snelheidsklassen worden uitgezet wordt de relatie tussen de snelheid en emissie zichtbaar. De Nederlandse standaard emissiefactoren tonen over de snelheidsklassen hetzelfde verloop als dat in de internationale studie wordt aangetoond. In *Figuur 5.2* en *Figuur 5.3* is dit voor het licht wegverkeer (personen- en bestelauto's) en het middelzwaar wegverkeer te zien. De emissie is hierbij aangegeven in gram per kilometer.

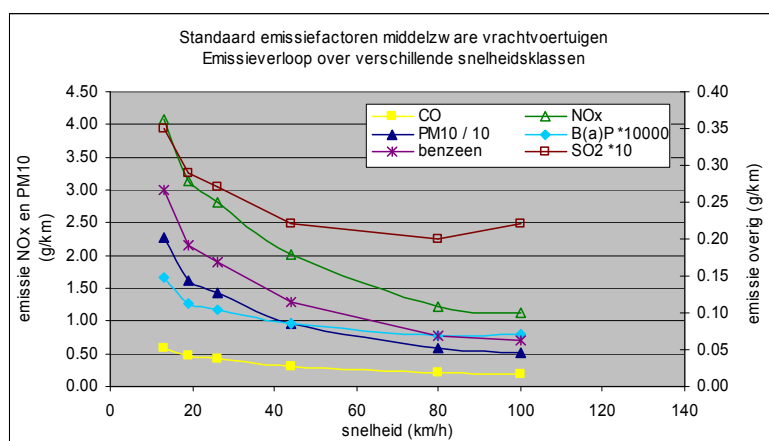
In *Figuur 5.2* is duidelijk te zien dat bij lage en hoge snelheden de emissie het hoogst is en zich een dal bevindt tussen de 40 km/h en 80 km/h. Deze trend geldt voor alle stoffen en is het sterkst voor de stoffen NO_x, PM₁₀ en CO. De piek bij lage snelheid kent twee voornaamste oorzaken. Door de weergave van de emissie in gram per kilometer wordt de emissie (per kilometer) bij lagere snelheden groter doordat een voertuig er langer over doet om een kilometer af te leggen. Daarnaast wordt de emissie toename verklaard doordat de emissiefactoren ook de effecten van verkeerssituaties impliciet

⁹ De standaard emissiefactoren worden jaarlijks vastgesteld. De emissiefactoren worden gebaseerd op een analyse van een uitgebreide dataset van voertuigemissies die in de loop der jaren door TNO opgesteld. De dataset is zowel het resultaat van metingen op de weg als onder laboratoriumcondities. Het vaststellen van de standaard emissiefactoren wordt verder beschreven in *bijlage 4*.

meenemen. De lagere snelheden komen met name voor in verkeerssituaties in stedelijk gebied waar de dynamiek in het verkeer groter is. De toename van emissie bij de hoge snelheden wordt verklaard door de hogere belasting van de motoren bij die snelheden. Bovendien zijn de motoren over het algemeen optimaal afgesteld voor snelheden tussen 40 km/h en 80 km/h.



Figuur 5.2 Verloop standaard emissiefactoren licht wegverkeer over snelheidsklassen



Figuur 5.3 Verloop standaard emissiefactoren middelzwaar vrachtverkeer over snelheidsklassen

Wanneer *Figuur 5.2* en *Figuur 5.3* worden vergeleken, valt op dat het emissieverhogend effect bij hoge snelheden bij het vrachtverkeer niet aanwezig is. Wanneer er rekening mee wordt gehouden dat (met uitzondering van CO) de emissie van het vrachtverkeer hoger is dan van het lichte wegverkeer, kan geconstateerd worden dat het emissie verhogen effect bij de lage snelheidsklassen bij het vrachtverkeer voor de stoffen NO_x en PM₁₀ sterker is dan voor het lichte wegverkeer. Voor de stoffen CO en B(a)P is dit effect bij het vrachtverkeer zwakker.

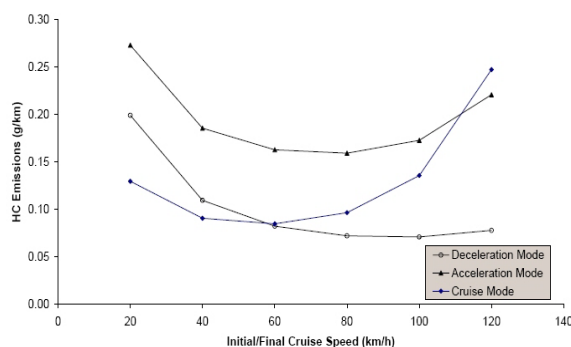
Invloed van snelheidsvariëaties

De meeste studies zijn gericht op de stoffen CO, HC en NO_x. De uitstoot bij bepaalde verkeerskarakteristieken (verschillende maten voor het rijgedrag) is per stof verschillend. Bij intensievere acceleratie van benzinevoertuigen (gepaard met rijk mengsel) wordt de uitstoot van CO en HC hoger en van NO_x lager. De relatie tussen uitstoot door dieselloertuigen en acceleratie toont hetzelfde patroon. Een groot verschil is dat de uitstoot van NO_x door dieselloertuigen hoger is in vergelijking met de uitstoot door benzinevoertuigen. De katalysator houdt de uitstoot van NO_x niet tegen. Het effect dat bij sterke acceleratie de uitstoot van NO_x afneemt is bij dieselloertuigen sterker.

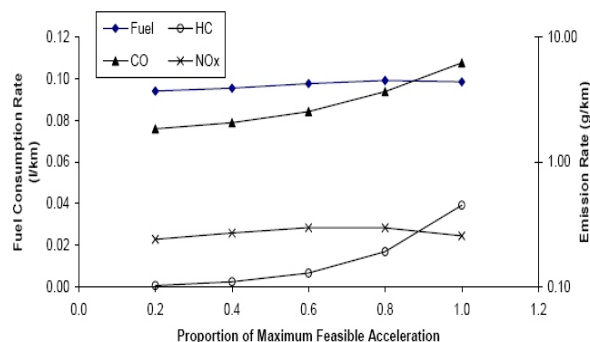
Rakha (2001) vindt in een studie naar de invloed van stops op de emissie van CO, HC en NO_x, dat de extra emissie als gevolg van de introductie van een stop toeneemt wanneer de gemiddelde snelheid op het traject en de gehanteerde versnelling bij de stop toenemen. (Hierbij een versnellingsinterval van 0,2 – 1,0 m/s² en een rijafstand van 4,5 km gehanteerd) De relaties tussen snelheid en emissie en

versnelling en emissie zijn sterk aan elkaar verbonden. Wanneer de versnelling toeneemt, neemt ook de invloed van de snelheid toe. Dit is voor HC in *Figuur 5.4* weergegeven.

Zoals uit *Figuur 5.5* blijkt is de relatie tussen snelheid en emissie voor alle drie de stoffen sterk, de relatie tussen versnelling en emissie alleen voor de stoffen CO en HC. Wel wordt waargenomen dat de totale emissie tijdens een rit (over de vaste afstand) met een lage gemiddelde snelheid (20 km/h) nauwelijks wordt beïnvloed door de intensiteit van de versnelling. In het algemeen wordt gevonden dat wanneer gereden wordt met versnelling de maat voor de emissie twee keer zo groot is dan bij het rijden met constante snelheid rond dezelfde basissnelheid. NO_x vormt hier een uitzondering op. Specifiek voor NO_x blijkt dat bij toename van versnelling bij lage snelheden de emissie nauwelijks toeneemt. En in tegenstelling tot de andere stoffen bij hoge snelheden en een toename van versnelling van boven de 0,8 m/s² de emissie van NO_x zelfs afneemt.



Figuur 5.4 Emissie HC bij constante snelheid, acceleratie en deceleratie, bron Rakha (2001)



Figuur 5.5 Brandstof en emissie bij verschillende acceleratie, bron Rakha (2001)

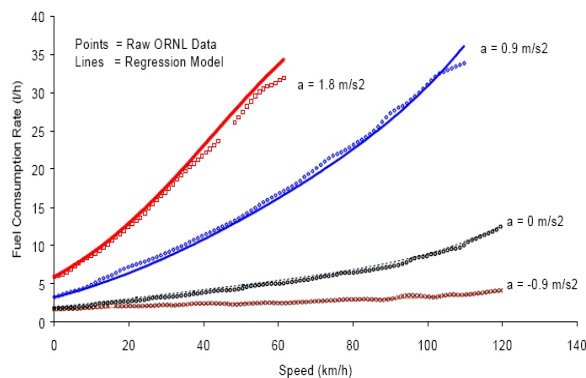
Bij de presentatie van de resultaten moet opgemerkt worden dat de studies die de relatie tussen versnelling en emissie aantonen voornamelijk zijn gericht op een relatief hoog snelheidsinterval (zoals studies van Rakha (2001) en El-Shawarby (2005)). De sterke relatie die tussen versnelling en emissie wordt aangetoond geldt voor het snelheidsinterval 20-120 km/h en is met name sterk bij de hogere snelheden. Het inzicht in de invloed van versnelling onder de 20 km/h is zeer beperkt. De invloed van de sterkte van de versnelling wordt in de rit met de laagste gemiddelde snelheid (20 km/h) niet gevonden. Mogelijk komt dit doordat de gekeken is naar de totale emissie tijdens een rit (die met een lage snelheid en versnelling door het rijden over de vaste afstand langer duurt) en niet naar de emissie tijdens enkel de versnellende beweging.

Dat hier verschillende invloeden zijn te verwachten blijkt uit andere studies (studies van Ericsson (2001) en Gense (2000)) maar ook uit de emissiematen die door het microscopische emissiemodel VT-micro model wordt gebruikt. De maat voor de emissie van HC bij constant snelheid van 20 km/h is wel twee keer zo klein als bij het rijden in versnelling (Rakha (2001)). De lagere snelheden zijn niet verder specifiek onderzocht.

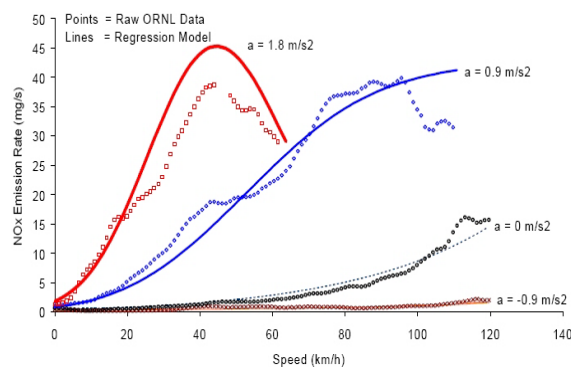
Nam et al (2003) vinden voor CO en HC een bijna tien keer zo hoge en voor NO_x anderhalf keer zo hoge emissie bij agressief rijgedrag in vergelijking met normaal rijgedrag. Dit effect is gebaseerd op 'on-road' emissiemetingen. Daarnaast zijn dezelfde rijpatronen doorgerekend met behulp van VISSIM en het emissiemodel CMEM. De resultaten daarvan tonen dit effect een stuk minder sterk.

In Rakha (2000) blijkt het regressiemodel de relatie tussen versnelling en brandstofverbruik en emissie voortkomend uit ruwe emissiedata goed te volgen. *Figuur 5.6* en *Figuur 5.7* laten de resultaten van zowel de data-analyse als modelbewerkingen zien.

Bij de interpretatie van de figuren moet er op gelet worden dat de emissie zijn weergegeven in aantal milligram per seconde, dus per tijdseenheid en niet per afstandsmaat. Hierdoor zijn de emissie bij de snelheden onder de 20 km/h, in vergelijking met *Figuur 5.2* (met daarin standaard emissiefactoren), vertekenend laag. Het effect dat de voertuigen langzamer rijden en daardoor de emissie over een vaste afstand groter wordt, wordt niet meegenomen.



Figuur 5.6 Relatie tussen brandstof en snelheid en versnelling in regressiemodel en data, bron Rakha (2000)



Figuur 5.7 Relatie tussen emissie NO_x en snelheid en versnelling in regressiemodel en data, bron Rakha (2000)

De figuren geven aan dat bij sterkere versnelling het brandstofverbruik en emissie toeneemt. Voor NO_x (*Figuur 5.7*) is dit effect het sterkst. Bovendien geldt voor NO_x dat bij grote versnelling en relatief hoge snelheid de emissie afneemt. Voor het brandstof verbruik en emissie van HC en CO geldt dat bij hogere snelheid en grotere versnelling de emissie meer dan evenredig toenemen.

5.2.2 Invloeden van rijgedrag- en voertuigkarakteristieken op emissie

Verschillende onderzoeken wijzen uit dat de rijgedragkarakteristieken een belangrijke rol spelen in het emissieproces. De verschillende rijgedrag- en voertuigkarakteristieken die op basis van de gemaakte analyse onderscheiden kunnen worden, staan in *Tabel 5.1* samengevat. Daarbij wordt ingegaan op het effect op de emissie, voor welke stoffen dit effect geldt en onder welke omstandigheden. De sterkte van de relatie zijn uitgedrukt in + en –. Een + geeft een positief verband aan, wat een toename van de emissie bij een toename van de karakteristiek betekent. Wanneer geen bronvermelding staat vermeld bij een relatie betekent dit dat de relatie niet specifiek in een studie is aangetoond. Voor deze relaties zijn op basis van algemene informatie uit de studies schattingen gemaakt.

rijgedrag-karakteristiek	aangetoond effect bij toename karakteristiek							toelichting mbt de omstandigheden waaronder de effecten zijn bepaald
<i>gedrag algemeen beschrijvend</i>	BV	CO	CO ₂	HC	NO _x	PM ₁₀	VOC	
dynamisch/sportief rijgedrag	+	++	+	++	+	+	+	uitvoeren bepaalde routes in werkelijke verkeerssituatie
agressief rijgedrag	+/-	++	+/-	+/-	-	+	+	cumulatieve emissie bij afleggen van vaste afstand
stop in rijpatroon	++	++	+	++	++	+	+	uitvoeren van een stop tijdens rijden met constante snelheid, effect groter bij hogere gemiddelde snelheid
toerental / laat opschakelen	+	+	+	++	++	+	+	toename van verbranding brandstof door toename van ontstekingen in de motor
<i>beschrijvende parameters</i>	BV	CO	CO ₂	HC	NO _x	PM ₁₀	VOC	
gem. snelheid < 20 km/h	--	-	-	-	-	-	-	gemiddelde snelheden op wegvakken in verschillende verkeerssituaties
gem. snelheid >20 en < 60 km/h	-	-	-	-	-	+/-	+/-	gemiddelde snelheden op wegvakken in verschillende verkeerssituaties
gem. snelheid > 60 en < 90 km/h	+/-	+/-	+/-	+/-	+	+/-	+/-	gemiddelde snelheden op wegvakken in verschillende verkeerssituaties
gem. snelheid > 90 km/h	+c	++	+/-a	+/-	+	+/-	+	gemiddelde snelheden op wegvakken in verschillende verkeerssituaties
aantal acceleraties	+	+	+	+	+	+	+	uitvoeren van versnelling over bepaalde afstand effect wordt versterkt bij grotere acceleratie
acceleratiesterkte	+/-	++	++	++	-	+	+	versnelling rond maximale acceleratie, betere benutting van het motorvermogen
deceleratiesterkte	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	uitvoeren van vertraging over bepaalde afstand
voertuig karakteristieken	aangetoond effect bij toename karakteristiek							toelichting mbt de omstandigheden waaronder de effecten zijn bepaald
	BV	CO	CO ₂	HC	NO _x	PM ₁₀	VOC	
gewicht	+	++	+	++	-	+	+	betere benutting van het motorvermogen bij toename gewicht (gelijk motorvermogen)
cilindervolume	+	+	+	+	+	+	+	toename motorvermogen, verbruik per kilometer groter
omvang voertuig	+	+	+	+	+	+	+	grotere voertuigen meer weerstand
koude start	++	++	+	++	+/-	+	++	meer emissie bij lagere motortemperatuur, voornamelijk in stedelijke verkeerssituatie

BV = brandstofverbruik, CO = koolstofmonoxide, CO₂ = koolstofdioxide, HC = koolwaterstoffen, NO_x = stikstofoxide, PM₁₀ = fijnstof, VOC = vluchtige organische stoffen

Effect op emissie: -- relatief sterke afname, - relatief gemiddelde afname, +/- relatief weinig invloed, + relatief gemiddelde toename, ++ relatief sterke toename

Bronverwijzing:

a) El-Shawarby, 2005, b) De Vlieger, 1997 en 2000, c) Rakha, 2000 en 2001, d) Ericsson, 2001, e) Gense, 2000, f) Reynolds, 2000 g) Nam, 2003

Tabel 5.1 Voor de emissie verklarende rijgedragkarakteristieken

Voor de relaties is het aantal gram stof per kilometer als emissie maat gebruikt. Dit is een belangrijke verklaring voor het negatieve verband tussen de emissie en de gemiddelde snelheid onder de 20 km/h. De verhoudingen aangegeven met + en – tussen de resultaten van de verschillende studies moeten met voorzichtigheid geïnterpreteerd worden aangezien de resultaten van de studie in verschillende situaties verkregen zijn. Echter aangezien, zoals uit de bronvermeldingen blijkt, de resultaten uit verschillende studie elkaar ondersteunen, kunnen de gepresenteerde relatie goed als indicatie gebruikt worden.

- Dynamiek in rijgedrag met name invloed op HC, CO, en NO_x
- Acceleratiesterkte heeft sterke invloed op de emissie
- Acceleratiesterkte nauwelijks invloed op brandstofverbruik
- Bij uitvoeren van stop NO_x emissie duidelijk groter dan bij rijden met constante snelheid, echter bij sterke acceleratie neemt uitstoot NO_x af
- Gemiddelde snelheid heeft invloed op brandstofverbruik en emissie onder 60 km/h en boven 90 km/h
- Deceleratiesterkte heeft nauwelijks invloed op emissie
- Koude start heeft sterke invloed op brandstofverbruik en emissie

Als laatste moet opgemerkt worden dat alle studies gericht zijn op personenauto's en dat geen expliciet onderscheid wordt gemaakt tussen benzine- en dieselauto's. De relaties voor de dieselpersonenauto's zijn impliciet in de tabel meegenomen. De verwachting is dat de relaties voor het vrachtverkeer in ieder geval voor PM₁₀ en NO_x sterker zullen zijn aangezien dieselmotoren een substantieel hogere emissie van PM₁₀ en NO_x hebben en vrachtverkeer bovendien een groter gewicht en meer motorvermogen hebben. Deze verschillen volgen uit *Tabel 5.2* waarin een vergelijking tussen de mate van uitstoot door de verschillende voertuigtypen per luchtverontreinigende stof staat weergegeven. Deze tabel is gebaseerd op bovenstaande analyse en de onderzoeksresultaten gepresenteerd op de website van VITO (<http://www.emis.vito.be>).

	Personenauto		Vrachtwagen
	Benzine	Diesel	Diesel
Brandstofverbruik	+	+	++
Stikstofoxide (NO _x)	+/-	++	++
Fijn stof (PM ₁₀)	+/-	++	++
Koolwaterstoffen (HC)	+	+/-	+
Koolstofmonoxide (CO)	+	+/-	+
Koolstofdioxide (CO ₂)	+	+	++
+/- relatief weinig uitstoot, + relatief gemiddelde uitstoot, ++ relatief veel uitstoot			

Tabel 5.2 Relatieve maat voor uitstoot door verschillende voertuigtypen per stof

Uit *Tabel 5.2* komt onder anderen naar voren dat de benzine- en dieselauto's voor een deel een tegenstrijdige emissie-uitstoot hebben en dat de uitstoot van PM₁₀ en NO_x door een vrachtwagen groter is dan voor een personenauto.

5.2.3 Overige invloeden

De factoren in *Tabel 5.1* zijn bepalend voor de emissie tijdens het rijpatroon van een bepaald voertuig. Dit betekent dat in een bepaalde netwerksituatie waarvoor de totale verkeersemissie bepaald moet worden, bekend moet zijn welke rijpatronen door wat voor type voertuigen in de situatie worden uitgevoerd. Van belang is wat de verhouding van motortypen (voornamelijk diesel en benzine) is. Met betrekking tot het verschil tussen diesel- en benzineauto's moet aangegeven worden dat de uitstoot van NO_x en PM₁₀ bij dieselvoertuigen groter zijn. Maar daar staat tegenover dat het aandeel benzinevoertuigen op de meeste verkeerslocatie groter is.

Ook andere eigenschappen van de voertuigen kunnen bepalend zijn. Voorbeelden hiervan zijn het gereden aantal kilometers vanaf vertrek (aanwezigheid koude motoren), het aandeel voertuigen met katalysator en roetfilter en de leeftijd van de voertuigen is. Deze informatie is in de praktijk echter lastig in te winnen. Daarnaast kunnen ook bepaalde omgevingskenmerken doorslaggevend zijn. Voorbeelden hiervan zijn de buitentemperatuur (invloed koude motor), de hellingshoek van de weg, de status van het wegdek (direct toename rijstof en indirect invloed via rijgedrag).

5.3 Reflectie op onderzoek naar relatie rijgedrag en emissie

Het voordeel van microscopische modellen is dat een aantal zeer invloedrijke karakteristieken van het individueel rijgedrag en specifieke voertuigeigenschappen gemodelleerd kunnen worden. Voor het bepalen van de werkelijke relaties tussen deze factoren en de emissie en het valideren van de modellen zijn gedetailleerde voertuigspecifieke metingen nodig. Hiervoor worden zowel laboratoriumtest als 'on-road' metingen gebruikt. 'On-road' metingen bestaan uit ritten die in werkelijke verkeerssituaties worden uitgevoerd en waarbij de microscopische verkeerskarakteristieken tegelijk met de emissie wordt gemeten. De resultaten van deze metingen worden veelal grafisch geanalyseerd. De verschillende parameters die de verkeerskarakteristieken beschrijven worden uitgezet tegen de gemeten emissie. Dit vergroot weliswaar het inzicht in de relatie maar leidt nog niet tot het opstellen van modelrelaties.

De in de literatuur gepresenteerde microscopische emissiemodellen presenteren de invloed van snelheid en versnelling op emissie met name bij hoge snelheden en voor een beperkt aantal snelheidscategorieën. Daarmee worden wel trends zichtbaar maar kunnen geen relaties worden gedefinieerd. De relatie tussen microscopische verkeerskarakteristieken en de emissie bij lage snelheden worden in beperkte mate gemeten en geanalyseerd in de bestudeerde studies. Met het oog op de luchtkwaliteitsknelpunten is het juist interessant meer te weten te komen over de invloed van snelheidsvariëaties bij lage snelheden. De luchtkwaliteitsknelpunten komen namelijk met name voor op locaties in de stedelijke omgeving waar lage snelheden voorkomen. Opvallend is dat bij onderzoek naar rijgedrag minder aandacht voor het vergelijken van verschillende voertuigtypen. Vaak worden metingen met één voertuigtype of berekeningen of metingen voor gehele wagenpark uitgevoerd.

Het inwinnen van uitgebreide datasets met behulp van 'on-road' metingen om vervolgens op basis van regressieanalyses wiskundige relatie te bepalen wordt op dit moment veelal gezien als de meest vooraanstaande methode voor het bepalen van de relatie tussen rijgedrag en emissie. Echter aangezien de metingen sterk afhankelijk zijn van verkeerssituaties en van de weer- en omgevingsomstandigheden zijn veel kostbare metingen nodig om betrouwbare resultaten te verkrijgen.

5.4 Samenvatting

Het aanpakken van de stedelijke luchtkwaliteitsknelpunten vraagt, gezien de voortdurende fluctuaties in de verkeerssamenstelling en verkeersafwikkeling en de sterke relatie tussen de combinatie van rijgedrag en voertuigkarakteristieken en emissie, om nauwkeurige emissiemodellen die inzicht geven in de luchtkwaliteitsbelasting van het verkeer gedifferentieerd naar tijd en plaats. Microscopische modellen zijn in staat om de voertuigbewegingen met parameters die de emissie het meest beïnvloeden (zoals snelheid en versnelling) in detail te beschrijven. Met het beschrijven van de individuele voertuig- en rijpatroonkarakteristieken kunnen luchtkwaliteitsknelpunten en de invloed van verkeersmaatregelen daarop nauwkeuriger in tijd en ruimte bepaald worden.

Voor het bepalen van de emissie worden geschikte relaties gezocht voor het beschrijven van de mate waarin de emissie afhankelijk is van de snelheid, snelheidsveranderingen en stops van de voertuigen. Voor de emissie is bepalend vanuit welke snelheid wordt versneld (of afgeremd), wat de intensiteit van de snelheidsverandering (gebruik van het motorvermogen) is, en in welke versnelling dit wordt gedaan. De emissie die vrijkomt bij een stop van een voertuig staat in relatie met de versnelling en vertraging van het voertuig en de duur van de stop.

Een nadeel van de nauwkeurige beschrijving van de verkeersafwikkeling en rijpatronen is dat de modellen ingewikkeld en minder doorzichtig en universeel bruikbaar worden. Veel inspanning is nodig voor het ontwerp, kalibratie en toepassing van de modellen.

6 OPZET VAN DE VERSNEL-REKENMETHODE

In de hierna volgende hoofdstukken staat de modelstudie die binnen het onderzoek is uitgevoerd, centraal. De modelstudie omvat de ontwikkeling van de VERSNEL-rekenmethode (VEReenvoudigd SNELheidspatroon) en de toepassing daarvan in een case studie. De modelstudie is gericht op het verkrijgen van meer inzicht in de invloed van het rijgedrag- en voertuigkarakteristieken op de emissie van voertuigen en de invloed dat ITS-maatregelen daar op uit kunnen oefenen. In de modelstudie zal ook aandacht zijn voor de fouten en onzekerheden die in de uitkomsten van de VERSNEL-rekenmethode als gevolg van onnauwkeurigheden in de data en de bewerking daarvan voorkomen. Op basis van deze kennis kan bepaald worden wat de waarde is van de wijze waarop de emissieberekeningen met de rekenmethode wordt aangepakt, welke verbeteringen hierbij nog gemaakt kunnen worden en hoe de verkregen resultaten zich verhouden ten opzichte van de prestaties van alternatieve methoden. In dit hoofdstuk wordt allereerst ingegaan op de structuur van de VERSNEL-rekenmethode. Vervolgens wordt ingegaan op de relaties tussen het voertuig- en rijgedragkarakteristieken en de emissie die door het model worden gerepresenteerd. Het hoofdstuk wordt afgesloten met een toets van de rekenmethode.

6.1 De VERSNEL-rekenmethode in grote lijnen

De VERSNEL-rekenmethode is opgezet om afhankelijk van de individuele rijpatronen van voertuigen de emissie in een verkeersnetwerk te bepalen. Door het rekenen met een VEReenvoudigd SNELheidspatroon van individuele voertuigen wordt de invloed van het rijgedrag meegenomen en kan met de methode het effect van ITS-maatregelen op luchtkwaliteitsknelpunten bepaald worden. De VERSNEL-rekenmethode bestaat uit drie elementen.

1. Het op basis van emissiedata bepalen van de relatie tussen de rijpatronen en de voertuigspecifieke emissie. Hiervoor is gebruik gemaakt van het microscopische voertuigsimulatiemodel ADVISOR.
2. Het simuleren van de individuele rijpatronen. De rijpatronen bestaan uit het snelheidsverloop over de tijd. De simulatie van de rijpatronen vindt plaats binnen het microscopische verkeersmodel VISSIM.
3. Het koppelen van de gesimuleerde rijpatronen aan de voertuigspecifieke emissiedata. Voor deze koppeling is een script geschreven met de computersoftware Matlab, een omgeving voor wiskundige analyse en simulaties. De berekende emissie kunnen geaggregeerd naar voertuigklasse, tijd en wegvakken weergegeven worden.

De elementen staan weergegeven in figuur *Figuur 6.1*.



Figuur 6.1 De drie elementen van de VERSNEL-rekenmethode

6.2 Inzet van bestaande modellen

De VERSNEL-rekenmethode maakt gebruik van twee modellen. Met het microscopische verkeerssimulatiemodel VISSIM wordt bepaald welke voertuigen welke rijpatronen binnen een te onderzoeken verkeerssituatie hebben afgelegd. Daarnaast moet bekend zijn welke emissie (de voorgekomen) type voertuigen kennen bij het uitvoeren van (de voorgekomen) type rijpatronen. Voor het verkrijgen van de emissiekarakteristieken per type voertuig is gebruik gemaakt van het voertuigsimulatiemodel ADVISOR¹⁰.

Bij de keuze voor deze combinatie van modellen heeft de volgende overweging een belangrijke rol gespeeld. Rijgedragparameters als schakelgedrag, toerental van de motor en gevraagde motorvermogen en voertuigparameters als temperatuur van de motor, katalysator onderhoud,

¹⁰ Tijdens het onderzoek zijn de volgende versies van de modellen gebruikt: VISSIM 4.10.12.0 en ADVISOR 3.1.

bandenspanning en luchtweerstand zijn niet in het gebruikte VISSIM model (zonder de additionele emissiemodule) beschikbaar. Dit betekent dat in VISSIM de invloed van rijgedrag op emissie weergegeven moet worden met relaties zonder parameters die het motorgebruik beschrijven. Dit betekent dat de VISSIM output niet direct gekoppeld kan worden aan emissie karakteristieken van motoren zoals weergegeven in motorkenvelden. De emissie wordt daarin uitgezet tegen het benodigde koppel en het aantal toeren. Deze relaties worden wel uitgebreid gesimuleerd het voertuigsimulatie model ADVISOR.

6.2.1 VISSIM

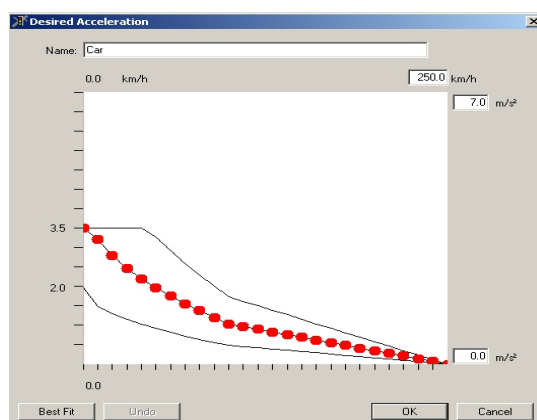
VISSIM is als microscopisch verkeersmodel geschikt om het individuele rijgedrag en de werking van ITS-maatregelen te modelleren. Het model simuleert op basis van een gegeven netwerkbelasting (herkomst-bestemmingsmatrices) en een random selectie van voertuig- en rijgedragkarakteristieken individuele rijpatronen in een gemodelleerd verkeersnetwerk. In VISSIM kunnen zowel starre als verkeersafhankelijke regelingen worden gemodelleerd. Het model beschikt over een module waarin de regelstrategieën geschreven kunnen worden. Daarnaast biedt VISSIM mogelijkheden voor het simuleren van maatregelen die het individuele rijgedrag beïnvloeden.

Voertuig- en rijgedragkarakteristieken in VISSIM

Het gesimuleerde rijgedrag van de individuele voertuigen in VISSIM wordt bepaald aan de hand van het voertuigvolgmodel van Wiedemann (1974). Het voertuigvolgmodel werkt in VISSIM met verschillende distributies die het rijgedrag en het voertuig karakteriseren.

In VISSIM kunnen verschillende voertuigtypen gedefinieerd worden. De voertuigtypen worden gedefinieerd aan de hand van de omvang van de voertuigen. Daarnaast kan per voertuigtype apart distributies voor het gewicht van de auto en de motorvermogen gekozen worden. Deze distributies beschrijven de samenstelling van het wagenpark.

VISSIM maakt gebruik van de zogenaamde Driving Behavior Parameter Set. Voor verschillende parameters (rijgedrag karakteristieken) kent VISSIM distributiefunctie van waaruit voor ieder voertuig dat op het netwerk komt, een parameterwaarde random wordt gekozen. Belangrijke variabele parameters zijn de gewenste snelheid en de gewenste versnelling. Het model bevat distributies voor de maximale en gewenste snelheid en de maximale en gewenste acceleratie en deceleratie van het voertuig. Voor ieder voertuig dat op het netwerk wordt gemodelleerd wordt een gewenste snelheid en versnelling en de maximale snelheid en versnelling getrokken uit voertuigtype specifieke distributies. De distributies geven de verdeling van de mogelijk parameterwaarden, binnen een bepaalde bandbreedte, weer. Volgens de snelheidsdistributies krijgen de meeste voertuigen een snelheid rond het gemiddelde en wordt het aandeel voertuigen wordt richting lagere en hogere snelheden kleiner. In *Figuur 6.2* is de distributie voor de versnelling als voorbeeld weergegeven. Volgens de versnellingsdistributies komen bij lagere snelheden hogere acceleratie voor.



Figuur 6.2 Distributie voor gewenste versnelling in VISSIM

Uiteindelijk wordt tijdens de simulatie het voertuigvolggedrag bepaald door de minimale volgafstand, de aanpassing aan snelheidsverschillen en de behoefte en mogelijk tot inhalen die er op basis van de toegedeeld gekregen gewenste en maximale snelheid en versnelling is. VISSIM kent tien parameters (CC0 t/m CC9) waarmee het voertuigvolggedrag gekalibreerd is.

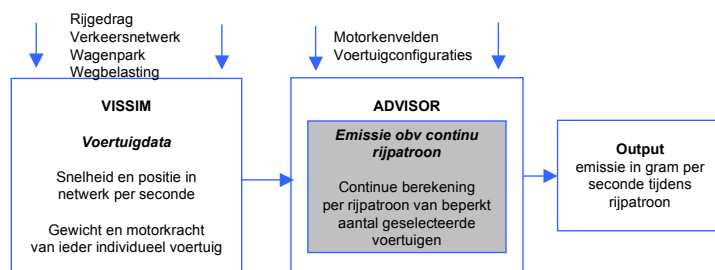
6.2.2 ADVISOR

ADVISOR (ADvanced VehIcle SimulatOR¹¹) is een softwarepakket waarmee voor gedetailleerd uitgewerkte voertuigen het brandstofverbruik en emissie ritspecifiek gesimuleerd kunnen worden. Bij de keuze voor het gebruik van ADVISOR hebben een aantal eigenschappen een doorslaggevende rol gespeeld.

- Het model bevat onbewerkte voertuigspecifieke emissiedata van verschillende typen voertuigen. Met onbewerkt wordt bedoeld dat de emissiedata voor een groot aantal combinatie van toerental en gevraagd motorvermogen beschikbaar zijn en bijvoorbeeld niet al vertaald is naar emissiefactoren per snelheidsklasse. De emissiedata in ADVISOR zijn met laboratoriumtests verkregen. Met behulp van verschillende drive cycles zijn door het NREL (Amerika) motorkenvelden samengesteld. De emissiedata worden hierin afhankelijk van het toerental en het gevraagde motorvermogen weergegeven.
- ADVISOR biedt de mogelijkheid om volledige rijpatronen in te voeren en daarvoor per seconde de emissie te berekenen.
- ADVISOR is een 'power based' model (zie hoofdstuk 5 voor meer informatie over dit type model). In ADVISOR wordt het volledige aandrijvingsproces dat voor het voortbewegen van de auto zorgt (van de krachtopwekking in de motor tot de rotatie van de wielen) gemodelleerd. Dit betekent dat het transient karakter¹² in het snelheidsverloop en de invloed daarvan op emissie behouden blijft.
- ADVISOR is een open source model en werkt onder het toegankelijke Matlab.
- Het is mogelijk om binnen ADVISOR zelf voertuigeigenschappen en rijpatronen te definiëren.
- Hoewel de emissiedata een Amerikaanse achtergrond hebben, zijn ook gegevens van Europese voertuigmodellen beschikbaar. Dit is relevant aangezien gemiddeld genomen de omvang en het beschikbare motorvermogen van Amerikaanse voertuigen substantieel groter is.

6.3 Opzet van de VERSNEL-rekenmethode

In deze paragraaf wordt aangegeven hoe binnen de VERSNEL-rekenmethode gebruik wordt gemaakt van de bestaande modellen. Gebruikmakend van de hierboven besproken modellen liggen twee opzetten voor de rekenmethode voor de hand. De eerste opzet, weergegeven in *Figuur 6.3*, kent een directe koppeling tussen het verkeerssimulatiemodel VISSIM en het voertuigsimulatiemodel ADVISOR.



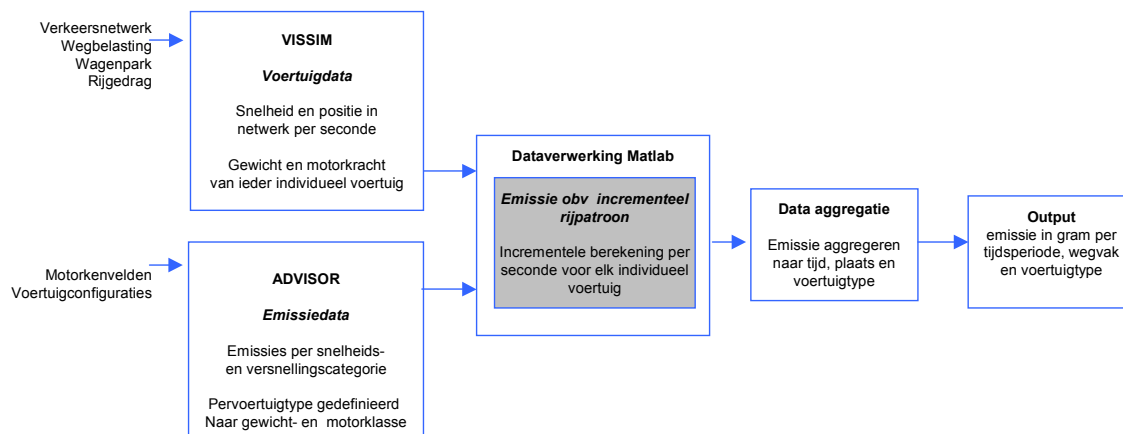
Figuur 6.3 Opzet van de VERSNEL-rekenmethode met doorreken van continue rijpatronen

In deze opzet worden de rijpatronen als geheel ingevoerd en gesimuleerd in ADVISOR. Deze koppeling is handmatig voor een enkel rijpatroon goed uit te voeren. De structuren van beide modellen zijn echter niet geschikt om deze koppeling te automatiseren zodat de rekenmethode ingezet zou kunnen worden om een groot aantal rijpatronen door te rekenen, hetgeen nodig is wanneer de emissie voor een geheel netwerk bepaald moet worden. De VERSNEL-rekenmethode kent de koppeling dan ook een semi-automatische opzet. De opzet uit *Figuur 6.3* is gebruikt om de kwaliteit van de semi-automatische opzet te beoordelen (zie hiervoor *paragraaf 6.6*).

¹¹ (ontwikkeld door AVL (Duitsland) een bedrijf voor de ontwikkeling van aandrijvingssystemen en verbrandingsmotoren) Een groot deel van het model is gericht op het testen en optimaliseren van het energieverbruik van hybride of volledige elektrische voertuigmodellen.

¹² Het transient karakter bestaat uit de invloed dat het rijgedrag tijdens het reeds uitgevoerde deel van het rijpatroon heeft op de toekomstige prestatie van het voertuig. Hierbij moet gedacht worden aan invloeden als een tijdelijk verhoging of verlaging in de temperatuur van de motor door een recent uitgevoerde acceleratie respectievelijk stop of de positie van de versnelling die voor een deel afhankelijk is van het recent uitgevoerd manoeuvres. Het aandrijvingsstelsel, temperatuurverloop en uitlaatsysteem van het voertuig een zekere vertraging.

Om het doorrekenen van meerdere rijpatronen te kunnen automatiseren is voor een opzet gekozen waarbij geen directe link bestaat tussen VISSIM en ADVISOR. In de rekenmethode wordt, zoals al is aangegeven in *paragraaf 6.1*, de daadwerkelijke koppeling tussen de beide modellen gerealiseerd in Matlab. In *Figuur 6.4* is de structuur van de rekenmethode weergegeven. In de blokken is aangegeven in welke vorm de data rijpatroon- en emissiedata wordt gebruikt om tot de berekening van voertuigemissies te komen.



Figuur 6.4 Input, verwerking en output binnen de VERSNEL-rekenmethode

Door middel van simulatie in VISSIM en ADVISOR worden respectievelijk een verzameling rijpatronen voor een specifieke onderzoeksomgeving en emissietabellen met voertuigspecifieke emissiewaarden per snelheids- en versnellingscategorieën gegenereerd. In Matlab worden de rijpatronen geanalyseerd waarbij op basis van de categorie-indeling per seconden de juiste emissiewaarde wordt bepaald. Voor ieder rijpatroon wordt zo voor elke seconde de emissie bepaald. Vervolgens kunnen de emissie zodanig over tijd, plaats en voertuigtype geaggregeerd worden dat onafhankelijk van de rijpatronen de emissies op een bepaald tijdstip, voor een bepaalde locatie in het netwerk en per voertuigtype uitgelezen kan worden. In de volgende paragrafen zal ingegaan worden op de wijze waarop de individuele rijpatronen in VISSIM worden gesimuleerd en opgeslagen voor verdere verwerking. Daarnaast wordt beschreven op welke manier de emissiedata die beschikbaar zijn in ADVISOR omgezet is naar bruikbare gecategoriseerde emissiewaarden.

6.3.1 Definitie van voertuigcategorieën

In de rekenmethode wordt onderscheid gemaakt tussen de voertuigtypen zoals vermeld *Tabel 6.1*.

Voertuigklassen in de rekenmethode (modeltypen)				
Personenvoertuigen benzine				
Modeltype	Omschrijving	Voertuigspecificaties	Gewicht (kg)	Model voorbeeld
1	Kleine middenklasse	Lichte motor (+/- 45kW / 60pk), standaard gewicht (gemiddeld)	800-1200	Renault Twingo / Volkswagen Fox
2	Standaard middenklasse	Lichte motor (+/- 45kW / 60pk), bovengemiddeld gewicht	1200-1600	Renault Clio / Volkswagen Golf
3	Standaard middenklasse	Gemiddelde motorsterkte (+/- 65 kW / 85 pk), standaard gewicht (gemiddeld)	800-1200	Renault Clio / Volkswagen Golf
4	Grote middenklasse	Gemiddelde motorsterkte (+/- 65 kW / 85 pk), bovengemiddeld gewicht	1200-1600	Renault Megane / Volkswagen Golf Plus
5	Bovenklasse	Gemiddelde motorsterkte (+/- 65 kW / 85 pk), zwaar gewicht	1600+	Renault Laguna / Volkswagen Passat
11	Grote middenklasse	Bovengemiddelde motorsterkte (+/- 110 kW 150 pk), bovengemiddeld gewicht	1200-1600	Renault Megane / Volkswagen Golf Plus
12	Bovenklasse	Bovengemiddelde motorsterkte (+/- 110 kW 150 pk), zwaar gewicht	1600+	Renault Laguna / Volkswagen Passat
Personenvoertuigen diesel				
Modeltype	Omschrijving	Voertuigspecificaties	Gewicht	Model voorbeeld
6	Kleine middenklasse	Lichte motor (+/- 50kW / 70pk), standaard gewicht (gemiddeld)	800-1200	Renault Twingo / Volkswagen Fox
7	Standaard middenklasse	Lichte motor (+/- 50kW / 70pk), bovengemiddeld gewicht	1200-1600	Renault Clio / Volkswagen Golf
8	Standaard middenklasse	Gemiddelde motorsterkte (+/- 70 kW / 95 pk), standaard gewicht (gemiddeld)	800-1200	Renault Clio / Volkswagen Golf
9	Grote middenklasse	Gemiddelde motorsterkte (+/- 70 kW / 95 pk), bovengemiddeld gewicht	1200-1600	Renault Megane / Volkswagen Golf Plus
10	Bovenklasse	Gemiddelde motorsterkte (+/- 70 kW / 95 pk), zwaar gewicht	1600+	Renault Laguna / Volkswagen Passat
13	Grote middenklasse	Bovengemiddelde motorsterkte (+/- 110 kW 150 pk), bovengemiddeld gewicht	1200-1600	Renault Megane / Volkswagen Golf Plus
14	Bovenklasse	Bovengemiddelde motorsterkte (+/- 110 kW 150 pk), zwaar gewicht	1600+	Renault Laguna / Volkswagen Passat
Vrachtoertuigen (diesel)				
Modeltype	Omschrijving	Voertuigspecificaties	Gewicht	Model voorbeeld
15	Licht vrachtoertuigen	Gemiddelde motorsterkte (+/- 205kW / 280 pk), ledig gewicht - lichte lading	~10000	Bestelbusjes / lichtste vrachtwagens
16	Middelzware vrachtoertuigen	Gemiddelde motorsterkte (+/- 205kW / 280 pk), standaard lading	10000-20000	Kleine vrachtwagens, stadsdistributie
17	Zware vrachtoertuigen	Gemiddelde motorsterkte (+/- 205kW / 280 pk), zware lading	20000-30000	Transportvrachtwagens / truck-oplegger
18	Extra zware vrachtoertuigen	Gemiddelde motorsterkte (+/- 205kW / 280 pk), extra zware lading	30000+	Zware truck-oplegger combinaties

Tabel 6.1 Binnen de VERSNEL-rekenmethode gedefinieerde voertuigcategorieën

De typen in de grijze balken van *Tabel 6.1* worden beschouwd als gemiddelde voertuigtypen waarvan in de werkelijkheid de meeste voertuigen op de weg voorkomen. De toetsing van het model is gebaseerd op de rijpatronen van deze voertuigen (zie *paragraaf 6.6*)

6.3.2 De gesimuleerde rijpatronen in VISSIM

In VISSIM worden rijpatronen per voertuig gemodelleerd en opgeslagen. De snelheid wordt gedurende de simulatie voor elk individueel voertuig per seconde weggeschreven. Daarnaast geeft VISSIM informatie over het type voertuig en de daaraan gerelateerd massa en motorvermogen van het voertuig.

Om de informatie in de uitvoer van VISSIM zoveel mogelijk te behouden, worden alle rijpatronen tijdens de simulatie weggeschreven en is er niet voor gekozen om een geselecteerd aantal voertuigen te volgen. Dit is nodig om inzicht te krijgen in de variatie in rijpatronen. De variatie moet behouden blijven om te bepalen in welke mate hierdoor de plaatselijke emissie wordt beïnvloedt. De rijpatronen verschillen namelijk over de tijd en per voertuig. Zo zullen ook de wachtrijen in lengte en locatie wijzigen. Dit maakt het lastig om enkel rijpatronen te selecteren en deze als standaard te gebruiken voor alle voertuigen. Ook het opstellen van een gemiddeld rijpatroon voor de verkeerssituatie zou de nauwkeurigheid van de microscopische benadering te niet doen.

6.3.3 Bepalen van emissiewaarden met ADVISOR

De emissiewaarden bij bepaalde combinatie van snelheid en versnelling zijn voor ieder voertuigtype apart bepaald door gebruik te maken van een aantal gedefinieerde 'standaard' rijpatronen.

Voertuigtypen en emissiedata

Hoewel het aantal voertuigtypen waarvan in ADVISOR emissiedata zijn opgenomen enigszins beperkt is, kan de samenstelling van het wagenpark behoorlijk gedekt worden. De emissiedata van de voertuigen zijn verkregen met laboratoriumtests uitgevoerd door het nationale onderzoekscentrum ORNL in Amerika. De data is statistische motorbelasting ingewonnen en niet systematisch gevalideerd met praktijkproeven. De voertuigtypen met gedefinieerd gewicht en omvang staan weergegeven in tabel.

Gebruikte voertuigtypen ADVISOR en modeltype			
Personenvoertuigen benzine			
<i>Motorkracht</i>	<i>Gewicht</i>	<i>Omvang</i>	<i>Modeltype</i>
41 kW (55 pk)	1000 kg	gemiddeld	1
	1400 kg	gemiddeld	2
63 kW (85 pk)	1000 kg	gemiddeld	3
	1400 kg	gemiddeld	4
	1800 kg	groot	5
102 kW (140 pk)	1400 kg	gemiddeld	11
	1800 kg	groot	12
Personenvoertuigen diesel			
<i>Motorkracht</i>	<i>Gewicht</i>	<i>Omvang</i>	<i>Modeltype</i>
60 kW (80 pk)	1000 kg	gemiddeld	6
	1400 kg	gemiddeld	7
67 kW (90 pk)	1000 kg	gemiddeld	8
	1400 kg	gemiddeld	9
	1800 kg	groot	10
92 kW (125 pk)	1400 kg	gemiddeld	13
	1800 kg	groot	14
Vrachtoertuigen (diesel)			
<i>Motorkracht</i>	<i>Gewicht</i>	<i>Omvang</i>	<i>Modeltype</i>
205kW (280 pk)	5000 kg	standaard	15
	15000 kg	standaard	16
	25000 kg	standaard	17
	35000 kg	standaard	18

Tabel 6.2 Voertuigtypen voor het uitvoeren van standaardrijpatronen in ADVISOR

Een belangrijke beperking is dat maar van één type vrachtwagenmotor (dus één motorsterkte; 205 kW gelijk aan 280pk) de emissiedata beschikbaar zijn. Voor standaard vrachtwagens is 280 pk een

redelijk gemiddeld vermogen, maar voor de truck oplegger combinatie is dit wat aan de lage kant. De grootste trucks hebben een vermogen van maximaal tussen de 450 en 500 pk.

Standaardrijpatronen en categorieën

De standaardrijpatronen worden onderscheiden op basis van een snelheid en versnelling. Er worden vier basis situaties onderscheiden: stilstaan, optrekken, afremmen en rijden met constante snelheid. De laatste drie fasen zijn onderverdeeld in subfasen naar niveau van snelheid en versnelling. Hiervoor zijn categorieën opgesteld. Per stof en voertuigklasse worden voor elke fase emissiewaarden opgesteld. De emissiewaarden worden weergegeven in aantal gram emissie per seconde.

Per voertuigtype uitgevoerde standaardrijpatronen ADVISOR	
Constante snelheidspatronen	Variabele snelheidspatronen
rijden met ... km/h	accelereren/decelereren met ... m/s ²
15, 30, 50, 60, 70, 80, 100 en 120	-3, -2, -1, -0.5, 0.5, 1, 2 en 3

Tabel 6.3 Overzicht van de standaardrijpatronen voor het genereren van emissiewaarden met ADVISOR

De standaardrijpatronen (Tabel 6.3) zijn samengesteld op basis van de geldende maximumsnelheden in de verschillende verkeerssituaties in Nederland. In de praktijk zal het niveau van de constante snelheid rond de maximum snelheden liggen. Daarnaast zullen ook de meeste optrekkende en afremmende bewegingen vanaf deze snelheidsniveaus plaatsvinden.

De invloed van het schakelgedrag op de emissie is bij de rijpatronen met versnelling groot. Dit blijkt uit de verschillende uitgevoerde simulaties met ADVISOR. In werkelijkheid zal het schakelen bij acceleratie niet voor ieder voertuig in dezelfde categorie vallen. Uitschieters door schakel gedrag komen met name bij lagere snelheden voor. Om de invloed van het schakelen niet voor te grote verschillen in emissiewaarden tussen de categorieën te laten zorgen, zijn voor de acceleratiepatronen vanuit lagere constante snelheden geen kleinere intervallen van categorieën gekozen dan die op basis van de constante rijpatronen zijn vastgesteld. Hoe ruimer de categorieën hoe meer de uitschieters worden gemiddeld.

Voor deze brede opzet van standaardrijpatronen is gekozen omdat per voertuigtype zal verschillen waar ten opzichte van de snelheids- en versnellingscategorieën de grootste variaties in de emissie optreden, en dit niet van te voren bekend is.

De emissies die ADVISOR tijdens het uitvoeren van de standaardrijpatronen bepaalt, zijn omgezet naar gemiddelde emissiewaarden voor de gedefinieerde rijpatrooncategorieën. Tijdens het uitvoeren van rijpatronen in ADVISOR wordt de emissie van de verontreinigende stoffen en het brandstofverbruik per seconde weggeschreven. Voor de constante snelheden bestaan de emissiewaarden uit de tijdens het rijpatroon gestabiliseerde emissie. Bij het uitvoeren van de simulatie in ADVISOR starten de voertuigen namelijk uit stilstaande positie. Dit betekent dat het emissieverloop tijdens de constante rijpatronen eerste een piek kennen als gevolg van het accelereren naar de opgegeven constante snelheid. Wanneer het voertuig eenmaal de opgegeven constante snelheid heeft bereikt, stabiliseert naar verloop van tijd de emissie.

Voor de standaardrijpatronen met variabele snelheid geldt dat het uitgevoerde rijpatroon met bijbehorend emissieverloop wordt opgedeeld in fasen op basis van de gedefinieerde grenzen van de rijpatrooncategorieën. De emissiewaarden bestaan uit de gemiddelde emissie per fase. De emissiewaarde voor stationaire fasen van het rijpatroon zijn verkregen met de standaardrijpatronen waarin gedecelerend wordt. Tijdens deze rijpatronen staan de voertuigen nog enige tijd stil met draaiende motor. De gestabiliseerde emissie tijdens de stationaire fase in deze rijpatronen geeft de emissiewaarde.

De snelheid- en versnellingscategorieën staan weergegeven in *Figuur 6.5*. In totaal resulteren de verschillende stoffen en de indelingen in voertuigklassen en snelheid- en versnellingscategorieën in een grote hoeveelheid emissiematrices. In de verschillende emissiematrices zullen categorieën voorkomen die nagenoeg dezelfde emissiewaarden hebben.

Er is voor gekozen de emissiematrices hier niet op te filteren. Dit bevordert de eenduidigheid in de systematiek van de rekenmethode aangezien per stof en voertuigtype zal verschillen op welke plekken in de emissiematrices (bij welke categorieën) de emissiewaarden van gelijke waarde zullen zijn.

Rijpatrooncategorieën in de emissiematrices van de rekenmethode		
Bij constante snelheid	Bij variabele snelheid (emissiematrices per versnellingscategorie)	
Snelheidscategorieën (km/h)	Versnellingscategorieën (m/s ²)	Categorieën startsnelheid (km/h)
0 (stationair)	Acceleratie	0
15	0.5	15
30	1	30
50	2	50
60	3	60
70	Deceleratie	70
80	-0.5	80
100	-1	100
120	-2	120
-	-3	> 140
per voertuigtype 1 matrix met 9 categorieën	per voertuigtype 8 matrices met 10 categorieën	

Figuur 6.5 De rijpatrooncategorieën van de VERSNEL-rekenmethode

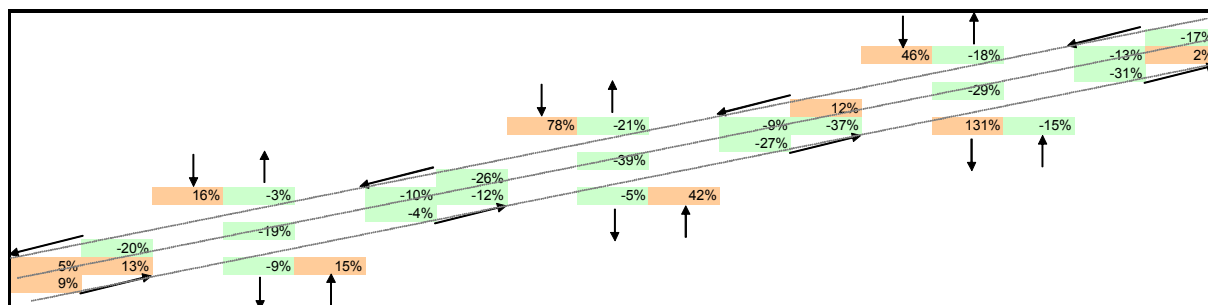
Schakelgedrag in ADVISOR

Bij het uitvoeren van de standaardrijpatronen met de benzine en diesel voertuigtypen is gebruik gemaakt van dezelfde standaard versnellingsbak met 5 versnellingen. De standaardrijpatronen van de voertuigtypen vrachtauto zijn uitgevoerd met een versnellingsbak met 10 versnellingen. Voor beide versnellingsbakken is binnen ADVISOR een gemiddeld schakelgedrag gemodelleerd waarbij bij bepaalde vaste verhoudingen tussen toerental en gevraagd motorvermogen wordt opgeschakeld en teruggeschakeld.

6.4 De koppeling tussen rijpatronen en emissiedata in Matlab¹³

De koppeling tussen rijpatronen en emissiedata vindt op de volgende wijze binnen Matlab plaats. In het uitvoerbestand van VISSIM staat per seconde de snelheid, versnelling en positie (in (x,y)-coördinaten) van alle voertuigen weergegeven. Dit uitvoerbestand wordt na bewerking in Matlab ingelezen. In Matlab wordt de emissie van een voertuig op basis van de snelheid en versnelling, het gewicht en het motortype van het voertuig, bepaald. Het voertuigspecifieke rijpatroon wordt per seconde geanalyseerd zodat ook per seconde een emissiewaarde uit de emissiematrix van het juiste voertuigtype en daarbinnen uit de cel van de juiste snelheid- en versnellingscategorie toegekend kan worden. De emissiematrices van waaruit de emissiewaarden worden toegekend zijn de matrices die met behulp van het voertuigsimulatiemodel ADVISOR zijn opgesteld.

Uiteindelijk worden de emissies (in de structuur van het netwerk) geaggregeerd weggeschreven in een spreadsheet. In de spreadsheet komen de cellen overeen met de wegvakken waarin het netwerk is ingedeeld. Op basis van de coördinaten die per seconde worden uitgelezen worden de emissiewaarden van elke voertuig gekoppeld aan een wegvak. De emissiewaarden worden per wegvak gesommeerd en weggeschreven in de met het wegvak corresponderende spreadsheetcel. Een voorbeeld hiervan is weergegeven in *Figuur 6.6*. Het is overigens ook mogelijk om de emissie per apart voertuig of voertuigtype uit te lezen.



Figuur 6.6 Primaire output rekenmethode, spreadsheet met emissie(effect) per wegvak

¹³ Een meer uitgebreide en technische beschrijving van de koppeling is opgenomen in *bijlage 10*.

6.5 Toetsing met ADVISOR

In het begin van dit hoofdstuk is de opzet van de VERSNEL-rekenmethode besproken. De kern van de rekenmethode is dat de snelheid en versnelling per seconde per voertuig wordt uitgelezen en op basis daarvan de juiste emissiewaarde vanuit één van de emissietabellen en rijpatrooncategorieën (binnen de tabel) wordt uitgelezen. Door de emissie niet continu te berekenen maar per seconde en gebruik te maken van rijpatrooncategorieën en met vooraf opgestelde emissiewaarden, wordt een onnauwkeurigheid in de berekening geïntroduceerd. Ten eerste omdat aan de categorieën gemiddelde emissiewaarden gekoppeld zijn en ten tweede omdat het transient karakter (zie paragraaf 6.4) van het rijpatroon bij opdelen in seconden deels verloren gaat. De vraag is hoe representatief de standaardrijpatronen zijn voor delen van de werkelijke rijpatronen die qua snelheid en versnelling overeenkomen. Om inzicht te krijgen in hoe groot deze onnauwkeurigheid ten opzichte van een continue berekening in ADVISOR is, zijn van middenklasse typen personenvoertuigen en van de lichtste vrachtwagenklasse een rijpatroon van beide scenario's op continue wijze apart met ADVISOR doorgeerekend. Het resultaat van de vergelijking voor het rijpatroon van de dieselauto uit het scenario met onafhankelijk geregelde kruisingen wordt op de volgende pagina grafisch weergegeven.

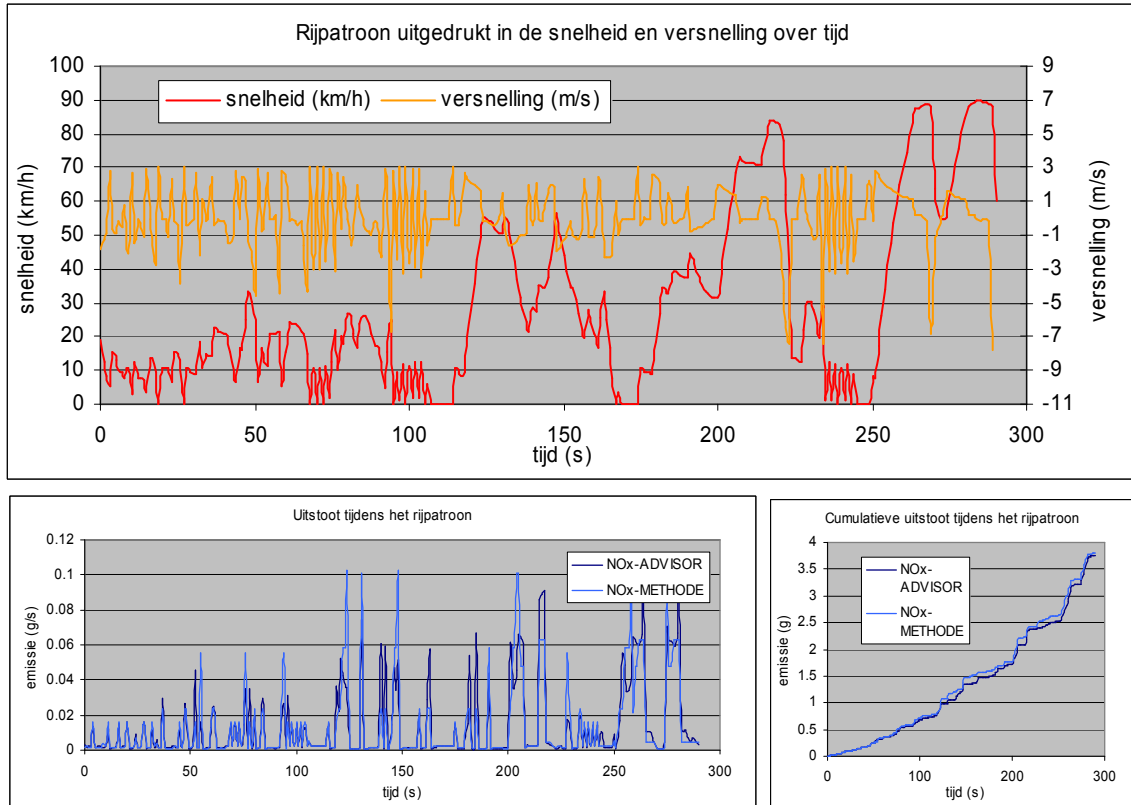
De afwijking in de cumulatieve emissie voor de drie gemiddelde voertuigtypen is in *Tabel 6.4* weergegeven. De afwijking is ook voor de andere stoffen bepaald. De afwijkingen liggen gemiddeld tussen de 10% en 30%. *Figuur 6.7* en *Figuur 6.8* visualiseren de afwijkingen.

benzine	Brandstofverbruik (liters)			NOx (gram)			PM (gram)		
	onafhankelijk	groene golf	afname	onafhankelijk	groene golf	afname	onafhankelijk	groene golf	afname
ADVISOR	0.2942	0.2088	-29.03%	0.3914	0.2819	-27.98%	-	-	-
methodiek	0.2316	0.1647	-28.91%	0.3864	0.2458	-36.41%	-	-	-
verschil	-21.28%	-21.15%		-1.26%	-12.81%		-	-	-
diesel	Brandstofverbruik (liters)			NOx (gram)			PM (gram)		
	onafhankelijk	groene golf	afname	onafhankelijk	groene golf	afname	onafhankelijk	groene golf	afname
ADVISOR	0.2252	0.1631	-27.61%	3.7638	2.0158	-46.44%	0.1226	0.0792	-35.39%
methodiek	0.1740	0.1248	-28.26%	3.8052	1.6861	-55.69%	0.1088	0.0598	-44.97%
verschil	-22.75%	-23.44%		1.10%	-16.36%		-11.30%	-24.44%	
vrachtwagen	Brandstofverbruik (liters)			NOx (gram)			PM (gram)		
	onafhankelijk	groene golf	afname	onafhankelijk	groene golf	afname	onafhankelijk	groene golf	afname
ADVISOR	0.8113	0.7832	-3.46%	199.3903	142.1179	-28.72%	-	-	-
methodiek	0.7772	0.7339	-5.57%	192.5863	135.4791	-29.65%	-	-	-
verschil	-4.19%	-6.28%		-3.41%	-4.67%		-	-	-

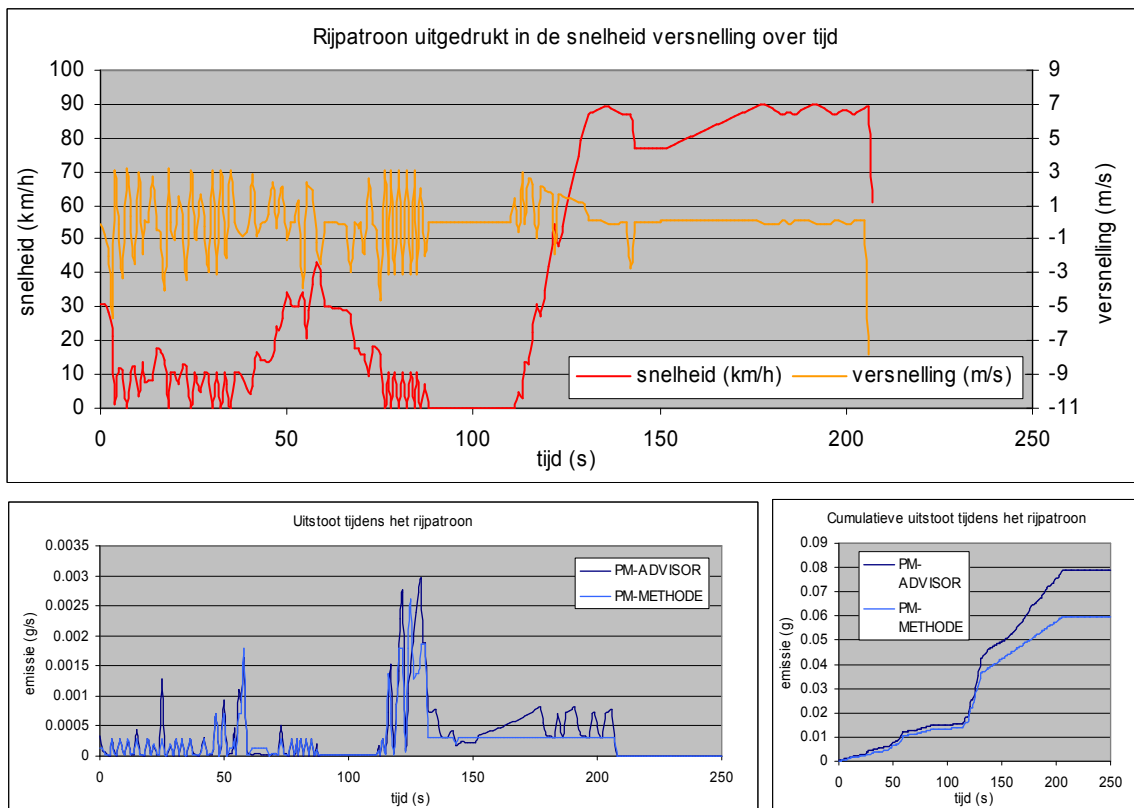
Tabel 6.4 Vergelijking van de emissieberekening door de VERSNEL-rekenmethode en door ADVISOR

In *Figuur 6.7* en *Figuur 6.8* is van één van de rijpatronen tijdens respectievelijk het scenario met onafhankelijk geregelde kruispunten en het scenario met de groene golf de emissieproductie (in gram per seconde) weergegeven. De figuren laten zien dat de VERSNEL-rekenmethode het emissiepatroon van ADVISOR volgt. Daarnaast is goed te zien dat de perioden van hoge snelheid en versnellen gepaard gaan met pieken in de emissie. Uit de resultaten valt op te maken dat juist tijdens het meer grillige rijpatroon de emissie benadering van de rekenmethode het beste is. Aan het einde van de rijpatroon in de situatie met groene golf is duidelijk de invloed van het werken met categorieën te zien. De emissie uit ADVISOR schommelt terwijl de emissie berekend door de rekenmethode constant is. De cumulatieve emissie laat dan ook een afwijking zien.

De fout die optreedt, is voor een aanzienlijk deel een systematische fout. Dit is te zien in *Figuur 6.8*. Aan het eind van de rijpatroon, vanaf 150 seconden, is duidelijk te zien dat uitstoot gegenereerd door ADVISOR structureel hoger ligt en bovendien schommelt. De rekenmethode houdt hier een vaste emissiewaarde aan doordat de versnelling en snelheid niet dusdanig veranderen dat de emissiewaarde van een andere categorie wordt aangesproken. Aan de figuur met cumulatieve emissie is te zien dat hierdoor het grootste verschil optreedt in de emissieberekening door beide methoden. Op een aantal tijdstippen daarvoor komt het ook wel voor dat de met beide methoden berekende emissies niet gelijk zijn, echter gemiddelde zorgt de rekenmethode daar wel voor een goede benadering. Deze gemiddeld goed benadering is ook in *Figuur 6.7* te zien.



Figuur 6.7 Output ADVISOR, individueel rijpatroon en uitstoot NO_x van personenauto bij onafhankelijke regeling



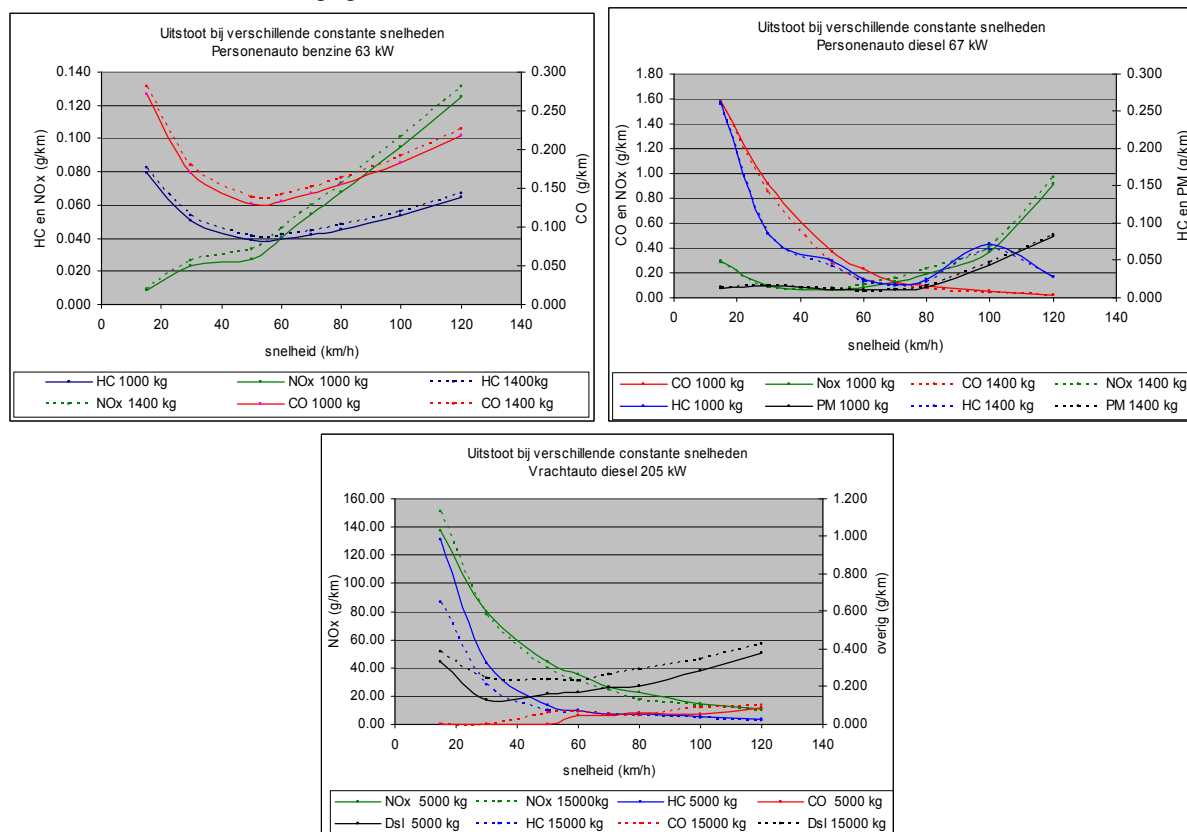
Figuur 6.8 Output ADVISOR, individueel rijpatroon en uitstoot NO_x van personenauto bij groene golf

6.6 Toetsing met standaard emissiefactoren

De emissiewaarden worden in deze paragraaf getoetst aan de invloeden van het rijgedrag zoals deze voortkomen uit de standaard emissiefactoren en empirische studies (*hoofdstuk 5*). De figuren in deze paragraaf geven een beeld van de mate waarin de emissiewaarden binnen de VERSNEL-rekenmethode afhankelijk zijn van snelheid, versnelling, gewicht, motorvermogen en brandstoftype. Hoofdzakelijk wordt ingegaan op de uitstoot van de stoffen NO_x en PM_{10} (welke momenteel voor de grootste problemen zorgen) door de drie gemiddelde voertuigtypen (zie *Tabel 6.1*).

6.6.1 Emissie bij constante snelheid

In onderstaande figuren staat voor zowel de benzine als diesel auto de emissie bij verschillende constante snelheden weergegeven.

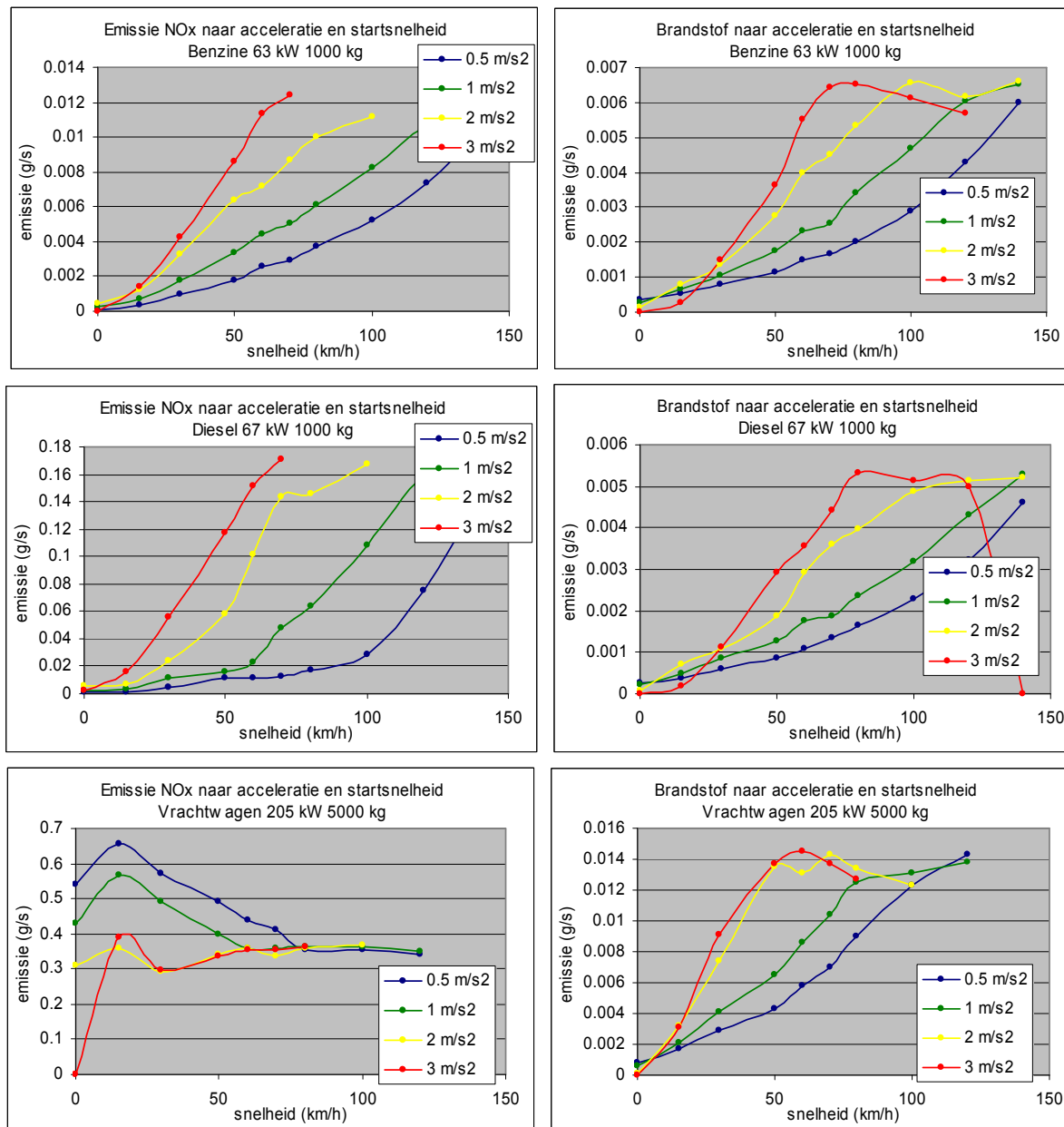


Figuur 6.9 Emissies bij verschillende constante snelheden, voor benzine, diesel en vrachtoertuigen

De grafieken in *Figuur 6.9* tonen hetzelfde patroon als de standaard emissiefactoren. De lijnen hebben een parabolische vorm, grotere emissiewaarden bij lage en hoge snelheid en tussen de 40 km/h en 80 km/h de kleinste emissiewaarden. Echter een aantal stoffen wijken hier van af. Bij de benzineauto is de uitstoot van NO_x het laagst bij lage snelheid. Het zelfde geldt bij de dieselauto voor fijnstof (PM). Bij de vrachtauto is de uitstoot van HC en NO_x het laagst bij hoge snelheden. Opvallend is de hoge uitstoot van NO_x door de vrachtauto bij lage snelheid. Voor beide personenautoertuigttypen geldt dat bij constante snelheden de invloed van het gewicht beperkt is. Bij de vrachtauto is de invloed groter, maar hierbij is het verschil tussen de lijnen van de twee gewichtklassen ook een stuk groter. Bij acceleratie zal het effect van het gewicht groter zijn. Over het algemeen neemt de emissie als gevolg van een toename van het gewicht iets toe (met uitzondering van de uitstoot van CO en HC door het dieselveertuig). Het enigszins golvende verloop wordt mede veroorzaakt door de invloed van de wisseling van de versnelling waarin bij een standaardrijpatroon gereden wordt. Niet elk standaardrijpatroon wordt in een andere versnelling gereden worden maar bij voldoende toename van de constante snelheid waarin de standaardrijpatronen uitgevoerd worden, zal ook, conform het gemodelleerde schakelgedrag, een hogere versnelling gekozen worden.

6.6.2 Emissie bij versnelling

In deze paragraaf wordt ingegaan op de invloed van versnelling zoals deze naar voren komt uit de emissiedata verkregen met de standaardrijpatronen met variatie in versnellingsgraad. De invloed wordt aangegeven met figuren voor de stof NO_x en het brandstofverbruik van de gemiddelde voertuigklassen. De emissiewaarden zijn uitgezet naar startsnelheid, de snelheid van waaruit wordt versneld.

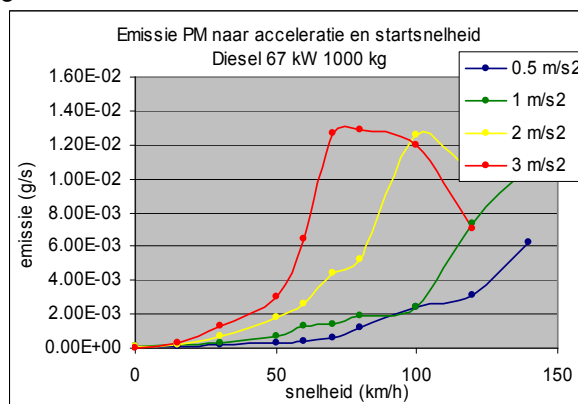


Figuur 6.10 Acceleratieafhankelijkheid NO_x voor benzine, diesel en vrachtoertuigen

Als eerste moet opgemerkt worden dat de emissie van NO_x onder versnelling voor de dieselauto en de dieselvrachtauto respectievelijk een factor 10 en een factor 100 groter zijn dan die van de benzine auto. De personenvoertuigen tonen beiden dat bij een hogere versnellingsgraad de emissie groter is. Voor de dieselauto blijkt niet dat bij een hoge belasting van de motor (grote versnelling) de NO_x uitstoot minder is. Dit effect wordt wel verkregen met een zwaarder gewicht van de auto (effect niet afgebeeld). De emissie van de vrachtwagen laadt wel duidelijk een lagere emissie zien bij een hogere versnellingsgraad. Voor het brandstofverbruik tonen de figuren voor de voertuigtypen een vergelijkbare invloed van de versnelling. Het brandstofverbruik neemt toe bij een hogere versnellingsgraad en de gevoeligheid is het grootst van ongeveer 50 km/h.

Uitstoot PM bij dieselauto's

Voor de uitstoot van PM_{10} zijn op dit moment alleen data beschikbaar van dieselauto's. In onderstaand figuur wordt de invloed van versnelling weergegeven voor het voertuigtype dat de middenklasse diesel representeert. Hieruit blijkt dat de uitstoot van PM_{10} toeneemt bij sterkere versnelling en het meest gevoelig is voor versnellingen vanaf 50 km/h.



Figuur 6.11 Acceleratieafhankelijkheid PM, voor dieselveertuigen

In het algemeen komen de invloeden van de sterkte van de versnelling per stof en voertuigtype overeen met in hoofdstuk 5 beschreven relaties.

6.6.3 Vergelijk absolute emissiewaarden met emissiefactoren

Het verschil in de methode van rekenen tussen de toepassing van de standaard emissiefactoren en de VERSNEL-rekenmethode zal tot andere resultaten leiden. Bij de VERSNEL-rekenmethode wordt immers de invloed van het individuele rijgedrag meegenomen. Om enig inzicht te krijgen in wat het effect van de wijze van berekening op de verkregen emissiewaarden is, wordt de emissie (omgerekend naar g/km) behorend bij individuele rijpatronen (waarmee in de vorige paragraaf de rekenmethode aan de uitkomsten van ADVISOR is getoetst) vergeleken met de standaard emissiefactoren die bij de verkeerssituatie van de N65 nabij Vught horen. Deze vergelijking staat weergegeven in Tabel 6.5. De emissies op basis van de standaard emissiefactoren zijn bepaald op basis van de gemiddelde snelheid tijdens de individuele rijpatronen en lineaire interpolatie tussen de snelheidsklassen waarvoor de emissiefactoren zijn opgesteld (zie bijlage 6). Met de vergelijking kan bepaald worden of de door de VERSNEL-rekenmethode geproduceerde emissies in dezelfde orde van grote liggen als de standaard emissiefactoren. Daarnaast kan vergeleken worden hoe sterk de beide rekenmethoden het effect van de groene golf doorrekenen. De vergelijking kan niet gebruikt worden als strikte toets van de emissiewaarden aangezien de emissies bepaald met de VERSNEL-rekenmethode gebaseerd zijn op individuele ritten en de emissiefactoren opgesteld zijn op basis van gemiddelde emissie van een gemiddeld wagenpark in een bepaalde verkeerssituatie (gedefinieerd naar snelheidsklasse (zie bijlage 6))

benzine	NOx (gram/km)			PM (gram/km)		
	onafhankelijk	groene golf	afname	onafhankelijk	groene golf	afname
st. emissiefactoren	0.5856	0.4784	-18.31%	0.0603	0.0455	-24.46%
VERSNEL-meth	0.1594	0.1013	-36.41%	-	-	-
verschil	-73%	-79%		-	-	
diesel	NOx (gram/km)			PM (gram/km)		
	onafhankelijk	groene golf	afname	onafhankelijk	groene golf	afname
st. emissiefactoren	0.5856	0.4784	-18.31%	0.0603	0.0455	-24.46%
VERSNEL-meth	1.5692	0.6953	-55.69%	0.0448	0.0247	-44.97%
verschil	168%	45%		-25.59%	-45.79%	
vrachtwagen	NOx (gram/km)			PM (gram/km)		
	onafhankelijk	groene golf	afname	onafhankelijk	groene golf	afname
st. emissiefactoren	11.3128	9.8294	-13.11%	0.4711	0.3809	-19.15%
VERSNEL-meth	79.417	55.868	-29.65%	-	-	-
verschil	602%	468%		-	-	

Tabel 6.5 Vergelijking tussen de emissie uit de VERSNEL-rekenmethode en de standaard emissiefactoren

Uit *Tabel 6.5* blijkt dat er behoorlijke verschillen optreden. De verschillen bij de personenauto's zijn echter deels te verklaren door de samenstelling van het wagenpark. Voor de benzine- en dieselauto's wordt namelijk maar één standaard emissiefactor opgesteld. Wordt er namelijk van uitgegaan dat in het wagenpark drie keer zoveel benzine- als dieselauto's voorkomen dan ligt de gecombineerde emissie van benzine- en dieselauto's zelfs onder de standaard emissiefactor. De emissies van PM_{10} van beide methoden liggen het dichtst bij elkaar. Uit de PM_{10} emissiewaarden blijkt dat de VERSNEL-rekenmethode lagere emissie voor PM_{10} bepaald. Ondanks dat in de standaard emissiefactor voor PM_{10} de lagere emissie van PM_{10} door benzinevoertuigen is meegenomen ligt de emissiefactor voor PM_{10} hoger dan de emissie bepaald met de VERSNEL-rekenmethode. In zijn algemeenheid moet geconcludeerd worden dat de VERSNEL-rekenmethode, ondanks dat het de invloed van het rijgedrag wordt meegenomen, tegen de verwachting in voor de personenauto's lagere emissiewaarden produceert. Uit *Tabel 6.5* blijkt wel dat de effecten van de maatregel in de VERSNEL-rekenmethode sterker doorwerken. Deze bevindingen vragen om een nadere toetsing van de resultaten met meer vergelijkbare rekenmethode of praktijkmetingen. Zonder een dergelijke toets is het raadzaam de toepassing van de VERSNEL-rekenmethode te beperken tot het bestuderen van de relatieve effecten van maatregelen en geen harde conclusies te verbinden aan de door de methode geproduceerde absolute emissiewaarden.

6.7 Samenvatting

De VERSNEL-rekenmethode is opgezet om afhankelijk van de individuele rijpatronen van voertuigen de emissie in een verkeersnetwerk te bepalen. Door het rekenen met VEREenvoudigde SNELheidspatronen van individuele voertuigen wordt de invloed van het rijgedrag meegenomen en kan met de methode het effect van ITS-maatregelen op luchtkwaliteitsknelpunten bepaald worden.

Met behulp van het voertuigsimulatiemodel ADVISOR zijn voor een omvangrijk aantal rijpatrooncategorieën (combinatie van snelheid en versnelling) en voor 18 verschillende voertuigtypen (combinatie van motorvermogen en gewicht) emissiewaarden bepaald. Tijdens het rekenproces van de VERSNEL-rekenmethode worden individuele rijpatronen wordt per seconde de rijpatrooncategorie bepaald en de daarbij behorende emissiewaarde weggeschreven. De individuele rijpatronen worden voor een bepaalde verkeerssituatie met het microscopische verkeerssimulatiemodel VISSIM gemodelleerd.

Binnen de toets van de VERSNEL-rekenmethode is een vergelijking gemaakt met de standaard emissiefactoren en het doorrekenen van continue rijpatronen in ADVISOR. Hoewel de absolute uitkomsten van de rekenmethode sterk van de standaard emissiefactoren afwijken, kennen de uitkomsten en de emissiefactoren afgezet tegen de snelheidscategorieën dezelfde trend. Daarnaast is de VERSNEL-rekenmethode in staat de continue berekening in ADVISOR te volgen. Afwijkingen die optreden zijn hoofdzakelijk toe te schrijven aan een systematische fout als gevolg van de categorisering.

De VERSNEL-rekenmethode is in staat om voor een bepaalde verkeerssituatie (gedefinieerd naar plaats en tijd) op basis van rijpatronen van individuele voertuigen de emissie te bepalen. De berekende individuele voertuigemissies variëren over tijd en ruimte en kunnen geaggregeerd worden naar het gewenste niveau binnen de grenzen van de gesimuleerde verkeerssituatie.

7 CASE STUDIE GROENE GOLF

De mogelijkheden voor het kunnen aantonen van de invloed van ITS-maatregelen op de uitstoot van de luchtverontreinigende stoffen door het verkeer, wordt pas echt tastbaar wanneer de effecten voor een praktijksituatie doorgerekend kunnen worden. In dit hoofdstuk wordt de toepassing van de VERSNEL-rekenmethode op de verkeerssituatie van de N65 nabij Vught beschreven. In de case studie wordt het effect van de groene golf op de emissie bepaald. Achtereenvolgens wordt ingegaan op het doel van de case studie, de onderzoeksomgeving en de werking van de groene golf daarbinnen, de opzet van de simulatie en scenario's en de validatie van de referentiesituatie.

7.1 Doel en opzet van de case studie

De modelstudie heeft tot doel de VERSNEL-rekenmethode te testen en de kwaliteit van de resultaten te beoordelen. Om deze beoordeling te kunnen maken wordt in de case studie voor een in werkelijkheid bestaande verkeerssituatie het effect van één van de 'kansrijke' ITS-maatregelen gemodelleerd. De toegepaste verkeerssituatie is een provinciale weg (N65) die de bebouwde kom van Vught doorsnijdt. Binnen het onderzoeksgebied bevinden zich drie geregelde kruispunten waarvan de verkeersregelininstallaties (VRI's) als groene golf opereren. De groene golf is de 'kansrijke' ITS-maatregel die in de case studie centraal staat. In de case studie wordt bepaald wat het effect is van een groene golf op de emissie van de voertuigen.

Bij toepassing van de rekenmethode in de case studie zijn, identiek aan de rekenmethode, twee stappen te onderscheiden. Ten eerste wordt met het verkeerssimulatiemodel VISSIM het effect van de maatregel op de verkeersafwikkeling gesimuleerd. Het in VISSIM gemodelleerde netwerk bestaat uit een deel van het in werkelijkheid bestaande stedelijk verkeersnetwerk van Vught, inclusief de daarop aanwezige VRI's. Daarnaast zijn voor een bepaalde periode de resultaten van een verkeerstelling beschikbaar. Tijdens de simulatie wordt het gemodelleerde netwerk belast met een op de verkeerstelling gebaseerde realistische hoeveelheid verkeer. De werkelijke verkeerssituatie tijdens de telperiode wordt dus nagebootst. Na de simulatie wordt conform de VERSNEL-rekenmethode de gesimuleerde verkeersafwikkeling vertaald naar de geproduceerde voertuigemissies.

7.2 De onderzoeksomgeving N65 Vught met groene golf

De N65 nabij Vught is geselecteerd als onderzoeksomgeving voor het testen van de VERSNEL-rekenmethode. In deze paragraaf wordt de keuze van de omgeving toegelicht, een beschrijving gegeven van de praktijksituatie in Vught en de in de case studie centraal staande groene golf maatregel uitgewerkt.

7.2.1 De keuze van de maatregel en onderzoeksomgeving

De VERSNEL-rekenmethode is gericht op het beoordelen van de inzetbaarheid van ITS-maatregelen om de luchtkwaliteitsbelasting van het verkeer te verminderen. Hiervoor is het van belang dat bekend is met welke kwaliteit de rekenmethode (inclusief modeltechnische relaties) het effect van de ITS-maatregelen kan bepalen. Om de rekenmethode zelf zo goed mogelijk te kunnen beoordelen is het van belang dat de in de case studie toegepaste maatregel niet voor een oncontroleerbare verstoring van de eindresultaten zorgt. Dit heeft een aantal gevolgen voor de keuze van de maatregelen.

Ten eerste moet met de methode een maatregel doorgerekend worden waarmee in de praktijk al enige ervaring is opgedaan. Van de maatregel moeten effecten op de verkeersstroom als op de luchtkwaliteit bekend zijn. Ten tweede is het voor alle maatregelen van belang dat ze al eens in een modelomgeving geïmplementeerd zijn. Voldoende kennis moet beschikbaar zijn over de wijze waarop de maatregel model technische termen beschreven kan worden. Daarnaast kan de berekening van effecten van de maatregel in andere modellen helpen de kwaliteit van de uitkomsten van de VERSNEL-rekenmethode te beoordelen.

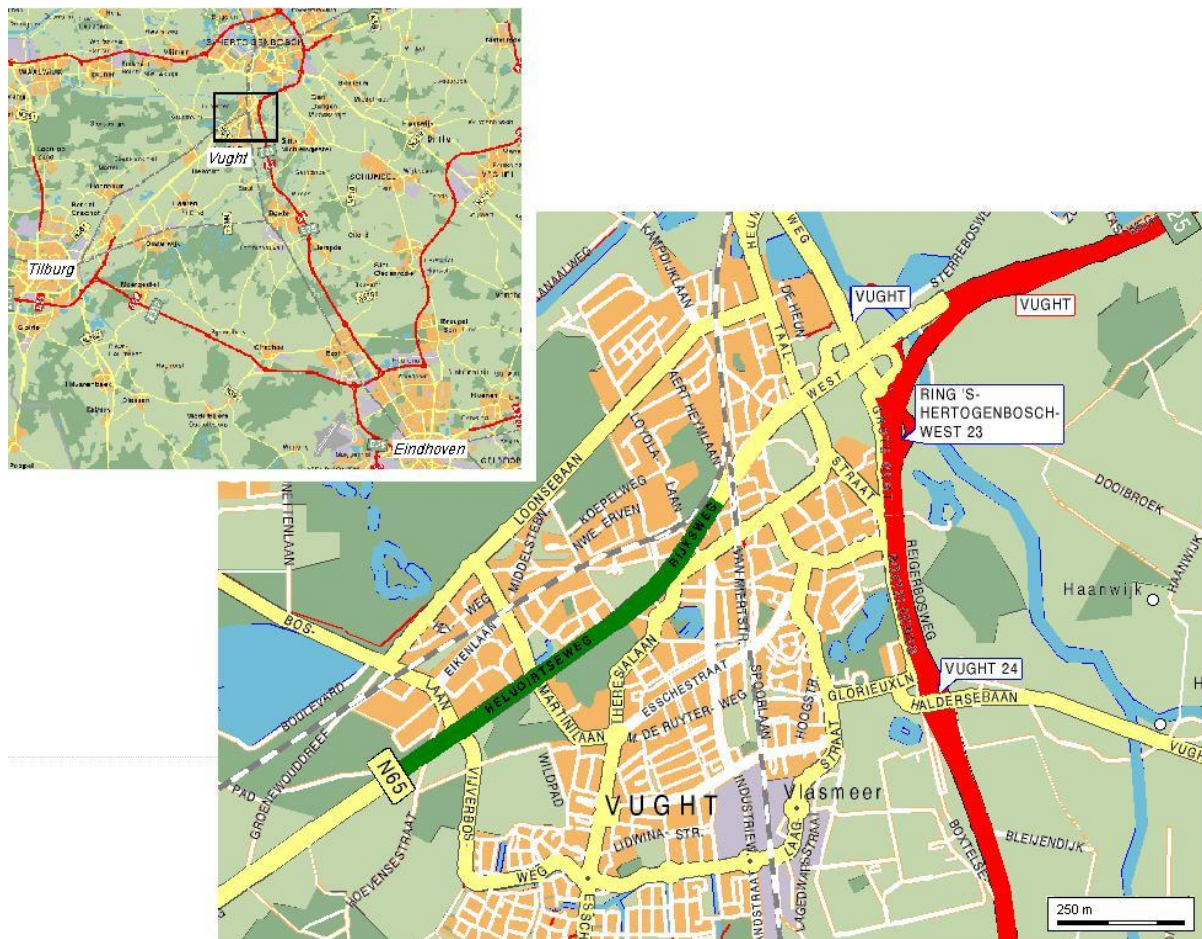
Dat de afstemming van VRI's een positief effect kan hebben voor het milieu blijkt uit de introductie van een groene golf in Brugge. Voor- en nametingen met voertuigen op het traject wijzen uit dat de emissie van FC/CO₂ (benzine en diesel), CO (benzine), HC (benzine), NO_x (benzine en diesel) en PM (diesel) respectievelijk met 80%, 75%, 40% en 35% zijn afgenomen (AMINAL, 2003). Daarnaast tonen ook studies van Midenet (2004), Noland (2003), Roupail (2000) en Rakha (2000) dat intelligent controle van VRI-regelingen kunnen leiden tot een reductie in emissie.

Deze overwegingen hebben er toe geleid de VERSNEL-rekenmethode toe te passen op de verkeerssituatie van de N65 nabij Vught waar een groene golf operationeel is. De groene golf is één van de in hoofdstuk 3 beschreven 'kansrijke' ITS-maatregelen. Deze maatregel kan in de beschikbare onderzoeks- en modelleeromgeving toegepast worden. Het gaat om een stedelijk netwerk waarmee al meerdere simulaties zijn uitgevoerd. De afwikkeling van het verkeer op het netwerk is gekalibreerd en beschrijft de werkelijkheid met voldoende nauwkeurigheid.

Met een maatregel zoals de groene golf kan het rijgedrag van individuele voertuigen gestroomlijnd worden. Het effect op de voertuigen die opereren in een netwerk en elkaar beïnvloeden, is echter minder inzichtelijk. VISSIM is in staat op het effect van de maatregel voor zowel de individuele voertuigen als voor alle voertuigen in het netwerk weer te geven. De vraag is of de variaties in acceleraties dusdanig wordt verminderd dat niet alleen een aantal enkele voertuigen minder schadelijke stoffen uitstoten maar ook de gesommeerde emissie gereduceerd wordt. De groene golf situatie in de case studie is geschikt om in vervolgstudies de regelingen van de VRI dusdanig te variëren dat de variaties in het rijgedrag en emissie parallel geanalyseerd kunnen worden.

7.2.2 Beschrijving van de N65 Vught

De onderzoeksomgeving bestaat uit de doorkruising van de bebouwde kom van Vught door de Rijksweg N65. Vught ligt binnen de stedendriehoek Den Bosch-Eindhoven-Tilburg. De N65 is een verbindingsweg tussen de A58 in de richting Tilburg en de A2 in de richting Den Bosch.



Figuur 7.1 De groene golf op de N65 nabij Vught

Het gemodelleerde netwerk is een gedeelte van de N65 binnen de bebouwde kom van Vught. Op dit gedeelte van de N65 geldt een maximum snelheid van 70 km/h en komen drie achtereenvolgende kruisingen met VRI's voor.

De N65 kent in de spitsperiode een zware belasting van woon-werkverkeer. Als gevolg van de zware belasting stagneert de doorstroming in de spitsperiode. In het verleden zijn al diverse maatregelen

toegepast om de doorstroming, zonder fysieke wegkenmerken aan te passen, te optimaliseren. De groene golf is op dit moment ingezet om de doorstroming zoveel mogelijk te verbeteren. Overigens heeft de groene golf zelf ook al een aantal varianten gekend.

7.2.3 De groene golf

In veel stedelijke gebieden komen strengen van VRI's (verkeersregelinstallaties) voor. Bij het afleggen van een doorgaande weg in de stad moeten voertuigen herhaaldelijk voor één of meerdere verkeerslichten afremmen, stoppen en weer optrekken. De VRI's kunnen statisch of voertuigafhankelijk worden ingesteld. Bij voertuigafhankelijke wordt rekening gehouden met het aanbod van het verkeer uit de verschillende richtingen. Op basis van de omvang van het aanbod wordt prioriteit verleend aan bepaalde richtingen.

Bij de groene golf worden de verkeerslichten zo afgesteld dat een geleidelijke doorstroming van het verkeer wordt gestimuleerd. De verkeerslichten die in lijn staan met de overheersende verkeersstroom (deze hoeft niet één weg te volgen) krijgen op een dusdanig achtereenvolgende wijze groen dat de voertuigpelotons bij groenlicht de verkeerslichten naderen en zonder te stoppen door kunnen rijden. Op netwerk niveau betekent dit dat per stop langer moet worden gewacht maar dat het aantal stops afneemt. Bij een goed werkende groene golf worden de afremmende en optrekkende bewegingen van de voertuigen die de groene golf volgen gereduceerd. Een afname in het aantal stops en de afremmende en optrekkende bewegingen zal de emissie van vervuilende stoffen van het verkeer verminderen.

7.2.4 De werking van de groene golf regeling

De groene golf kent verschillende meer en minder geavanceerde varianten.

Bij de eenvoudigste variant worden de regelingen zo ingesteld dat alle opeenvolgende VRI's tegelijk op groen staan en de groentijden worden gebaseerd op een gemiddelde verkeersbelasting (bijvoorbeeld bepaald aan de hand van een verkeerstelling). Daarbij worden de groentijden afgestemd op het aanbod van voertuigen aan weerszijden van de groene golf.

Deze variant kan meer geavanceerder uit worden gevoerd door rekening te houden met de reistijd tussen de verschillende kruising. De VRI's hoeven dan niet allemaal tegelijk groen te geven.

Bij de meest geavanceerde groene golf die op dit moment in de praktijk wordt toegepast, wordt de groene golf geregeld op basis van het actuele verkeersaanbod. In deze vorm is de groene golf opgebouwd uit half-starre regelingen. Voordeel is dat het gelijktijdig naderen van de VRI's door de pelotons meer is te sturen, zeker wanneer de wegvakken tussen de VRI's verschillende lengtes hebben. Wanneer de groene golf met voertuigafhankelijke VRI's wordt uitgevoerd is het mogelijk om de cyclustijden te verkorten. Maar omdat op de kruisingen zelf rekening gehouden moet worden met de voorkeur dat tegengestelde richtingen gelijktijdig groen hebben, is de toepassing van een voertuigafhankelijke groene golf niet eenvoudig. Dit impliceert namelijk dat de pelotons uit beide richtingen tegelijk het kruispunt moeten naderen, wil er niet gestopt hoeven te worden¹⁴.

7.2.5 Invloed van groene golf op rijpatroonparameters

Om het effect van een ITS-maatregel op de emissie in te kunnen schatten, moet bekend zijn welke van de rijpatroonparameters die een significante invloed uitoefenen op de uitstoot van voertuig, de maatregelen beïnvloed worden. Het gaat om er om welke veranderingen, op microscopisch niveau, in de verkeersafwikkeling optreden na toepassing van de maatregel. Daarmee kan bepaald worden welke van de in de literatuur aangetoonde invloedrijke verkeerskarakteristieken voor de maatregel relevant zijn. In *Tabel 7.1* worden de effecten van de geselecteerde maatregelen gekoppeld aan de parameters die de werking van de maatregel kunnen beschrijven en tevens een significante invloed uitoefenen op de emissie.

Effecten groene golf	Parameters voor aantonen effect
reductie van totaal aantal stops	stops, snelheid, acceleratie
bevorderen constante snelheid	snelheid
toename van duur stop	stops, vertragingstijd
afname van schokgolven	snelheid, acceleratie

Tabel 7.1 Parameters die het effect van de groene golf op het rijgedrag weergeven

¹⁴ Dit is een interessante situatie waarbij een combinatie van ITS-maatregelen uitkomst kan bieden. Een ITS-maatregel met intelligente snelheidsaanpassing (ISA) kan er voor zorgen dat pelotons in tegengestelde richting tegelijk een kruispunt naderen.

7.2.6 Groene golf regeling in de case studie

In de modelstudie wordt het aanbod van de voertuigen gebaseerd op verkeerstellingen. Dit betekent dat de VRI's met starre regelingen worden aangestuurd. Voordeel is dat de opeenvolgende kruisingen eenvoudiger op elkaar zijn af te stemmen. Hierbij is het kruispunt met de grootste individueel geoptimaliseerde cyclustijd maatgevend. De andere cyclustijden van de andere kruispunten worden opgerekt zodat een groene golf wordt gecreëerd. Nadeel is dat bij grote afstanden tussen de VRI's de cyclustijden erg lang worden. Cyclustijden waarbij de verkeersstroom die de groene golf volgt lang groen heeft en de zijrichtingen lang rood hebben.

7.3 Opzet van de simulaties

De simulaties bestaan uit een belasting van het netwerk met een ochtendspitsintensiteit gedurende één uur. Om inzicht te krijgen in het effect van de groene golf maatregel zijn twee scenario's opgesteld. De scenario's onderscheiden zich in de regelstrategie die is toegepast.

Scenario 1 VRI's onafhankelijk geregeld

In dit scenario wordt het verkeer bij de kruisingen geregeld met onafhankelijk geregelde VRI's. De regelstrategieën zijn voor elk kruispunt afzonderlijk geoptimaliseerd. Hiervoor is gebruik gemaakt van het programma COCON waarin regelingen verkeerskundig geoptimaliseerd kunnen worden. Dit is gedaan aan de hand van de verkeersbelasting bepaald met de verkeerstelling. De regelingen zijn zo geoptimaliseerd dat ze een minimale cyclustijd hebben en er geen conflicten bestaan.

Scenario 2 Groene golf

Met het tweede scenario wordt het effect van de groene golf op het rijgedrag en de verkeersemisies gemodelleerd. De implementatie van de groene golf in VISSIM is uitgevoerd door de starre verkeersregelingen op elkaar aan te passen. De regeling uit het eerste scenario met de langste cyclustijd heeft hiervoor als basis gediend. De andere twee regelingen zijn, rekening houdende met de gemiddelde reistijd tussen de kruisingen, hier op aangepast. Daarbij is er op gelet dat de regelingen zo optimaal mogelijk ten opzicht van elkaar draaien. Dit betekent dat de groentijden voor de hoofdrichtingen bij de twee afhankelijke regelingen binnen de cyclustijden zijn verschoven.

7.3.1 Netwerkbelasting en samenstelling wagenpark in case studie

De netwerkbelasting en de samenstelling van het wagenpark zijn, evenals alle overige eigenschappen van de simulatie, identiek voor beide scenario's.

Netwerkbelasting

De totale netwerkbelasting tijdens de simulaties bestaat uit ongeveer 5000 voertuigen (personen- en vrachtverkeer). De hoofdweg kent een gemiddelde intensiteit in de ochtendspits van rond de 1700 voertuigen per uur.

De netwerkbelasting tijdens de simulaties is gebaseerd op een verkeerstelling die voor het onderzoeksgebied is uitgevoerd. Op basis van de telgegevens is voor de belasting van het netwerk een herkomst-betemmingsmatrix (HB-matrices) opgesteld. Tijdens de simulatie zijn de verkeersintensiteiten op het netwerk gelijk aan de in werkelijkheid gemeten intensiteiten. De tellingen zijn uitgevoerd tijdens een 'normale' ochtendspits.

Samenstelling wagenpark in VISSIM

De wagenparksamenstelling in VISSIM komt tot stand op basis van een indeling in voertuigtypen en voertuigmodellen. De verdeling van de voertuigen over de verschillende typen (personenauto's en vrachtverkeer) is gebaseerd op tellingen. Bij de verkeerstelling is onderscheid gemaakt tussen de voertuigklassen personenvoertuigen en vrachtwagens. Voor beide voertuigklassen zijn aparte HB-matrices opgesteld. De voertuigklasse waartoe een voertuig die op het netwerk wordt gemodelleerd behoort wordt in VISSIM random gekozen, maar wel zo dat aan de HB-matrices per voertuigcategorie wordt voldaan.

De verdeling van voertuigmodellen binnen de voertuigtypen wordt gebaseerd op een standaard wagenparksamenstelling (in de vorm van distributies) binnen VISSIM. Ook hiervoor geldt dat voor de gemodelleerde voertuig random een voertuigtype wordt gekozen. In de case studie is een neutrale distributie toegepast. Dit betekent dat alle voertuigtypen evenveel voorkomen.

Binnen de voertuigtypen wordt het gewicht en het motorvermogen van de voertuigen random uit voertuigtype specifieke distributies gekozen. Ook deze distributies zijn in VISSIM neutraal. Dit betekent dat alle combinaties van motorvermogen en gewicht evenveel voorkomen en dus ook lichte auto's met een sterke motor en zware auto's met een zwakke motor voorkomen die in werkelijkheid niet bestaan. Voor een ideale situatie is dit niet wenselijk echter voor deze studie is dit niet bezwaarlijk aangezien in VISSIM geen koppeling tussen het rijgedrag en de combinatie van motorvermogen en gewicht is gemodelleerd. Dit betekent dat de rijpatronen die in VISSIM gegenereerd worden, niet afhankelijk zijn van de fysieke eigenschappen van het voertuig. (De lengte van het voertuig heeft wel enigszins invloed, aangezien dit een rol speelt bij het bepalen van volgafstand van de voertuigen.)

Samenstelling wagenpark in de rekenmethode

Hierboven is aangegeven dat in VISSIM geen verdeling van wagenpark binnen de voertuigtypen personenauto's en vrachtverkeer is gemaakt. Voor de case studie is deze verdeling opgezet binnen de VERSNEL-rekenmethode. Binnen de rekenmethode zijn de grenzen van de gewicht- en motorvermogen categorieën zo gekozen dat een voor de werkelijkheid representatieve samenstelling van het wagenpark wordt verkregen. De samenstelling staat weergegeven in Tabel 7.2.

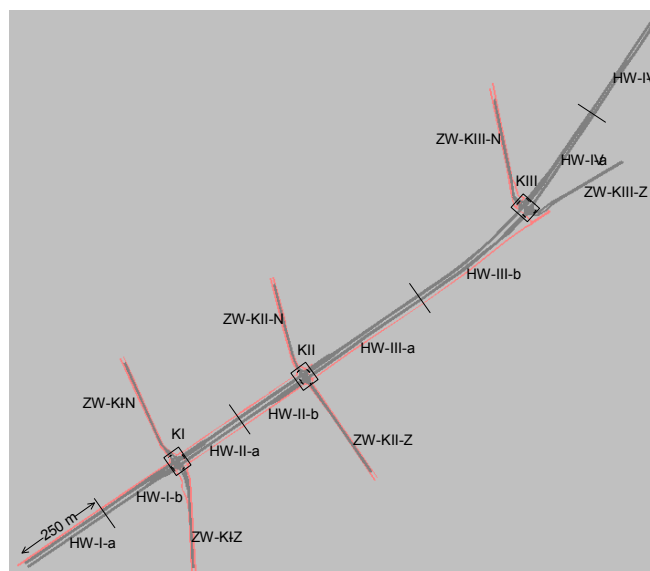
Wagenparksamenstelling case studie	
personenauto	90%
benzine	60%
benzine groot	5%
diesel	20%
diesel groot	5%
vrachtwagen	10%
totaal	100%

Tabel 7.2 Samenstelling wagenpark case studie

De onderbouwing voor de wagenparksamenstelling en de in de case studie verkregen samenstelling staan weergegeven in *bijlage 13*.

7.3.2 Wegvakindeling bij het gemodelleerde netwerk

Bij het berekenen van de emissie is het netwerk in wegvakken op gedeeld zoals weergegeven in *Figuur 7.2*.



Figuur 7.2 Het netwerk opgedeeld in wegvakken

De kruisingen worden apart beschouwd omdat de in het model gedefinieerde wegvakken in de rijrichting voor de kruisingen eindigen en vervolgens over de kruisingen heen lopen. Daardoor kan de emissie niet met gelijke wegvakken (bij benadering gelijke coördinaten) De wegvakken in tegengestelde richtingen hebben verschillende begin- en eindpunten. Door de kruisingen (op basis van de coördinaten van de stopstrepen) af te bakenen en apart te beschouwen kennen de wegvakken over de lengte van de weg dezelfde begin- en eindpunten.

7.4 Validatie van de referentiesituatie

In de werkelijke situatie, zo ook ten tijde van verkeerstelling die voor dit onderzoek beschikbaar is, is een groene golf operationeel. Dit betekent dat hoewel in de case studie het effect van de groene golf bepaald wordt, de groene golf situatie zelf de referentiesituatie is die aan de werkelijkheid gevalideerd kan worden. Om te kunnen beoordelen of de werkelijke situatie goed door het model wordt gesimuleerd zijn de getelde intensiteiten en de intensiteiten die het model simuleert vergeleken. De vergelijking staat in *Tabel 7.3* weergegeven. Hierbij is gebruik gemaakt van de codering zoals weergegeven in *Figuur 7.2*. De codering is echter voor het onderscheid tussen de noordelijke en zuidelijke rijrichting aangepast. Als voorbeeld is HW-I onderverdeeld in HN-I (hoofdweg richting noord wegvak I) en HZ-I (hoofdweg richting noord wegvak I). Voor de consistentie zijn de zijwegen op dezelfde wijze onderverdeeld. Als voorbeeld ZW-KI-Z is onderverdeeld in HZ-KI-N en HZ-KI-Z. Hierbij is de rijrichting van de hoofdweg die aan de kant van de zijweg ligt als basis gebruikt.¹⁵

Intensiteiten PV hoofdweg				Intensiteiten VV hoofdweg			
	telling	model	verschil		telling	model	verschil
HN-I	1929	1865	-3%	HN-I	145	141	-3%
HN-II	1898	1819	-4%	HN-II	140	124	-11%
HN-III	1867	1900	2%	HN-III	142	136	-4%
HN-IV	1848	1695	-8%	HN-IV	131	111	-16%
HN-I-IV	1886	1820	-3%	HN-I-IV	140	128	-8%
HZ-I	1586	1452	-8%	HZ-I	159	155	-3%
HZ-II	1638	1704	4%	HZ-II	158	178	13%
HZ-III	1604	1629	2%	HZ-III	147	165	12%
HZ-IV	1648	1649	0%	HZ-IV	171	161	-6%
HZ-I-IV	1609	1595	-1%	HZ-I-IV	155	166	7%

Intensiteiten PV zijwegen				Intensiteiten VV zijwegen			
	telling	model	verschil		telling	model	verschil
HN-KI-Z	235	178	-24%	HN-KI-Z	16	13	-17%
HN-KI-N	355	393	11%	HN-KI-N	11	15	36%
HN-KII-Z	187	150	-20%	HN-KII-Z	5	2	-57%
HN-KII-N	162	148	-9%	HN-KII-N	4	3	-21%
HN-KIII-Z	218	170	-22%	HN-KIII-Z	14	10	-26%
HN-KIII-N	128	184	44%	HN-KIII-N	9	13	45%
HZ-KI-Z	306	371	21%	HZ-KI-Z	16	20	27%
HZ-KI-N	399	326	-18%	HZ-KI-N	13	11	-14%
HZ-KII-Z	104	92	-12%	HZ-KII-Z	0	0	0%
HZ-KII-N	69	61	-12%	HZ-KII-N	2	1	-55%
HZ-KIII-Z	105	156	48%	HZ-KIII-Z	0	0	0%
HZ-KIII-N	66	53	-20%	HZ-KIII-N	4	3	-26%

Tabel 7.3 Vergelijking van intensiteit uit telling en uit model

Uit de vergelijking in *Tabel 7.3* blijkt dat de intensiteiten op de hoofdweg maar een kleine afwijking van de werkelijke intensiteiten kennen. De intensiteiten op de zijwegen bevatten daarentegen een grotere onnauwkeurigheid. De onnauwkeurigheid is deels een gevolg van de beduidend kleinere intensiteiten op de zijwegen. Daarnaast is bij het modelleren van de groene golf de meeste waarde gehecht aan het correct beschrijven van de verkeersafwikkeling op de hoofdweg.

7.5 Samenvatting

De praktische toepassing van de VERSNEL-rekenmethode om het effect van ITS-maatregelen op de verkeersemisatie te beperken is in een case studie beproefd. In de case studie staat de in werkelijkheid bestaande verkeerssituatie van de N65 nabij Vught centraal. Deze verkeerssituatie bestaat uit het deel van de doorgaande weg (N65) dat de bebouwde kom van Vught doorkruist. Op de weg geldt een maximum snelheid van 70 km/h.

Het verkeersnetwerk is gemodelleerd in het microscopische verkeerssimulatiemodel VISSIM. Het gemodelleerde verkeersnetwerk bestaat uit een hoofdweg (de N65), drie geregelde kruisingen en zes zijwegen. De hoofdweg kent een lengte van ongeveer 2,5 kilometer.

Voor het uitvoeren van de simulatie zijn twee scenario's opgezet. Een scenario waarbij de kruisingen onafhankelijk geregeld worden en een scenario waarbij de regelingen van de kruisingen als groene golf opereren.

In werkelijkheid is op de N65 een groene golf operationeel. Dit betekent dat de situatie met de groene golf de referentiesituatie is. Van deze situatie zijn telgegevens beschikbaar. Uit een vergelijking van de getelde en de gemodelleerde wegvakintensiteiten blijkt dat het model de werkelijke groene golf situatie goed benadert.

¹⁵ In de hierna volgende hoofdstukken van de rapportage zal deze wegvakcodering aangehouden worden.

8 RESULTATEN EN DISCUSSIE

De VERSNEL-rekenmethode is toegepast in de case studie N65 Vught. In deze case studie staat de toepassing van de groene golf op het wegdeel van de verbindingsweg N65 dat in de bebouwde kom van Vught gelegen is, centraal. Met de rekenmethode zijn de effecten van de groene golf op de verkeersafwikkeling en de uitstoot van vervuilende stoffen bepaald. In dit hoofdstuk worden de in de case studie verkregen resultaten, gepresenteerd. Op basis van de resultaten worden niet alleen uitspraken gedaan over de effectiviteit van de groene golf maar wordt ook een beoordeling gemaakt van de kwaliteit van de rekenmethode. Belangrijk element in de beoordeling is de vergelijking van de resultaten met de standaard emissiefactoren. Er wordt ingegaan op de relatieve effecten van de groene golf voor het gehele netwerk, per wegvak en per voertuigtype (personenvoertuigen en vrachtvoertuigen). Daarnaast wordt de hoofdweg apart beschouwd om in te zoomen op de effecten per voertuigmodel (middenklasse benzine, grote benzine, middenklasse diesel, grote diesel en vrachtwagen).

8.1 Effect van de groene golf op de netwerkprestaties

De VERSNEL-rekenmethode toont duidelijke effecten van de groene golf op de netwerkprestaties. De resultaten staan weergegeven in *Tabel 8.1* en *Tabel 8.2*. Zoals verwacht nemen de snelheid (voor beide richtingen meer dan 50%) en de intensiteit (4% richting noord, 16% richting zuid) op de hoofdweg toe. Ook de gemiddelde snelheid voor het gehele netwerk, ondanks dat extra vertragingen optreden op de zijwegen, neemt toe (39%). Deze toename komt overeen met een afname van de gemiddelde reistijd in het netwerk van 280 seconden naar 205 seconden. Daarnaast nemen het aantal stops per voertuig en de vertragingstijd per voertuig fors af. In algemene zin is kenmerkend voor het effect van de groene golf dat het aantal stops in het netwerk afneemt maar de gemiddelde duur van de stop toeneemt. Dit effect wordt in de case studie ook waargenomen (de gemiddelde totale stoptijd per voertuig blijft nagenoeg gelijk, terwijl het aantal stops per voertuig met 56% afneemt). De effecten zijn voor het personenverkeer (PV) en vrachtverkeer (VV) van gelijke grootte. In het geheel zijn de effecten op het vrachtverkeer net iets groter, echter doordat de intensiteiten van het vrachtverkeer aanzienlijk lager is de invloed op de totalen gering.

Aantal voertuigen rit voltooid			
	onafhankelijk	groene golf	verschil
PV	4133	4488	9%
VV	307	339	10%
Totaal	4440	4827	9%
Gemiddeld aantal stops per voertuig			
	onafhankelijk	groene golf	verschil
PV	20	8	-58%
VV	13	5	-59%
Totaal	20	8	-58%
Gem. totale stoptijd per voertuig (sec)			
	onafhankelijk	groene golf	verschil
PV	59	61	3%
VV	54	53	-2%
Gem	58	60	3%

Tabel 8.1 Effect groene golf op het aantal voltooide ritten, het gemiddeld aantal stops en de gemiddelde stoptijd

Gemiddelde snelheid (km/h)			
	onafhankelijk	groene golf	verschil
PV	24	33	38%
VV	21	32	52%
Totaal	23	33	39%
Intensiteit richting noord (vtg/u)			
	onafhankelijk	groene golf	verschil
PV	1748	1820	4%
VV	121	128	6%
Totaal	1869	1948	4%
Intensiteit richting zuid (vtg/u)			
	onafhankelijk	groene golf	verschil
PV	1374	1595	16%
VV	143	166	17%
Totaal	1517	1761	16%

Tabel 8.2 Effect groene golf op de gemiddelde snelheid en de intensiteiten op de hoofdstroom per rijrichting

Uit de betrouwbaarheidsanalyse (*bijlage 11*) blijkt dat het effect, uitgaande van een 95%-betrouwbaarheidsinterval, met voldoende significantie kan worden aangetoond. De onnauwkeurigheid in de resultaten als gevolg van de VISSIM simulatie is gering.

8.2 Effect van de groene golf op de emissie - standaard emissiefactoren

Bij studies naar de luchtkwaliteit wordt voornamelijk gebruik gemaakt van het voorgeschreven luchtkwaliteitsmodel CAR-II (Teeuwisse, 2005). Binnen dit model bestaat de berekening van de emissie uit het vermenigvuldigen van de (Nederlandse) standaard emissiefactoren (zie *hoofdstuk 5* en *bijlage 6*) met het totaal aantal gereden kilometers in het netwerk (de standaard emissiefactoren worden gegeven in g/km). Het aantal gereden kilometers wordt gebaseerd op intensiteiten verkregen met verkeerstellingen. De standaard emissiefactoren zijn opgesteld voor personen- en vrachtverkeer

en voor een aantal verschillende type verkeerssituaties (uitgedrukt in snelheidscategorieën). De rekenmethode wordt hierna aangeduid als de CAR-II-rekenmethode.

Bij de toepassing van de CAR-II-rekenmethode op de case studie zou het voor de hand liggen om gebruik te maken van de beschikbare verkeerstelling. Echter om het effect van de groene golf met de standaard emissiefactoren te kunnen bepalen moet de invloed van de snelheid meegenomen worden. Dit betekent dat voor een goede vergelijking naast de snelheden ook de intensiteiten gebruikt moeten worden die het model gesimuleerd heeft (en dus niet de intensiteiten van de telling).

De grote invloed van de snelheid blijkt uit *Tabel 8.3* waarin een vergelijking wordt gemaakt tussen de het gebruik van de netwerkprestatie (snelheidscategorie en intensiteiten) gebaseerd op de verkeerstelling en het gebruik van de netwerkprestatie (snelheid en intensiteiten) die voort komen uit de simulatie. De emissiefactoren worden in het laatste geval door lineaire interpolatie tussen de snelheidscategorieën omgerekend naar de emissie die hoort bij de gemodelleerde snelheid.

Bij deze berekeningen geldt dat de verkeerssituatie in de case studie overeen komt met een buitenweg waarbij een maximum snelheid van 70 km/h geldt en gemiddeld 44 km/h wordt gereden. Daarnaast is conform de CAR-II-rekenmethode hierbij enkel de emissie op de hoofdweg berekend. Bij de berekening met de gemodelleerde snelheden en intensiteiten is de emissie apart per rijrichting berekend. De snelheid en intensiteit van beide rijrichtingen verschillen namelijk sterk.

Uit *Tabel 8.3* blijkt dat door te rekenen met de gemodelleerde netwerkprestatie (uitgaan van de gemodelleerde snelheid in plaats van de standaard snelheidscategorie) een aanzienlijk verschil (minimaal 25%) in de berekening van de emissie optreedt. Dit verschil is toe te schrijven aan de interpolatie van de emissiefactoren over de verschillende snelheidscategorieën van de CAR-II-rekenmethode. In *hoofdstuk 7* is immers gebleken dat het verschil in getelde en gemodelleerde intensiteiten op de hoofdweg (welke volgens de CAR-II-rekenmethode enkel beschouwd wordt) klein is.

In algemene zin laat *Tabel 8.3* zien dat de bijdrage van het vrachtverkeer aan de emissie van NO_x opvallend groot is. Deze is bijna 1,5 keer zo groot als de bijdrage van het personenverkeer terwijl het aandeel vrachtverkeer in het totale wagenpark, zoals uit *Tabel 8.1* blijkt, minder dan 10% is. Daarnaast komt duidelijk naar voren dat de CO-emissie van het personenverkeer aanzienlijk groter is dan dat van het vrachtverkeer.

Emissie NOx (gram)			
	telling	model	verschil
PV	5254	4102	-22%
VV	7462	5456	-27%
Totaal	12716	9558	-25%
Emissie PM10 (gram)			
	telling	model	verschil
PV	551	341	-38%
VV	299	180	-40%
Totaal	850	521	-39%
Emissie CO (gram)			
	telling	model	verschil
PV	31866	13807	-57%
VV	2005	1124	-44%
Totaal	33870	14931	-56%

Tabel 8.3 Emissieberekening o.b.v. standaard emissiefactoren en respectievelijk getelde en gemodelleerde netwerkprestaties

Emissie NOx (gram)			
	onafhankelijk	groene golf	verschil
PV	4026	4102	2%
VV	6620	5456	-18%
Totaal	10646	9558	-10%
Emissie PM10 (gram)			
	onafhankelijk	groene golf	verschil
PV	374	341	-9%
VV	248	180	-27%
Totaal	622	521	-16%
Emissie CO (gram)			
	onafhankelijk	groene golf	verschil
PV	16914	13807	-18%
VV	1644	1124	-32%
Totaal	18558	14931	-20%

Tabel 8.4 Effect groene golf berekend met standaard emissiefactoren en gemodelleerde netwerkprestaties

Het effect van de groene golf berekend volgens CAR-II-rekenmethode in combinatie met de gemodelleerde netwerkprestatie staat weergegeven in *Tabel 8.4*. Uit de resultaten komt naar voren dat de emissie van alle stoffen gereduceerd wordt. Opvallend is dat de uitstoot van NO_x door het personenverkeer licht toeneemt. De emissiefactoren voor het personenverkeer zijn weinig gevoelig voor de snelheidverandering rond het snelheidsniveau van de gemodelleerde snelheden. Daarnaast is duidelijk te zien dat volgens deze berekening de groene golf wat betreft alle bestudeerde stoffen het meeste effect uitoefent op het vrachtverkeer.

8.3 Effect van de groene golf op brandstofverbruik en emissie - VERSNEL-rekenmethode

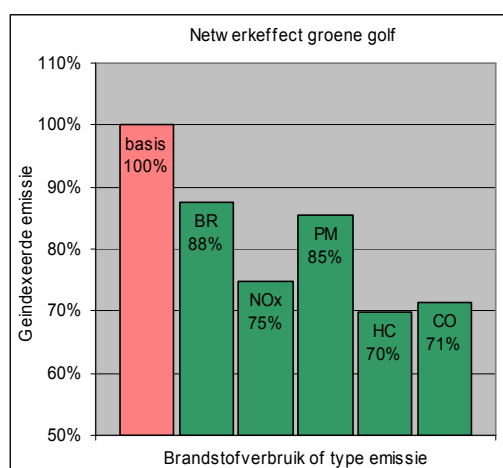
In deze paragraaf wordt ingegaan op de emissie die voor de case studie met de VERSNEL-rekenmethode berekend worden. Eerst wordt op netwerkniveau de emissie veroorzaakt door het wagenpark als geheel en door personen- en vrachtverkeer apart beschouwd. Vervolgens wordt voor de hoofdweg de emissie per voertuigtype weergegeven en geanalyseerd.

8.3.1 Presentatie van de resultaten

De VERSNEL-rekenmethode is in staat het brandstofverbruik en de emissie voor de stoffen NO_x , PM_{10} , HC en CO te genereren. Bij de presentatie van de effecten op de emissie van deze stoffen worden de effecten zoveel mogelijk apart voor het personen- en vrachtverkeer weergegeven. De gepresenteerde percentages geven de toe- of afname van de emissie weer ten opzichte van de totale emissie uitgestoten in de situatie met onafhankelijk geregelde kruisingen. Voor deze presentatie is gekozen aangezien daarmee inzicht wordt verkregen op welke wegvakken en door welke type voertuigen de reductie van de absolute emissie het grootst is. Hierbij wordt de invloed van het aantal voertuigen op het wegvak en de lengte van het wegvak meegenomen. (Met dit laatste wordt voorkomen dat de emissie omgerekend moeten worden naar gram/km.) Het is ook zinvol om het effect op de emissies te relateren aan de wegvakspecifieke emissies uitgestoten tijdens de situatie met onafhankelijke regelingen. Dan wordt inzichtelijk op welk wegvak de groene golf het meeste effect uitoefent. Dit vergroot met name het beeld van de emissie van NO_x door personenvoertuigen aangezien, zoals hierna blijkt, de effecten ten opzichte de totale emissie klein zijn.

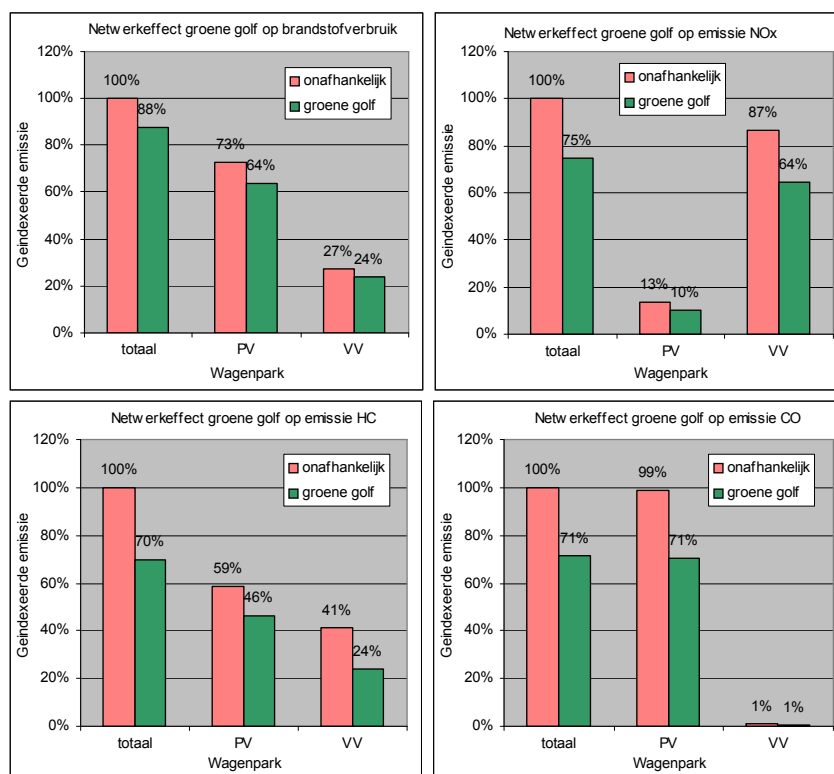
8.3.2 Geaggregeerde effecten

In *Figuur 8.1* staan de effecten op het brandstofverbruik en de emissie van NO_x , PM_{10} , HC en CO samengevat. In totaal neemt het brandstofverbruik met 12% en de emissie van NO_x met 25%, van PM_{10} met 15%, van HC met 30% en van CO met 29% af.



Figuur 8.1 Overzicht van het effect van de groene golf op brandstofverbruik en emissie

Voor het brandstofverbruik en de stoffen NO_x , HC en CO is in *Figuur 8.2* het effect voor het personenverkeer en het vrachtverkeer apart weergegeven. Hierbij zijn ook de percentages van de groene golf situatie per stof gerelateerd aan de totale emissie in de situatie met onafhankelijke regelingen. De afname in de emissie van het brandstofverbruik is het grootst bij het personenverkeer (-28%) en de afname in de emissie van NO_x is het grootst bij het vrachtverkeer (-23%). In *bijlage 14* zijn de uitkomsten in tabelvorm weergegeven. Hierbij wordt ook onderscheid gemaakt tussen beide rijrichtingen op de hoofdstroom en de zijwegen. Opvallende in deze tabel is het grote verschil in de reductie van NO_x op de hoofdweg in noordelijke richting (-7%) en in zuidelijke richting (-21%). Dit wordt verklaard door het verschil in het aandeel vrachtwagens van beide richtingen. Op de zijwegen neemt de emissie toe, echter gerelateerd aan de totale emissie bestaat de toename in emissie slecht uit enkele procenten.

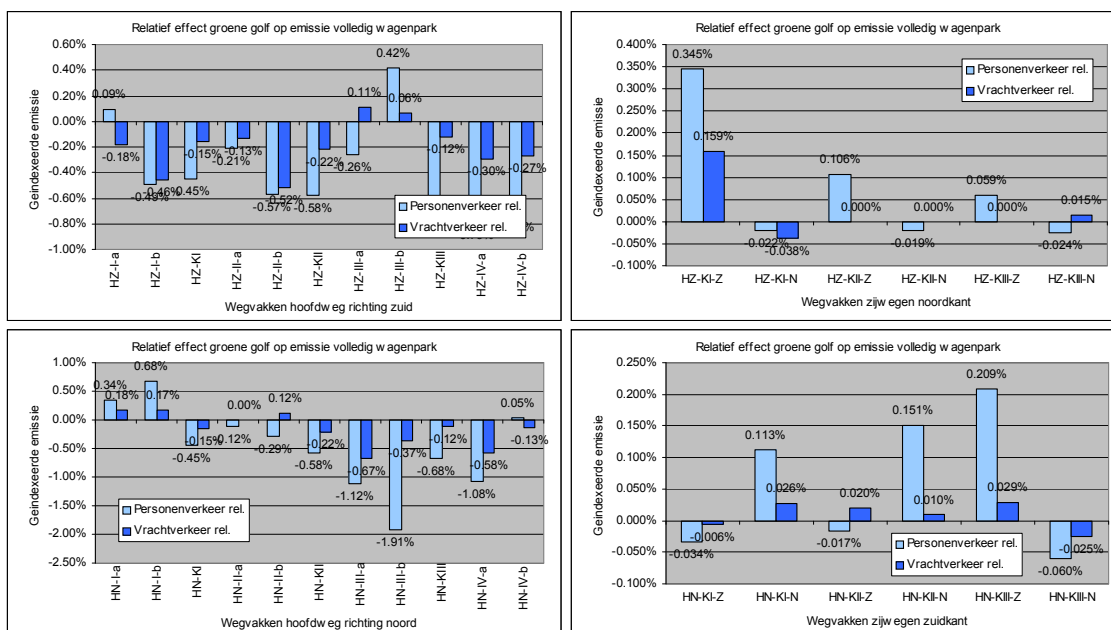


Figuur 8.2 Overzicht van effect groene golf per voertuigklasse op netwerkniveau

8.3.3 Effecten per wegvak voor personen- en vrachtverkeer

Effect op het brandstofverbruik

In *Figuur 8.3* staat het effect van de groene golf op het brandstofverbruik weergegeven. Duidelijk is te zien dat op het tweede en derde kruispunt (in de rijrichting) van de groene golf de reductie van het brandstofverbruik het grootst is. De reductie is het laagst (of er is zelfs sprake van toename) op het wegvak na het eerste kruispunt in de groene golf. In het algemeen neemt het brandstofverbruik af op de hoofdweg. Dit effect is op alle wegvakken voor de personenvoertuigen groter dan voor de vrachtvoertuigen. De effecten op de zijwegen tonen een grimmiger patroon. De zijwegen die de kruispunten KI en KII naderen kennen een toename in emissie terwijl dit effect bij kruispunt KIII omgekeerd is. Mogelijk komt dit door een gunstig verloop van de regeling voor de zijwegen van KIII. In het geheel neemt de emissie op de zijwegen toe.

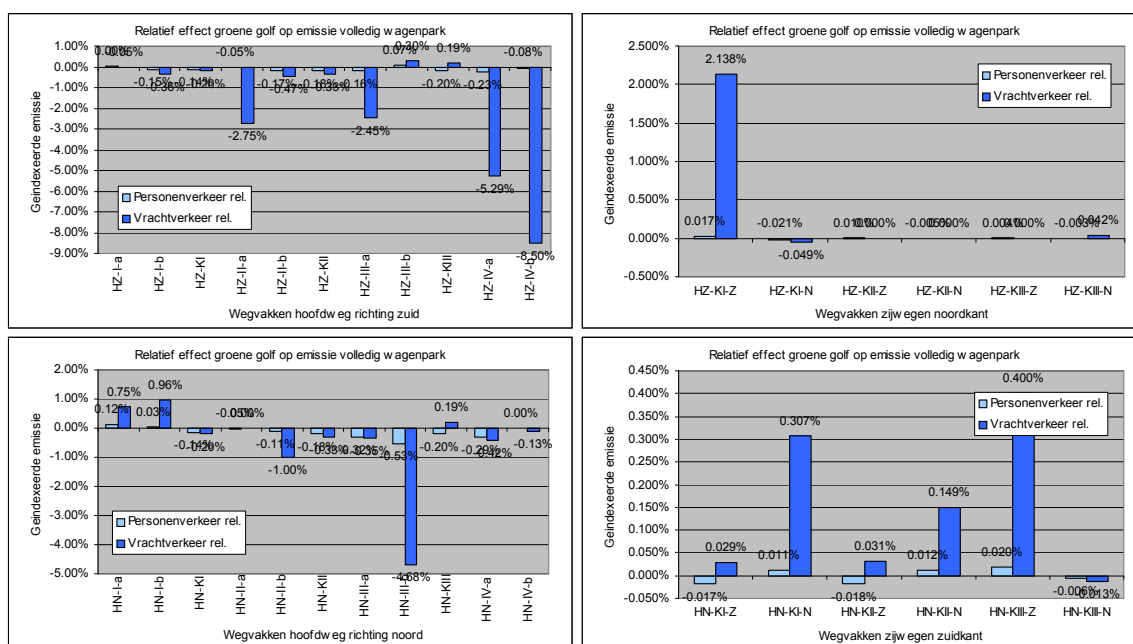


Figuur 8.3 Effect groene golf op brandstofverbruik door personen- en vrachtovervoertuigen

Opvallend is dat op de hoofdweg in zuidelijke richting de emissie voor het eerste kruispunt (rechts in linksboven geplaatste diagram) duidelijk afneemt maar op hetzelfde punt op de hoofdweg in noordelijke richting (links in linksonder geplaatste diagram) toeneemt. Dit wordt verklaard doordat in de situatie met onafhankelijke regelingen op de hoofdweg in zuidelijke richting een wachtrij ontstaat die door de groene golf afneemt en de wachtrij in noordelijke richting doordat deze richting een groot voertuigaanbod kent bij de groene golf toeneemt waardoor de voertuigen op die locatie vaker moeten stoppen dan in de situatie met onafhankelijke regelingen.

Effect op de emissie van NO_x

Uit de weergave van de emissie van NO_x over het netwerk in *Figuur 8.4* blijkt dat het effect per wegvak over het algemeen dezelfde richting kent als dat van het brandstofverbruik. De grootte van de effecten verschilt echter wel. De groene golf heeft beduidend meer effect op de emissie van NO_x door het vrachtovervoer dan door het personenvervoer.



Figuur 8.4 Effect groene golf op emissie NO_x door personen- en vrachtovervoertuigen

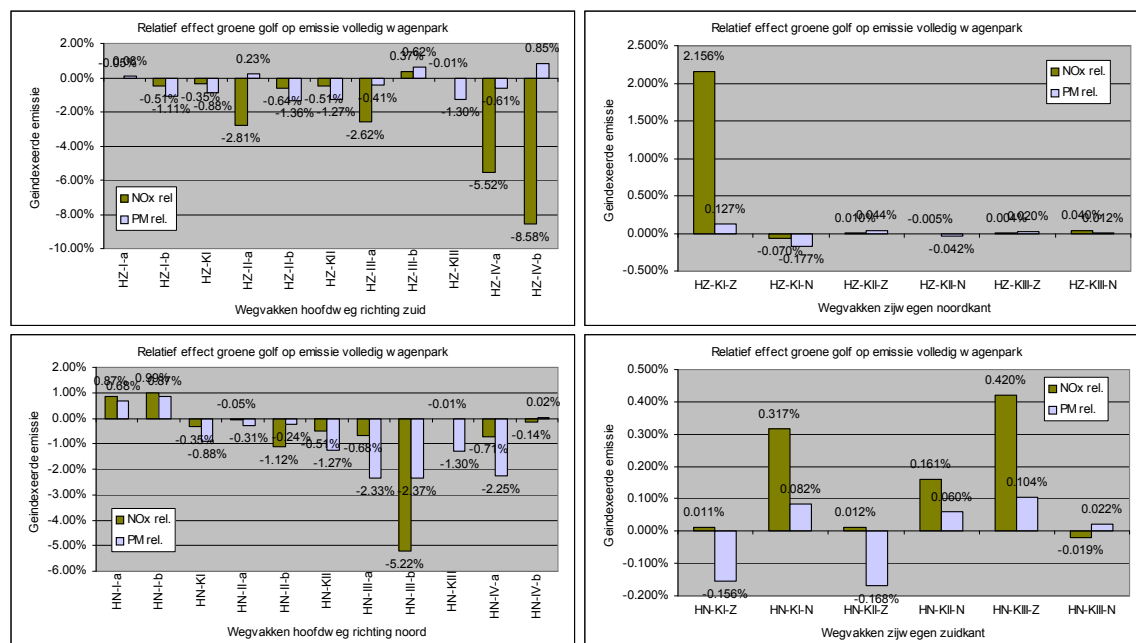
Opvallend is dat de uitstoot van NO_x door het vrachtverkeer het meest gereduceerd wordt op de wegvakken voor de kruisingen terwijl de reductie in het brandstofverbruik juist na de kruispunten het grootst is. Verder kan geconstateerd worden dat het effect van de groene golf op het vrachtverkeer in vergelijking met het personenverkeer op een aantal wegvakken er duidelijk uitschiet. Met name in wachtrijen voor de kruisingen is de reductie van de emissie door het vrachtverkeer het grootst. Daarnaast komt naar voren dat er een aantal zijwegen zijn waar het vrachtverkeer opgehouden wordt tijdens de groene golf. De emissie neemt daar sterk toe.

Effect op de emissie NO_x en PM_{10} volledig wagenpark

Het is niet mogelijk om de uitstoot van PM_{10} met onderscheid naar personen- en vrachtverkeer te bestuderen aangezien voor het vrachtverkeer geen PM_{10} -emissie worden gegenereerd. De gepresenteerde effecten op de PM_{10} uitstoot representeren dus alleen de emissie uitgestoten door diesel personenvervoertuigen. In *Figuur 8.5* wordt het effect op de emissie van NO_x en PM_{10} per wegvak gepresenteerd.

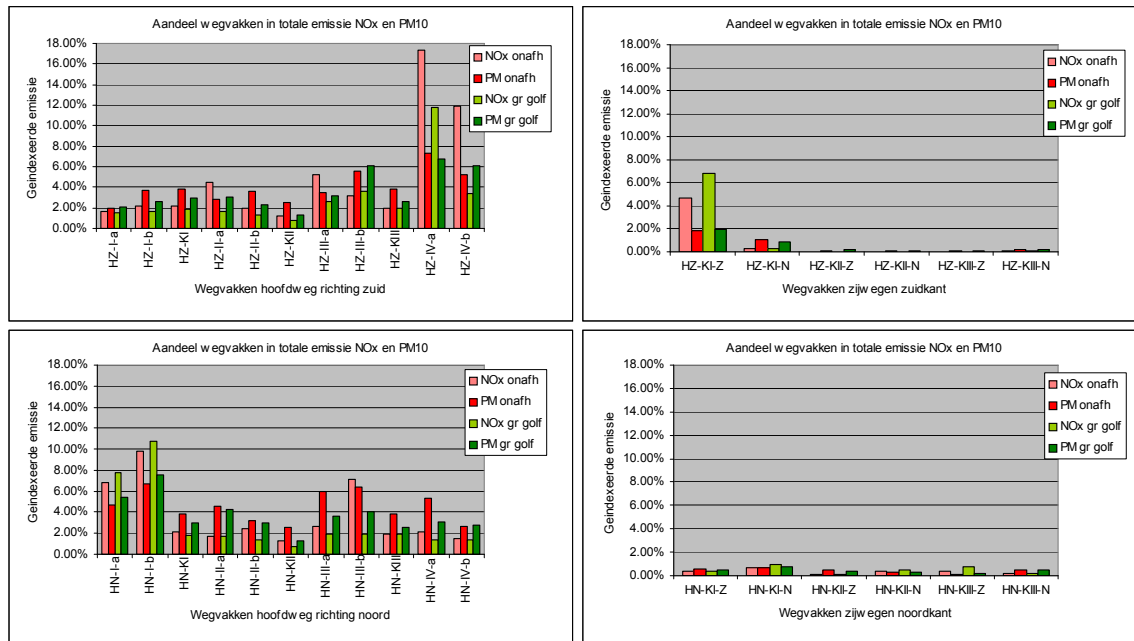
De diagrammen laten zien dat de effecten voor beide stoffen sterk verschillen over het netwerk. Duidelijk is te zien dat per saldo de emissies op de hoofdweg afnemen en op de zijwegen toenemen. Daarnaast valt op dat op de hoofdweg de reductie het grootst is voor de kruisingen, daar waar de wachtrijen staan. Over het geheel genomen is het effect op NO_x het grootst. De emissie van NO_x kent de grootste afname op de hoofdweg en toename op de zijwegen. Dit is een indicatie voor de in de empirische studie aangetoonde sterkere relatie tussen NO_x en rijgedrag dan tussen meer brandstof gerelateerd emissieproducten (zoals PM_{10}) en rijgedrag (*hoofdstuk 5*). De wegvakken waarop NO_x en PM_{10} een effect vertonen in tegengestelde richting zijn gering.

Voor alle gepresenteerde stoffen vertoont kruispunt KIII afwijkende effecten ten opzichte van de overige twee kruisingen. De toename van de emissie op de zijwegen richting het kruispunt zijn gering en de toename is juist sterk op de rijrichtingen van het kruispunt af. Een mogelijke verklaring hiervoor is de afwijkende fysieke vormgeving van het kruispunt KIII.



Figuur 8.5 Effect groene golf op emissie NO_x en PM_{10}

Naast het bovenstaande beeld van waar in het netwerk de grootste effecten optreden is het ook interessant een beeld te hebben van de verdeling van de emissie over het netwerk. In *Figuur 8.6* zijn de emissies van NO_x en PM_{10} per wegvak gerelateerd aan de totale emissie in de onafhankelijke situatie weergegeven. De rode staven geven de emissieverdeling over het netwerk weer in de situatie met onafhankelijk geregelde kruisingen en de groene staven de emissieverdeling in de groene golf situatie.



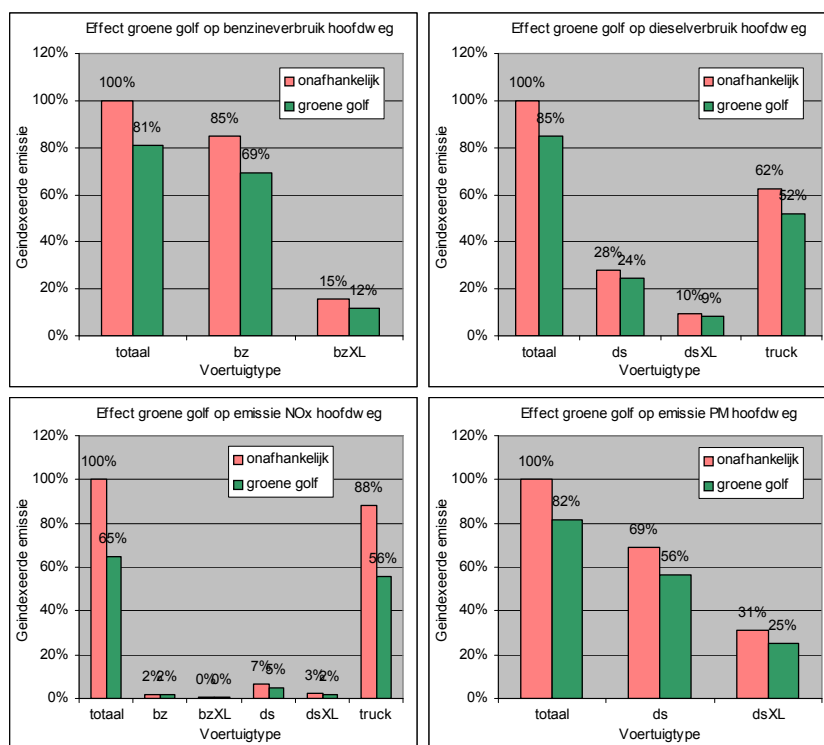
Figuur 8.6 Wegvakbijdragen aan de totale emissie van NO_x en PM_{10} in het netwerk

Uit de figuur blijkt dat de groene golf nauwelijks invloed heeft op de verdeling van de emissie in het netwerk. In beide situaties (met en zonder groene golf) is de emissie aan weersijden van de groene golf duidelijk het hoogst. Te zien is dat de emissie van NO_x (in zowel in de onafhankelijke als de groene golf situatie) zich meer concentreert aan het begin van de groene golf, daar waar de grootste wachtrij staat, dan de emissie van PM_{10} . In de groene golf situatie is de emissie na de eerste kruispunten (in de rijrichting) gelijkmatiger verdeeld. Hierbij moet opgemerkt worden dat wegvakken tussen de kruispunten K-II en K-III een bijna twee keer zo grote lengte hebben. Hierdoor zal de emissie op deze wegvakken iets groter zijn. Echter daarnaast is te zien dat in de groene golf situatie de piek op deze wegvakken afneemt. Dit duidt er op dat het reduceren van het aantal stops op deze wegvakken van grotere invloed heeft op de emissie dan de afgelegde afstand. Verder is te zien dat maar één zijweg substantieel bijdraagt aan de totale emissie in het netwerk en dat op deze zijweg door de introductie van de groene golf de emissie ook sterk toeneemt.

De in deze paragraaf gepresenteerd effecten gerelateerd aan de totale emissie in het netwerk blijven binnen een marge van plus en min tien procent. Worden de effecten gerelateerd aan de wegvakspecifiek emissies dan kan het effect op de wegvakken van de hoofdweg oplopen tot 80% reductie van de emissie. Op de zijwegen daarentegen komen enkele emissietoenames van meer dan 100% voor. Over het algemeen komen deze pieken overeen met de grootste effecten die blijken uit de in deze paragraaf gepresenteerde figuren.

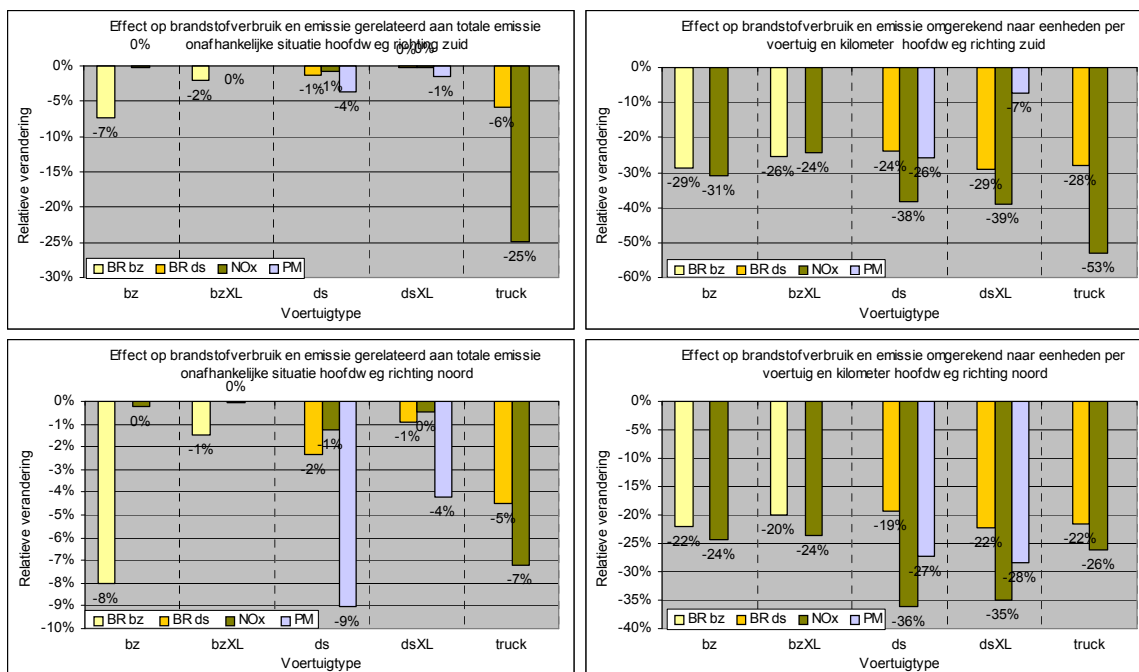
8.3.4 Effecten per voertuigtype op de hoofdweg

Met de VERSNEL-rekenmethode is het mogelijk de emissie per gemodelleerd voertuigtype op te vragen. Hiermee wordt inzicht verkregen in welke voertuigtypen per stof het meeste bijdragen aan de reductie van de emissie. In de paragraaf wordt de emissie per voertuigtype voor de hoofdweg gepresenteerd. *Figuur 8.7* toont het totaaleffect per stof voor ieder voertuigtype. Onderscheid wordt gemaakt tussen 'gewone' en grote benzine- en dieselauto's en vrachtwagens. Bij het brandstofverbruik en de emissie van PM_{10} is duidelijk het effect van de samenstelling van het wagenpark te zien. De 'gewone' benzine- en dieselauto's dragen duidelijk meer bij aan het brandstofverbruik en de emissie en ook het effect is bij deze typen voertuigen het grootst. Uitzondering hierop is de bijdrage van en het effect op het dieselverbruik door vrachtvoertuigen. Zoals eerder aangegeven is het aandeel van de vrachtwagens klein maar het effect op het brandstofverbruik en de emissie groot. De emissie van NO_x wordt met name veroorzaakt door het vrachtverkeer (88% bij onafhankelijke situatie en 55% bij groene golf situatie) en het effect van de groene golf op deze emissie is aanzienlijk (-33%).



Figuur 8.7 Effect op brandstofverbruik en emissie NO_x en PM₁₀ per voertuigtype op de hoofdweg

Door herkomst-bestemmingsparen afzonderlijk te beschouwen kan, rekeninghoudend met het aantal voertuigen en de afstand tussen het herkomst-bestemmingspaar, de gemiddelde voertuigemissie per kilometer bepaald worden. Daarmee worden de netwerkeffecten (verschil in intensiteit en lengte van het wegvak) uitgesloten. Dit is gedaan voor de beide rijrichtingen op de hoofdweg, het resultaat staat in *Figuur 8.8*. In deze figuur geven de diagrammen links de reductie in de emissie ten opzichte van de totale emissie weer en de diagrammen rechts de emissie de verandering in de gemiddelde voertuigemissie per kilometer.



Figuur 8.8 Effect per voertuigtype, gerelateerd aan totale emissie (links), berekend obv gemiddelde emissie per voertuig per kilometer (rechts)

In *Figuur 8.8* is goed het verschil te zien tussen de gevoeligheid van de emissie van een bepaald voertuigtype voor de groene golf en de bijdrage aan de totale emissie van hetzelfde voertuigtype. De emissie van NO_x van alle personenauto's is wel gevoelig voor de groene golf (tussen de 24% en 39% afname in emissie per kilometer (figuren rechts) maar de bijdrage aan de reductie van de totale emissie is nihil (3% of lager, figuren links). Een dergelijke vergelijking kan voor PM_{10} helaas niet gemaakt worden aangezien voor de benzineauto's en de vrachtwagen geen PM_{10} -emissies gemodelleerd zijn. Wel is te zien de totale emissie van PM_{10} door de 'gewone' dieselauto's meer afneemt. Uit het vergelijk van beide rijrichtingen (figuren boven (richting zuid) en onder (richting noord)) dat de totale emissies (links) dezelfde patronen vertonen maar dat het effect op de emissie per kilometer van eenzelfde voertuigtype op de richtingen verschilt. Dit kan verklaard worden door het verschil in doorstroming op beide richtingen, hetgeen een gevolg is van een andere benaderingen van de verkeersregelingen en het netwerk en het verschil in de hoeveelheid voertuigen in beide richtingen. Hieruit kan geconcludeerd worden dat kleine verschillen in de verkeerssituatie (waarneembare) invloeden uitoefenen op de hoeveelheid emissie dat door de voertuigen per kilometer wordt uitgestoten.

8.3.5 Terugkoppeling emissiebijdrage en effecten per voertuigtype

In voorgaande paragrafen zijn de effecten van de groene golf op de emissies in het netwerk besproken. Bij de analyse van de verschillende figuren is, voor zover deze zichtbaar zijn, aandacht besteed aan de voertuigspecifieke bijdrage aan de emissie en de effecten daarop. In deze paragraaf worden deze bijdragen en effecten samengevat. Dit is interessant aangezien op deze manier inzicht wordt verkregen in welke voertuigtypen voor de grootste vervuiling zorgen en welke voertuigtypen het meest gevoelig zijn voor de groene golf (en andere maatregelen die ingrijpen op het individuele rijgedrag). Bovendien, zo is gebleken in hoofdstuk 5, is het aantal onderzoeken dat voertuigspecifieke effecten van meerdere voertuigtypen tegelijk bekijkt en tegen elkaar afzet zeer beperkt.

Als eerste wordt in *Tabel 8.5* een overzicht gegeven van de voertuigspecifieke bijdragen. In de tabel staat PV bz, PV ds en VV ds respectievelijk voor personenauto op benzine, personenauto op diesel en vrachtwagen op diesel. De bijdragen van de voertuigtypen in de case studie zijn geplaatst naast de resultaten die uit de in hoofdstuk 5 besproken literatuur naar voren komt. Deze zijn aangegeven met de plus- en mintekens. De bijdragen die uit de case studie naar voren komen worden op twee manieren met percentages gepresenteerd. Het eerste percentage in de cel geeft de verhouding weer tussen het gemiddelde brandstofverbruik of de gemiddelde emissie per kilometer van de voertuigtypen. Het tweede percentage geeft de verhouding weer tussen de totale emissie van ieder voertuigtype op de hoofdweg. De eerste percentages kunnen vergeleken worden met de bijdragen die uit de literatuur naar voren komen. De bijdragen van beide bronnen geven aan dat het vrachtverkeer het grootste brandstofverbruik heeft en de grootste emissies kent van NO_x . Er zijn twee verschillen te herkennen (onderstreept in de tabel).

	bijdrage obv hoofdstuk 5			bijdrage obv VERSNEL: g/km / hoofdweg		
	PV bz	PV ds	VV ds	PV bz	PV ds	VV ds
BV	+	+	++	100% / 100%	30% / 40%	70% / 60%
NO _x	+/-	++	++	1%/ 3%	7% / <u>10%</u>	92% / 87%
PM ₁₀	+/-	++	++	x	100% / 100%	x
HC	+	+/-	+	nnb / 62% *		nnb / 38% *
CO	+	+/-	+	nnb / 99% *		nnb / <u>1%</u> *
	+/- relatief weinig uitstoot, + relatief gemiddelde uitstoot, ++ relatief veel uitstoot			percentages op basis van figuur 8.2 en <i>bijlage 14</i>		
*Bijdrage totale emissie hoofdweg (op basis van figuur 8.2), inclusief emissie op de zijwegen						
x = voor benzineauto en vrachtwagen geen PM ₁₀ emissie beschikbaar in VERSNEL-rekenmethode nnb = nog niet bepaald, voor HC en CO is de gemiddelde emissie per voertuig per kilometer nog niet bepaald, wel mogelijk met de VERSNEL-rekenmethode						

Tabel 8.5 Vergelijking van de bijdrage aan brandstofverbruik en emissie door verschillende voertuigtypen

De bijdrage van dieselauto's aan de emissie van NO_x wordt in de literatuur groter geacht en de bijdrage van het vrachtverkeer aan de CO-emissie valt erg laag uit. De emissie van HC is in de case studie ook wel lager dan op basis van de literatuur verwacht zou worden. Echter aangezien de gepresenteerde 38% de bijdrage aan de totale emissie op de hoofdweg is, valt het percentage lager

uit door het kleine aandeel vrachtwagens in het wagenpark. Dit effect zorgt ook voor verlaging van de tweede percentages in de andere cellen van de kolom van de vrachtvoertuigen. In de kolommen van de benzine- en dieselpersonenvoertuigen zorgt dit effect hogere percentages (ten opzichte van de eerste in de cel).

In *Tabel 8.6* worden de voertuigspecifieke effecten weergegeven. Evenals de bijdragen worden deze effecten gepresenteerd op basis van de gemiddelde emissie per kilometer van elk voertuigtype en op basis van de totale emissie op de hoofdweg. Door deze twee manieren van presenteren naast elkaar te zetten wordt duidelijk de invloed van de samenstelling van het wagenpark zichtbaar. Uit de tabel komt naar voren dat het brandstofverbruik van de voertuigtype even gevoelig is voor de groene golf. Wat betreft de emissie van NO_x zijn de dieselloertuigen gevoeliger. De invloed van het wagenpark is het sterkst te zien bij de emissie van NO_x . Het effect op de emissie van de personenvoertuigen is nihil vergeleken met de het effect op de emissie van de vrachtvoertuigen. Wat betreft het brandstofverbruik treedt alleen een substantieel grotere verlaging van het percentage op bij de dieselpersonenvoertuigen. De benzinevoertuigen en vrachtvoertuigen kennen in beiden gevallen gelijke percentages. Dit duidt op nog andere neveninvloeden dan alleen de samenstelling van het wagenpark. In de case studie wordt ook een belangrijke invloed toegeschreven aan de verdeling van de voertuigen over de verschillende herkomst-bestemmingsparen. Dit is namelijk bepalend voor hoeveel voertuigen van een bepaald voertuigtype de volledige groene golf passeren.

	effect met VERSNEL g/km obv figuur 8.8			effect met VERSNEL hoofdweg obv figuur 8.7		
	PV bz	PV ds	VV ds	PV bz	PV ds	VV ds
BV	-25%	-24%	-25%	-10%	-3%	-10%
NO _x	-26%	-37%	-40%	0%	-2%	-32%
PM ₁₀	x	-22%	x	x	-10%	x
HC	nmb	nmb	nmb	-13%*		-17%*
CO	nmb	nmb	nmb	-28%*		0%*
*Netwerkeffect (op basis van figuur 8.2), valt naar verwachting lager uit door effect op zijwegen						
x = voor benzineauto en vrachtwagen geen PM ₁₀ emissie beschikbaar in VERSNEL-rekenmethode						
nmb = nog niet bepaald, voor HC en CO is de gemiddelde emissie per voertuig per kilometer nog niet bepaald, wel mogelijk met de VERSNEL-rekenmethode						

Tabel 8.6 Relatieve maat voor uitstoot door verschillende voertuigtypen per stof

8.4 Betrouwbaarheid van de emissie

De gepresenteerde resultaten zijn gebaseerd op één VISSIM-simulatie. Om inzicht te krijgen in de betrouwbaarheid van de resultaten zouden meerdere simulaties met de VERSNEL-rekenmethode doorgerekend moeten worden. Om toch een beeld te vormen van de variatie die als gevolg van onnauwkeurigheden in de VISSIM-simulatie in de resultaten kunnen optreden, is een analyse gemaakt van de betrouwbaarheid van het aantal stops dat VISSIM genereert. Hierbij is aangenomen dat het aantal stops de meest verklarende output van VISSIM is voor de emissie in het netwerk. De betrouwbaarheidsanalyse staat weergegeven in *bijlage 11*. Op basis van veertien VISSIM-simulaties kan geconcludeerd worden dat het 95%-betrouwbaarheidsinterval het effect op een breedte kent van plus en min 4,7%. In *bijlage 11* wordt ook inzicht gegeven in het verloop van de betrouwbaarheid bij uitbreiding van het aantal simulaties.

Om een volledig beeld te krijgen van de betrouwbaarheid moet een uitgebreide onzekerheidsanalyse uitgevoerd worden waarbij ook aandacht is voor de onnauwkeurigheden in de emissiedata. Hier wordt in de hierna volgende paragraaf op ingegaan.

8.5 Discussie VERSNEL-rekenmethode

Op basis van de in de case studie verkregen resultaten kunnen uitspraken worden gedaan over de voordelen en nadelen van de VERSNEL-rekenmethode. De ervaringen geven informatie over de toepassingsmogelijkheden van de rekenmethode. Deze worden hieronder als eerste toegelicht. Daarnaast worden in deze paragraaf een aantal aandachtspunten besproken die voor een correcte toepassing van de rekenmethode van essentieel belang zijn. Als laatste wordt in deze paragraaf aangegeven langs welke weg een verdere ontwikkeling van de rekenmethode ingezet zou kunnen worden.

8.5.1 Toepassing van de VERSNEL-rekenmethode

In het algemeen kan de rekenmethode bijdragen aan het verkrijgen van inzicht in de wijze waarop maatregelen via het rijgedrag van individuele voertuigen de emissie beïnvloeden. Op basis daarvan kan een vergelijking en beoordelen van de effectiviteit van verschillende ITS-maatregelen onder verschillende verkeersomstandigheden gemaakt worden.

In het bijzonder is de methode geschikt voor het verkrijgen van meer inzicht in de invloed van verandering in het rijpatroon op de emissie van verschillende voertuigklassen. De rekenmethode kan ingezet worden voor het doorrekenen van bijvoorbeeld maatregelen met prioriteitverlening aan voertuigen die belastend zijn voor het milieu. De resultaten van de case studie laten zien dat met name de diesel personenvoertuigen en vrachtvoertuigen bijdragen aan de uitstoot van luchtverontreinigende stoffen. Met deze kennis kan ingespeeld worden op een voertuigspecifieke aanpak van de uitstoot van het verkeer. Wat betreft het beïnvloeden van het rijgedrag is dit in de praktijk het meest haalbaar voor het apart benaderen van de personen en vrachtvoertuigen. Vrachtvoertuigen zijn op basis van hun gewicht en omvang op de weg te herkennen. Het op de weg gescheiden aanpakken van de diesel en benzine personenvervoertuigen is (op dit moment) moeilijk te operationaliseren. Dan zou gewerkt moeten worden met (digitale) herkenningcodes die op elk voertuig aangebracht moeten worden.

Daarnaast zou de rekenmethode toegepast kunnen worden om met regressieanalyse relaties te bepalen tussen de verkeersafwikkeling of individuele rijpatronen en de geproduceerde voertuigemissies in bepaalde verkeerssituaties. Het zou goed kunnen dat een bepaalde combinatie van parameters (bijvoorbeeld aantal stops, snelheid en intensiteit) als relatief eenvoudige indicator voor het effect op de emissie gebruikt kunnen worden. Voor een dergelijke toepassing is het wel van belang dat betrouwbare emissiedata in het model beschikbaar zijn.

Een interessante vraag is of er winst valt te bepalen wanneer de rekenmethode wordt ingezet bij volledige luchtkwaliteitsberekeningen. Het gaat er dan om of de mate waarin de rekenmethode in staat is exacter de emissie te bepalen van doorslaggevende invloed is in de berekening van de verspreiding van de luchtverontreinigende stoffen en ook leidt tot andere en aantoonbaar betere luchtkwaliteitsberekening. Een dergelijke toepassing van microscopische berekeningen leidt het snelst tot betere resultaten in situaties waarbij de lokale emissie sterke invloed heeft op lokale luchtkwaliteit. In stedelijk gebied waar weer minder invloed heeft op momenten dat het weer juist ongunstig is voor de lokale luchtkwaliteit. Volledige luchtkwaliteitsberekeningen moeten uitgevoerd worden om te bepalen onder welke omstandigheden het zinvol is om de extra emissies bij kruispunten mee te nemen in de berekeningen. Ook in de emissiefactoren zitten namelijk de extra emissies ten gevolge van stops verwerkt alleen deze worden uitgesmeerd over de weg. Zo hoeft de uitwerking in detail op grote ruimtelijke schaal geen beter luchtkwaliteitsberekeningen op te leveren.

8.5.2 Aandachtspunten bij toepassing van de VERSNEL-rekenmethode

Het gebruik van emissiedata uit ADVISOR

Opgemerkt moet worden dat voor de benzineauto's en de vrachtvoertuigen geen PM₁₀-emissies zijn gemodelleerd. Uit andere studies blijkt dat vrachtvoertuigen een belangrijke bijdrage hebben in de uitstoot van PM₁₀ en dat de uitstoot van PM₁₀ door benzine voertuigen in vergelijking met dieselvoertuigen wel aanzienlijk lager maar niet geheel nul is. Bovendien veroorzaken benzine voertuigen net zoals diesels ook rijstof. De inzichtelijkheid van wat er exact tijdens het modelleren gebeurt, is door de vele gemodelleerde voertuigonderdelen beperkt.

In ADVISOR zijn de emissiedata voor een beperkt aantal type personenvoertuigen en voor één type vrachtvoertuig beschikbaar. Daarnaast zijn de emissiedata afkomstig van laboratoriummetingen met statische rijpatronen (geen grote variatie in snelheid). De metingen zijn niet systematisch gevalideerd aan de hand van andere (praktijk)metingen. Daarnaast zijn de emissiedata van de gebruikte versie van ADVISOR met enigszins verouderde voertuigmodellen (jaren negentig) ingewonnen. Dit betekent dat het raadzaam is om met de huidige versie van de VERSNEL-rekenmethode alleen relatieve effecten te bepalen. De uitkomsten van de methode bevatten op dit moment te veel onzekerheden en zijn niet representatief genoeg voor een absolute interpretatie van de emissies.

In de rekenmethode zijn geen koude start emissies opgenomen. Op specifieke verkeerssituaties kan de toename van de emissie door een groot percentage koude motoren aanzienlijk zijn.

De koppeling tussen VISSIM en ADVISOR

In de opzet van de gepresenteerde rekenmethode is gekozen voor een indirecte koppeling tussen de modellen VISSIM en ADVISOR. De koppeling is gerealiseerd door een module te schrijven die per seconde de voertuigspecifieke rijpatronen op snelheid en versnelling uitleest en de daarbij behorende emissiewaarde bepaald vanuit de snelheid- en versnellingscategorie binnen de emissietabel van het juiste voertuig. Dit betekent dat de emissie niet continu en parallel aan het tot stand komen van het rijpatroon in VISSIM wordt berekend.

Als gevolg van de indirecte koppeling bestaat geen directe relatie tussen het schakelgedrag in ADVISOR en het rijpatroon in VISSIM. In ADVISOR wordt de emissie voor een groot deel bepaald door het schakelgedrag. Het schakelgedrag heeft ook een transient karakter omdat het sterk bepaald wordt door het verloop van het rijpatroon. Dit betekent dat bij het simuleren van een volledige rijpatroon de schakelpositie bij een bepaalde snelheid en versnelling niet dezelfde hoeft te zijn als de schakelpositie tijdens het uitvoeren van het standaardrijpatroon met dezelfde snelheid en versnelling. Daarnaast is er ook geen directe relatie tussen het motorvermogen en het gewicht en het rijpatroon aangezien dit niet in VISSIM (met uitzondering van vrachtwagen op een hellend wegvak) gemodelleerd wordt. Deze invloeden zijn binnen de rekenmethode wel verwerkt in de met ADVISOR gegenereerde emissiewaarden.

Het voordeel van een continue berekening van de emissie is dat bovenstaande relaties en daarmee het transient karakter van de emissieproductie beter meegenomen kan worden. Daarnaast voorkomt het tijdrovende databewerkingen. Voor een dergelijke opzet is de gebruikte versie ADVISOR echter niet geschikt. Het laden van de rijpatronen kost tijd en moet handmatig uitgevoerd worden. In dit opzicht is het interessant om te kijken of de rekenmodules achter ADVISOR zijn te integreren in VISSIM.

Onderzoek naar de onzekerheden en onnauwkeurigheden in de resultaten

De resultaten van de rekenmethode bevatten onzekerheden uit verschillende bronnen. Ten eerste bevatten de gebruikte modellen onnauwkeurigheden die doorwerken in de uitkomsten van de rekenmethode. Ten tweede zijn ontstaan onzekerheden als gevolg van onvolkomenheden in de data en de databewerking. Op dit moment is het inzicht in de onzekerheden in de resultaten van de rekenmethode beperkt. Enkel de betrouwbaarheid van VISSIM is onderzocht (*bijlage 11*).

Alleen op basis van een uitgebreide onzekerheidsanalyse kan een volledige beoordeling gemaakt worden van de onzekerheid en daarmee de kwaliteit van de verkregen resultaten.

Hieronder worden de voornaamste bronnen van onnauwkeurigheid in de rekenmethode aangegeven.

- Onnauwkeurigheden in de emissiedata
- Invloed van koudstart (juist op toegangswegen in de ochtendspits nabij woon woonwijken hoog, het omgekeerde in het geval in de avondspits bij bijvoorbeeld bedrijventerreinen/parken en stedelijke centra)
- Het veralgemeniseren van de emissiedata van specifieke voertuigen voor voertuigklassen
- Bepalen van emissiewaarden met standaard snelheidspatronen in plaats van volledige rijpatronen
- Gebruik van voertuig, snelheid en versnellingscategorieën
- Verlies van (een deel) van het transient karakter door de incrementele koppeling
- Aangenomen samenstelling wagenpark
- Geen invloeden motorvermogen, voertuiggewicht en schakelgedrag op rijpatronen in VISSIM
- Bij de externe dataverwerking (als gevolg van de indirect koppeling) voor het toekennen van emissie is de kans op fouten groter

In ieder geval aan deze bronnen moet in de onzekerheidsanalyse aandacht besteed worden.

Met een gevoeligheidsanalyse kan doorgerekend worden hoe de onzekerheden in brondata doorwerken in de resultaten van de rekenmethode. De gevoeligheidsanalyse kan tevens uitwijzen of de

relaties die het rijgedrag in VISSIM bepalen en de relaties die de emissie in ADVISOR bepalen de werkelijke relaties tussen ITS, rijgedrag en verkeers emissie representeren. Het gaat er om of de verkeerskarakteristieken die verklarend zijn voor de voertuig emissie én worden beïnvloed door de ITS-maatregelen door de rekenmethode (goed) worden meegenomen.

De resultaten van de analyses geven aan met welke voorzichtigheid de uitkomsten geïnterpreteerd moeten worden. Daarnaast wordt inzicht verkregen in welke onderdelen van de emissieberekening voor de grootste onzekerheden zorgen. Dit biedt aangrijpingspunten voor het verder ontwikkelen van de rekenmethode.

8.5.3 Doorontwikkeling van de rekenmethode

Het uitbreiden van de emissiedata

Zoals aangegeven zijn de gecategoriseerde emissiewaarden gebaseerd op emissiedata uit ADVISOR. De emissiedata kennen een aantal beperkingen. Ze zijn maar van een aantal voertuigen bekend, ingewonnen met enkel statische laboratoriummetingen en niet gevalideerd met praktijkmetingen. Voor de rekenmethode zouden meer betrouwbare en voor een geheel wagenpark meer representatieve gecategoriseerde emissiewaarden opgesteld kunnen worden als de emissiedata van meer verschillende laboratoriummetingen en van praktijkmetingen beschikbaar zouden zijn.

Validatie met emissiemetingen praktijk

Voor een succesvolle toepassing van de rekenmethode is de validatie van de uitkomsten aan praktijkmetingen zeer waardevol. Door herhaaldelijke aanpassen van de rekenmethode (bijvoorbeeld herzien van de categorieën) en vergelijken met metingen kan de kwaliteit verbeterd worden. Bovendien kan bepaald worden in welke situaties de rekenmethode de werkelijkheid het beste (beter dan de standaard rekenmethode) benaderd. Idealiter zouden de uitkomsten getoetst moeten worden met behulp van on-road metingen. Van de huidige onderzoeksomgeving zijn deze op dit moment niet beschikbaar. Wanneer een volledige validatie voor de rekenmethode opgezet gaat worden, is het wenselijk dat een situatie beschikbaar is waarvan de voertuig emissies bekend zijn. De validatie zou het meest waardevol zijn wanneer dat van een situatie is waarin een vergelijkbare maatregel is ingevoerd en metingen aan de verkeersafwikkeling en emissie zijn verricht. Dit biedt de meeste mogelijkheden om het praktijk effect en het effect dat het model weergeeft te vergelijken. De validatie blijft echter bemoeilijkt doordat de emissie zelf in de praktijk moeilijk is te meten. Er zijn twee methoden om toch tot een toetsing van de modelresultaten aan een praktijksituatie te komen. De eerste is door middel van toetsing aan de luchtkwaliteit. Hiervoor moeten de emissies nog doorgerekend worden naar de luchtkwaliteit met behulp van een luchtkwaliteitsmodel. Vervolgens kunnen de verkregen concentratie luchtvervuilende stoffen vergeleken worden met de gemeten luchtkwaliteit. Hiermee wordt wel een extra onzekerheid geïntroduceerd. Luchtkwaliteitsmodellen kennen namelijk een relatief grote onzekerheid als gevolg de grote invloed en variatie van de meteorologische omstandigheden.

De andere methode bestaat uit het uitvoeren van ritten in de praktijksituatie om naderhand op een rollerbank in een laboratorium de emissie bij de gereden rijpatronen te bepalen. Dit zou dan meerdere keren voor een aantal verschillende voertuigen, die elke representatief zijn voor de in de rekenmethode gedefinieerde voertuigklassen, gedaan moeten worden. Vervolgens kunnen de verkregen combinatie van rijpatroon en emissie getoetst worden aan de gemodelleerde emissies (ook vanuit de rekenmethode kunnen de emissie per rijpatroon geanalyseerd worden). Wanneer het niet mogelijk is om dergelijke emissies in de onderzoeksomgeving uit te voeren dan kunnen ook emissiemetingen van vergelijkbare omgevingen (verkeerssituaties) gebruikt worden.

Vergelijk met alternatieve modellen

Een alternatief voor controle met metingen is dat een vergelijking wordt gemaakt met relaties uit alternatieve microscopische emissiemodellen. Het is in deze zinvol om te kijken of wellicht een betrouwbaar microscopisch emissiemodel beschikbaar gemaakt kan worden om voor de onderzoeksomgeving emissieberekeningen uit te voeren. De resultaten van beide modellen kunnen dan vergeleken worden. Interessant is om de betrouwbaarheid en onzekerheid van de modelberekeningen van deze alternatieve modellen naast een gevoeligheid- en onzekerheidsanalyse van de rekenmethode te leggen.

Doorrekenen van andere ITS-maatregelen

Gezien de reeds bereikte resultaten met de case studie is het interessant om te bekijken hoe de rekenmethode de effecten van andere maatregelen doorrekent. Aangezien luchtkwaliteitsknelpunten in verkeerssituatie en type verkeer verschillen zal de toepasbaarheid en effectiviteit van een ITS-maatregel per situatie verschillen. Het is interessant om met de rekenmethode meerdere maatregelen door te rekenen zodat de werking daarvan in verschillende situaties vergeleken kunnen worden.

Naast de groene golf is het interessant om de effecten voor ITS-maatregelen met toepassing van bijvoorbeeld in-car systemen of een toeritdoseerinstallatie door te rekenen. Hierbij wordt in acht genomen dat voldoende variatie bestaat tussen de gekozen maatregelen en beoordeeld kan worden in welke mate de VERSNEL-rekenmethode goed functioneert in verschillende situaties. De maatregelen dienen zo gekozen te worden dat er variatie bestaat in de toepassing op hoofd- en onderliggendwegennet en het type systeem dat toegepast wordt.

Integratie van verkeers- en emissiemodel

Met een integratie van VISSIM en ADVISOR waardoor de emissie per individueel voertuig direct, tijdens de simulatie, berekend wordt, heeft grote voordelen voor de gebruikersvriendelijkheid en transparantie van de rekenmethode. Bij een toename van de netwerk grootte en het aantal voertuigen nemen de datahandelingen (hoewel geautomatiseerd) bij de huidige rekenmethode snel toe. Dit vereist grote rekenkracht en mogelijke fouten zijn moeilijk te herleiden. Daarnaast zal de nauwkeurigheid toenemen doordat de vereenvoudiging van de categorieën wegvalt, het transient karakter behouden en bovendien de emissies aan de motorbelasting, schakelgedrag en toerental gesimuleerd door het verkeersmodel gerelateerd kan worden. In de huidige opzet is emissie afhankelijk van motorbelasting, schakelgedrag en toerental zoals gesimuleerd tijdens de standaardrijpatronen in ADVISOR. Deze rijgedragparameters zullen anders functioneren in de beide modellen maar ook bij het uitvoeren van de standaardrijpatronen of de volledige rijpatronen.

In de hierboven omschreven directe koppeling tussen de modellen moet vooral methodisch geïnterpreteerd worden. Doordat beiden gebruikte modellen een eigen simulatiemodule hebben zullen de modellen niet eenvoudig op elkaar aansluiten. In de praktijk ligt het het meest voor de hand wanneer het verkeerssimulatiemodel wordt uitgebreid met een module die het gebruik van de motor simuleert. Een dergelijke module zal in de structuur van het bestaande model geschreven moeten worden. De module zelf zal dan als een power based model functioneren en gebruik maken van een zo uitgebreid mogelijke set emissiedata.

8.6 Samenvatting

De case studie is gericht op het in beeld brengen van het relatieve effect van de groene golf op de verkeersemisatie in het netwerk. Hiervoor is gekozen omdat aan de ene kant (nog) niet bekend is welke onzekerheden de resultaten kennen (uit andere studies komt naar voren dat emissieberekeningen grote onzekerheden kennen (hoofdstuk 4)) en aan de andere kant wel bekend is dat de emissiedata voor de verschillende voertuigtypen beperkt beschikbaar en geverifieerd zijn. Met de resultaten van de case studie wordt aangetoond dat de groene golf duidelijk een positief effect heeft op het brandstofverbruik en de emissie in het netwerk. Op basis van de effecten op de netwerkprestaties en de emissie kan verondersteld worden dat de reductie van het aantal stops (en daarmee de variatie in snelheid en het aantal optrekkende en afremmende bewegingen) door het instellen van de groene golf, leidt tot een vermindering van de uitstoot van vervuilende stoffen door het verkeer.

Uit de resultaten komt duidelijk naar voren dat de uitstoot van NO_x door de diesellootvoertuigen (personenlootvoertuigen en vrachtootvoertuigen) significant groter is dan door de benzinevoertuigen. De bijdrage van het vrachtootverkeer in de totale emissie is verreweg het grootst. Dit is in lijn met de resultaten van andere studies. Daaruit volgt ook dat de uitstoot van PM_{10} voor diesellootvoertuigen en vrachtootvoertuigen hoger is. Deze zijn echter in deze studie niet gemodelleerd.

Geconcludeerd kan worden door de introductie van de groene golf de grootste effecten worden waargenomen in de emissie van NO_x . De resultaten laten zien dat NO_x (ten opzichte van PM_{10} en het brandstofverbruik) het meest gevoelig is voor het rijgedrag van voertuigen. Dit effect is hoofdzakelijk toe te schrijven aan de mindering van de uitstoot door het vrachtootverkeer. Bij het personenverkeer is het effect op het brandstofverbruik het grootst.

Een overzicht van de effecten die met de rekenmethode worden verkregen staat in *Tabel 8.7*.

gemiddelde voertuigemissie per kilometer	verdeling emissiebijdrage			effect groene golf		
	PV bz	PV ds	VV ds	PV bz	PV ds	VV ds
BV	++	++	+++	--	--	--
NO _x	+	++	+++	--	---	---
PM ₁₀	x	++	x	x	--	x

totale emissie hoofdweg	verdeling emissiebijdrage			effect groene golf		
	PV bz	PV ds	VV ds	PV bz	PV ds	VV ds
BV	++	++	++	--	-	--
NO _x	+	+	+++	-	-	---
PM ₁₀	x	+	x	x	--	x
	+ relatief weinig uitstoot, ++ relatief gemiddelde uitstoot, +++ relatief veel uitstoot			- relatie kleine afname, --relatief gemiddelde afname, --- relatief grote afname		

x = geen relaties aangetoond aangezien geen PM₁₀ emissiedata voor benzineauto en vrachtwagen in de VERSNEL-rekenmethode zijn opgenomen

Tabel 8.7 Verdeling emissiebijdrage en effect groene golf op emissie hoofdweg en gemiddeld voertuigemissie per kilometer

De resultaten tonen daarnaast dat de effecten per stof, voertuigtype en wegvak sterk kunnen verschillen. Dit pleit voor het inzetten van microscopische modeltechnieken die per voertuig het inzicht in de emissie over tijd en plaats kunnen vergroten.

9 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Dit onderzoek is opgezet om een bijdrage te leveren aan de beantwoording van de centrale vraag in welke mate ITS-maatregelen geschikt zijn om de luchtkwaliteitsproblematiek aan te pakken. Vanuit deze vraag is voor het onderzoek een tweeledige doelstelling opgesteld. Enerzijds is het onderzoek gericht op het onderscheiden van de factoren die bepalend zijn voor de relatie tussen rijgedrag en verkeersemisaties en anderzijds op het ontwikkelen van de VERSNEL-rekenmethode waarmee het effect van ITS-maatregelen op verkeersemisaties gemodelleerd kan worden. In dit hoofdstuk worden achtereenvolgens de conclusies en aanbevelingen die ten aanzien van beide doelstellingen geformuleerd kunnen worden.

9.1 Conclusies

ITS-maatregelen en luchtkwaliteit

De centrale vraag achter dit onderzoek is (*paragraaf 1.1*): *In welke mate zijn ITS-maatregelen geschikt om de luchtkwaliteitsproblematiek aan te pakken?* Met betrekking tot de beantwoording van deze vraag kunnen twee belangrijke conclusies getrokken worden. Ten eerste is de VERSNEL-rekenmethode in staat om de lokale emissie effecten van een ITS-maatregel die ingrijpt op het rijgedrag te bepalen. Daarnaast blijkt uit de effecten die in de case studie worden verkregen dat door beïnvloeding van het individuele rijgedrag (reductie van de variatie in snelheid en het aantal stops) een significante afname van de uitstoot van vervuilende stoffen door het verkeer verkregen kan worden.

Luchtkwaliteitsknelpunten en verkeer

De meeste knelpunten komen voor in de stedelijke omgeving en worden veroorzaakt door een opeenstapeling van vervuilende stoffen die door verschillende bronnen worden uitgestoten. Van deze bronnen is het verkeer er één. Hoewel de bijdrage van het verkeer, aan de concentratie van NO_x en PM₁₀ bij drukke wegen in de stad, kan oplopen tot 60%, kan in veel gevallen de lokale bijdrage van het verkeer ook gezien worden als de (laatste hoeveelheid) druppel(s) die de emmer doet overlopen, waarbij de emmer voor het grootste gedeelte gevuld is met achtergrondconcentraties.

Doordat de bijdrage van het verkeer lokaal aanwijsbaar en beïnvloedbaar is, kan met verkeersmaatregelen de lokale belasting van de luchtkwaliteit gericht aangepakt worden. Ook in situaties waar het verkeer niet de grootste vervuiler is, kunnen de verkeersmaatregelen uitkomst bieden aangezien de bijdrage van het verkeer net het verschil kan maken tussen het wel of niet overschrijden van de norm.

ITS-maatregelen

De bijdrage van het verkeer varieert sterk over tijd en plaats. Aangezien ITS-maatregelen in deze dimensies nauwkeurig ingezet kunnen worden, bieden deze maatregelen goede mogelijkheden om de luchtkwaliteitsbelasting door het verkeer te verminderen. Het aanbod van ITS-maatregelen die van betekenis kunnen zijn in het beheersen van de luchtkwaliteit, is omvangrijk. ITS-maatregelen die op locatie het aanbod van het verkeer of het rijgedrag beïnvloeden danwel het verkeer sturen worden als 'kansrijke' ITS-maatregelen aangemerkt.

Luchtkwaliteitberekeningen; detailniveau en onzekerheid

In algemene zin kennen luchtkwaliteitsberekeningen grote onzekerheid (gemiddeld 30%, maximaal 50%). De onzekerheden ontstaan door de beperkte beschikbaarheid van data, onnauwkeurigheid bij het verkrijgen van data met behulp van metingen en door vereenvoudigingen in de modellen.

Door de grote onzekerheden zijn met luchtkwaliteitberekeningen de precieze effecten van ITS-maatregelen moeilijk vast te stellen. Daarnaast is het detailniveau van huidige luchtkwaliteitsberekeningen beperkt. Alleen met tot nog toe beperkt toegepaste microscopische modeltechnieken kan de variatie over tijd en plaats van individuele voertuig- en rijgedragkarakteristieken en de mate waarin ITS-maatregelen daarop ingrijpen, gemodelleerd worden.

Factoren die bepalend zijn voor de relatie tussen rijgedrag en verkeersemisaties

Met empirische studies (laboratoriumtest en 'on-road' metingen waarbij microscopische verkeerskarakteristieken tegelijk met de emissie worden gemeten) is aangetoond dat het aantal optrekkende bewegingen en de intensiteit van de optrekkende beweging een belangrijke invloed

uitoefenen op het brandstofverbruik en de emissie van voertuigen. In het algemeen neemt het verbruik en de emissie bij een sterker optreden van deze karakteristieken toe. De rijgedragkarakteristieken snelheid en de sterkte van versnelling zijn in combinatie met de voertuigkarakteristieken brandstoftype, gewicht en vermogen de bepalende factoren voor de emissie. De combinatie van het rijgedrag, de voertuigkenmerken en het verkeersaanbod is bepalend voor de lokale uitstoot van vervuilende stoffen door het verkeer.

Emissieberekeningen op microscopisch niveau

De mate waarin een ITS-maatregel de luchtkwaliteit kan bevorderen, kan het beste met modellering van de emissie, in plaats van de luchtkwaliteit, bepaald worden. Voertuigemissies kunnen zonder grote invloed van externe factoren en op een meer gedetailleerd niveau bepaald worden. Hiervoor zijn microscopische verkeers- en emissiemodellen nodig die rekening houden met de individuele rijgedrag- en voertuigkarakteristieken.

Hoewel bij emissieberekeningen de onzekerheden als gevolg van de verspreiding worden uitgesloten ontstaan nog wel onzekerheden als gevolg van de variatie in voertuigtypen en voertuigspecifieke emissiekarakteristieken (data 5-25 % onzekerheid en modellen 10% -15% onzekerheid). Berekende absolute emissiewaarden en concentraties voor lokale verkeerssituaties moeten dan ook met voorzichtigheid gehanteerd worden. Op knelpunten met dynamische verkeerssituaties zal de onnauwkeurigheid in de berekening van de lokale emissie nog groter zijn.

De VERSNEL-rekenmethode

De case studie toont aan dat de VERSNEL-rekenmethode, door het bepalen van voertuigemissie op basis van een VEReenvoudigd SNELheidspatroon, in staat is het effect van 'kansrijke' ITS-maatregelen die het rijgedrag beïnvloeden (zoals de groene golf) door te rekenen. De rekenmethode kan ingezet worden om te beoordelen in welke situaties een maatregel minder of meer effectief is, hierbij kan de samenstelling van het wagenpark of het rijgedrag doorslaggevend zijn.

Toetsing

Uit het doorrekenen van een aantal individuele rijpatronen met de VERSNEL-rekenmethode en deze te vergelijken met emissieberekening uit ADVISOR blijkt dat de rekenmethode een goede benadering geeft van de door ADVISOR geproduceerde emissies. De geringe afwijkingen die geconstateerd worden kunnen toegeschreven worden aan een systematische fout als gevolg van de definitie van de categorieën. Door deze aan te passen kunnen de afwijkingen gereduceerd worden. De vergelijking van de door VERSNEL geproduceerde emissiewaarden tonen (afgezet tegen de snelheid) dezelfde trend als de officiële standaard emissiefactoren van het RIVM.

Voordelen van de methode

Ten opzichte van de macroscopische rekenmethoden biedt de rekenmethode het voordeel dat niet alleen de totale emissie voor grote netwerkdelen bekend zijn, maar dat ook de opbouw van de emissie in het netwerk inzichtelijk gemaakt kan worden. Dit kan met name in situaties met gesloten omgevingen, zoals de bebouwingen langs wegen in de stad, waar de windinvloeden minder zijn, van grote waarde zijn bij het berekenen van de emissie en luchtkwaliteit op de weg. Daarnaast biedt de rekenmethode mogelijkheden om op lokaal niveau de bijdrage van de verschillende voertuigtypen (en de effecten van een maatregel daarop) te bestuderen. Effecten die met metingen of macroscopische modeltechnieken niet of minder goed zijn aan te tonen.

Luchtkwaliteit op (de) weg met ITS

Op basis van de resultaten van de case studie kan geconcludeerd worden dat de inzet van ITS-maatregelen een goede strategie kan zijn om de uitstoot van luchtverontreinigende stoffen door het verkeer te reduceren. In de case studie nemen het brandstofverbruik en de emissie door introductie van de groene golf aanzienlijk af. De NO_x-emissie is het meest gevoelig voor het effect van de groene golf (de ITS-maatregel die in dit onderzoek gemodelleerd is).

Met de resultaten wordt duidelijk hoe gevarieerd de effecten van relatief eenvoudige maatregel op de uitstoot van vervuilende stoffen kunnen zijn. De uitstoot verschilt per voertuig, per locatie en per stof. Dit geeft aan hoe waardevol microscopische modeltechnieken kunnen zijn voor het bepalen van de effecten van een maatregel. Met betrekking tot het vrachtverkeer is het effect het grootst voor de uitstoot van NO_x. Bij het personenverkeer is de invloed op het brandstofverbruik het grootst. De

dieselvoertuigen (en met name vrachtvoertuigen) hebben een overheersend aandeel in de uitstoot van NO_x.

Hoewel de effecten die met de methode worden verkregen groot zijn (tussen de 12% en 30% reductie van het brandstofverbruik en emissie) kan (nog) geen duidelijkheid gegeven worden over de onzekerheid in deze resultaten. In een uitgebreide onzekerheidsanalyse zal aangetoond moeten worden of de aangetoond effecten significant zijn ten opzichte van de onzekerheid.

Toepassing

Met de lokale voertuigtype specifieke effecten van de maatregelen op de emissie kan de luchtkwaliteit als extra criterium meegenomen worden bij de afwegingen die worden gemaakt voor het opstellen van het verkeers- en luchtkwaliteitsbeleid. Verkeerskundige optimalisatie gaat niet altijd gelijk met optimalisatie voor luchtkwaliteit. Op lokaal niveau leidt inzicht in de lokale luchtkwaliteitseffecten tot andere en wat betreft luchtkwaliteit betere optimalisatie van verkeersmaatregelen. Microscopische rekenmethoden voor het bepalen van voertuigemissie, zoals de VERSNEL-methode, dragen bij aan een betere afstemming van verkeersmaatregelen op zowel het verkeers- als het luchtkwaliteitsbeleid.

9.2 Aanbevelingen

Op basis van de gepresenteerde onderzoeksresultaten en daaraan verbonden conclusies kunnen met betrekking tot de microscopische modellering van verkeersemissie en de invloed van ITS-maatregelen daarop, de volgende aanbevelingen worden gedaan.

Luchtkwaliteit op (de) weg met ITS

De effectberekening van de toepassing van de groene golf op de N65 nabij Vught met de VERSNEL-rekenmethode laat zien dat de beïnvloeding van het rijgedrag tot grote afname van de verkeersemissie kan leiden. Dit vraagt om meer onderzoek naar de invloed van ITS-maatregelen op de luchtkwaliteitsbelasting van het verkeer.

Voor luchtkwaliteitsstudies is het van belang een goed inzicht te hebben in de samenstelling van het wagenpark. Uit het onderzoek komt naar voren dat naast het rijgedrag ook de voertuigkarakteristieken sterk bepalend zijn voor de emissie. Bovendien is per voertuigtype de invloed van het rijgedrag op de emissie verschillend. Voornamelijk het vrachtverkeer en de dieselauto's dragen bij aan de emissie van NO_x en PM₁₀ (ondanks dat het aandeel in het wagenpark lager is) en de emissie van het vrachtverkeer is extra gevoelig voor het rijgedrag bij lage snelheden. Dit maakt het interessant maatregelen gericht op (deze) specifieke voertuigtypen uit te voeren. Juist ITS-maatregelen zijn hiertoe in staat.

Het voorgaande betekent dat de kwaliteit van het modelleren van het effect van een maatregel wordt bepaald door de mate waarin de samenstelling van het wagenpark voor de specifieke situatie bekend is. In de praktijk is het onderscheid tussen personenvoertuigen en vrachtverkeer goed te maken. Deze kunnen immers bij verkeerstellingen goed onderscheiden worden. Het onderscheid binnen de personenvoertuigen (o.a. benzine en diesel) zal tot dusver aangenomen moeten worden. Voor luchtkwaliteitsstudie is het zinvol te investeren in het in kaart brengen van de lokale samenstelling van het wagenpark.

De effecten van ITS-maatregelen op de emissie moeten altijd vergeleken worden met de effecten op de verkeersafwikkeling en de effecten van alternatieve maatregelen. Daarnaast is het mogelijk dat extra winst behaald kan worden wanneer maatregelen gecombineerd worden toegepast.

De ontwikkeling van de VERSNEL-rekenmethode

Met de VERSNEL-rekenmethode kunnen op dit moment, door de beperkte gegevens over de emissiedata, de effecten op de emissie niet met voldoende onderbouwde betrouwbaarheid bepaald worden. Om de kwaliteit van de resultaten van de rekenmethode te vergroten is het met name van belang dat de emissiedata worden verbeterd en uitgebreid. Dan zal meer waarde gehecht kunnen worden aan de absolute uitkomsten van de rekenmethode.

Om de uiteindelijke kwaliteit van de uitkomsten te kunnen bepalen, zal een gevoeligheids- en onzekerheidsanalyse uitgevoerd moeten worden. Onderdelen van deze analyse zijn het uitbreiden van het aantal doorgerekende simulaties en toetsing van de uitkomsten aan praktijkmetingen die voor dezelfde situatie zijn uitgevoerd. Wanneer de onzekerheden die, als gevolg van onvermijdelijke

onnauwkeurigheden in de gebruikte data, relaties en modellen, in de eindresultaten optreden bekend zijn, kan bepaald worden of de maatregелеffecten op de emissie met voldoende significantie kunnen worden aangetoond.

Microscopische emissiemodellering en luchtkwaliteitstudies

Microscopische berekeningen kennen een grote hoeveelheid variabelen waarmee onzekerheden worden geïntroduceerd. Dit betekent dat het nodig is uitgebreide datasets op te stellen om voldoende grip te krijgen op de invloeden van verschillende factoren.

Gezien de grote dataoverdracht en de directe relatie tussen het rijgedrag en de emissie kunnen microscopische methoden voor het berekenen van emissies het beste geïntegreerd worden met de verkeersmodellen zodat rijpatronen en emissie simultaan gesimuleerd worden. Daarmee worden fouten en rekentijd verminderd en de transparantie vergroot.

De microscopische modellen verdienen uitgebreide toetsing met emissiemetingen in praktijksituaties. Van belang is om daarbij zoveel mogelijk recente emissiedata en wagenparkgegevens te gebruiken die zo goed mogelijk overeenkomen met de samenstelling van het huidige wagenpark. Opvallend is dat tot dusver bij onderzoek naar rijgedrag en emissie weinig aandacht is voor de rol van verschillende voertuigtypen. Vaak worden metingen met één voertuigtype of berekeningen of metingen voor gehele wagenpark uitgevoerd.

Bij gedetailleerde voertuigspecifieke laboratoriumtest en 'on-road' metingen (metingen aan het voertuig tijdens het rijden op de weg in 'werkelijke' verkeerssituaties) waarmee de relaties microscopische rijgedrag- en voertuigkarakteristieken en de emissie ligt de aandacht voornamelijk bij de invloed van snelheid en versnelling op emissie met name bij hoge snelheden en voor een beperkt aantal snelheidscategorieën. Met het oog op de luchtkwaliteitsknelpunten is het juist interessant meer te weten te komen over de invloed van snelheidsvariëaties bij lage snelheden. De luchtkwaliteitsknelpunten komen namelijk met name voor op locaties in de stedelijke omgeving waar met lage snelheden wordt gereden.

De inzet van microscopische modellen moet weloverwogen plaatsvinden. Voor de toepassing van de modellen is veel informatie, kennis en inspanning benodigd. Afhankelijk van het type maatregel en de verkeerssituatie verschilt of gerekend kan worden met gemiddelden en bijbehorende variaties of moet de emissie met parameters als snelheid, intensiteit en aantal optrekkende en afremmende bewegingen per individueel voertuig bepaald worden. De inzet van microscopische modellen komt het meeste tot zijn recht als de individuele voertuigbewegingen bepalend zijn voor het effect van de maatregel. Oftewel met macroscopische modellen zijn de effecten niet (juist) aan te tonen.

Wanneer met microscopische emissieberekeningen (zoals de VERSNEL-rekenmethode) voldoende onderbouwde betrouwbare emissiewaarden bepaald kunnen worden, is het interessant deze emissiewaarden in de volledige luchtkwaliteitsberekeningen te gebruiken. Microscopische emissiemodellen zijn beter in staat om de emissie gedetailleerd in tijd en ruimte te bepalen. Het verdient nader onderzoek om na te gaan of een meer gedetailleerde berekening van de emissie en luchtkwaliteit ook leidt tot een substantieel andere kwantitatieve luchtkwaliteit dan die verkregen met de huidige modeltechnieken.

9.3 Tot slot

Integrale modellen en de balans tussen verkeer en milieu

De ontwikkeling van microscopische methodieken voor het modelleren van de verkeersafwikkeling en verkeersemissie, zoals de VERSNEL-rekenmethode, draagt bij aan de ontwikkeling van integrale verkeers- en luchtkwaliteitsmodellen. Deze modellen zullen leiden tot nieuwe inzichten en mogelijkheden voor het zoeken naar de balans tussen verkeer en milieu.

Met de integrale modellen die gebruik maken van microscopische technieken kunnen luchtkwaliteitsknelpunten beter opgespoord worden. Met meer detail in tijd en ruimte wordt het beeld van de concentratie vervuilende stoffen in de lucht verfijnd en de grip op het ontstaan van de knelpunten vergroot. Piekbelastingen zullen nauwkeurig in de tijd en ruimte weergegeven kunnen worden. Lokale en tijdelijke piekbelastingen, die vanwege hun karakter binnen de norm vallen, kunnen nog wel degelijk schadelijk zijn voor de volksgezondheid. De toekomst zal uitwijzen of de huidige

normen voldoende kwaliteit van de lucht waarborgen. Het gebruik van meer gedetailleerde modellen kan tot het inzicht leiden dat de huidige normen in specifieke situatie de volksgezondheid niet voldoende bescherming bieden.

Naast dat de luchtkwaliteitsknelpunten beter in beeld gebracht kunnen worden, zullen ze met integrale modellen die onderdeel vormen van dynamische verkeersmanagementsystemen en systemen die real-time de lokale luchtkwaliteit presenteren ook beter aangepakt kunnen worden. Door voortdurende toetsing van relaties en emissiedata aan praktijkmetingen, zullen integrale luchtkwaliteitsmodellen in staat zijn actuele en toekomstige luchtkwaliteitsbelasting te bepalen. Daarmee zullen dynamische modellen ontstaan die niet alleen worden gebruikt om actuele knelpunten direct aan te pakken maar ook juist om ruimte in de luchtkwaliteit op te sporen en te benutten. De modellen kunnen ingezet worden om te bepalen welke toename in verkeersbelasting binnen de geldende normen mogelijk is. Op basis van actuele modelresultaten kunnen piekbelastingen voorkomen worden door het verkeer met behulp van een ITS-maatregel te sturen naar die plekken waar wat betreft de luchtkwaliteit nog wel ruimte is. Met andere woorden met behulp van dynamische luchtkwaliteitsmodellen kunnen ITS-maatregelen dynamisch ingezet worden.

De kunst is te komen tot een geavanceerd model waarmee de microscopische verkeersemisatie vertaald kan worden naar een betrouwbare luchtkwaliteit. Een toetsingsinstrument dat door verdere ontwikkeling van huidige kennis en technieken met een dynamische structuur in staat moeten zijn het effect van (ITS-)maatregelen op de actuele luchtkwaliteit direct zichtbaar te maken. Een 'slim' hulpmiddel dat nodig is voor het beter beheersen van de balans tussen verkeer en milieu; zolang een grootschalige overstap naar 'schone' voertuigen niet wordt gemaakt.

10 REFERENTIES

Literatuur

Angelino, E., Degani, R., Gnagnetti, M., Mortarino, S., Noekel, K. & Pateri, R., 1999. Traffic induced air pollution in Milan city: a modelling study, Proceedings of the fifth international conference on Urban Transport and the Environment, 1999.

AMINAL, 2003. Invloed verkeersinfrastructuur op emissies, Aanbevelingen voor wegbeheerders. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Administratie Milieu-, Natuur-, Land-, en Waterbeheer, 2003.

AMINAL, 2002. Invloed van het rijgedrag op de verkeersemissies: kwantificatie en maatregelen. Studie uitgevoerd door VUB en TNO. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Administratie Milieu-, Natuur-, Land-, en Waterbeheer, 2002.

ANP, 25 april 2005. Persbericht, Verkeersmaatregelen maken lucht niet schoon genoeg. ANP, Bilthoven.

AVV, 2004. Lucht voor 10!, Eindrapport. Adviesdienst Verkeer en Vervoer, Rotterdam.

AVV, 2005. Het vrachtverkeer in de spitsperioden op het hoofdwegennet, Adviesdienst Verkeer en Vervoer, Delft, 2005.

Blom, W.F., Diederer, H.S.M.A., Folkert, R.J.M., Velze K. van, 2003. Notitie NO₂ aandachtspunten rond autosnelwegen in 2010 en 2015 in Nederland. Briefrapport aan VROM/DGM (Notitie 1008/03). RIVM Milieu- en Natuurplanbureau, Bilthoven.

Bose, A. & Ioannou, P., 2001. Analysis of traffic flow with mixed manual and Intelligent Cruise Control vehicles: theory and experiments. University of Southern California, California Path Program, 2001.

CROW, 2005. CROW-Publicatie 218a, Wegen naar een schonere lucht, Mogelijkheden voor verbetering van de luchtkwaliteit langs wegen. In: Publicatiereeks Luchtkwaliteit en verkeer, CROW, Ede.

De Vlieger, I., 1997. Influence of traffic conditions on fuel consumption and emissions – Brussels as a case study. Proceedings of the Third international conference on Urban Transport and the Environment, 1997.

De Vlieger, I., De Keukeleere, D. & Kretschmar, J.G., 2000. Environmental effect of driving behaviour and congestion related tot passenger cars. Atmospheric Environment 34, p. 4649-4655, 2000.

DHV-TNO-RIGO, 2005. Lucht voor ruimtelijke plannen, Inventarisatie van invloed van beleid en regelgeving voor luchtkwaliteit op knelpunten bij de realisatie van ruimtelijke plannen in Nederland. DHV Ruimte en Mobiliteit (met bijdragen van TNO en RIGO), Amersfoort, 2005.

El-Fadel, M., Sbayti, H. & Abou Najm, M., 1999. Intersection management: air quality impacts. Proceedings of the fifth international conference on Urban Transport and the Environment, 1999.

El-Shawarby, I., Ahn, K. & Rakha, H., 2005. Comparative field evaluation of vehicle cruise speed and acceleration level impacts on hot stabilized emissions. Transportation Research Part D 10, p. 13-30, 2005.

Erbrink, H., Vermeulen, J.P.L. en Rens, L.J., 2003. Modellen onder de loep, Analyse en beoordeling van modellen voor de bepaling van de luchtkwaliteit langs snelwegen. CE Oplossingen voor milieu, economie en technologie, Delft en KEMA, Arnhem.

- Ericsson, E., 1999. The relation between vehicular fuel consumption and exhaust emission and the characteristics of driving patterns. Proceedings of the fifth international conference on Urban Transport and the Environment, 1999.
- Ericsson, E., 2000. Variability in urban driving patterns. Transportation Research Part D 5, p. 333-345, 2000.
- Ericsson, E., 2001. Independent driving pattern factors and their influence on fuel-use and exhaust emission factors. Transportation Research Part D 6, p. 325-345, 2001.
- ERTICO – ITS Europe & Navigation Technologies, 2002. ITS – Part of everyone's Daily Life, ERTICO – ITS Europe. ERTICO, Brussels, Belgium.
- EVA, 2004. ECO-DRIVING Europe, a guide to promote the smart driving style. Energieverwertungsagentur, The Austrian Energy Agency, Wenen, Oostenrijk.
- Gemeente Den Haag, 2004. Plan van aanpak luchtkwaliteit 2004-2010, Gemeente Den Haag.
- Gemeente Nijmegen, 2005. Voorontwerp uitvoeringsprogramma verbetering luchtkwaliteit Nijmegen 2005-2010.
- Gemeente Tilburg, 2005. Tilburg klaart de lucht. Luchtkwaliteitsplan gemeente Tilburg, 2005-2010.
- Gense N.L.J., Wilmlink, I.R., en Van de Burgwal, H.C., 2001. Emissions and Congestion Estimation of emissions on road sections and the Dutch motorway network. TNO Automotive, Delft, 2001
- Gense N.L.J., 2000. Driving style, fuel consumption and tail pipe emissions: final report. TNO Automotive, Delft, 2000.
- Gense, N.L.J., Wesseling, J. en Teeuwisse, S., 2004. Berekening van de lokale luchtkwaliteit rond wegen in Nederland; status en onzekerheden, TNO Rapport 04.OR.VM.041.1/NG, 2004.
- Gense, R., 2001. Emissies en files - bepalen van emissiefactoren. Eindrapportage fase 2. TNO-WT, Delft.
- Int Panis, L., Liekens, I. & Torfs, R., 2004. Effecten van een lokaal mobiliteitsplan op blootstelling aan lokale luchtverontreiniging, Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek, bijdrage aan het Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk 2004.
- IPO, 2005. IPO-Jaarverslag 2004, Zichtbaar beter beter zichtbaar. Interprovinciaal Overleg, Den Haag.
- Kågeson, P. (1998). Cycle-beating and the EU test Cycle for Referenties Cars. European Federation for Transport and Environment (T&E), Brussel.
- Kampen, L.T.B. van, 2003. Het ledig gewicht van motorvoertuigen, ontwikkelingen sinds 1985. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid (SWOV), Leidschendam, 2003.
- Knibbe, A., 2005. Tolcordon om historische binnenstad Stockholm. In: Verkeerskunde 7/2005, p. 28-33.
- Maja, R., Sada, S. & Pozzi, M., 1997. Pollution emissions in proximity of signalised intersections: calculation model and minimization strategy. Proceedings of the Third international conference on Urban Transport and the Environment, 1997.
- Mehta, T., Kottapalli, A., Mahmassani, H., Bhat, B., 2003. Assessing the environmental benefits of Intelligent Transportation System measures: Methodologies and Applications. Center for Transportation Research, University of Texas, Austin, 2003.

- Mensink, C., Vlieger, I. de & Nys, J., 2000. An urban transport emission model for the Antwerp area. *Atmospheric Environment* 34, p. 4595-4602, 2000.
- Metz, D., Potjer, B. & Janse, P., 2000. Optiedocument Stedelijke Luchtkwaliteit. CE, Delft.
- Midenet, S., Boillot, F., and Pierrelée, J., 2004. Signalized intersection with real-time adaptive control: on-field assessment of CO₂ and pollutant emission reduction. *Transportation Research Part D* 9, p. 29-47, 2004.
- MNP, 2005. Milieubalans 2005. Milieu- en natuurplanbureau RIVM, Bilthoven.
- MNP, 2006a. Milieubalans 2006. Milieu- en natuurplanbureau RIVM, Bilthoven.
- MNP, 2006b. Nieuwe inzichten in de omvang van de fijnstofproblematiek. Milieu- en natuurplanbureau RIVM, Bilthoven.
- Nam, K., Gierczak, C. & Butler, J., 2003. A Comparison Of Real-World and Modeled Emissions Under Conditions of Variable Driver Aggressiveness, *TRB* 2003.
- Nocker, L. de, Botteldooren, D., Immers, B. & Zuallaert, J., 2005. An integrated instrument to evaluate effects of local mobility plans on traffic liveability and the environment.
- Noekel, K., 1998. An integrated dynamic traffic simulation and air pollution decision support system, PTV AG, presented at the Eighth world conference of Transport Research, 1998.
- Noland, R. B. & Quddus, M. A., 2005. Flow improvements and vehicle emissions: Effects of trip generation and emission control technology. *Transportation Research Part D*, 2005.
- NREL, 2001. ADVISOR 3.1 Documentation, Advanced Vehicle SimulatOR, National Renewable Energy Laboratory, USA.
- Olde Kalter, M., Beek, P. van, Erbrink, H., Vermeulen, J. & Havermans, P., 2005. Afremmen voor schonere lucht, In: *Verkeerskunde* 7/2005, p. 22-27.
- Parkhurst, G., 2004. Air quality and the environmental transport policy discourse in Oxford. *Transportation Research Part D* 9, p. 419-436, 2005.
- Patania, F., Siracusa, G. & Gagliano, A., 2001. Air pollution drop by technique of urban traffic integrated control system in Catania city (Italy). *Proceedings of the Seventh international conference on Urban Transport and the Environment*, 2001.
- Platvorm Schone Voertuigen, 2006. Nieuwsbrief nr 3, maart 2006. Platvorm Schone Voertuigen, Center Novem.
- Rakha, H. & Ding, Y., 2001. Impact of stops on vehicle fuel consumption and emissions. Virginia Tech Transportation Institute, Blacksburg, 2001.
- Rakha, H., Van Aerde, M., Ahn, K., Trani, A., 2000. Requirements for evaluating traffic signal control impacts on energy and emissions based on instantaneous speed and acceleration measurements, *Transportation Research Board*, 2000.
- Rakha, H., Ahn, K., Trani, A., 2004. Development of VT-micro model for estimating hot stabilized light duty vehicle and truck emissions. *Transportation Research Part D* 9, p. 49-74, 2004.
- Reiter, U., 1997. Development of a microscopic model for the emission of pollutants and noise. *Proceedings of the Third international conference on Urban Transport and the Environment*, 1997.
- Reynolds, A. W., & Broderick, B., 1998. On-road motor vehicle emission inventory model. *Proceedings of the Fourth international conference on Urban Transport and the Environment*, 1998.

- Reynolds, A. W., & Broderick, B., 2000. Development of an emissions inventory model for mobile sources, On-road motor vehicle emission inventory model. Transportation Research Part D 5, p. 77-101, 2000.
- Rouphail, N.M., Frey, H.C., Colyar, J.D., Unal, A., 2000. Vehicle emissions and traffic measures: exploratory analysis of field observations at signalized arterials. Transportation Research Board, 2001.
- Schutte-Postma, E.T., 2005. De Nederlandse worsteling met de Europese richtlijnen voor luchtkwaliteit. In: NTER, 6/juni 2005, p. 134-139.
- Smidfelt Rosqvist, L., 2003. Exhaust emissions in residential areas with different street network configurations. Proceedings of the Ninth international conference on Urban Transport, 2003.
- Spanjer, T.J., 2005. Het gemeentelijk luchtkwaliteitsplan: Lucht dat op?. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven en Technische Universiteit Delft, faculteit Techniek, Bestuur en Management, Delft.
- Sbayti, H., El-Fadel, M. & Kaysi, I., 2002. Effect of roadway network aggregation levels on modeling of traffic-induced emission inventories in Beirut. Transportation Research Part D 7, p. 163-173, 2002.
- Spit, W. & Rooijmans, G.J.A.L., 2005. Dynamiek in het verkeer geeft lucht. Bijdrage aan het Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk 2005. Witteveen+Bos, Den Haag en Gemeente Breda, Breda.
- Stathopoulos, F.G., & Noland, R.B., 2003. Induced Travel and Emissions from Traffic Flow Improvement Projects. Transportation Research Record 1842, Paper No. 03-2092.
- Steinberga, I. & Kleperis, J., 2004. Urban air pollution: input from car parking places. Proceedings of the Tenth international conference on Urban Transport, 2004.
- Taakgroep Verkeer en Vervoer, 2004. Methoden voor de berekening van de emissies door mobiele bronnen in Nederland. Rapportagereeks Milieumonitor, Nr. 13, februari 2004.
- Tate, J.E. & Bell, M.C., 2000. Evaluation of a traffic demand management strategy to improve air quality in urban areas. Proceedings of the Institute of Electrical Engineers (IEE) Road Transport Information and Control (RTIC), 2000.
- Teeuwisse, 2005. Handleiding bij software pakket CAR II versie 4.0. TNO rapport R&I-A R 2005/074, TNO Ruimte en Infrastructuur, Apeldoorn.
- TNO-MEP, 1998. Het nieuwe nationaal model, Model voor de verspreiding van luchtverontreiniging uit bronnen over korte afstanden, Rapportage over het onderzoek Revisie Nationaal Model en de besluitvorming daarover in de begeleidingscommissie, Projectgroep Revisie Nationaal Model, TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie, Apeldoorn, 1998.
- TNO-MEP, 2001. Factsheet Onderzoek naar stedelijke luchtkwaliteit, Passieve monsterneming, factor analyse en "chemical mass balance" methode. TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie, Apeldoorn, 2001.
- TNO-MEP, 2004. Imissieproblematiek ten gevolge van verkeer: knelpunten en maatregelen. TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie, Apeldoorn.
- TNO-R&I, 2005. Urbis Delft, Wegverkeersgerelateerd geluid en luchtkwaliteit 2003. TNO Ruimte en Infrastructuur, Delft, 2005.
- Velders, G.J.M., Aben, J.M.M., Blom, W., Hammingh, P., Matthijsen, J., Ruiter, J.F. de, Velze, K. van, 2005. Grootchalige concentratiekaarten luchtverontreiniging, RIVM briefrapport, maart 2005 (versie 1).

Vermeulen, J.P.L., Kortmann L.J., Dings, J.M.W., Boer L.C. den & Erbrink, H., 2005. Weg wijzer bij knelpunten, Oplossingsrichtingen voor betere luchtkwaliteit rond snelwegen. CE Oplossingen voor milieu, economie en technologie, Delft en KEMA, Arnhem.

Vermeulen, J.P.L. & Den Boer, L.C., 2005. Top tien voor een betere luchtkwaliteit, Indicatie van effecten. CE Oplossingen voor milieu, economie en technologie, Delft.

Verschuren, P. & Doorewaard, H., 2000. Het ontwerpen van onderzoek. Derde druk, LEMMA BV, Utecht, 2004. ISBN 90-5189-886-X

Versteegt, H.H. & Wilmink, I.R., 2006. Meer of minder files met 80 km per uur? Actueel website bericht 27-01-2006: http://www.tno.nl/bouw_en_ondergrond/actueel/. TNO, Delft, 2006.

Veurman, J., Wilmink, I., Gense, R. & Baarbé, H., 2002. Files zorgen vooral lokaal voor milieueffecten. In: Verkeerskunde 2/2002, p. 32-38.

VRM, 2001. Smogregeling 2001, staatscourant 11 juni 2001, nr. 109, p. 16. Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Den Haag.

VRM, 2005. Nationaal Luchtkwaliteitsplan 2004, Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Den Haag

Wesseling, J.P., Hollander, K., Teeuwisse, s., Keuken, M., Spoelstra, H., Gense, R., Burgwal, E. van de, Hermans, L., Voerman, J., Kumm, P. & Elshout, J., 2003. Onderzoek naar effecten van 80 km/u-maatregel voor de A13 op de luchtkwaliteit in Overschie. TNO-MEP, Apeldoorn.

Wilmink, I., Goodman, P., Bell, M. & Versteegt, E., 2005. The role of ITS in noise mapping and noise action planning. TNO Environment and Geosciences, Delft.

Websites

http://www.vrom.nl	Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu
http://www.infomil.nl/	Nederlands onafhankelijk informatiecentrum voor het bedrijfsgebonden milieubeleid, schakel tussen de beleidsmakers van het ministerie van VROM en gemeenten, provincies en waterschappen die dit beleid uitvoeren
http://www.rivm.nl	Dossier Luchtkwaliteit van het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu.
http://www.rivm.nl/lmi	Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit van het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu.
http://www.lmi.rivm.nl/data/smog/index.html	Actuele concentraties vervuilende stoffen in de lucht boven Nederland, opgezet door het RIVM
http://www.knmi.nl/omi/publ-nl/nieuws/index.html	Dagelijkse metingen van troposferische NO ₂ boven Europa, vanuit de ruimte met behulp van het Ozone Monitoring Instrument (OMI), gepresenteerd op de site van het KNMI
http://www.mnp.nl	Milieu en natuurplanbureau
http://www.emissieregistratie.nl	Datawarehouse-Emissieregistratie, landelijke emissies naar lucht
http://www.hetnieuwerijden.nl/ http://www.ecodrive.org	Europees onderzoeksprogramma 'Het nieuwe rijden'
http://www.cbs.nl/statline	Centraal Bureau voor de Statistiek, emissiefactoren wegverkeer, samenstelling wagenpark, verkeersprestaties
http://www.integaire.org/indexuk.html	Europees project Integaire, ontwikkeling van modellen en systemen voor verkeers- en luchtkwaliteitsmanagement
http://www.cerc.co.uk/	Cambridge Environmental Research Consultants (CERC)
http://www.emis.vito.be/mobiliteit/index.asp	Vlaams Instituut voor Technologisch Onderzoek

Luchtkwaliteit op (de) weg met ITS

Bijlagen



Wout Drewes

Den Haag, augustus 2006



INHOUD

1	ACHTERGROND REGELGEVING	3
1.1	Europese Kaderrichtlijn luchtkwaliteit	3
1.2	De eerste Europese dochterrichtlijn luchtkwaliteit	3
1.3	Consequenties van de luchtkwaliteitsnormen voor het verkeersbeleid	4
2	STOFFEN EN GEZONDHEIDSEFFECTEN	5
3	MAATREGELEN VOOR DE LUCHTKWALITEIT	7
3.1	Top 10 van maatregelen voor de luchtkwaliteit	7
3.2	ITS	8
3.3	Overzicht van ITS-maatregelen	8
3.4	Indeling van ITS-maatregelen naar functionaliteit	9
4	MAATREGELSELECTIE	11
5	TYPE MODELLEN GEBRUIKT IN STUDIES NAAR DE LUCHTKWALITEIT	13
6	STANDAARD EMISSIEFACTOREN	15
6.1	Opstellen van standaard emissiefactoren	15
6.2	Overzicht standaard emissiefactoren	16
7	ONZEKERHEDEN BIJ LUCHTKWALITEITSTUDIES	18
8	ONDERZOEK NAAR VERKEERSKARAKTERISTIEKEN EN EMISSIE	21
8.1	Beschrijving twee typen onderzoek	21
8.2	Aangetoonde emissie verklarende verkeerskarakteristieken	22
9	VOERTUIGSIMULATIEMODEL ADVISOR	26
10	BESCHRIJVING MATLAB-SCRIPT VERSNEL-REKENMETHODE	28
11	BETROUWBAARHEID VERSNEL-REKENMETHODE	29
11.1	Systematische fout rekenmethode	29
11.2	Betrouwbaarheid VISSIM simulatie	29
12	DOORREKENEN VAN VOLLEDIGE RIJPATRONEN IN ADVISOR	33
12.1	Benzine 63 kW 1000 kg	33
12.2	Diesel 67 kW 1000 kg	35
12.3	Vrachtwagen 63 kW 5000 kg	37
13	SAMENSTELLING WAGENPARK CASE STUDIE	40
13.1	Onderbouwing samenstelling wagenpark	40
13.2	Weergave van samenstelling wagenpark in case studie	42
14	RESULTATEN CASE STUDIE	44
14.1	Effect groene golf op netwerkprestaties model – intensiteit	44
14.2	Effect groene golf op netwerkprestaties model – snelheid	45
14.3	Bijdrage aan emissie per voertuigtype	46
14.4	Effect groene golf op de emissie – overzicht alle stoffen	47
14.5	Effect groene golf op de emissie – stoffen HC en CO	48
15	OVERZICHT VAN MODELLEN EN METHODEN IN LUCHTKWALITEITSTUDIES	49

1 ACHTERGROND REGELGEVING

1.1 Europese Kaderrichtlijn luchtkwaliteit

De basis voor de normstelling wordt gevormd door de Europese kaderrichtlijn luchtkwaliteit (96/92/EG). De Europese Kaderrichtlijn luchtkwaliteit heet officieel 'richtlijn inzake de beoordeling en het beheer van de luchtkwaliteit'. De richtlijn heeft, zoals de officiële beschrijving aangeeft, twee hoofddoelstellingen. Ten eerste moet de richtlijn er voor zorgen dat de verschillende luchtkwaliteitsrichtlijnen die in de loop van de jaren tachtig zijn opgesteld, op elkaar worden afgestemd. Ten tweede moet de richtlijn leiden tot een Europees uniform meet- en beoordelingssysteem voor de luchtkwaliteit. Het resultaat is een gemeenschappelijke strategie voor de luchtkwaliteit die de gezondheid van de mensen en het milieu als geheel beschermt. De richtlijn levert, in de vorm van de algemene organisatiestructuur, de grondbeginselen voor deze strategie. 'Lucht' wordt in de richtlijn gedefinieerd als 'de buitenlucht in de troposfeer, met uitsluiting van de werkplek'. De kernpunten van de inhoud van de richtlijn (de algemene organisatiestructuur) zijn het vaststellen van luchtkwaliteitsnormen (zogenoemde 'alarmdrempels') voor dertien stoffen, het op passend niveau door de lidstaten aanwijzen van instanties of bestuursorganen voor het uitvoeren van de richtlijn, het aanwijzen van uniforme methoden en criteria voor het vaststellen van luchtverontreiniging in de EU en het door lidstaten opstellen van actieplannen voor het verbeteren van de luchtkwaliteit (Schutte-Postma, E.T., 2005). Het eerste punt is in december 2004 met het gereed komen van de vierde dochterrichtlijn afgerond. De eerste dochterrichtlijn bevat de grenswaarden voor de stoffen die in Nederland (en in de meeste landen van Europa) voor de meeste problemen zorgen.

1.2 De eerste Europese dochterrichtlijn luchtkwaliteit

Sinds 2001 is de 'eerste dochterrichtlijn' van deze kaderrichtlijn (1999/30/EG) van kracht waarin de normstelling is opgezet aan de hand van grenswaarden voor luchtverontreinigende stoffen. Het begrip grenswaarde wordt in de richtlijn gedefinieerd als een niveau dat op basis van wetenschappelijke kennis is vastgesteld teneinde schadelijke gevolgen voor de mens en/ of het milieu in zijn geheel te voorkomen, te verhinderen of te verminderen en dat binnen een bepaalde termijn moet worden bereikt en indien bereikt niet meer mag worden overschreden (Schutte-Postma, E.T., 2005). De grenswaarden zijn door de Europese Commissie vastgesteld op basis van de gezondheidsnormen die worden voorgeschreven door de Wereld Gezondheidsorganisatie (WHO).

De richtlijn bevat grenswaarden voor de vijf stoffen stikstofdioxide (NO_2), fijnstof (PM_{10}), zwaveldioxide, lood en stikstofdioxide. Hiervan zorgen in Nederland de twee stoffen PM_{10} en stikstofdioxide voor de grootste problemen (MNP, 2005). PM_{10} wordt ook wel fijnstof genoemd (PM staat voor Particulate Matter) en bestaat uit stofdeeltjes met een diameter tot 10 micrometer. Zwaveldioxide zorgt op een enkele plaats voor overschrijding van de normen. De overige twee stoffen zorgen in Nederland voor geen problemen. Naast de luchtkwaliteitsnormen voor de vijf stoffen zijn andere belangrijke punten uit de dochterrichtlijn de indeling van meetgebieden aan de hand van zones en agglomeraties (Nederland: drie zones Noord, Midden en Zuid en zes agglomeraties), methoden voor meten en berekenen van concentraties, verplichting tot het (dagelijks, van uur-tot-uur) informeren van het publiek over de luchtkwaliteit en de verplichting van de lidstaten tot het rapporteren over de gemeten en berekende luchtkwaliteit aan de Europese Commissie (Schutte-Postma, E.T., 2005).

In Nederland heeft de nieuwe richtlijn geleid tot het opstellen van het Besluit luchtkwaliteit van 11 juni 2001. In dit besluit zijn de Europese grenswaarden voor de vervuilende stoffen overgenomen. Op basis van dit besluit met daarin een directe koppeling tussen de Europese luchtkwaliteitsnormen en vergunningverlening in de bouw heeft de Raad van State diverse bouwplannen afgekeurd. Een veel besproken afgekeurd besluit is het Wegaanpassingsbesluit A2 's-Hertogenbosch-Eindhoven dat de aanleg van spitsstroken over een traject van 23 kilometer voorstelde (Schutte-Postma, E.T., 2005). Maar ook plannen op het gebied van kantoor- en woningbouw en de aanleg van bedrijventerreinen zijn afgekeurd.

Inmiddels is het Besluit luchtkwaliteit 2005, van kracht. In dit besluit is de implementatie van de Europese regels in Nederland nader uitgewerkt (Olde Kalter, M., et al., 2005). Met dit besluit en het voorstel voor de Wet luchtkwaliteit (momenteel in behandeling) lijken, weliswaar onder voorwaarden, meer bouwplannen doorgang te kunnen vinden dan dat sinds 2001 het geval was. Met de nieuwe regelingen en het in het leven roepen van het Nationaal Samenwerkingsprogramma Luchtkwaliteit (NSL) wordt toegewerkt naar een gebiedsgerichte aanpak van de luchtkwaliteitsproblematiek. Dit betekent dat in be-

paalde gevallen ruimte plannen bij overschrijding goedgekeurd worden als per saldo de luchtkwaliteit in het gebied niet verslechterd (saldering)

De normeringen voor NO₂ en PM₁₀ staan in *Tabel 1.1* weergegeven

NO ₂ (van kracht per 1 januari 2010)*	PM ₁₀ (van kracht per 1 jan 2005)
uurgemiddelde norm: per jaar maximaal 18 overschrijdingen van een gemiddelde uurconcentratie NO ₂ van 200 µg/m ³	daggemiddelde norm: per jaar maximaal 35 overschrijdingen van een gemiddelde dagconcentratie PM ₁₀ van 50 µg/m ³
jaargemiddelde norm: geen overschrijding van een gemiddelde uurconcentratie NO ₂ van 40 µg/m ³	jaargemiddelde norm: geen overschrijdingen van een gemiddelde uurconcentratie PM ₁₀ van 40 µg/m ³
* In Nederland al van kracht vanaf 2001 m.u.v. verkeerswegen met meer dan 40000 voertuigen per dag	

Tabel 1.1 Grenswaarden voor de bescherming van de gezondheid van de mens

De gemeten overschrijding van de normconcentraties in steden staat in *Tabel 1.2*

stof	NO ₂ (van kracht per 1 januari 2010)	PM ₁₀ (van kracht per 1 jan 2005)
overschrijding normen op dit moment	jaargemiddelde norm van 40 µg/m ³	daggemiddelde norm maximaal 35 overschrijdingen van 50 µg/m ³ jaargemiddelde norm van 40 µg/m ³
gemeten locaties in 2005 (LML, RIVM)	- 1 van de 8 stadstation Rotterdam Schiedamsevest - 10 van 14 straatstations Amsterdam, Breukelen, Den Haag, Eindhoven, Haarlem, Heerlen, Leiden, Nijmegen, Utrecht en Vlaardingen	- 3 van de 17 regionale stations Biest Houtakker - 4 van de 8 stadstations Den Haag en Rotterdam - 12 van de 15 straatstations Breukelen, Den Haag, Eindhoven, Groningen, Haarlem, Nijmegen en Utrecht - 2 van de 15 straatstations (jaargemiddelde) Den Haag en Leiden

Tabel 1.2 Gemeten overschrijding van normconcentraties in steden

1.3 Consequenties van de luchtkwaliteitsnormen voor het verkeersbeleid

Deze ontwikkelingen zijn niet alleen bepalend voor het (in de Europese landen gevoerde) milieubeleid maar hebben ook aanzienlijke consequenties voor het verkeersbeleid. Wil aan de Europese normen voldaan worden dan zijn in diverse landen ingrijpende maatregelen nodig. Het maatregelenpakket dat staatssecretaris Van Geel (staatssecretaris van milieu) heeft voorgesteld is volgens het RIVM ontoereikend (Persbericht ANP, 25 april 2005). Daarnaast worstelen ook de Nederlandse gemeenten, die in toenemende mate verantwoordelijk zijn voor het handhaven van de stedelijke luchtkwaliteit, met de luchtkwaliteitsproblematiek. Het is bij de gemeenten in Nederland niet goed bekend wat de bijdrage aan vervuilende stoffen van de verschillende bronnen is en in welke mate dit per locatie verschilt, laat staan hoe per bron de emissie het beste aangepakt kan worden (TNO, 2001). Er wordt enerzijds gezocht naar maatregelen die in staat de luchtkwaliteitsbelasting van het verkeer te verminderen en anderzijds is er behoefte aan methoden en technieken die inzicht geven in de luchtkwaliteitseffecten van deze maatregelen. Zolang niet over wordt gegaan op het gebruik auto's die gebruik maken van nieuwe motortechnieken en niet of nauwelijks vervuilende stoffen uitstoten, zoals auto's op waterstof of zonne-energie, moeten andere oplossingen voor de stedelijke luchtkwaliteitsproblemen gevonden worden.

2 STOFFEN EN GEZONDHEIDSEFFECTEN

In onderstaande tabel wordt ingegaan op de vervuillende stoffen die door het verkeer worden uitgestoten. Per stof wordt aangegeven hoe deze ontstaat, wat de gezondheidseffecten zijn en of de normen worden overschreden. De inhoud van de tabel is hoofdzakelijk gebaseerd op het Dossier Luchtkwaliteit van VROM, www.vrom.nl.

Luchtverontreinigende stof	Oorzaak en relatie met verkeer	Gezondheidseffect	Normoverschrijdingen en effecten
PAK's / Benzo(a)pyreen (B(a)p)	van polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's) die vrijkomen bij (met name onvolledige) verbranding van koolstofhoudende stoffen zoals fossiele brandstoffen. Diverse bronnen. Dieselmotoren zijn een belangrijkste verkeersbron. B(a)p is belangrijkste indicatorstof.	Kan leiden tot longkanker maar risico is laag. Uitstoot is vindt, op industrie na, vrij verspreid plaats.	Kans op blootstelling aan schadelijk concentraties is laag. Ze worden maar langzaam afgebroken.
Fijn stof (PM10)	Kleine deeltjes in de lucht, roetdeeltjes in emissie van verkeer en industrie, slijtagestof van banden en weg maar ook zand en zeezout. Ontstaat ook door reactie tussen gasen met SO ₂ , NO _x en NH ₃ .	Ophoping in de luchtwegen met kans op luchtwegaandoeningen en hart- en vaatziekten. De kleinste deeltjes zijn het meest schadelijk.	Ondanks daling van 25% afgelopen 10 jaar overschrijding van geldende normen.
Koolmonoxide (CO)	Product van onvolledige verbranding. Wordt met name door het verkeer uitgestoten.	In de buitenlucht alleen gevaarlijk voor mensen met hart en vaatziekten. Verstoord zuurstofomloop in het lichaam	Bij huidige concentraties buitenlucht gering gezondheidsrisico's. Emissie sterk gedaald door regels industrie en verbeterde voertuigtechniek (o.a. driefwegkatalysator).
Ozon (O ₃)	Wordt onder invloed van zonlicht gevormd uit de stoffen NO _x en koolwaterstoffen (benzeen, PAK, VOS). Zorgt voor smogvorming.	Luchtwegklachten en longproblemen.	Smogvorming in grote steden is een serieuze bedreiging voor de gezondheid.
Stikstofdioxiden (NO _x)	Verzamelnaam voor verbindingen tussen zuurstof en stikstof. Belangrijkste zijn NO en NO ₂ en ontstaan bij verbranding van fossiele brandstoffen. Verkeer levert grote bijdrage aan uitstoot. Daarnaast uitstoot door andere bronnen ook fors.	Zeer schadelijk voor gezondheid en milieu. Blootstelling beschadigd de longen en zorgt voor luchtwegklachten.	Grootschalige overschrijding van normen.
Vluchtige organische stoffen (VOS) / Benzeen	Komen in de lucht door verdamping van aardolieproducten en andere organische stoffen en bij onvolledige verbranding. Zijn vele bronnen waaronder verkeer. Benzeen is vluchtig bestandsdeel van benzine en diesel, uitstoot met name door wegverkeer, daarnaast uitstoot door chemische industrie.	Bij blootstelling aan hoge concentratie kans op bloedvergiftiging en bloedkanker.	Huidige concentraties buitenlucht geen gevaar voor gezondheid. Sinds jaren negentig concentratie sterk gedaald door verbeterde voertuigtechniek (o.a. driefwegkatalysator).
Zware metalen	Stoffen als lood, zink, cadmium en arseen. Worden vooral uitgestoten door de industrie. Bijdrage verkeer nihil na invoering loodvrije benzine.	Bij blootstelling zijn effecten groot. Aantasting zenuwstelsel.	Concentratie zijn laag, nauwelijks schadelijke effecten voor gezondheid.
Zwavel dioxide (SO ₂)	Ontstaat bij verbranding van fossiele brandstoffen. Bijdrage verkeer door laagzwavelige brandstof gering. Voornamelijk in achtergrondconcentratie door buitenlandse industrie.	Luchtwegklachten en longproblemen.	Huidige concentratie in buitenlucht zo laag dat schade voor gezondheid niet aantoonbaar is.

3 MAATREGELEN VOOR DE LUCHTKWALITEIT

3.1 Top 10 van maatregelen voor de luchtkwaliteit

Sinds dat de luchtkwaliteitsproblematiek onder de aandacht is gekomen zijn diverse onderzoeken uitgevoerd en plannen ontwikkeld om de luchtkwaliteitsbelasting aan te pakken. Zo hebben de Stichting Natuur en Milieu en het netwerk van de twaalf provinciale Milieufederaties een top tien van maatregelen aangedragen (Figuur 3.1). Maatregelen die effectief zijn om de gezondheidseffecten van luchtverontreiniging te verminderen en die op korte termijn toegepast kunnen worden. CE (onafhankelijk onderzoeks- en adviesbureau gericht op milieuvraagstukken) heeft de maatregelen getoetst op hun effectiviteit (Vermeulen, J.P.L., & Den Boer, L.C., 2005).

Top 10 van maatregelen voor een betere luchtkwaliteit

1. Toepassen van roetfilters op nieuwe en bestaande dieselauto's
2. Verlaging van de maximumsnelheid naar 80 km/h
3. Toegangsverbod voor vuile vrachtauto's
4. Prijsbeleid voor wegverkeer
5. Stimuleren van schone scheepvaart
6. Doe meer op de fiets
7. Schone bussen en een schoon eigen wagenpark
8. Toepassing van LARGAS op stadsverkeer (Langzaam Rijden Gaat Sneller, instrument van SenterNovem)
9. Aanscherping en handhaving van vergunningen bij grote industriële bronnen
10. Invoeren van een luchtkwaliteitstoets bij plannen

Figuur 3.1 Overzicht van Top 10 maatregelen voor het verbeteren van de luchtkwaliteit

Het merendeel van deze top tien van maatregelen richt zich op het verminderen van de luchtkwaliteitsbelasting van het verkeer. Het verkeer wordt terecht, zoals uit de knelpuntanalyse blijkt, gezien als een van de grote veroorzakers en moet worden aangepakt.

3.1.1 Maatregelen voor de luchtkwaliteit in beleidsplannen

Ook in de verschillende beleidsplannen wordt ingehaakt op de luchtkwaliteitsbelasting door het verkeer. Op nationaal niveau wordt het luchtkwaliteitsbeleid gekenmerkt door maatregelen als het roetfilter, snelheidsverlaging op het hoofdwegennet, stimulering van schoner vrachtverkeer en stimulering van gemeentelijk beleid voor schoner vervoer op lokaal niveau (maatregelenpakket van staatssecretaris van Geel, staatssecretaris van milieu, bron: www.vrom.nl).

Door de toenemende rol die gemeenten hebben in het beheersen van de luchtkwaliteit heeft een groot aantal gemeenten in Nederland (zoals Den Haag en Nijmegen) een plan van aanpak opgesteld of in ontwikkeling om de overmatige luchtvervuiling aan te pakken. In deze plannen worden verschillende mogelijke maatregelen beschreven die de uitstoot van schadelijke stoffen door het stedelijke verkeer aanpakken. Uit de plannen blijkt dat de gemeenten de luchtkwaliteit met een verscheidenheid aan maatregelen willen aanpakken. Onder anderen maatregelen als parkeerroutes die de verkeersintensiteit moeten beperken en de doorstroming moeten bevorderen, routing van vrachtverkeer, gerichte snelheidsbeperkende en homogeniserende maatregelen, afschermende maatregelen en algemene niet-locatiespecifieke (campagne)maatregelen worden voorgesteld (Gemeente Den Haag, 2004 en Gemeente Nijmegen, 2005). De gemeenten zijn voornemens om parallel aan de ontwikkeling van deze maatregelen een systeem voor knelpuntanalyse en monitoring op te zetten zodat de maatregelen gericht ingezet en beoordeeld kunnen worden. Door de in de afgelopen jaren sterk ontwikkelde informatie- en communicatietechnologie (ICT) zijn de mogelijkheden van het monitoren van actuele verkeersstromen, het voorspellen van toekomstige verkeersstromen en dus het dynamisch managen van het verkeer aanzienlijk toegenomen.

3.1.2 Maatregelen voor de luchtkwaliteit in wetenschappelijk onderzoek

In veel wetenschappelijk onderzoek op luchtkwaliteitsgebied staat de inzet van ITS-maatregelen, maatregelen waarbij gebruik wordt gemaakt van ICT, centraal. Naast de maatregelen op het gebied van schone voertuigtechnieken (afschermen, het verplicht stellen van roetfilters) worden juist de maatregelen die gericht zijn op het beperken van de snelheid en het homogeniseren van verkeersstromen op het hoofdwegennet en het weren van specifieke verkeersdeelnemers (zoals dieselverkeer) in de steden als mogelijk zeer effectieve maatregelen beschreven (Vermeulen, J.P.L. et al, 2005). Bij de uitvoering van dergelijke maatregelen is een belangrijke rol weggelegd voor Intelligente Transport Systemen (ITS) en Dynamische Verkeersmanagement (DVM). Met behulp van moderne informatie- en communicatiesystemen kunnen de mogelijkheden van toepassing en verkeersstroom beïnvloeding toe. Bij het uitvoeren van het toekomstige verkeersbeleid zullen in toenemende mate maatregelen ingezet worden waarbij gebruik wordt gemaakt van ITS en DVM.

3.1.3 Totaal overzicht van verkeersmaatregelen voor de luchtkwaliteit

Uit verschillende literatuur, maar ook uit de plannen van Nederlandse gemeenten (zoals bijvoorbeeld Den Haag en Nijmegen) blijkt dat het aantal verkeersmaatregelen dat ingezet kan worden om de luchtvervuiling als gevolg van de uitstoot van schadelijke stoffen door het stedelijke verkeer te reduceren, omvangrijk is.

De verschillende verkeersmaatregelen die bijdragen aan het verbeteren van de luchtkwaliteit zijn in te delen in drie categorieën (CROW, 2005) en (Spit, W en Rooijmans, G.J.A.L., 2005):

1. volumemaatregelen zoals snelheidsbeperkende en harmoniserende maatregelen en het roetfilter
2. bronmaatregelen zoals toegangsbeperkingen en routing
3. overdrachtsmaatregelen en ontvangstmaatregelen zoals afschermen

De verkeersmaatregelen die beschikbaar zijn of ontwikkeld kunnen worden om de luchtkwaliteitsbelasting van het verkeer aan te pakken staan in *Tabel 3.1* per categorie weergegeven.

volume	bron	overdracht/ontvangst
tolheffing / kilometerheffing	roetfilter	aanleg groenstroken
variabele inzet wegcapaciteit, wisselstroken	schone voertuigtechnieken (motorisch)	afschermen
toegangsbeperkingen (voor specifieke voertuigtypen)	doorstromingsmaatregelen	verwijderen woningen en kantoren
toeritdoserend	milieuvriendelijk afstellen VRI	
snelheidsbeperkingen	snelheidsbeperkingen	
blokrijden	blokrijden	
routing (van specifieke voertuigtypen)	intelligent snelheidsaanpassing / intelligente cruise control	
verkeersinformatie	voertuig volg systeem	
stimuleren gedeeld auto gebruik	rijbaan volg systeem	
stimuleren alternatieve vervoerswijzen	applicatie voor efficiënt brandstofverbruik	
	(waarschuwingssystemen file / ongeluk / passerende voertuigen)	

Tabel 3.1 Milieuvriendelijke verkeersmaatregelen

3.2 ITS

De toepassing van ICT in het verkeer heeft geleid tot de ontwikkeling van nieuwe systemen. Een aparte groep systemen zijn de 'Advanced Driver Assistance Systems' (ADAS) die ook een aparte 'Functionale Area' in het KAREN framework vormen. Deze systemen worden vaak als aparte ITS-maatregel gedefinieerd. Naast deze ADAS zijn ook nog andere systemen voor het beheersen van het verkeer op basis van ICT ontwikkeld.

type	systeem / applicatie
fysieke infrastructuur en wegaktsystemen	▪ aangestuurde of verkeersafhankelijke (intelligente) VRI-systemen ▪ DRIP's / GRIP's (Grafische Route Informatie Panelen) ▪ MSI's (Matrixsignaalgevers, matrixborden) ▪ Dynamische en/of elektronische bebording ▪ andere VMS (Variable Message Signs)
in-car systemen	▪ ADAS (functional area KAREN ITS framework) ▪ in-car navigatiesysteem ▪ RDS/TMC verkeersinformatiesysteem (via autoradio) ▪ andere 'on-road' informatiesystemen (zoals pda)

Tabel 3.2 Overzicht van beschikbare systemen voor het uitvoeren van ITS-maatregelen

De systemen weergegeven in *Tabel 3.2* worden ingezet om de ITS-maatregelen uit te voeren. Met de ontwikkeling van ITS zijn zowel de mogelijkheden als de diversiteit van de maatregelen voor de luchtkwaliteit toegenomen.

3.3 Overzicht van ITS-maatregelen

ITS-maatregelen vallen op basis van hun toepassing onder te verdelen in vier hoofdgroepen. De beoogde effecten van de maatregelen worden bereikt door het beïnvloeden (veelal beperken) van de snelheid, het geven van verkeersinformatie, het verlenen van bestuurdersondersteuning of het uitvoeren van (de vorige groepen overschrijdende) verkeersmanagement (ERTICO – ITS Europe & Navigation Technologies, 2002). Onder verkeersmanagement wordt verstaan het sturen (route en richting) en reguleren (vraag en aanbod) van de verkeersstromen over het verkeersnetwerk met als doel een vanuit veelal verkeerskundig oogpunt (maar dit kan ook vanuit andere invalshoeken, bijvoorbeeld milieu-

technisch, benaderd worden) zo optimaal mogelijke verkeersafwikkeling te verkrijgen. Tussen categorie verkeersmanagement enerzijds en de overige drie categorieën kan feitelijk gezien enige overlap bestaan. Het onderscheid ligt in het doel van de toepassing. Bij verkeersmanagementmaatregelen is over het algemeen sprake van een hoger liggend doel. Een verkeersmanagementmaatregel die de toestroom tot een bepaald wegvak beperkt en ingezet wordt om file op het wegvak te voorkomen, kan ook een beperking van snelheid inhouden maar dit is in tegenstelling tot de snelheidsbeperkende maatregelen volgens de onderscheidende definities, niet het doel. Het voorgaande betekent dat in de praktijk de maatregelen vallend in de groepen snelheidsbeperking, verkeersinformatie en bestuurdersondersteuning, worden toegepast bij de implementatie van de verkeersmanagementmaatregelen. In Tabel 3.3 staan de ITS-maatregelen per toepassingsgebied weergegeven.

Maatregelstrategie	ITS-Maatregel
Verkeersmanagement	- dynamisch beprijzen van autogebruik (tol- of kilometerheffing) - routing van (specifieke) voertuigen (bijvoorbeeld vervuilende vrachtauto's) - dynamisch capaciteit infrastructuur (voor specifieke voertuigen) beperken of beschikbaar stellen, intelligente wisselstroken - weren van (specifieke) voertuigen (bijvoorbeeld vervuilende vrachtauto's) in een bepaald gebied - doseren van de toestroom van voertuigen bij de toerit, afrit, stadsrand of corridor - homogeniseren van verkeersstromen met fysieke infrastructuur of in-car systemen - aangestuurde of verkeersafhankelijke (intelligente) VRI-systemen - prioritering van specifieke voertuigen (openbaar vervoer of hulpdiensten)
Snelheidsbeperking	snelheid reducerende of verhogende maatregelen (bij zowel lage als hoge snelheden extra milieubelasting) met matrixborden, DRIP's of in-car systemen
Verkeersinformatie	- route informatie (status van weg, verkeerssituatie, weersomstandigheden, omgevingsinformatie) met DRIP's of navigatiesystemen - route advies/restricties (zoals parkeerroutes of alternatieve routes bij stremmingen) met DRIP's, navigatiesystemen of andere 'on-road' informatiesystemen (zoals parkeerroutes)
Bestuurdersondersteuning	- voertuig volg systeem - rijbaan volg systeem - intelligent snelheidsaanpassing - applicatie voor efficiënt brandstofverbruik

Tabel 3.3 Overzicht van ITS-maatregelen per ERTICO toepassingsgebied

3.4 Indeling van ITS-maatregelen naar functionaliteit

In het Europese KAREN project is de 'European ITS Framework Architecture' opgesteld. Hierbij worden de verschillende vormen van ITS ingedeeld met behulp van acht 'Functional Areas' (KAREN – ITS Framework Architecture, 2000). De 'Functional Areas' bevatten functionaliteiten waarvan de doelen en activiteiten aan elkaar gerelateerd zijn. De namen van 'Functional Areas' beschrijven het verantwoordelijkheidsgebied waarin de functionaliteiten voorzien. In de methodiek worden acht 'Functional Areas' onderscheiden.

Karen Functional Areas
1. Voorzieningen voor elektronisch betalen 2. Voorzieningen voor veiligheid en noodgevallen 3. Verkeersmanagement 4. Management van Openbaar Vervoer 5. Voorzien in Advanced Driver Assistance Systems 6. Voorzien in reisondersteuning voor reizigers 7. Voorzien in bekrachtiging bij en handhaving 8. Management van vrachtvervoer en voertuigen

Tabel 3.4 'Functional Areas' (KAREN – ITS Framework Architecture (2000))

4 MAATREGELSELECTIE

Het aantal maatregelen om luchtvervuiling aan te pakken is omvangrijk. Het onderzoek is gericht op het bestuderen van het effect van verkeerskarakteristieken op de luchtkwaliteitsbelasting van het verkeer. De invloed van de ITS-maatregelen op verkeersemisies verschilt per type maatregel. Niet alle ITS-maatregel hoeven op een voor de reductie van de luchtkwaliteitsbelasting effectieve wijze de karakteristieken van het verkeer te beïnvloeden. Binnen het onderzoek zijn daarom een aantal 'kansrijke' ITS-maatregelen geselecteerd. 'Kansrijk' houdt in dat de maatregel naar verwachting een relatief grote (in vergelijking met alternatieve maatregelen) invloed uitoefent op de luchtkwaliteitsbelasting van het verkeer.

Algemeen

Criterium 1 Schaalniveau van de effecten

De ITS-maatregelen die geselecteerd worden moeten aansluiten op de geconstateerde knelpunten. De knelpuntanalyse wijst uit dat op locaties in de stedelijke omgeving waar veel conflicten tussen individuele voertuigen voorkomen, grote luchtvervuiling plaats vindt. Kruispunten, weefvakken en filelocaties in de stedelijke omgeving worden als knelpunten aangeduid. Het gaat om lokale knelpunten die zowel op het hoofdwegennet als op het onderliggend wegennet voorkomen. Dit betekent dat voor het aanpakken van de knelpunten de maatregelen op lokaal niveau moeten ingrijpen. Dit kunnen maatregelen zijn die zowel op het hoofdwegennet als op het onderliggend wegennet toepasbaar zijn.

Criterium 2 Wijze van ingrijpen op verkeersstroom

Voor een effectieve beïnvloeding van de verkeersemisies moet de ITS-maatregel of ingrijpen over de verdeling van de verkeersstromen over het netwerk of de wijze van afwikkeling beïnvloeden. De emissie op de knelpunten neemt af wanneer of het aantal voertuigbewegingen afneemt of de dynamiek in de verkeersafwikkeling gereduceerd wordt.

Rijgedrag specifiek

Voor de ITS-maatregelen die niet het verkeer sturen maar door beïnvloeding van het rijgedrag het reeds aanwezige verkeer milieuvriendelijker maken, zijn nog twee extra criteria van toepassing.

Criterium 3 Schaalniveau waarop de verkeerskarakteristieken worden beïnvloedt

De knelpuntlocaties doen zich voor op het intensief belaste stedelijke netwerk. Op de knelpuntlocaties vinden tussen de voertuigen complexe interacties plaats. Het verkeer kent op de knelpuntlocaties een sterk dynamisch karakter met veel optrekkende en afremmende bewegingen waarbij de uitstoot van schadelijke stoffen groot is. Uit onderzoek blijkt dat rijpatroonkarakteristieken zoals de snelheid, het aantal stops en de frequentie en intensiteit van optrekkende en afremmende bewegingen van individuele voertuigen bepalend zijn voor de mate van de luchtkwaliteitsbelasting. De maatregelen die door de directe beïnvloeding van de rijpatroonkarakteristieken de verkeersafwikkeling beïnvloeden worden kansrijk geacht op de luchtkwaliteitsbelasting te verminderen.

Criterium 4 Karakter van beïnvloeding

Het is van belang te weten hoe de maatregel de verkeersstroom beïnvloedt. Verkeersmaatregelen verschillen in de mate waarin ze het verkeersgedrag opleggen. Ze kunnen een adviserend of dwingend karakter hebben. De dwingende maatregelen beïnvloeden de verkeersafwikkeling op een directe wijze. Het effect van deze maatregelen is makkelijker kwantitatief te bepalen dan van adviserende maatregelen. Dwingende maatregelen zoals een toeritdoseerinstallaties, geregelde (strengen van) verkeersregelinstallatie (VRI) en snelheidbeperkingen dwingen het gedrag van de bestuurder direct af. Adviserende maatregelen laten de keuze van gedragsverandering aan de bestuurder. Bijvoorbeeld het effect van maatregelen die het routekeuzegedrag beïnvloeden, is niet direct te bepalen. Het effect kan alleen vertraagd worden waargenomen omdat de bestuurders op bijvoorbeeld het verkrijgen van route-informatie moeten reageren. Door het afgeleide karakter moet het effect met behulp van aannames over hoe de bestuurder zijn gedrag aanpast aan de maatregel (statistische verdeling bijvoorbeeld op basis van stated preference analyses) bepaald worden. De maatregelen met het dwingende karakter bieden meer zekerheid wat betreft de effectiviteit. In het algemeen wordt de effectiviteit van de dwingende maatregelen die direct ingrijpen op het rijgedrag en niet afhankelijk zijn van keuzes van de bestuurder groter geacht. (Dit neemt overigens niet weg dat het effect van adviserende maatregelen niet groot kan zijn.)

5 TYPE MODELLEN GEBRUIKT IN STUDIES NAAR DE LUCHTKWALITEIT

De behoefte bestaat om de effecten van maatregelen te voorspellen. Het implementeren van kostbare maatregelen en naderhand constateren dat niet het gewenste effect wordt bereikt is niet aanvaardbaar. Verschillende instellingen en bedrijven hebben modellen in ontwikkeling voor het bepalen van de omgevingskwaliteit, al dan niet in relatie met (één van de belastende bronnen) het verkeer. Uit verscheidene wetenschappelijke literatuur blijkt dat naar aanleiding van de toenemende luchtkwaliteitsproblemen in steden als gevolg van de luchtvervuiling door het verkeer het onderzoek naar nauwkeurige luchtkwaliteitsmodellen sterk in ontwikkeling is (o.a. Reynolds, A.W., & Broderick, B., 1998). In dit hoofdstuk worden de verschillende modellen en de wijze waarop ze ingezet worden, beschreven.

Verkeersmodellen	
Algemeen	Met verkeersmodellen wordt de afwikkeling van het verkeer over het verkeersnetwerk zoals die in de werkelijkheid plaatsvindt, nagebootst. Dit wordt zowel op macroscopisch als op microscopisch niveau gedaan.
Macroscopisch niveau	Macroscopische modellen simuleren verkeersstromen op een geaggregeerd niveau. Het verkeer wordt over het netwerk gestuurd op basis van technieken die afhankelijk zijn van de attractie en productie van gebieden en de weerstand van routes. De macroscopische modellen hebben een verkeersstroombenadering en gaan niet in op het individuele routekeuze en rijgedrag van bestuurders. De simulaties richten zich op het weergeven van de verkeersafwikkeling van meerdere modaliteiten op omvangrijke verkeersnetwerken. De gesimuleerde verkeersafwikkeling, de netwerkprestatie, wordt hoofdzakelijk weergegeven met gemiddelden snelheden, intensiteiten, dichtheden en reistijden op het netwerk. Het meest gebruikte macroscopische verkeersmodel is het vierstapsmodel. Achtereenvolgens wordt het verkeer gegenereerd, de herkomsten en bestemmingen bepaald, de modaliteit bepaald en het verkeer langs routes over het netwerk verdeeld. Het centrale onderzoekselement in dit type model is de 'rit'. Andere type modellen zijn het activity based model, waarin de activiteiten van de reiziger in plaats van de ritten centraal staan en het land use transport interaction model, waarin de wisselwerking tussen verkeer en landgebruik centraal staat.
Microscopisch niveau	De microscopische modellen kennen een voertuigbenadering en simuleren het individuele rijgedrag. Centraal in de modellen staan de theorieën die het voertuigvolg- en rijbaanwisselingsgedrag beschrijven. Door de gedetailleerde representatie van het verkeersgedrag in rijstrook bezettingen, route afwikkeling, snelheidslimieten en instellingen van regelingen, zijn de modellen in staat om op een degelijke manier de effecten van geavanceerde verkeersinformatiesystemen en route verwijssystemen op het verkeersgedrag van individuele bestuurders te modelleren. Daarnaast zijn de modellen geschikt voor het evalueren van locatie specifieke verkeerscontrolesystemen en alternatieve verkeersinfrastructuurele ontwerpparameters tot op kruispuntniveau. Ze beschikken hiervoor over verschillende analytische technieken zoals methoden voor het analyseren van wachtrijen en schokgolven (INTEGAIRE, 2005). De meeste microscopische modellen zijn stochastische modellen die op basis van de Monte Carlo procedure willekeurig maar volgens gedefinieerde distributie voertuigen op het netwerk simuleren. Een aparte groep microscopische modellen zijn de modellen die specifiek zijn gericht op het ontwerpen, doorrekenen en optimaliseren van VRI's
Emissiemodellen	
Algemeen	De berekening van de luchtkwaliteit begint bij het bepalen van de uitstoot door de verschillende bronnen. De emissiemodellen beschrijven de emissieprocessen die leiden tot de uitstoot van luchtverontreinigende stoffen. Bepalend voor deze processen zijn de karakteristieken van de bron. De emissiemodellen zijn voornamelijk gericht op het modelleren van de verkeersemissies. Daarnaast zijn er ook modellen die bijvoorbeeld de verbrandingsprocessen van andere bronnen zoals de industrie modelleren. Deze worden buiten beschouwing gelaten. Evenals bij de verkeersmodellen bestaan er ook emissiemodellen zowel op macroscopisch als op microscopisch niveau.
Macroscopisch niveau	De meest gebruikte emissiemodellen zijn geaggregeerde macroscopische modellen. Deze modellen berekenen de emissie op basis van gemiddelde snelheid en onderscheid in voertuig- en omgevingstypen en maken daarbij veelal gebruik van voorgeschreven emissiefactoren. Een emissiefactor geeft aan hoeveel gram van een bepaalde stof door een voertuig per kilometer wordt uitgestoten. In grote lijnen worden emissiefactoren bepaald door het voertuigtype, het type brandstof, de leeftijd van het voertuig en de snelheid en dynamiek van het verkeer. Vooral deze laatste factor speelt een belangrijke rol bij de effectberekening van verkeersmaatregelen maar wordt in macroscopische modellen vanwege de complexiteit niet of vaak sterk vereenvoudigd weergegeven. Verschil in snelheid en dynamiek wordt meegenomen door op basis van basisemissiefactoren (in Nederland voorgeschreven door het RIVM) aparte emissiefactoren op te stellen voor verschillende combinaties van snelheid en dynamiek (Olde Kalter, M., et al., 2005). De geaggregeerde modellen worden toegepast op grote gebieden, volledige steden op zelfs landen. Nederlandse voorbeelden van studies waarbij de luchtkwaliteitsmodellen voor het maken van berekeningen op landelijk niveau worden toegepast zijn DHV & TNO (2005) en TNO-MEP (2004).

Microscopisch niveau	Microscopische modellen zijn er op gericht om de invloed van de verkeersdynamiek op de emissie bij de berekeningen van voertuigemissies nauwkeurig mee te nemen. Met de microscopische modellen wordt de uitwerking van de emissiefactoren verder verfijnd of wordt op basis van empirisch onderzoek nauwkeurige locatiespecifieke relatie tussen voertuigdynamiek en emissies opgesteld. De laatste methode heeft geleid tot de ontwikkeling van 'modal' emissiemodellen, waarin de emissie wordt gerelateerd aan specifieke voertuigoperaties (o.a. Mehta, et al, 2003). In Barth, et al (1999) worden drie benaderingen voor het ontwikkelen van 'modal' emissiemodellen genoemd. ▪ De statistische benadering waarbij de emissie wordt beschreven aan de hand van matrices met verschillende voertuigoperaties zoals stationair stilstaan, rijden met constante snelheid en versnellen. ▪ Het maken van emissie maps door gebruik te maken van een inventaris van emissies gebaseerd op voertuigparameters zoals motorkracht en -snelheid bij bepaalde snelheidsprofielen. ▪ Het modelleren van de emissie afhankelijk van de gevraagde motorkracht waarbij het fysieke emissieproces in de motor wordt beschreven. De microscopische emissiemodellen gebruik van gedetailleerde informatie over intensiteit, snelheid, snelheidsprofielen en versnellingen per voertuig die per seconde met behulp van microscopische verkeersmodellen worden berekend of met dynamometertests of 'on-road' meetsystemen worden gemeten. De ontwikkeling van microscopische emissiemodellen en de resultaten van empirische studie worden in hoofdstuk 7 verder beschreven.
	Dispersiemodellen
Algemeen	De dispersiemodellen beschrijven de verspreiding van stoffen over de omgeving. De dispersie is afhankelijk van de ruwheid van de omgeving en de weersgesteldheid. De modellen bevatten rekenregels die de verspreiding van stoffen afhankelijk van de omgevingskenmerken en weersomstandigheden beschrijven. Door de vele beïnvloedende (omgevings)factoren kennen de dispersieberekeningen een relatief grote onzekerheid. Bijvoorbeeld de sterke invloed van de weersomstandigheden maakt het doen van juiste voorspellingen lastig. Veelal wordt gebruik gemaakt van meerjaren trends van het weer.
Detailniveau	De dispersiemodellen kennen geen onderscheid tussen macroscopische modellen en microscopische modellen. Wel kennen de modellen grote verschillen in gedetailleerdheid. Eenvoudige modellen gaan uit van sterk geschematiseerde punt- en lijnbronnen en kennen vaak maar een beperkt aantal typen omgeving. Complexe modellen beschrijven de specifieke eigenschappen van bronnen en kenmerken van de omgeving uitgebreider en maken gebruik van complexere en in tijd en ruimte nauwkeurigere dispersieformules.

6 STANDAARD EMISSIEFACTOREN

6.1 Opstellen van standaard emissiefactoren

In Nederland stelt het nationaal Milieu en Natuur Planbureau (MNP) emissiefactoren vast voor het binnenstedelijk, provinciaal en snelwegverkeer. Deze standaard emissiefactoren worden met name in studies op nationaal niveau toegepast. Een belangrijke toepassing is bijvoorbeeld de milieubalans waarin de emissiefactoren worden gebruikt om de bijdrage van het verkeer aan de totale luchtvervuiling te berekenen. In het verleden werd de Milieubalans onder de naam van het RIVM uitgebracht (Milieubalans 2004). Sinds 2005 brengt het MNP de balans onder haar eigen naam uit. Het RIVM is nog wel betrokken bij het onderzoek naar emissiefactoren (Taakgroep Verkeer en Vervoer, 2004).

De standaard emissiefactoren zijn onder anderen gebaseerd op de uitlaatemissies van voertuigen die in Nederland door TNO worden bepaald (DHV-TNO-RIGO, 2005). TNO voert in opdracht van het ministerie van VROM sinds de jaren 80 onderzoek uit naar de emissie van wegverkeer (www.cbs.nl, Emissiefactoren wegverkeer 2004). In huidige onderzoek van TNO worden de emissies afhankelijk van de verkeersomstandigheden opgesteld. De invloed van verkeerssnelheid en vooral dynamiek (onrust) van het verkeer op de totale emissie van voertuigen hebben geleid tot het opstellen van aparte emissiefactoren voor verschillende verkeerssituaties.

Standaard emissiefactoren zijn opgesteld voor de stoffen NO_x, PM₁₀, CO, Benzeen, SO₂ en de voertuigklassen licht wegverkeer (personenvoertuigen), middelzwaar wegverkeer (vrachtverkeer onder 20 ton), zwaar wegverkeer en bussen. De emissiefactoren worden gegeven in g/km.

De MNP-emissiefactoren uit 2004 zijn onderverdeeld in vier voertuigklassen en daarvan afhankelijk zes of zeven snelheidsklassen.

Voertuigklassen: licht, middelzwaar (vrachtauto's onder de 20 ton), zwaar wegverkeer en autobussen
Snelheidsklassen: 13 km/h, 19 km/h, 26 km/h, 44 km/h, 80 km/h, 90 km/h (niet licht wegverkeer), 100 km/h (alleen licht wegverkeer) en 120 km/h (alleen licht wegverkeer)

Bij het vaststellen van de standaard emissiefactoren zijn extra emissies ten gevolge van stops niet expliciet meegenomen. Wel zit het rijgedrag impliciet in de emissiefactoren verwerkt. De emissiefactoren zijn namelijk opgesteld per verkeerssituatie. De verschillende verkeerssituaties worden afgespiegeld door de gemiddelde snelheden waarvoor de emissiefactoren zijn opgesteld. Voor elke verkeerssituatie zijn de emissiewaarden gebaseerd op een uitgebreide dataset van metingen. In die metingen zijn de rijpatronen en stops naar het karakter van de verkeerssituatie vertegenwoordigd.

6.2 Overzicht standaard emissiefactoren

Emissiefactoren voor licht en zwaar wegverkeer

datum: 14-1-2005

auteur: A. Hoen (RIM)

bron: taakgroep verkeer (CBS, RIVM, TNO, RIZA, AVV)

historische cijfers: Emissiemonitor 2003-2004

prognoses: ReferentieRaming 2003 (Actualisatie Emissieprognose Verkeer en Vervoer (Van den Brink, 2003)

schatting 2004: extrapolatie van 2002 definitief en 2003 voorlopig (m.u.v. SO₂: 2004 = 2003) A. Hoen (14-1-2005)

LICHT WEGVERKEER (personenauto's, bestelauto's en motoren)							
<i>snelheid (km/h)</i>	13	19	26	44	80	100	120
NO _x (g/km)	0.75	0.68	0.62	0.46	0.52	0.60	0.76
PM10 verbranding + slijtage naar lucht (g/km)	0.086	0.075	0.065	0.043	0.040	0.043	0.055
CO (g/km)	5.44	4.54	3.76	1.92	1.49	1.62	2.47
B(a)P verbranding (µg/km)	2.7	2.3	1.9	0.8	0.5	0.4	0.6
benzeen (mg/km) verbranding + verdamping	27.8	24.6	20.7	10.7	5.3	5.0	6.5
SO ₂ (g/km)	0.009	0.008	0.007	0.005	0.005	0.005	0.006

MIDDELZWAAR WEGVERKEER (vrachtauto's < 20 ton GVW en bussen)						
<i>snelheid (km/h)</i>	13	19	26	44	80	90
NO _x (g/km)	14.80	11.18	10.46	8.59	6.88	7.01
PM10 verbranding + slijtage naar lucht (g/km)	0.596	0.463	0.419	0.306	0.208	0.195
CO (g/km)	4.07	3.13	2.81	2.01	1.22	1.13
B(a)P verbranding (µg/km)	22.7	16.2	14.4	9.6	5.8	5.2
benzeen (mg/km) verbranding + verdamping	26.6	19.1	16.9	11.4	6.9	6.3
SO ₂ (g/km)	0.035	0.029	0.027	0.022	0.020	0.022

ZWAAR WEGVERKEER (vrachtauto's > 20 ton GVW en trekkers)						
<i>snelheid (km/h)</i>	13	19	26	44	80	90
NO _x (g/km)	21.50	16.24	15.25	12.72	9.46	9.64
PM10 verbranding + slijtage naar lucht (g/km)	0.710	0.556	0.515	0.409	0.284	0.266
CO (g/km)	5.27	4.05	3.70	2.80	1.70	1.57
B(a)P verbranding (µg/km)	22.0	15.8	14.2	10.1	6.0	5.5
benzeen (mg/km) verbranding + verdamping	25.2	18.1	16.3	11.6	7.0	6.3
SO ₂ (g/km)	0.051	0.042	0.039	0.032	0.026	0.028

AUTOBUSSEN						
<i>snelheid (km/h)</i>	13	19	26	44	80	90
NO _x (g/km)	16.20	12.24	11.55	9.77	7.88	8.03
PM10 verbranding + slijtage naar lucht (g/km)	0.668	0.519	0.476	0.363	0.250	0.234
CO (g/km)	4.28	3.29	2.98	2.20	1.38	1.27
B(a)P verbranding (µg/km)	22.8	16.4	14.5	9.7	5.6	5.1
benzeen (mg/km) verbranding + verdamping	26.2	18.8	16.7	11.2	6.5	5.9
SO ₂ (g/km)	0.039	0.032	0.031	0.028	0.021	0.023

7 ONZEKERHEDEN BIJ LUCHTKWALITEITSTUDIES

Onzekerheden in modelstudies zijn te onderscheiden in invoeronzekerheid en modelonzekerheid (Erbrink, 2003). Daarnaast wordt de onzekerheid beïnvloed door de deskundigheid van de gebruiker en de aanwezigheid van documentatie.

Onzekerheden in invoer

- Emissiekaracteristieken verkeer en lokale emissie andere bronnen
- Achtergrond concentraties
- Meteorologie
- Omgeving en obstakels

Onzekerheden in model

- Verkeersafwikkeling
- Emissieproductie verkeer
- Uitwerking van maatregelen
- Verwerking meteorologie
- Verwerking invloed obstakels
- Chemische processen in de lucht

De volgende algemene, niet modelspecifieke, onzekerheden (voor de berekening van NO₂ en PM₁₀) worden aangegeven in Erbrink et al. (2003) en DHV-TNO-RIGO (2006). Deze onzekerheden zijn bepaald voor een landelijke studie naar knelpunten op het gebied van de luchtkwaliteit in Nederland. De getallen zijn indicatief aangezien de waarden per specifieke situatie verschillend zullen zijn.

Onderdeel modellering	Gemiddelde onzekerheid
rijgedrag	+/- 10%-15% (afhankelijk van gekozen parameters)
voertuigclassificatie	+/- 10%-20% (afhankelijk onderscheid klassen)
ruwheid terrein	+/- 10% hoge bron, 30% lage bron, dichtbij weg minder
opzet meteometing	+/- 10%-30% (afhankelijk van type meting)
achtergrondconcentraties	+/- 10%-20% (verschil stedelijk/ruraal en dubbeltelling)
<i>De onzekerheid is uitgedrukt in de variatiecoëfficiënt, de standaarddeviatie van mogelijke afwijkingen gedeeld door het gemiddelde. Een onzekerheid van 10% betekent dat 70% van de metingen niet meer dan 10% afwijkt van het gemiddelde en 95% van de metingen niet meer dan 20%.</i>	
<i>Bron: Erbrink (2003)</i>	

Onderdeel modellering	Gemiddelde onzekerheid
Invoer	
Meteorologie	+/- 20%
Terreingegevens	+/- 20%
Emissie als gevolg van intensiteiten	+/- 25% (voor toekomstschattingen)
Emissie als gevolg van emissiefactoren	+/- 20%
Achtergrondconcentraties	+/- 11% (NO ₂) en +/- 20 % (PM ₁₀)
Model	
Rekenmodelonzekerheden	+/- 15%-30% (afhankelijk van combinatie verkeerssituatie en type model)
Maximale onzekerheid	
	+/- 40% (PM ₁₀) en +/- 45% (NO ₂)
<i>De onzekerheden zijn schattingen gebaseerd op ervaringen van TNO (Gense et al., 2004) en andere (bij onderstaande studie(de bron)) betrokken experts. De onzekerheid in de achtergrondconcentraties de formeel aangehouden waarde van onzekerheidprognose van het RIVM (Velders, 2005).</i>	
<i>Bron: DHV-TNO-RIGO (2006)</i>	

In Erbrink (2003) wordt een overzicht gegeven van modelspecifieke onzekerheden. De onzekerheden zijn opgesteld om de kwaliteit van de verschillende luchtkwaliteitsmodellen met elkaar te kunnen vergelijken.

Model	Car-II	TNO-VM	TNO-HV	Urbis	NNM
Onzekerheid in invoer	32%	29%	24%	29%	26%
emissies personenverkeer	10%	10%	10%	10%	10%
emissies vracht	20%	15%	15%	15%	15%
rijsnelheid	5%	5%	5%	5%	5%
wegtype	5%	5%	5%	5%	5%
achtergrondconcentraties	15%	15%	15%	15%	15%
meteorologie	15%	15%	10%	15%	10%
obstakels	10%	10%	5%	10%	5%
gebouwen	20%	20%	20%	20%	20%
terreinruwheid	10%	10%	10%	10%	-
Onzekerheid in model	26%	19%	14%	22%	14%
rijbanen	5%	5%	0%	5%	0%
files en rijstroken	15%	5%	5%	10%	5%
weg-wind oriëntatie	10%	5%	5%	5%	5%
wegligging	10%	5%	5%	5%	5%
tunnels	30%	10%	5%	30%	30%
bomen	5%	5%	5%	5%	5%
schermen/wallen	20%	15%	15%	20%	15%
gebouwen	20%	20%	20%	20%	30%
dispersie	10%	10%	10%	10%	10%
NO ₂ -vorming	10%	15%	5%	15%	5%
lijnbronmodellering	5%	5%	5%	10%	5%
Maximale onzekerheid	50%			50%	
<i>Extra opmerkingen bij onzekerheidswaarden</i>	<i>Bij historische berekening 30% Toename tot 40-45% bij grote verkeersbijdrage</i>	<i>Aangetoond Wesseling (tno) bij berekening NO_x 15%, bij NO₂ 20%</i>		<i>Onzekerheden middelen uit bij groot aantal bronnen</i>	
<i>De onzekerheid is uitgedrukt in de variatiecoëfficiënt, de standaarddeviatie van mogelijke afwijkingen gedeeld door het gemiddelde. Een onzekerheid van 10% betekent dat 70% van de metingen niet meer dan 10% afwijkt van het gemiddelde en 95% van de metingen niet meer dan 20%.</i>					
<i>Bron: Erbrink (2003)</i>					

8 ONDERZOEK NAAR VERKEERSKARAKTERISTIEKEN EN EMISSIE

8.1 Beschrijving twee typen onderzoek

In deze bijlage worden twee verschillende vooraanstaande typen van onderzoek waarin het bepalen van de relatie tussen verkeerskarakteristieken en emissie centraal staat, beschreven.

8.1.1 Analyse van empirische emissiedata

Een voorbeeld van het eerste genoemde onderzoek is een veldstudie verricht door Ericsson (2001). In dit zeer uitgebreide onderzoek heeft het bestuderen van 19230 rijpatronen geleid tot het definiëren van 16 onafhankelijke rijpatroonfactoren, waarvan voor negen factoren wordt gevonden dat ze een aantoonbaar effect hebben op de emissie en/of brandstofverbruik per kilometer. De 19230 rijpatronen zijn waargenomen met vijf testvoertuigen in een stedelijke omgeving in Zweden. De rijpatroonfactoren, die elke een dimensie van het rijpatroon beschrijven, zijn met behulp van een factoranalyse samengesteld uit 62 rijpatroonparameters. Met de 62 parameters worden de 19320 rijpatronen beschreven. 44 van de parameters beschrijven het voorkomen, de frequentie, de snelheidsniveau en de versnelling/vertraging van de rijpatronen en 18 parameters beschrijven de motor snelheid en het gebruik van de versnellingen. De verklarende waarde (voor de emissie van HC, NO_x en CO₂ en het brandstofverbruik) van de parameters is bepaald met behulp van een regressieanalyse en voor twee (van de vijf) voertuigen berekende emissie- en brandstoffactoren. Voor het berekenen van de emissie- en brandstoffactoren is voor elk voertuig gebruik gemaakt van een ander bestaande emissiemodel (Rototest en VETO).

8.1.2 Kalibreren van parameters uit deterministische formules

Een voorbeeld van een interessant onderzoek waarbij op deterministisch wijze bepaalde rekenregels aan de werkelijkheid worden getoetst is de ontwikkeling van een emissiemodel door Reynolds & Broderick (2000). Tijdens deze studie zijn op basis van emissiefactoren, motorkarakteristieken en kenmerken van verkeerssituaties bij kruispunten formules voor het berekenen van de emissie bij kruispunten opgesteld. In de formules wordt gebruik gemaakt van voorgeschreven factoren voor 'hete motor' emissie en 'koude start' emissie in gewone en wachtrij situaties en 'verdampings' emissie (bij onvolledige verbranding) die afkomstig zijn uit Britse, Europese en Amerikaanse voorschriften of gerenommeerde onderzoeken. De berekening van de 'hete motor' emissie bestaat uit de vermenigvuldiging van de voorgeschreven emissiefactor met de lengte van het onderzocht wegvak en het aantal passerende voertuigen. De emissiefactor is daarbij afhankelijk van het voertuigtype (inclusief bouwjaar), het wegtype, de hellingshoek van de weg, de gemiddelde snelheid en het brandstoftype. De 'koude start' emissie wordt bepaald door de 'hete motor' emissie te vergroten met de voor de koude start voorgeschreven relatieve emissie factor. De emissie voor de wachtrij zijn afhankelijk van voorgeschreven emissiefactoren voor een warme en koude stationair draaiende motor, de vertragingstijd en het aantal voertuigen in de wachtrij. De wachtrij emissiefactoren zijn afhankelijk van het voertuigtype (inclusief bouwjaar), het wegtype en het brandstoftype. De 'verdampings' emissie wordt berekend met het product van de voorgeschreven emissiefactor en het in het onderzoeksgebied afgelegde aantal kilometers. Deze emissiefactor is afhankelijk van het voertuigtype (inclusief bouwjaar), het wegtype, de gemiddelde snelheid en het brandstoftype. Uiteindelijk wordt de totale emissie bepaald met de formule Totale emissie = (1-a) 'hete motor' emissie + (a)'koude start' emissie + 'verdampings' emissie, waarbij 'a' staat voor de fractie van het totaal aantal afgelegde kilometers dat met koude motor wordt afgelegd. In de studie is bij voor het uitvoeren van de bovenstaande emissiemodelberekeningen gebruik gemaakt van ruwe verkeersdata. De gebruikte data is opgebouwd uit verkeersvolumes en volgafstanden van voertuigen gedetecteerd met inductielussen en de samenstelling van het verkeer, de voertuigsnelheden, de wachtrijlengtes en de vertraging op het kruispunt waargenomen met camera's. De berekende emissie is vertaald naar concentraties vervuilende stoffen in de lucht en vervolgens vergeleken met de aan de wegwijk gemeten luchtkwaliteit. Met de vergeleken gemeten en voorgepelde concentraties is het model gevalideerd.

8.2 Aangetoonde emissie verklarende verkeerskarakteristieken

In wordt en overzicht gegeven van onderzoeken naar welke verkeerskarakteristieken verklarend zijn voor de emissie van voertuigen. Per onderzoek wordt aangegeven met welke methode de resultaten zijn verkregen en welke karakteristieken als verklarend worden geacht voor de emissie van bepaalde vervuilende stoffen. Met de letters B, M, T en W in de eerste kolom wordt aangegeven of in het onderzoek gebruik is gemaakt van Berekeningen en/of Metingen van de emissie in Test omstandigheden en/of Werkelijke verkeerssituatie.

onderzoek	methode	stoffen	verklarende karakteristieken emissie								
EI-Shawarby (2005) <table><tr><td>B</td><td>M</td></tr><tr><td>x</td><td>x</td></tr><tr><td>T</td><td>W</td></tr><tr><td>x</td><td></td></tr></table>	B	M	x	x	T	W	x		validatie schattingen VT-micromodel met metingen, meting brandstofverbruik en emissie met on-board emissiemetingen, test met 4 constante snelheden over 1 km en test met 3 versnellingsniveaus over 1,4 km, identieke ritten doorgerekend met VT-micro emissie-model voor schatting brandstofverbruik en emissie, analyse effect snelheid en versnelling op brandstofverbruik en emissie in resultaten van beide bronnen	CO, CO ₂ , HC, NO _x en brandstofverbruik	- alle stoffen: toename emissie bij toename vanaf 90km/h en afname vanaf 60 km/h, sterke toename emissie onder 20 km/h - HC en CO sterke toename emissie boven 100 km/h - NO_x en CO₂ lichte afname emissie boven 100 km/h - agressiever versnellen gepaard met afname totale emissie (focus enkel versneltraject) wordt emissie over een lange vaste afstand bekeken dan meer emissie bij agressiever versnellen
B	M										
x	x										
T	W										
x											
Steinberga (2004) <table><tr><td>B</td><td>M</td></tr><tr><td>x</td><td></td></tr><tr><td>T</td><td>W</td></tr><tr><td></td><td>x</td></tr></table>	B	M	x		T	W		x	emissiemodel voor parkeerplaatsen, effect van het meenemen van koude start bekeken voor twee situaties: alle parkeerplaatsen in de stad en een winkelstraat met parkeerplekken	CO, NO _x , VOC's	- emissiefactoren 'hete motor' (functie van gem. snelheid) 'koude start' (functie van gemiddelde afstand met koude motor, gem. temp. en gem. winter temp.) - gebaseerd op emissiefactoren volgens ECE 15/04 EC en Euro I standaarden - en daarnaast gem. snelheid in stad, gem. brandstofverbruik, gem. afstand per jaar.
B	M										
x											
T	W										
	x										
Int Panis (2004) <table><tr><td>B</td><td>M</td></tr><tr><td>x</td><td>x</td></tr><tr><td>T</td><td>W</td></tr><tr><td></td><td>x</td></tr></table>	B	M	x	x	T	W		x	emissiefuncties voor directe berekening emissie obv werkelijke ritten (10000 datarecords, 30 voertuigen, emissie per seconde), regressie snelheid-versnelling-emissie, simulatie verkeersstromen met microscopische verkeersmodel, doorrekenen verschillende scenario's	NO _x , PM _{2.5}	emissie, op basis van ritgegevens van in wisselende omstandigheden geanalyseerde voertuigen, afhankelijk van snelheid en versnelling in projectspecifieke on-time emissiefuncties - functies zijn verwerkt in software module die direct parallel aan de simulaties de emissies berekent - de modelopzet levert acceptabele benadering van emissie, de verkregen resultaten zijn van hogere kwaliteit dan de uitkomsten van alternatieve modellen
B	M										
x	x										
T	W										
	x										
Smidfelt Rosqvist (2003) <table><tr><td>B</td><td>M</td></tr><tr><td>x</td><td></td></tr><tr><td>T</td><td>W</td></tr><tr><td></td><td>x</td></tr></table>	B	M	x		T	W		x	analyse rijpatronen met afgelegde afstand, aantal kruisingen en afslaan bewegingen en verkeerskalmerende maatregelen per wegstructuur (gridstructuur, centrale toegangsweg, ringweg) voor schatting brandstofverbruik en emissie, regressieanalyse tussen emissie en wegstructuren	CO, NO _x	- Bij de ringwegstructuur wordt de meeste emissie berekend Belangrijk aandeel hierin is het totaal afgelegde aantal kilometers - Of de grid-structuur of de centrale toegangsweg milieuvriendelijker is, is niet aangetoond vanwege onvoldoende variabelen in de studie Meer aandacht is nodig voor rijpatronen omdat deze ook per wegstructuur kunnen verschillen
B	M										
x											
T	W										
	x										
Van Mierlo (2002) <table><tr><td>B</td><td>M</td></tr><tr><td>x</td><td>x</td></tr><tr><td>T</td><td>W</td></tr><tr><td>x</td><td>x</td></tr></table>	B	M	x	x	T	W	x	x	analyse van invloed rijgedrag op brandstofverbruik en emissie met behulp van literatuurstudie, laboratorium metingen voor rijcyclussen, database met emissies voor op de weg en bij verschillende praktijkomstandigheden bepaalde ritten welke op de rollerbak zijn gereproduceerd, daarnaast voor 4-tal specifieke verkeersmaatregelen snelheid-tijd profielen in praktijk gemeten en nageleden op rollerbank, voertuig simulaties met VSP icm emissie berekening met combinatie van VERSIT en Park-model		bij snelheid boven 100 km/h emissie gevoelig voor snelheidsveranderingen als gevolg van sterke toename weerstanden (met name wind), onder 100 km/h emissie niet gevoelig voor snelheid
B	M										
x	x										
T	W										
x	x										

Rakha (2001) <table><tr><td>B</td><td>M</td></tr><tr><td>x</td><td>x</td></tr><tr><td>T</td><td>W</td></tr><tr><td>x</td><td>x</td></tr></table>	B	M	x	x	T	W	x	x	meting brandstofverbruik en emissies van rijdende auto's op testlocaties bij constante snelheden (referentiesituatie), meting van rijpatronen in werkelijke situatie, rijpatronen beschreven met verschillende snelheid en acceleratieniveaus, rijpatronen gemodelleerd met VT-micromodel voor schatting van brandstofverbruik en emissie bij stops	CO, HC, NO _x	▪ bij stop meer emissie met name bij hoge snelheid ▪ CO en HC gevoelig voor sterkte versnelling, invloed vertraging gering ▪ bij maximale versnelling NO_x emissie lager dan bij mindere versnelling ▪ introduceer vloeiende stop bij hoge snelheid reduceert emissie
B	M										
x	x										
T	W										
x	x										
Ericsson (2001) <table><tr><td>B</td><td>M</td></tr><tr><td>x</td><td>x</td></tr><tr><td>T</td><td>W</td></tr><tr><td></td><td>x</td></tr></table>	B	M	x	x	T	W		x	uit 62 rijpatroonparameters 16 samengestelde rijpatroonfactoren mbv factoranalyse, emissie- en brandstofactoren bepaald met emissiemodellen, regressieanalyse tussen rijpatroonfactoren en brandstofactoren, resultaat 9 significant verklarende factoren	CO ₂ , HC, NO _x en brandstofverbruik	▪ Emissie beïnvloedt door onafh. factoren voor: versnelling met sterke motorkracht (++) voertuig stop (++) extreme versnelling factor (++) snelheidsschakeling (+) versnelling met gemiddelde motorkracht (+) laat schakelen van 2^e naar 3^e versnelling (+) factor voor motorsnelheid > 3500 rpm (+) snelheidsinterval 50-70 km/h (-) gemiddelde motorsnelheid in 2^e/3^e versnelling (-) ▪ Conclusie: niet alleen snelheidsniveau van belang maar ook versnelling en motorkracht en het gebruik van de versnellingen
B	M										
x	x										
T	W										
	x										
Ericsson (1999) <table><tr><td>B</td><td>M</td></tr><tr><td></td><td>x</td></tr><tr><td>T</td><td>W</td></tr><tr><td></td><td>x</td></tr></table>	B	M		x	T	W		x	439 rijpatronen beschreven met 26 mogelijk geschikte rijpatroonparameters, regressieanalyse selectie 5 parameters met significant effect	HC, NO _x en brandstofverbruik	▪ relatieve positieve versnelling ▪ percentage tijd doorgemaakt op snelheidsinterval 0-15 km/h ▪ aantal snelheidsschakelingen per bepaalde afstand ▪ percentage van tijd doorgemaakt in hoog versnellingsinterval ▪ percentage van tijd doorgemaakt in hoog vertraginginterval
B	M										
	x										
T	W										
	x										
Reynolds (2000) <table><tr><td>B</td><td>M</td></tr><tr><td>x</td><td>x</td></tr><tr><td>T</td><td>W</td></tr><tr><td></td><td>x</td></tr></table>	B	M	x	x	T	W		x	ontwikkeld emissiemodel gevalideerd met luchtkwaliteitsmeting op druk kruispunt, emissiemodel maakt gebruik van ruwe verkeersdata, daarnaast vergelijking ruwe data met uitkomsten netwerk verkeerssimulatiemodel	CO, NO _x , PM ₁₀ , SO ₂ , VOCs, 1,3-butadiene, benzene	▪ emissieberekening met voorgeschreven emissiefactoren: 1-a (hete motor + hete motor wachtrij) + a(koude start + koude start wachtrij) + verdamping ▪ voorgeschreven emissiefactoren gecorrigeerd naar voertuigtype, wegtype, hellingshoek, gemiddelde snelheid en brandstoftype ▪ uitgangspunt: benadering emissie op wegvak met gemiddelde snelheid is geschikt omdat emissie van versnelling en vertraging intrinsiek wordt meegenomen
B	M										
x	x										
T	W										
	x										
Reynolds (1998) <table><tr><td>B</td><td>M</td></tr><tr><td>x</td><td>x</td></tr><tr><td>T</td><td>W</td></tr><tr><td></td><td>x</td></tr></table>	B	M	x	x	T	W		x	ontwikkeld emissiemodel gevalideerd met luchtkwaliteitsmeting (per rijrichting) op druk kruispunt, emissiemodel maakt gebruik van netwerk verkeersmodel, verkeersonderzoek en statistische data	CO, NO _x , PM ₁₀ , SO ₂ , VOCs, 1,3-butadiene, benzene	▪ samengestelde emissiefactor: 1-a (emissiefactor, afgelegde km en tijd) + a(koude start emissiefactor) + wachtrij emissiefactor ▪ gebruik van Baseline Emission Rate gecorrigeerd naar temperatuur, snelheid, rijkenmerken en grote bronnen
B	M										
x	x										
T	W										
	x										
Mensink (2000) <table><tr><td>B</td><td>M</td></tr><tr><td>x</td><td>x</td></tr><tr><td>T</td><td>W</td></tr><tr><td>x</td><td>x</td></tr></table>	B	M	x	x	T	W	x	x	berekening van emissie met verkeersstroomgegevens en emissiefactoren, verkeersstroom bepaald met vierstapsmodel, gebruik van voorgeschreven koude en koude start emissiefactoren uit COPERT II methode, emissiefactoren vastgesteld met emissiemetingen tijdens dynamometertests, uitkomsten emissieberekening vergeleken met on-the-road metingen van voertuigemissies (Vlieger, 1997)	CO, NO _x , SO ₂ , VOCs, PM, Pb	▪ emissiefactoren COPERT II (afh van snelheid vtg type, brandstof type, cilindercapaciteit) vermenigvuldigd met verkeersstroom en lengte wegvak ▪ koude start emissie mbv koud-warm ratio voor emissie en aandeel afgelegde afstand met koude motor ▪ uitgebreide weergave van invloed temperatuur op emissie, bij lage temperatuur significant meer emissie van CO, NO_x en VOC's ▪ grote standaard deviatie bij on-the-road meting, toegewezen aan grote invloed externe factoren zoals rijgedrag en onderhoud voertuig
B	M										
x	x										
T	W										
x	x										
Gense (2000) <table><tr><td>B</td><td>M</td></tr><tr><td></td><td>x</td></tr><tr><td>T</td><td>W</td></tr><tr><td></td><td>x</td></tr></table>	B	M		x	T	W		x	meting rijpatronen volgens 4 rijstijlen op representatieve trajecten in dagelijks verkeer met 5 voertuigtypen in ruraal, stedelijk en snelwegomgeving, rijpatronen gemeten aan de hand van tijd, snelheid, toerental en stand versnelling, rijpatronen uitgedrukt in 20 parameters, ritten nagedrukt op dynamometer waarbij emissie zijn gemeten, de emissies zijn geanalyseerd	CO, CO ₂ , HC, NO _x , PM ₁₀	▪ significante invloed rijstijlen op emissie ▪ toename van ritdynamiek leidt tot een toename in emissie ▪ sportieve rijstijl (hoge snelheid, versnelling en toerental) meeste ritdynamiek, de aparte invloed van deze factoren is niet bekeken ▪ stedelijk verkeer hoogste emissie door dynamische karakter ▪ emissie stedelijk verkeer ook meest gevoelig voor ritdynamiek
B	M										
	x										
T	W										
	x										

De Vlieger (2000)	<table><tr><td>B</td><td>M</td></tr><tr><td></td><td>x</td></tr><tr><td>T</td><td>W</td></tr><tr><td></td><td>x</td></tr></table> on-road meten van emissie in werkelijke verkeerssituaties met VOEM on-board meetsysteem, registeren van rijgedrag, analyse van resultaten per type rijgedrag, weg en verkeer; type weg: stedelijke, rurale en ringweg type gedrag: kalm/normaal en agressief gedrag type verkeer: ochtend en avondspits met onderscheid in normale en free flow verkeerssituatie, daarnaast op zondag	B	M		x	T	W		x	CO, CO ₂ , HC, NO _x	- in totaal wordt de meeste emissie gemeten in de stad, bij agressief rijgedrag en in drukke verkeerssituaties - hoogste emissiewaarden bij rijden in de stad ongeacht rijgedrag en verkeerssituatie - rijgedrag meeste invloed op emissie in stedelijke en rurale omgeving - emissie het meest gevoelig op ringwegen - obv waarnemingen mogelijke effecten bij hogere snelheden en versnelling: CO + 800% HC + 400% NO_x + 150% - in spits op ringweg Brussel stijgt emissie 10% tot 200% bij afname van de gem. snelheid van 80 naar 25 km/h en toename van de gem. versnelling van 0.19 naar 0.33 m/s²
B	M										
	x										
T	W										
	x										
De Vlieger (1997b)	<table><tr><td>B</td><td>M</td></tr><tr><td></td><td>x</td></tr><tr><td>T</td><td>W</td></tr><tr><td></td><td>x</td></tr></table> rijpatroon en emissie meting aan boord van de auto, per type voertuig, wegtype (stad, ruraal, snelweg) en rijkarakter (kalm, normaal, sportief) de emissie en brandstofverbruik geanalyseerd	B	M		x	T	W		x	CO, HC, NO _x	- CO gevoelig voor rijgedrag stad en ruraal (2x zo groot kalm-normaal en normaal-sportief) - HC gevoelig voor rijgedrag stad en ruraal (k-n gelijk, 3x zo groot n-s) - NO_x nauwelijks gevoelig voor rijgedrag - sportief in stad en ruraal emissie 4x groter dan bij kalm - invloed rijgedrag op snelweg minimaal (let op: bij meting traject met goede doorstroom) - emissie bij kalm altijd lager dan normaal en sportief, opmerkelijk geldt niet voor NO_x, NO_x emissie bij kalm soms hoger dan bij normaal
B	M										
	x										
T	W										
	x										
De Vlieger (1997a)	<table><tr><td>B</td><td>M</td></tr><tr><td></td><td>x</td></tr><tr><td>T</td><td>W</td></tr><tr><td></td><td>x</td></tr></table> testritten in spits en rustige situatie, gemeten brandstofverbruik en emissie vergeleken, resultaten van meting vertaald naar brandstofverbruik en emissie als functie van snelheid en versnelling geïmplementeerd in VISSIM	B	M		x	T	W		x	CO, CO ₂ , HC, NO _x	- snelheid en versnelling verklarend variabelen in emissiefunctie, relatie met emissie gepresenteerd in diagrammen - emissie per gemeten verkeerscondities: hoogst in spits, daarna 'smooth-flowing', laagst bij 'normaal' (50 km/h) (referentiesituatie)
B	M										
	x										
T	W										
	x										

Tabel 8.1Aanpak van onderzoek en voor het emissieproces verklarende verkeerskarakteristieken

9 VOERTUIGSIMULATIEMODEL ADVISOR

Algemene beschrijving ADVISOR

ADVISOR is een voertuigsimulatiemodel dat ontwikkeld is door het NREL (National Renewable Energy Laboratory) van het Amerikaanse ministerie van Energie (Department of Energy). Tegenwoordig wordt het model commercieel op de markt gebracht door AVL (Duits bedrijf dat aandrijvingssystemen ontwikkeld). ADVISOR staat voor ADvanced VehIcle SimulatOR. Het model bestaat uit een combinatie van submodellen, data en scripts in de vorm van text-files die gebruikt kunnen worden in Matlab en Simulink. Hoewel het model specifiek is ontwikkeld voor het analyseren van de rijprestaties en het brandstofverbruik van elektrische en hybride voertuigen, bevat het model ook een aantal conventionele voertuigmodellen. De kern van het model wordt gevormd door een set gekoppelde algoritmes waarmee het rijpatroon van voertuigen afhankelijk van het gedrag van motorcomponenten beschreven wordt. ADVISOR kent een gebruikersvriendelijke 'user interface' waarmee gedetailleerde simulaties en analyses gedefinieerd en uitgevoerd kunnen worden. Daarnaast kan de gebruiker zelf aandrijvingssysteemcomponenten definiëren. Binnen ADVISOR is een start gemaakt met het implementeren van geverifieerde voertuig data. De kracht van ADVISOR ligt in de voorspelling van de prestaties van voertuigen die op dit moment nog niet gebouwd worden.

Primaire toepassingen van het model

Het ontwerp van het model is gericht op de volgende toepassingen.

- schatten van het brandstofverbruik van nog niet ontwikkelde voertuigen
- inzicht vergroten in de wijze waarop conventionele, hybride, en elektrische voertuigen de energie uit de brandstof in de verschillende voertuigcomponenten omzetten in de beweging van het voertuig
- vergelijken van emissie die geproduceerd worden bij het uitvoeren van verschillende rijpatronen
- evalueren van de 'control logic' voor hybride voertuigen
- optimaliseren van het schakelgedrag (handmatig danwel automatisch) in relatie tot het brandstofverbruik, emissie of rijprestaties

Modelopzet

In Advisor wordt het gedrag van de fysieke onderdelen die een belangrijke rol spelen bij het voortbewegen van het voertuig, gesimuleerd.

De volgende fysieke onderdelen zijn in ADVISOR gemodelleerd.

- carrosserie, gewicht en omvang
- accessoires (extra energie verbruik)
- systemen voor energieopslag zoals accu's
- systemen voor stroom generatie (hybride, elektrische voertuigen)
- versnellingsbak
- motor controle systeem
- brandstofomzetting in de motor
- nabehandelingssystemen zoals katalysator en roetfilter
- kracht overbrenging
- aandrijvingssysteem
- wielen en assen

De modellen in ADVISOR zijn voornamelijk empirisch, gebaseerd op input-output relaties van de aandrijvingscomponenten die vastgesteld zijn op basis van laboratorium metingen. De emissiedata in ADVISOR wordt weergegeven in zogenaamde emissiemappen. Dit zijn in de tekstfiles matrices waarin per stof de emissie zijn uitgezet tegen het toerental in koppel. De rekenregels in de modellen zijn opgebouwd uit eenvoudige natuurkunde en gemeten prestaties van voertuigonderdelen. Doordat gebruik wordt gemaakt van data verzameld in 'steady state' situatie (testen onder constante koppel en snelheid) en deze gecorrigeerd is naar transient effecten zoals traagheid in het draaiende elementen van het aandrijvingsysteem van het voertuig.

Gemodelleerde uitlaatemissies

Voor het modelleren van de uitlaatemissie in ADVISOR zijn de volgende submodellen en relaties daarbinnen van belang.

Fuel Converter

Hierin wordt de brandstofomzetting in bewegingsenergie, temperatuur en uitlaatgassen gemodelleerd. Een belangrijke component in dit model is de set rekenregels die de invloed van de temperatuur op de emissie weergeven.

Berekening voor temperatuur verloop in de motor

Brandstofverbruik per tijdstap wordt bepaald door brandstof verbruik te corrigeren met correctiefactor voor motortemperatuur en brandstofverbruik

Emissie geproduceerd in de motor (gebaseerd op snelheid en koppel) wordt gecorrigeerd met correctiefactor voor motortemperatuur en emissie.

De correctiefactoren zijn per stof opgesteld op basis van temperatuur verloop tijdens tests en bevatten onder anderen rekening met de stationaire motortemperatuur en koelmiddeltemperatuur.

Voor een uitgebreide beschrijving van de verschillende submodellen in ADVISOR wordt verwezen naar 'User Guide' van ADVISOR (NREL, 2001).

Het gebruik van ADVISOR

ADVISOR voorspelt brandstofverbruik, uitlaat emissies, acceleratie prestaties en vermogen tot klimmen. Het gebruik van ADVISOR bestaat uit twee stappen. De eerste stap bestaat uit het definiëren van het voertuig door gebruik te maken van gemeten of geschatte data voor het beschrijven van de voertuigonderdelen en het voertuig als geheel en het definiëren van het te rijden rijpatroon. De tweede stap omvat het simuleren van het rijpatroon en de gelijktijdige berekening van het brandstofverbruik en emissie. Na simulatie geeft ADVISOR informatie of het voertuig het rijpatroon heeft kunnen volgen, welke brandstofverbruik en emissies daarbij gepaard gingen of tijdens de rit efficiënt geschakeld is en wat de belasting van de motor, aandrijvingsysteem is geweest.

10 BESCHRIJVING MATLAB-SCRIPT VERSNEL-REKENMETHODE

De VERSNEL-rekenmethode bepaalt de emissie van een voertuig tijdens een rijpatroon op basis van de snelheid en versnelling, het gewicht en het motortype van het voertuig. De generatie van de voertuigemissie vindt binnen de VERSNEL-rekenmethode plaats op basis van een aantal gekoppelde scripts die allemaal een per seconde karakter hebben. De scripts zorgen er voor dat de bepaalde combinaties in de rijpatronen (snelheid per seconde), die afkomstig zijn van het verkeerssimulatie model VISSIM, worden herkend en gekoppeld aan de juiste emissiewaarde. De procedures die de scripts uitvoeren staan hieronder beschreven.

Allereerst worden voor een bepaalde verkeerssituatie individuele rijpatronen gesimuleerd met het verkeerssimulatiemodel VISSIM. In het uitvoerbestand van VISSIM staat per seconde de snelheid, versnelling en positie van alle voertuigen weergegeven. Dit uitvoerbestand wordt (met een msdos-script) omgeschreven naar meerdere bestanden per voertuigtype. Daarmee wordt de grootte van de bestanden verkleind zodat ze ingelezen kunnen worden in Matlab. Deze handeling is geautomatiseerd zodat gemakkelijk meerdere simulaties verwerkt kunnen worden.

In matlab worden de bestanden die opgesteld zijn per voertuigtype ingelezen. Matlab maakt voor elk individueel voertuig een aparte matrix aan waarin het individuele rijpatroon wordt opgeslagen. Met een script in Matlab wordt voor elke voertuigmatrix per seconde het motorvermogen, het gewicht, de snelheid en versnelling uitgelezen. Op basis van deze gegevens wordt het type voertuig bepaald, de daarmee corresponderende emissiematrix geopend en een emissiewaarde uit de vooraf gedefinieerde categorie die correspondeert met de uitgelezen snelheid en versnelling toegekend. De emissiewaarden die worden toegekend komen voort uit de emissiematrices die met het voertuigsimulatiemodel ADVISOR zijn opgesteld. De emissiewaarde wordt op het desbetreffende tijdstip van het rijpatroon weggeschreven in de voertuigmatrix.

De scripts houden rekening met de positie van het voertuig door per seconde de x en y coördinaten mee te nemen. Hierdoor kan een beeld gevormd worden van de emissie op elke (x,y)-coördinaat van het netwerk. Vervolgens kan deze emissie indien gewenst geaggregeerd worden naar grotere perioden of gebieden.

Uiteindelijk worden de emissies (in de structuur van het netwerk) geaggregeerd weggeschreven in een spreadsheet. In de spreadsheet komen de cellen overeen met de wegvakken waarin het netwerk is ingedeeld. Op basis van de coördinaten die per seconde worden uitgelezen worden de emissiewaarden van elke voertuig gekoppeld aan een wegvak. De emissiewaarden worden per wegvak gesommeerd en weggeschreven in de met het wegvak corresponderende spreadsheetcel.

11 BETROUWBAARHEID VERSNEL-REKENMETHODE

11.1 Systematische fout rekenmethode

De resultaten verkregen met de VERSNEL-rekenmethode bevatten als gevolg van de berekening op basis van de snelheid- en versnellingscategorieën een systematische fout. Deze fout verschilt per stof en type voertuig. Bij de dieselloortuigen worden in de uitstoot van HC en CO de grootste verschillen geconstateerd. De systematische fout kent twee belangrijke oorzaken.

Verandering in snelheid of versnelling valt binnen categorie

De categorisering heeft als gevolg dat snelheids- of versnellingverandering binnen de categorieën zullen voorkomen. De rekenmethode berekend in dat geval over de verschillende de seconden dezelfde emissiewaarde terwijl ADVISOR een variatie in de emissie modelleert. Doordat de rekenmethode rekent met gemiddelde emissiewaarden vinden zowel over- als onderschatting plaats en valt de totale fout mee. Voornamelijk bij lage snelheden vindt een onderschatting van de emissie plaats. Kleine versnelling tussen de 0 m/s^2 en de 0.25 m/s^2 vallen in de constante snelheids categorie. ADVISOR berekent voor het rijden met deze lage versnelling een hogere emissie dan de emissiewaarde van de rekenmethode. Deze systematische fout kan gereduceerd worden door subcategorieën te definiëren.

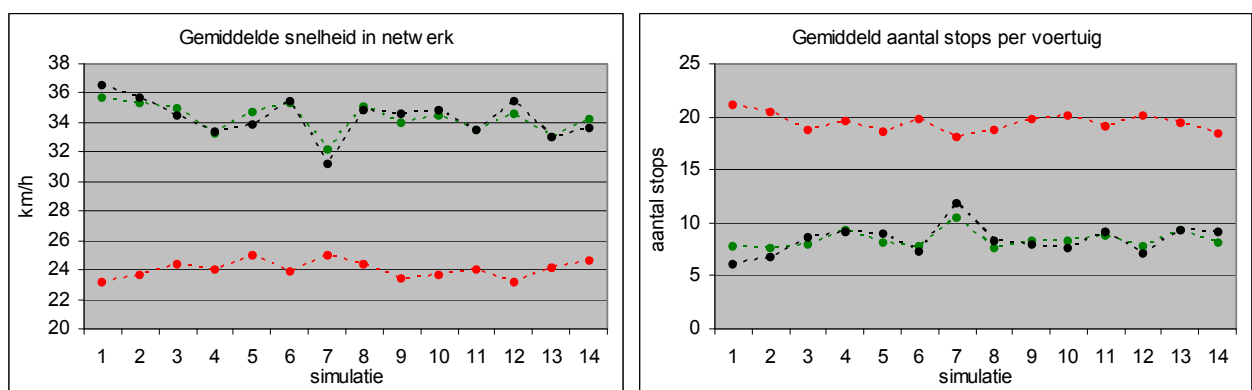
Sterke versnelling wordt niet gemodelleerd in ADVISOR

In vergelijking met de emissie berekening van ADVISOR kent de emissieberekening van de rekenmethode enkele uitschieters. In het rijpatroon komen in opeenvolgende seconden grote verandering van de versnelling voor die het voertuig in VISSIM wel kan uitvoeren maar het voertuig in ADVISOR niet. Het VISSIM-rijpatroon wordt in ADVISOR afgevlakt. De rekenmethode volgt de variatie van in het VISSIM-rijpatroon wel nauwkeurig aangezien per seconde een emissiewaarde wordt gekozen.

11.2 Betrouwbaarheid VISSIM simulatie

Betrouwbaarheidsinterval van VISSIM-parameters

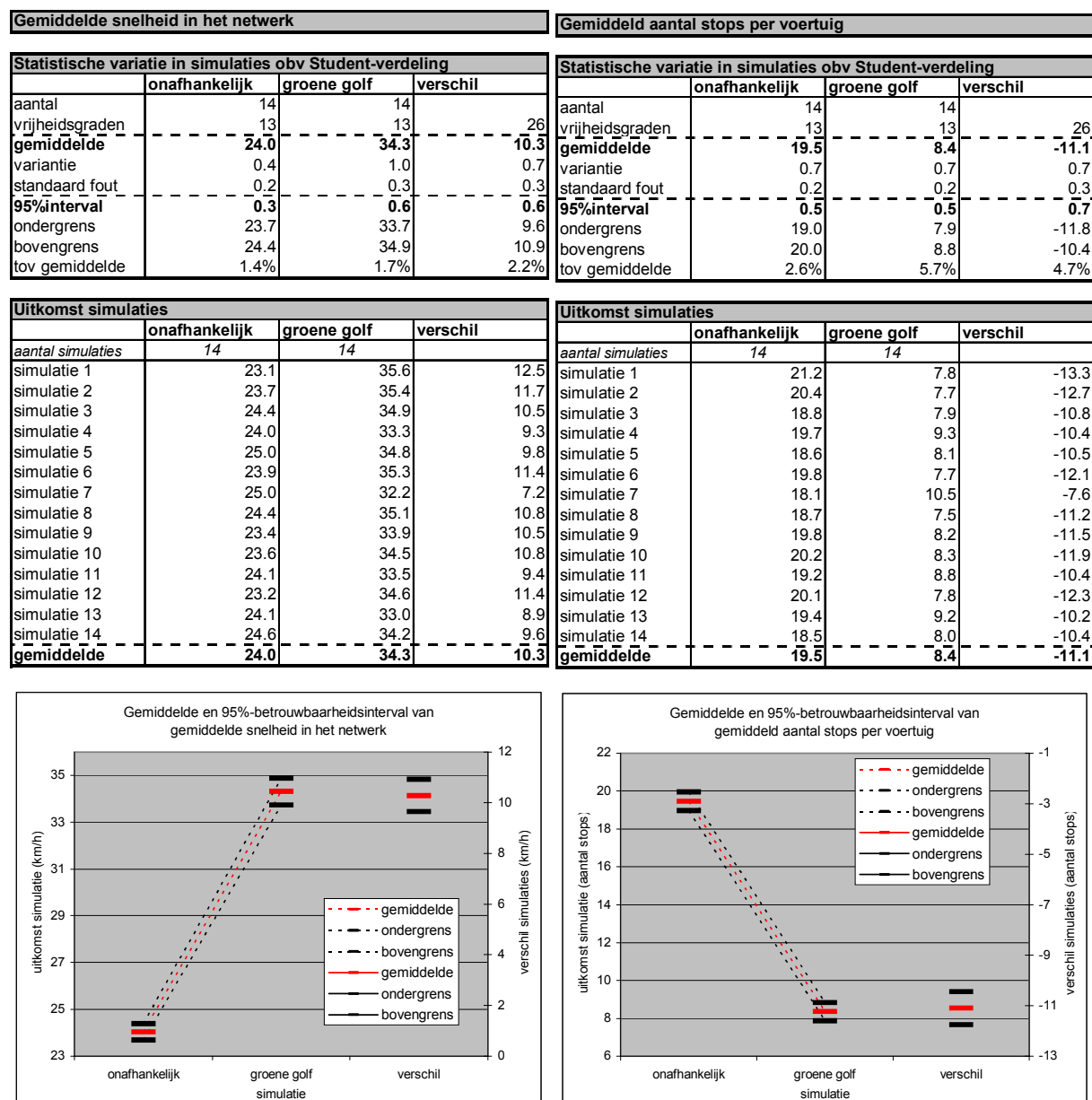
De modelstudie die in het hoofdrapport wordt beschreven is gebaseerd op één simulatie. De gesimuleerde verkeersafwikkeling in VISSIM kent onzekerheden die doorwerken in de berekende emissies. De doorstroming op het netwerk is immers afhankelijk van de volgorde waarop de voertuigen op het netwerk gesimuleerd worden, waarop ze elkaar op de wegvakken en kruisingen naderen en waarop ze, ten opzichte van de draaiende regelingen, aankomen bij de VRI's op de kruisingen. Deze stochastische variaties zijn van invloed op de gemiddelde snelheden en intensiteiten, het aantal stops en andere individuele voertuigbewegingen die doorwerken in de emissieberekening. *Figuur 11.1* geeft aan dat bij de verschillende simulaties variatie in de uitkomsten optreedt. De rode punten zijn de uitkomsten in het scenario met onafhankelijk geregelde kruisingen en de groene punten de uitkomsten van het scenario met groene golf. De zwarte punten geven het verloop (ten opzicht van het gemiddelde van het onafhankelijke scenario) van het verschil tussen de scenario's weer.



Figuur 11.1 Variatie in de parameters gemiddelde snelheid en gemiddeld aantal stops per voertuig

Om inzicht te krijgen in de betrouwbaarheid van de VISSIM simulaties zijn meerdere (14) simulaties uitgevoerd. De simulaties zijn uitgevoerd met verschillende 'random seed'. De 'random seed' is bepalend voor de volgorde waarop de voertuigen op het netwerk gesimuleerd worden. Voor een aantal parameters is een statistische analyse uitgevoerd en het 95%-betrouwbaarheidsinterval bepaald. Deze analyse staan voor de meeste relevante parameters gemiddelde snelheid en het gemiddeld aantal

stops per voertuig in *Figuur 11.2*. Hier uit volgt dat met een betrouwbaarheid van 95% het verschil in de gemiddelde snelheid tussen beide scenario's een onzekerheid kent van 4.4%. Het zelfde getal is voor het gemiddeld aantal stop per voertuig 9.4%. Het effect van de groene golf op deze parameters is dus voldoende significant. Zoals ook uit de grafieken in *Figuur 11.2* blijkt is het effect beduidend groter dan de variatie in de parameterwaarden.



Figuur 11.2 Betrouwbaarheidanalyse van de gemiddelde snelheid en het aantal stops per voertuig (obv 14 simulatie)

Aantal simulaties voor voldoende betrouwbaarheid

Eén van de simulaties (nummer 9) is gebruikt om met de VERSNEL-rekenmethode de simulatie te berekenen. Het is interessant om te weten hoeveel simulaties doorgerekend zouden moeten worden om ook voldoende betrouwbare emissieresultaten te verkrijgen. Bij een toename van het aantal simulaties zal de emissieberekening in betrouwbaarheid toenemen.

Er zijn statistische vuistregels beschikbaar om een schatting te maken van het aantal simulaties dat gemaakt moet worden voor voldoende betrouwbaarheid. Hierbij staat een variabele centraal en geldt de verwachte variatie in deze variabele ten opzicht van de gewenste betrouwbaarheid als maat voor het aantal benodigde simulaties.

Hoeveel simulaties er benodigd zijn, is in het geval van emissieberekeningen van tevoren op basis van de verkeerskundige parameters die VISSIM genereert, echter lastig te bepalen. In de berekening

van de emissie staat de VISSIM parameter snelheid als variabele centraal. Echter aangezien de emissie niet wordt bepaald met een gemiddelde snelheid in het netwerk maar op basis van het individuele snelheidsverloop die sterk varieert per voertuig, tijdstip en locatie is het onmogelijk om op deze wijze een schatting te maken van het benodigd aantal simulaties.

Om toch een schatting te kunnen maken van het aantal runs dat benodigd is voor het verkrijgen van voldoende betrouwbare uitkomsten, wordt verondersteld dat het aantal stops een goede maat is voor de emissie. (Dat dit niet helemaal zuiver is blijkt uit de modelstudie. De sterkte van de acceleratie in combinatie met de voertuigkarakteristieken is naast het aantal stops ook sterk bepalend voor de hoeveelheid emissie. Maar aangezien het aantal stops dicht bij het acceleratie- en het deceleratiegedrag ligt is het aantal stops in ieder geval een betere maat dan de gemiddelde snelheid of de intensiteit.)

De verwachting van het aantal benodigde runs op basis van een statistische analyse van de parameters aantal voertuigen, gemiddelde snelheid en aantal stops bij 95% betrouwbaarheid met maximale afwijking van 5% en 2 % van het gemiddelde staat weergegeven in *Tabel 11.1*. Tussen de haakjes staat de bereikte afwijking ten opzichte van het gemiddelde.

Parameter	aantal vtg	snelheid	stops
Obv 5 simulaties			
onafhankelijk	ok / ok (0.3%)	ok / 11 (3.7%)	8 / 32 (6.8%)
groene golf	ok / ok (0.5%)	ok / 9 (3.2%)	12 / 61 (9.6%)
verschil	ok / ok (0.5%)	ok / 16 (4.0%)	14 / 80 (9.3%)
Obv 14 simulaties			
onafhankelijk	ok / ok (0.4%)	ok / ok (1.4%)	ok / 22(2.6%)
groene golf	ok / ok (0.4%)	ok / ok (1.7%)	18 / 98(5.7%)
verschil	ok / ok (0.6%)	ok / 17 (2.2%)	ok / 73(4.7%)

Tabel 11.1 Aantal runs voor 95% betrouwbaarheid en een afwijking van 5% / 2 % ten opzichte van het gemiddelde

Op basis van de tabel kan geconcludeerd worden dat de 95%-betrouwbaarheid met een maximale afwijking van 2% met 17 simulaties voor de parameters aantal voertuigen en gemiddelde snelheid behaald kan worden. Voor het behalen van deze betrouwbaarheid zijn veel meer simulaties nodig. Echter met een maximale afwijking van 5% ten opzichte van het gemiddelde zijn voor deze parameter 18 simulaties benodigd.

Andere onzekerheden in emissie

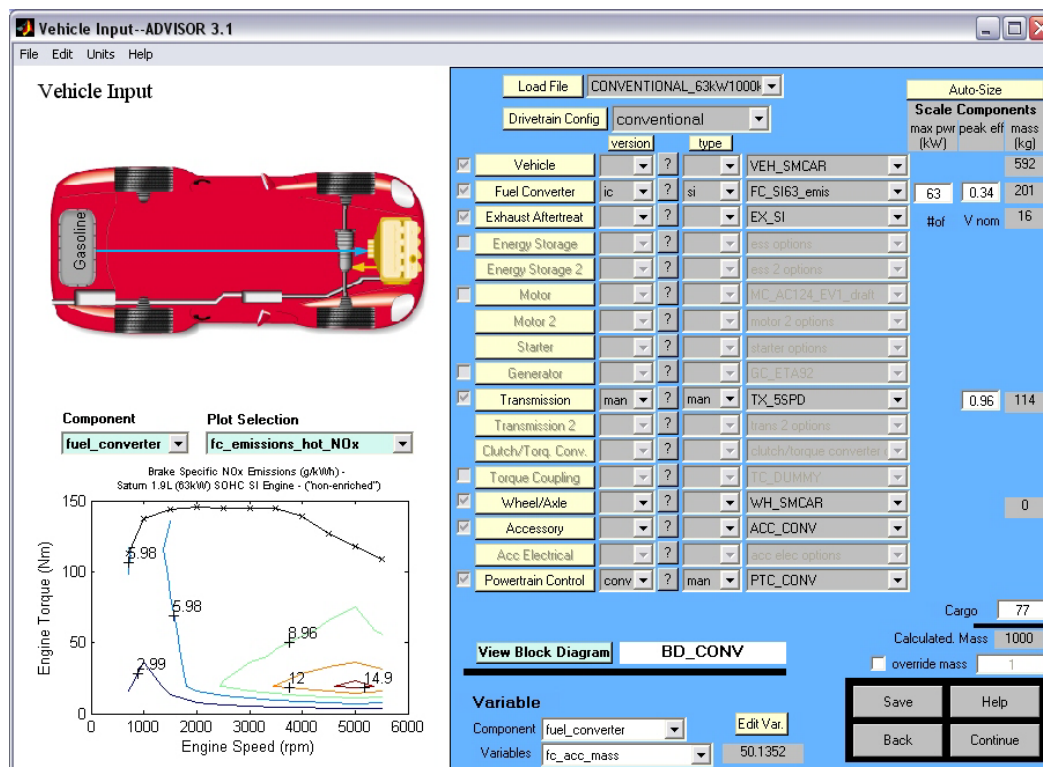
De hierboven weergegeven analyse zegt wat over de onzekerheden die in de uitkomsten optreden als gevolg van toevalligheden in de simulatie van VISSIM. Naast deze onzekerheden moet ook rekening gehouden met onzekerheden als gevolg van onnauwkeurigheden in de emissiedata en de emissieberekening zelf. Om hier inzicht in te krijgen moet een uitgebreide onzekerheidsanalyse uitgevoerd worden. Hier wordt in het hoofdrapport verder op ingegaan.

12 DOORREKENEN VAN VOLLEDIGE RIJPATRONEN IN ADVISOR

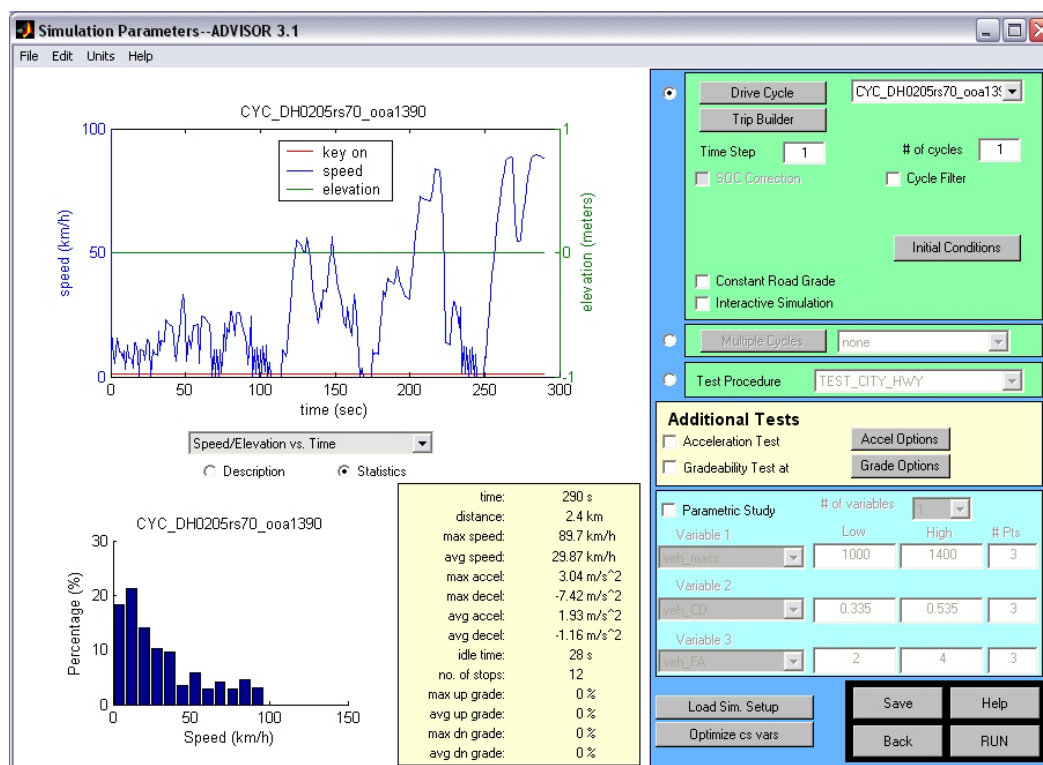
In deze bijlage worden de invoer en uitvoer van de drie voertuigtypen waarmee de VERSNEL-rekenmethode getoetst is weergegeven. Achtereenvolgens zijn dit een benzine auto met 63 kW vermogen en een gewicht van 1000 kg, een dieselauto met 67 kW vermogen en een gewicht van 1000 kg en een vrachtwagen met een vermogen van 201 kW en een gewicht van 5000 kg. De invoer in ADVISOR bestaat uit twee onderdelen. Bij de voertuig input worden de eigenschappen van het voertuig gedefinieerd en bij de rijpatroon input wordt een individueel rijpatroon als snelheidsverloop in de tijd geladen.

12.1 Benzine 63 kW 1000 kg

Voertuig input

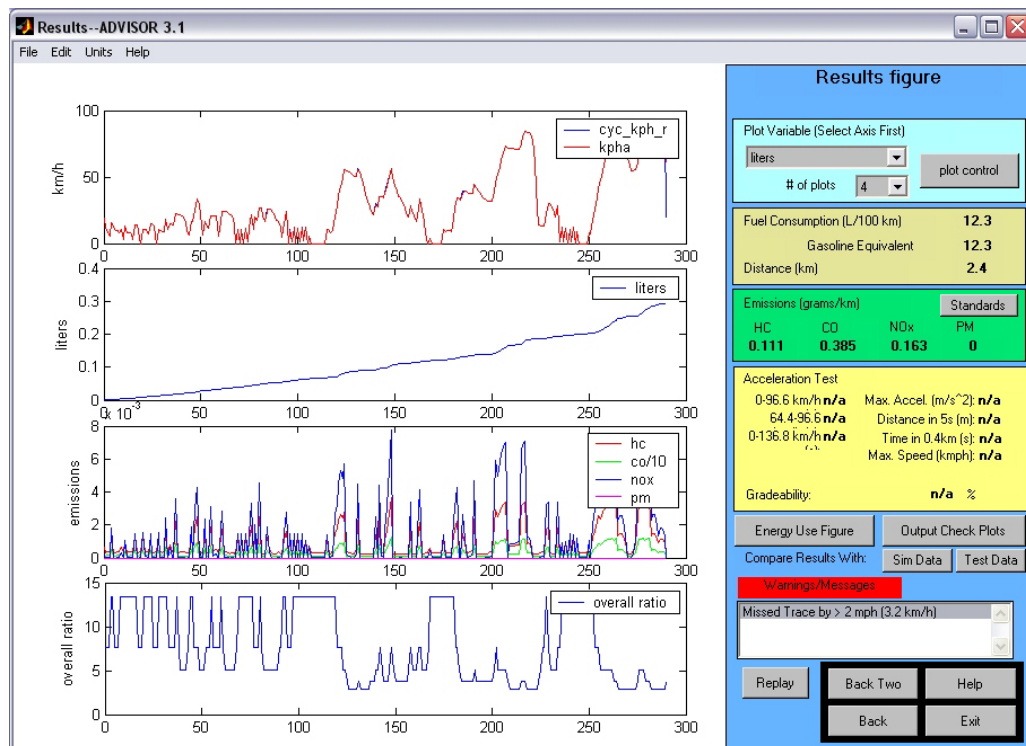


Rijpatroon input



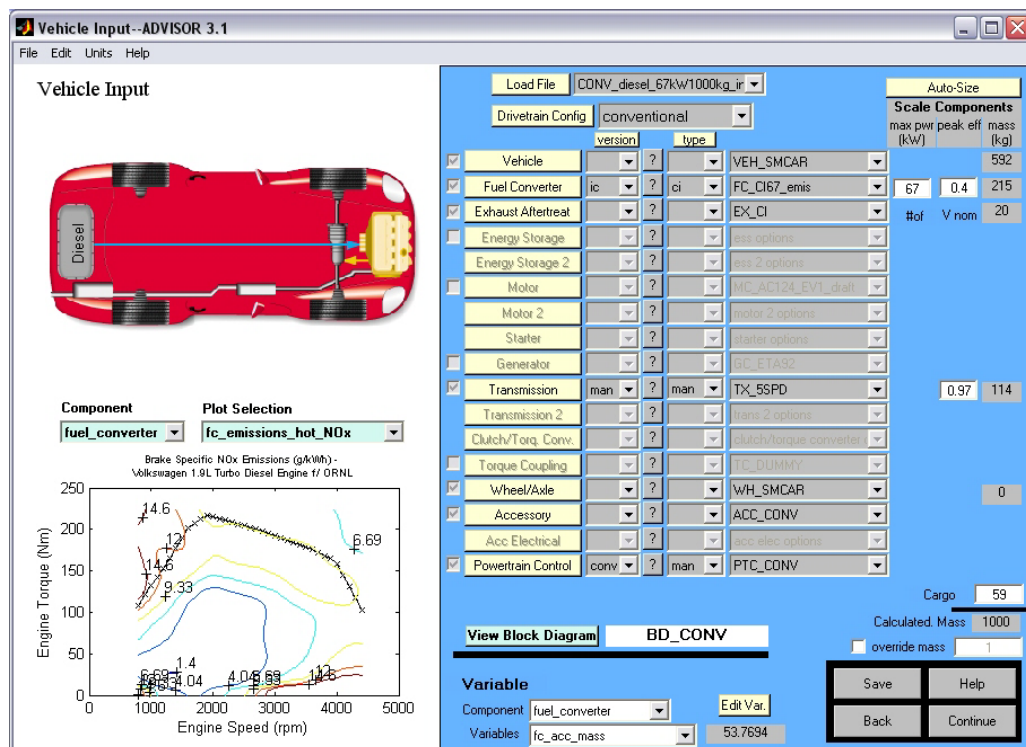
Geselecteerde output

uitgevoerd rijpatroon, cumulatief brandstofverbruik, gram emissie per seconde en versnellingsratio

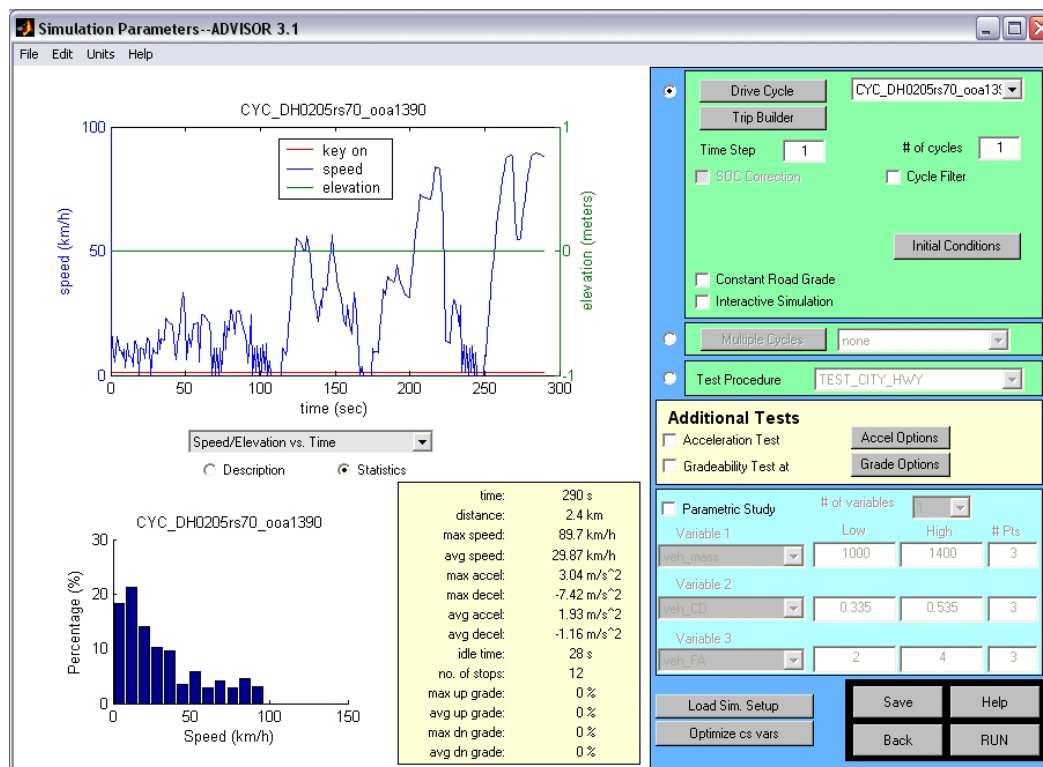


12.2 Diesel 67 kW 1000 kg

Voertuig input

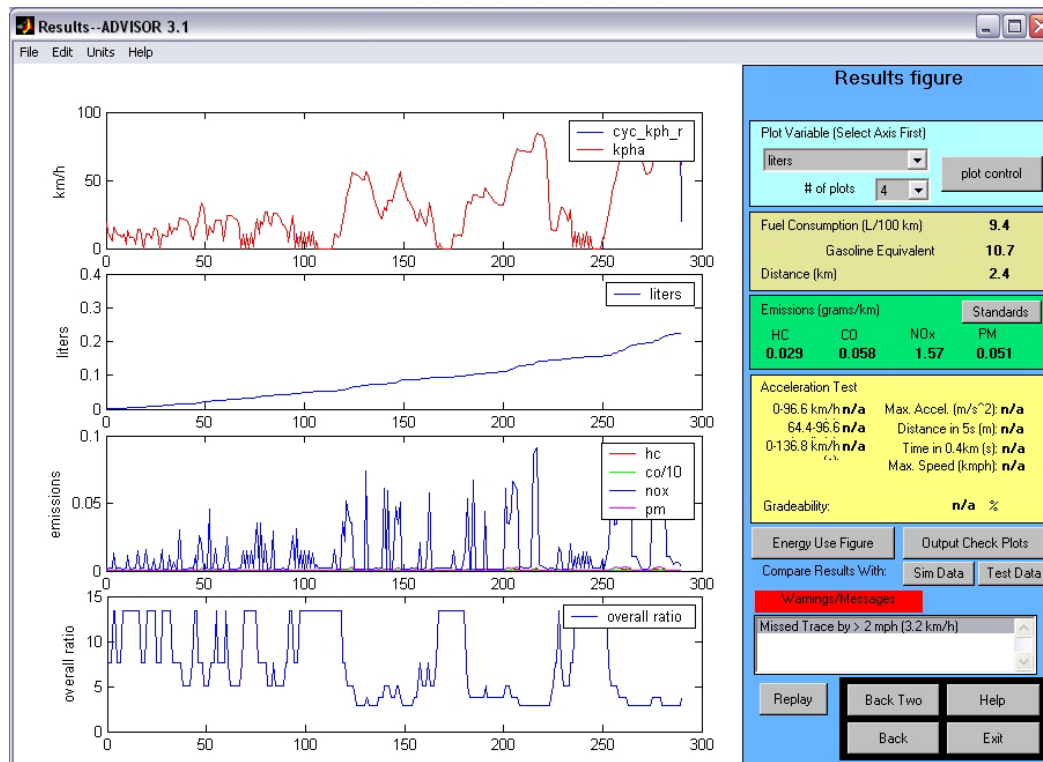


Rijpatroon input



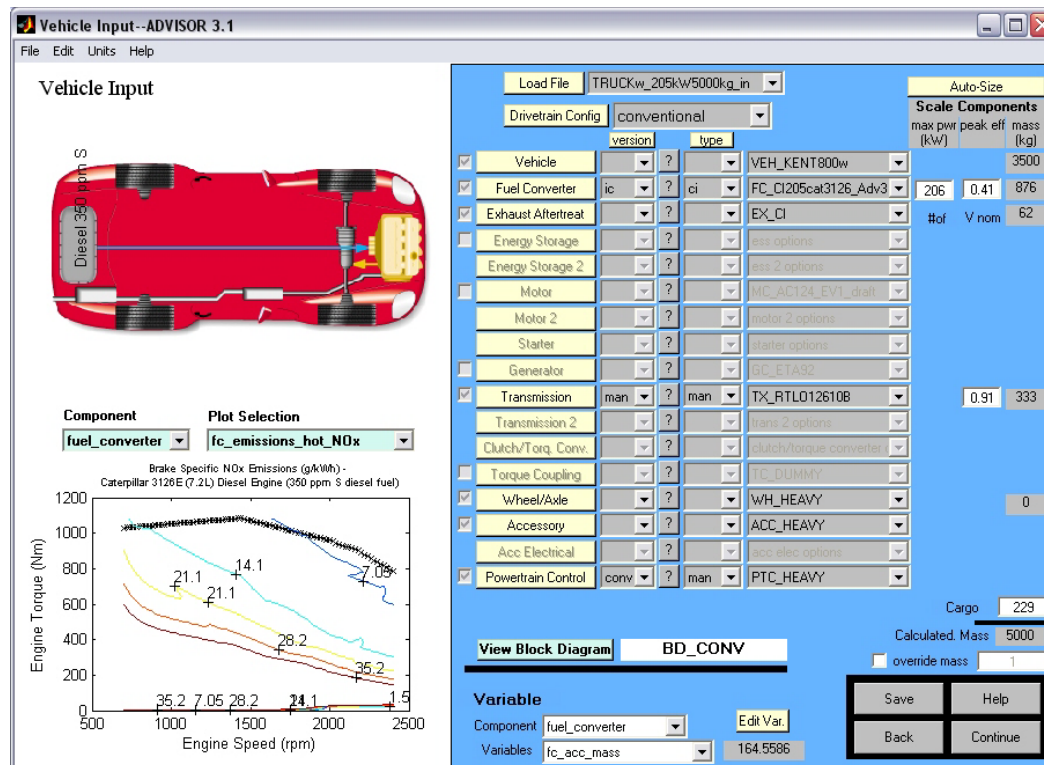
Geselecteerde output

uitgevoerd rijpatroon, cumulatief brandstofverbruik, gram emissie per seconde en versnellingsratio

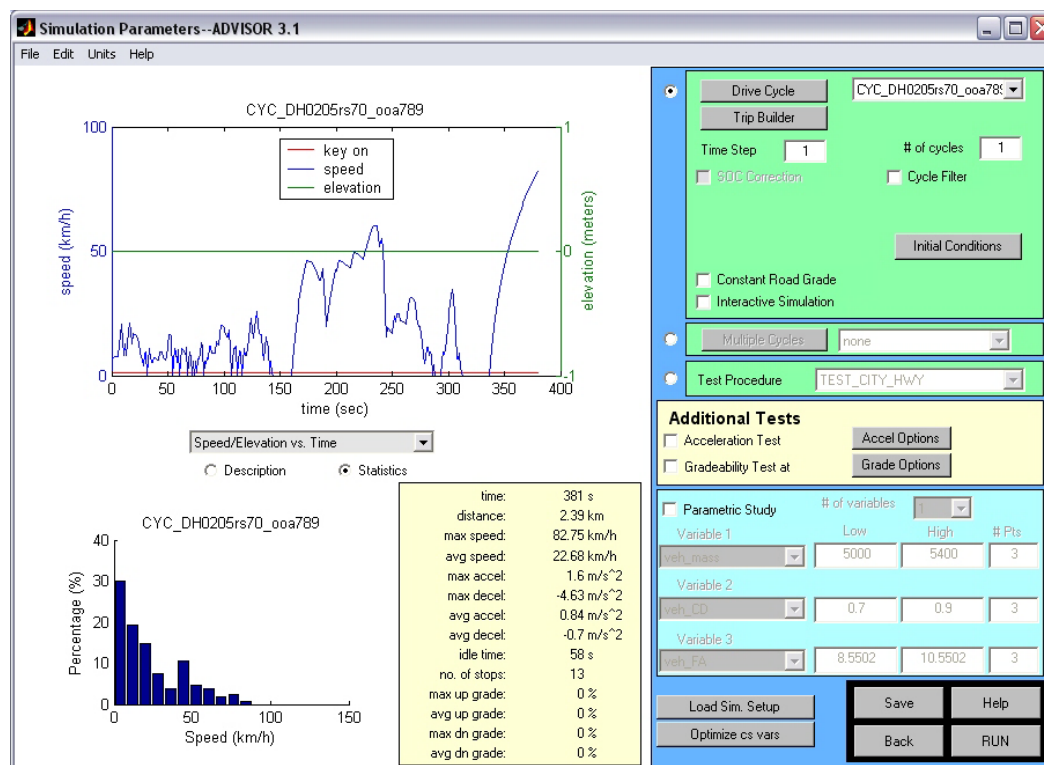


12.3 Vrachtwagen 63 kW 5000 kg

Voertuig input

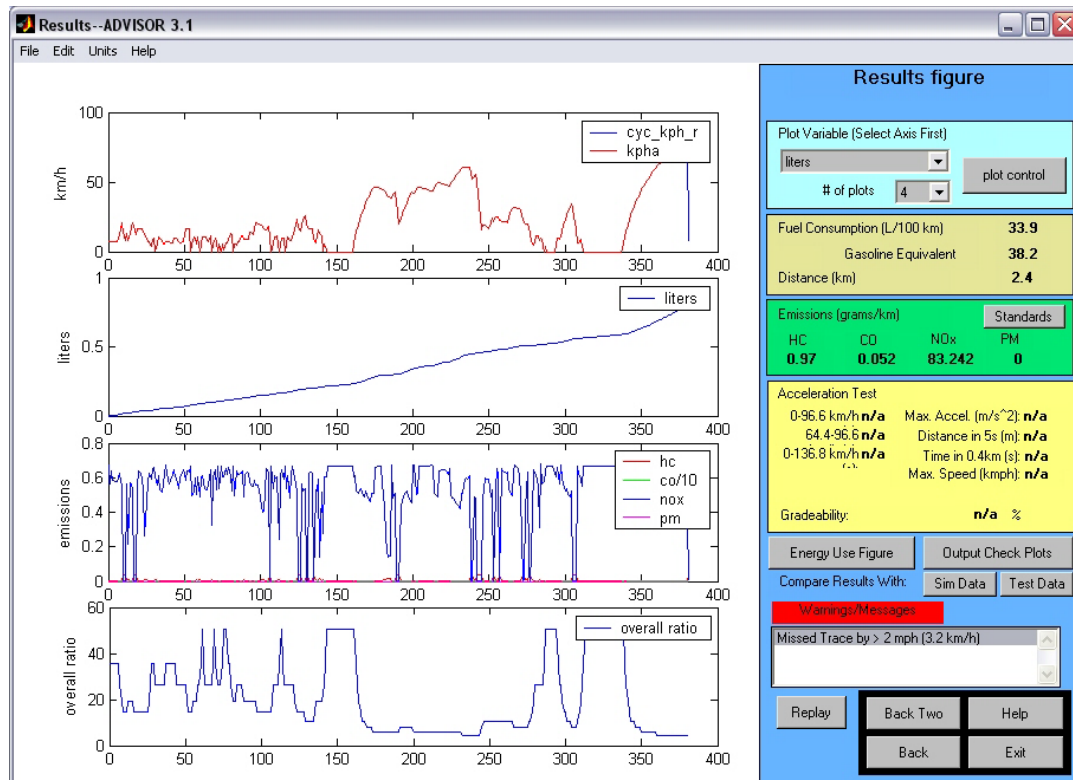


Rijpatroon input



Geselecteerde output

uitgevoerd rijpatroon, cumulatief brandstofverbruik, gram emissie per seconde en versnellingsratio



13 SAMENSTELLING WAGENPARK CASE STUDIE

13.1 Onderbouwing samenstelling wagenpark

De hoeveelheid geproduceerde emissie in een bepaalde verkeerssituatie is sterk afhankelijk van de lokale samenstelling van het wagenpark. Primair zijn van belang de verhoudingen tussen het personenverkeer en het vrachtverkeer en de verhouding tussen het aantal benzine voertuigen en het aantal dieselveertuigen. (Daarnaast spelen ook de temperatuur van de motoren en de leeftijd van de voertuigen een belangrijke rol. Zoals eerder gemeld worden deze factoren echter buiten beschouwing gelaten.)

Verdeling voertuigtypen

Personenvoertuigen en vrachtvoertuigen

De samenstelling van het wagenpark naar personenvoertuigen en vrachtverkeer kan gebaseerd worden op de telgegevens. De intensiteitenverhouding op de hoofdweg is gemiddeld (in de spits) twaalf personenvoertuigen op één vrachtvoertuig (3495 : 294). In percentages uitgedrukt is dit 90% personenvoertuigen en 10% vrachtvoertuigen. Deze verhouding staat in lijn met de verhouding bepaald in een studie naar de hoeveelheid vrachtverkeer op de hoofdweg in Nederland (AVV, 2005). Over het algemeen is op de hoofdweg het aandeel vrachtverkeer groter dan op het onderliggende wegennet en op het hoofdwegennet wordt een percentage van 15% vrachtverkeer in de dalperioden en 30% vrachtverkeer in de spitsperiode gevonden.

Intensiteiten hoofdweg (vtg/u)				Intensiteiten zijwegen (vtg/u)			
vtg type	PV	VV	totaal	vtg type	PV	VV	totaal
<i>Richting noord</i>				<i>Zuidkant</i>			
HN-I	1929	145	2074	HN-KI-Z	235	16	251
HN-II	1898	140	2038	HN-KI-N	355	11	366
HN-III	1867	142	2009	HN-KII-Z	187	5	192
HN-IV	1848	131	1979	HN-KII-N	162	4	166
HN-I-IV	1886	140	2025	HN-KIII-Z	218	14	232
<i>Richting zuid</i>				HN-KIII-N	128	9	137
HZ-I	1586	159	1745	<i>Noordkant</i>			
HZ-II	1638	158	1796	HZ-KI-Z	306	16	322
HZ-III	1604	147	1751	HZ-KI-N	399	13	412
HZ-IV	1648	171	1819	HZ-KII-Z	104	0	104
HZ-I-IV	1609	155	1764	HZ-KII-N	69	2	71
<i>Totaal</i>				HZ-KIII-Z	105	0	105
Hoofdweg	3495	294	3789	HZ-KIII-N	66	4	70

Tabel 13.1 Resultaten verkeersstelling N65 Vught

Benzine- en dieselveertuigen

De samenstelling van het wagenpark naar type motor is lastiger vast te stellen. Verkeersstellingen geven hier over het algemeen geen informatie over en ook in literatuur en de CBS-statline is de verhouding benzine- en dieselveertuigen niet terug te vinden. Wel zijn gegevens beschikbaar over het bezit en de nationale vervoersprestatie per voertuig naar type motor (CBS-statline, www.cbs.nl). Met deze gegevens is een schatting gemaakt van de samenstelling naar motortype. Voertuigen op lpg en voertuigen met nieuwe generatie aandrijvingstechnieken zoals voertuigen op waterstof en hybride, volledig elektrische voertuigen zijn hierbij buiten beschouwing gelaten. Het aantal en het aandeel in de emissie van deze typen voertuigen is naar verhouding gering.

De verhouding tussen benzine en diesel bij personenvoertuigen is geschat op 3:1. Bekend is dat in het Nederlandse wagenpark vijf keer zoveel benzinevoertuigen voor komen (zie *Figuur 13.1*). Daarnaast wordt door het CBS informatie gegeven over de verkeersprestatie per voertuigtype. Met dieselveertuigen wordt gemiddeld in een jaar twee keer zoveel kilometers afgelegd (1997). De totale verkeersprestatie in Nederland is van de benzinevoertuigen echter drie keer zo groot (1997).

Samenstelling Nederlandse wagenpark (1-1-2005)		
Personenvoertuigen prive	aantal	aandeel
Benzine	5683243	70%
Diesel	1068596	13%
LPG	238445	2.9%
Elektriciteit	1669	0.02%
Totaal prive voertuigen	6991991	86.42%
Bedrijfsvoertuigen	aantal	aandeel
Bestelauto	893577	11%
Vrachtauto	77503	0.96%
Trekkers	64519	0.80%
Speciale voertuigen	51452	0.64%
Autobus	11231	0.14%
Totaal bedrijfsvoertuigen	1098282	13.58%
NL-wagenpark	aantal	aandeel
Totaal	8090273	100%
Bron: www.csb.nl		

Figuur 13.1 Samenstelling van het Nederlandse wagenpark op 1 januari 2005

Voor de verhouding tussen de grote benzine auto (bzXL) en de grote dieselauto (dsXL) is een verhouding aangehouden van 1:1. Onder deze groep vallen grote personenvoertuigen (grootste klasse station, mpv's, SUV's en jeeps), bestelbussen en bedrijfsvoertuigen. In deze voertuigklassen komen naar verhouding meer dieselvoor. Dit geldt met name voor de bestelbussen en bedrijfsvoertuigen.

Gewichtverdeling in het wagenpark

Het ledig gewicht van personenvoertuig was in 2001 gemiddeld 1022kg. De verdeling van het gewicht van personenauto's staat weergegeven in Tabel 13.2.

Gewichtsverdeling personenauto's	
gewichtsklasse	aandeel
< 750 kg	10%
750 – 950 kg	30%
950 – 1150 kg	30%
1150 – 1450 kg	25%
> 1450 kg	5%
Bron: Kampen, 2003	

Tabel 13.2 Gewichtsverdeling personenauto's in 2001

Het ledig gewicht van vrachtwagens en trekkers lag in 2001 rond 8500 kg (Kampen, 2003). Van de vrachtwagens is echter het gewicht van de lading interessanter. Deze is echter niet bekend. Wel is informatie beschikbaar over de verdeling van het laadvermogen. De vrachtwagenparksamenstelling naar het laadvermogen kent pieken rond 2500 kg (5000 vrachtwagens), 9500 kg (9000 vrachtwagens) en boven de 14000 kg (15000 vrachtwagens) (Kampen, 2003).

Wagenparksamenstelling case studie

Op basis van de bovenstaande informatie is de wagenparksamenstelling zoals weergegeven in Tabel 13.3 de case studie nagestreefd.

Wagenparksamenstelling case studie	
personenauto	90%
benzine	60%
benzine groot	5%
diesel	20%
diesel groot	5%
vrachtwagen	10%
totaal	100%

Tabel 13.3 Nagestreefde wagenparksamenstelling case studie

13.2 Weergave van samenstelling wagenpark in case studie

In *Tabel 13.4* staat de samenstelling van het wagenpark in de case studie samengevat. Deze samenvatting is gebaseerd op de output van de VERSNEL-rekenmethode. De gepresenteerde getallen zijn het totaal aantal voertuigen dat gedurende simulatie op het netwerk is gekomen (dus geen intensiteiten).

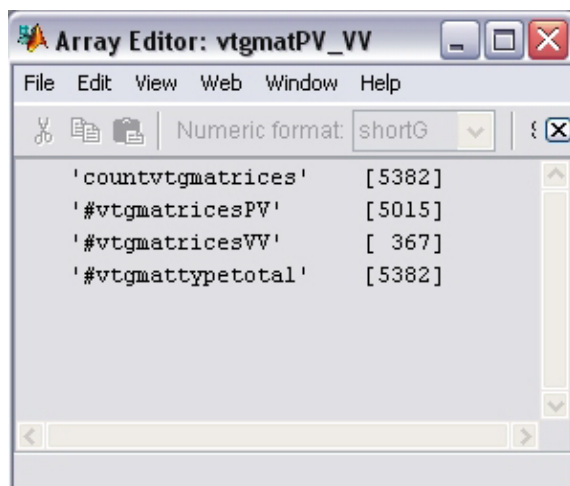
Wagenparksamenstelling case studie					
Netwerk	onafhankelijk		groene golf		
personenauto	5015	93%	5314	93%	
vrachtwagen	367	7%	402	7%	
totaal	5382	100%	5716	100%	
Hoofdweg	onafhankelijk		groene golf		
benzine	858	53%	925	53%	
benzine groot	112	7%	110	6%	
diesel	405	25%	443	25%	
diesel groot	89	6%	105	6%	
vrachtwagen	141	9%	155	9%	
totaal	1604	100%	1738	100%	

Tabel 13.4 Samenstelling wagenpark case studie

In onderstaande outputfiguren van de VERSNEL-rekenmethode wordt de samenstelling van het wagenpark naar voertuigtype weergegeven.

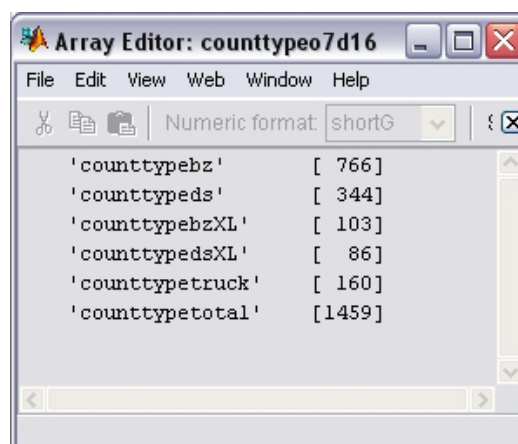
Scenario 1 onafhankelijke regelingen

Samenstelling netwerk



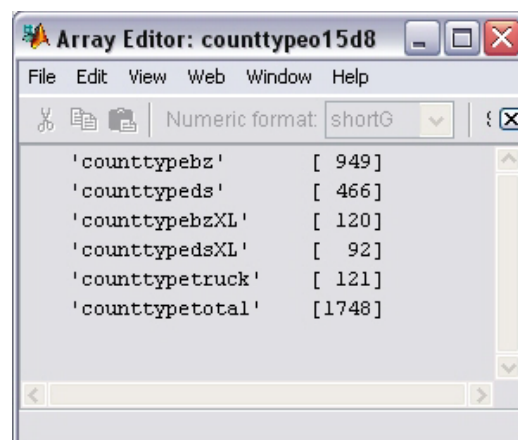
'countvtgmatrices'	[5382]
'#vtgmatricesPV'	[5015]
'#vtgmatricesVV'	[367]
'#vtgmattypetotal'	[5382]

Hoofdweg richting zuid



'counttypebz'	[766]
'counttypedz'	[344]
'counttypebzXL'	[103]
'counttypedzXL'	[86]
'counttypetruck'	[160]
'counttypetotal'	[1459]

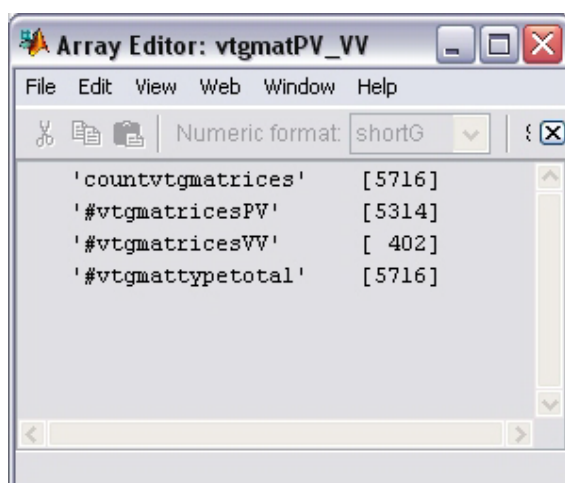
Hoofdweg richting noord



'counttypebz'	[949]
'counttypedz'	[466]
'counttypebzXL'	[120]
'counttypedzXL'	[92]
'counttypetruck'	[121]
'counttypetotal'	[1748]

Scenario 2 groene golf

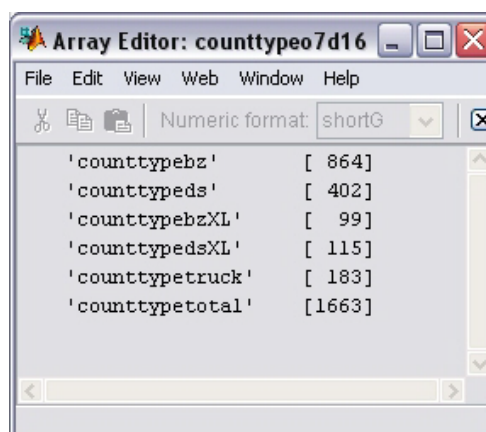
Samenstelling netwerk



The screenshot shows the 'Array Editor: vtgmatPV_VV' window. It has a menu bar with File, Edit, View, Web, Window, and Help. Below the menu bar is a toolbar with icons for cut, copy, paste, and a numeric format dropdown set to 'shortG'. The main area displays a list of variables and their values in a table format.

'countvtgmatrices'	[5716]
'#vtgmatricesPV'	[5314]
'#vtgmatricesVV'	[402]
'#vtgmattypetotal'	[5716]

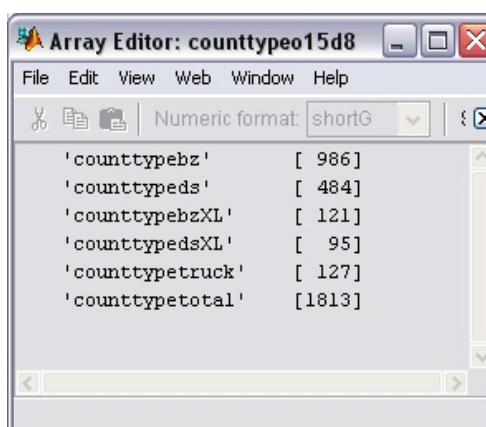
Hoofdweg richting zuid



The screenshot shows the 'Array Editor: counttypeo7d16' window. It has a menu bar with File, Edit, View, Web, Window, and Help. Below the menu bar is a toolbar with icons for cut, copy, paste, and a numeric format dropdown set to 'shortG'. The main area displays a list of variables and their values in a table format.

'counttypebz'	[864]
'counttypeds'	[402]
'counttypebzXL'	[99]
'counttypedsXL'	[115]
'counttypetruck'	[183]
'counttypetotal'	[1663]

Hoofdweg richting noord

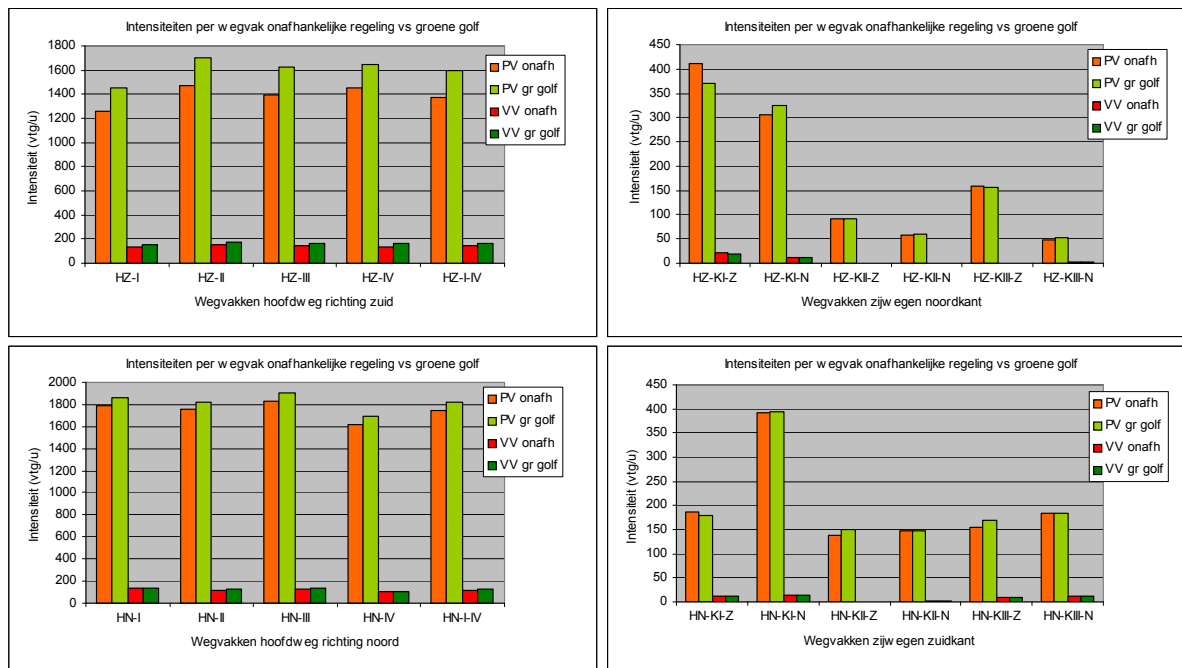


The screenshot shows the 'Array Editor: counttypeo15d8' window. It has a menu bar with File, Edit, View, Web, Window, and Help. Below the menu bar is a toolbar with icons for cut, copy, paste, and a numeric format dropdown set to 'shortG'. The main area displays a list of variables and their values in a table format.

'counttypebz'	[986]
'counttypeds'	[484]
'counttypebzXL'	[121]
'counttypedsXL'	[95]
'counttypetruck'	[127]
'counttypetotal'	[1813]

14 RESULTATEN CASE STUDIE

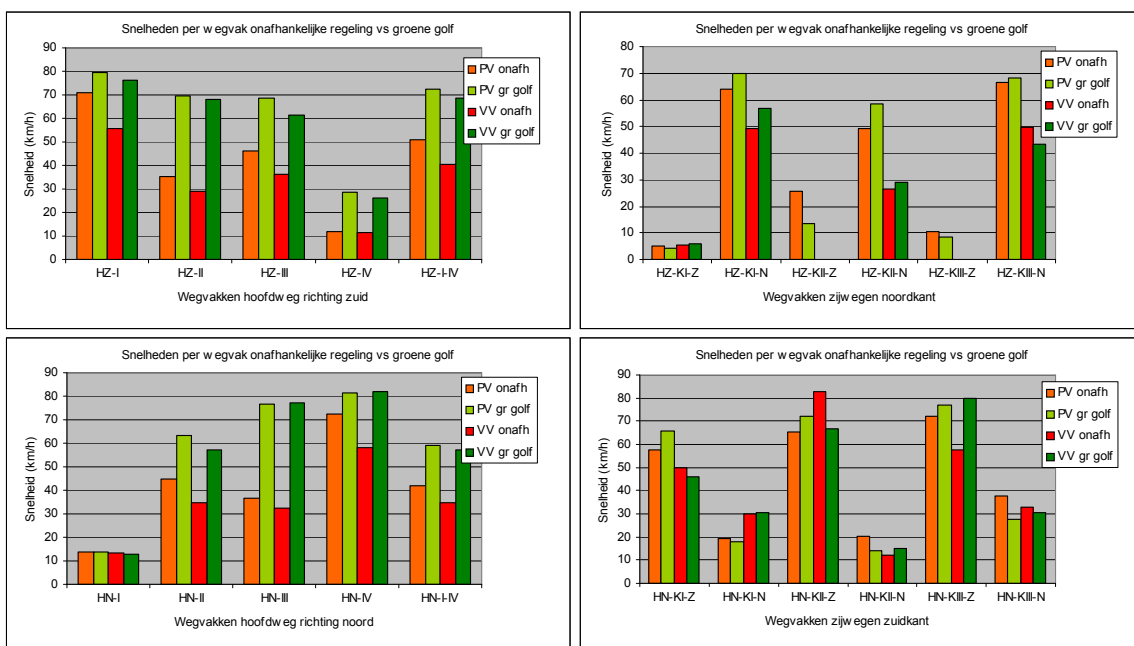
14.1 Effect groene golf op netwerkprestaties model – intensiteit



Intensiteiten hoofdweg onafh. regeling (vtg/u)				Intensiteiten zijwegen onafh. regeling (vtg/u)			
vtg type	PV	VV	totaal	vtg type	PV	VV	totaal
<i>Richting noord</i>				<i>Zuidkant</i>			
HN-I	1788	133	1922	HN-KI-Z	185	13	199
HN-II	1761	120	1881	HN-KI-N	392	14	406
HN-III	1827	129	1955	HN-KII-Z	138	1	139
HN-IV	1615	101	1717	HN-KII-N	148	3	152
HN-I-IV	1748	121	1869	HN-KIII-Z	155	9	164
<i>Richting zuid</i>				HN-KIII-N	185	13	198
HZ-I	1259	135	1394	<i>Noordkant</i>			
HZ-II	1472	151	1623	HZ-KI-Z	411	22	432
HZ-III	1392	141	1533	HZ-KI-N	306	11	318
HZ-IV	1450	138	1588	HZ-KII-Z	92	0	92
HZ-I-IV	1374	143	1517	HZ-KII-N	59	1	60
<i>Totaal</i>				HZ-KIII-Z	158	0	158
Hoofdweg	3122	263	3385	HZ-KIII-N	49	2	51

Intensiteiten hoofdweg groene golf (vtg/u)				Intensiteiten zijwegen groene golf (vtg/u)			
vtg type	PV	VV	totaal	vtg type	PV	VV	totaal
<i>Richting noord</i>				<i>Zuidkant</i>			
HN-I	1865	141	2006	HN-KI-Z	178	13	191
HN-II	1819	124	1943	HN-KI-N	393	15	408
HN-III	1900	136	2036	HN-KII-Z	150	1	150
HN-IV	1695	111	1806	HN-KII-N	148	3	151
HN-I-IV	1820	128	1948	HN-KIII-Z	170	10	180
<i>Richting zuid</i>				HN-KIII-N	184	13	197
HZ-I	1452	155	1607	<i>Noordkant</i>			
HZ-II	1704	178	1882	HZ-KI-Z	371	20	391
HZ-III	1629	165	1794	HZ-KI-N	326	11	337
HZ-IV	1649	161	1810	HZ-KII-Z	92	0	92
HZ-I-IV	1595	166	1761	HZ-KII-N	61	1	62
<i>Totaal</i>				HZ-KIII-Z	156	0	156
Hoofdweg	3415	294	3709	HZ-KIII-N	53	3	55

14.2 Effect groene golf op netwerkprestaties model – snelheid



Snelheden hoofdweg onafh. regeling (km/h)				Snelheden zijwegen onafh. regeling (km/h)				
vtg type	PV	VV	totaal	vtg type	PV	VV	totaal	
Richting noord				Zuidkant				
HN-I		14	13	27	HN-KI-Z	58	50	107
HN-II		45	35	80	HN-KI-N	20	30	50
HN-III		37	33	69	HN-KII-Z	65	83	148
HN-IV		72	58	130	HN-KII-N	20	12	33
HN-I-IV	42	35	77	HN-KIII-Z	72	58	130	
Richting zuid				Noordkant				
HZ-I		71	56	126	HZ-KI-Z	5	6	11
HZ-II		35	29	65	HZ-KI-N	64	49	113
HZ-III		46	36	82	HZ-KII-Z	26	0	26
HZ-IV		12	12	23	HZ-KII-N	49	27	76
HZ-I-IV	51	40	91	HZ-KIII-Z	10	0	10	
Totaal				HZ-KIII-N	66	50	116	
Hoofdweg	93	75	168					

Snelheden hoofdweg groene golf (km/h)				Snelheden zijwegen groene golf (km/h)				
vtg type	PV	VV	totaal	vtg type	PV	VV	totaal	
Richting noord				Zuidkant				
HN-I		14	13	27	HN-KI-Z	66	46	112
HN-II		63	57	120	HN-KI-N	18	31	48
HN-III		77	77	154	HN-KII-Z	72	67	139
HN-IV		81	82	163	HN-KII-N	14	15	29
HN-I-IV	59	57	116	HN-KIII-Z	77	80	157	
Richting zuid				Noordkant				
HZ-I		80	76	156	HZ-KI-Z	4	6	10
HZ-II		69	68	137	HZ-KI-N	70	57	127
HZ-III		68	62	130	HZ-KII-Z	14	0	14
HZ-IV		29	26	55	HZ-KII-N	58	29	87
HZ-I-IV	72	69	141	HZ-KIII-Z	9	0	9	
Totaal				HZ-KIII-N	68	43	111	
Hoofdweg	131	126	257					

14.3 Bijdrage aan emissie per voertuigtype

Emissiebijdrage voertuigtypen - standaard emissiefactoren				
	onafhankelijk		groene golf	
				gemiddeld
NOx PV	4008 ^I	38%	4109 ^I	43%
NOx VV	6519 ^I	62%	5363 ^I	57%
NOx	10527 ^I	100%	9472 ^I	100%
PM PV	371 ^I	61%	341 ^I	66%
PM VV	242 ^I	39%	176 ^I	34%
PM	613 ^I	100%	518 ^I	100%
CO PV	16674 ^I	91%	13751 ^I	93%
CO VV	1601 ^I	9%	1101 ^I	7%
CO	18275 ^I	100%	14852 ^I	100%

Tabel 14.1 Bijdrage voertuigtypen berekend met standaard emissiefactoren

Emissiebijdrage voertuigtypen - VERSNEL				
	onafhankelijk		groene golf	
				gemiddeld
BR PV	1118 ^I	73%	985 ^I	73%
BR VV	422 ^I	27%	365 ^I	27%
BR	1540 ^I	100%	1350 ^I	100%
NOx PV	9007 ^I	13%	7011 ^I	14%
NOx VV	58041 ^I	87%	43216 ^I	86%
NOx	67049 ^I	100%	50227 ^I	100%
PM PV	240 ^I	100%	205 ^I	100%
PM VV	0 ^I	0%	0 ^I	0%
PM	240 ^I	100%	205 ^I	100%
HC PV	1440 ^I	59%	1129 ^I	66%
HC VV	1011 ^I	41%	585 ^I	34%
HC	2451 ^I	100%	1714 ^I	100%
CO PV	9375 ^I	99%	6680 ^I	99%
CO VV	88 ^I	1%	75 ^I	1%
CO	9463 ^I	100%	6755 ^I	100%

Emissiebijdrage voertuigtypen - VERSNEL				
	onafhankelijk		groene golf	
				gemiddeld
BR bz	1118 ^I	73%	985 ^I	73%
BR bzXL	422 ^I	27%	365 ^I	27%
BR bz tot	1540 ^I	100%	1350 ^I	100%
BR ds	159	28%	139	29%
BRdsXL	55	10%	49	10%
BR truck	354	62%	296	61%
BR ds tot	569	100%	484	100%
NOx bz	1018 ^I	2%	808 ^I	2%
NOx bzXL	261	0%	198	1%
NOx ds	3610	7%	2519	7%
NOx dsXL	1413	3%	1061	3%
NOx truck	46942	88%	29854	87%
NOx totaal	53243 ^I	100%	34440 ^I	100%
PM ds	115 ^I	69%	94 ^I	69%
PM dsXL	52 ^I	31%	42 ^I	31%
PM totaal	166 ^I	100%	136 ^I	100%

Emissiebijdrage gem. per vtg per km - VERSNEL				
	onafhankelijk		groene golf	
				gemiddeld
BR bz	0.11 ^I	41%	0.09 ^I	41%
BR bzXL	0.16 ^I	59%	0.13 ^I	59%
BR bz tot	0.28 ^I	100%	0.22 ^I	100%
BR ds	0.08	11%	0.07	11%
BRdsXL	0.13	17%	0.10	17%
BR truck	0.55	72%	0.43	72%
BR ds tot	0.76 ^I	100%	0.60 ^I	100%
NOx bz	0.25 ^I	0%	0.19 ^I	0%
NOx bzXL	0.51	1%	0.39	1%
NOx ds	1.85	3%	1.18	2%
NOx dsXL	3.36	5%	2.18	5%
NOx truck	63.81	91%	47.19	92%
NOx totaal	69.77 ^I	100%	51.13 ^I	100%
PM ds	0.06 ^I	39%	0.04 ^I	39%
PM dsXL	0.09 ^I	61%	0.07 ^I	61%
PM totaal	0.15 ^I	100%	0.11 ^I	100%

Tabel 14.2 Bijdrage voertuigtypen berekend met VERSNEL-rekenmethode

14.4 Effect groene golf op de emissie – overzicht alle stoffen

BR PV	rel PV	rel totaal	aandeel
HN-totaal	-14%	-5%	42%
HZ-totaal	-14%	-4%	34%
Hoofdweg	-14%	-9%	76%
Zijwegen	-14%	1%	-7%
Totaal PV	-12%	-9%	70%
BR VV	rel VV	rel totaal	aandeel
HN-totaal	-15%	-2%	14%
HZ-totaal	-15%	-2%	18%
Hoofdweg	-15%	-4%	32%
Zijwegen	-18%	0%	-2%
Totaal VV	-14%	-4%	30%
BR	rel wegvak	rel totaal	aandeel
HN-totaal	-15%	-7%	56%
HZ-totaal	-14%	-6%	52%
Hoofdweg	-14%	-13%	108%
Zijwegen	15%	1%	-8%
Totaal	-12%	-12%	100%

NOx PV	rel PV	rel totaal	aandeel
HN-totaal	-25%	-2%	7%
HZ-totaal	-22%	-1%	5%
Hoofdweg	-24%	-3%	12%
Zijwegen	0%	0%	0%
Totaal PV	-22%	-3%	12%
NOx VV	rel VV	rel totaal	aandeel
HN-totaal	-16%	-5%	21%
HZ-totaal	-42%	-20%	79%
Hoofdweg	-31%	-25%	100%
Zijwegen	48%	3%	-12%
Totaal VV	-26%	-22%	88%
NOx	rel wegvak	rel totaal	aandeel
HN-totaal	-17%	-7%	28%
HZ-totaal	-40%	-21%	85%
Hoofdweg	-30%	-28%	112%
Zijwegen	43%	3%	-12%
Totaal	-25%	-25%	100%

PM PV	rel PV	rel totaal	aandeel
HN-totaal	-19%	-9%	64%
HZ-totaal	-12%	-5%	35%
Hoofdweg	-15%	-15%	100%
Zijwegen	-1%	0%	0%
Totaal PV	-15%	-15%	100%
PM VV	rel VV	rel totaal	aandeel
HN-totaal	-	-	-
HZ-totaal	-	-	-
Hoofdweg	-	-	-
Zijwegen	-	-	-
Totaal VV	-	-	-
PM	rel wegvak	rel totaal	aandeel
HN-totaal	-19%	-9%	64%
HZ-totaal	-12%	-5%	35%
Hoofdweg	-15%	-15%	100%
Zijwegen	-1%	0%	0%
Totaal	-15%	-15%	100%

HC PV	rel PV	rel totaal	aandeel
HN-totaal	-21%	-6%	20%
HZ-totaal	-28%	-7%	24%
Hoofdweg	-24%	-13%	44%
Zijwegen	11%	0%	-2%
Totaal PV	-22%	-13%	42%
HC VV	rel VV	rel totaal	aandeel
HN-totaal	-37%	-6%	20%
HZ-totaal	-53%	-12%	39%
Hoofdweg	-46%	-18%	59%
Zijwegen	19%	0%	-2%
Totaal VV	-42%	-17%	58%
HC	rel wegvak	rel totaal	aandeel
HN-totaal	-27%	-12%	40%
HZ-totaal	-40%	-19%	64%
Hoofdweg	-33%	-31%	103%
Zijwegen	14%	1%	-3%
Totaal	-30%	-30%	100%

CO PV	rel PV	rel totaal	aandeel
HN-totaal	-29%	-14%	50%
HZ-totaal	-32%	-14%	49%
Hoofdweg	-30%	-28%	99%
Zijwegen	-3%	0%	1%
Totaal PV	-29%	-28%	100%
CO VV	rel VV	rel totaal	aandeel
HN-totaal	-19%	0%	0%
HZ-totaal	-13%	0%	0%
Hoofdweg	-16%	0%	0%
Zijwegen	-1%	0%	0%
Totaal VV	-15%	0%	0%
CO	rel wegvak	rel totaal	aandeel
HN-totaal	-29%	-14%	51%
HZ-totaal	-32%	-14%	49%
Hoofdweg	-30%	-28%	99%
Zijwegen	-3%	0%	1%
Totaal	-29%	-29%	100%

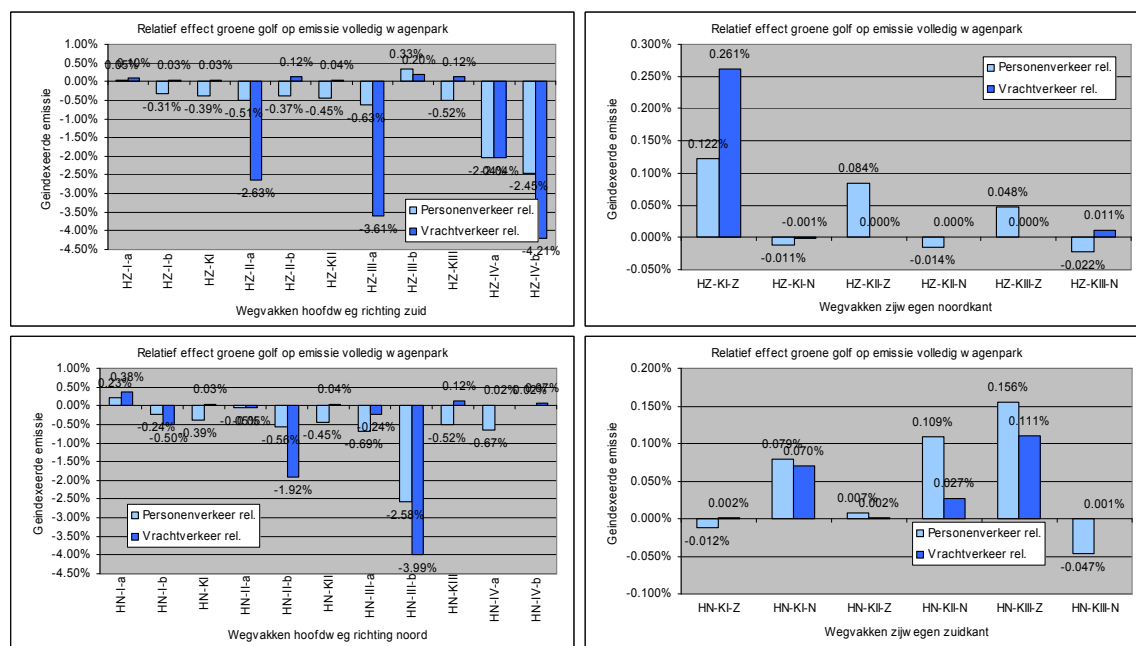
Totaal	rel type	rel totaal	aandeel
BR	-12%	-9%	70%
PV	-14%	-4%	30%
VV	-12%	-12%	100%
NOx	-22%	-3%	12%
PV	-26%	-22%	88%
VV	-25%	-25%	100%
PM	-15%	-15%	100%
PV	-1%	0%	0%
VV	-15%	-15%	100%
HC	-22%	-13%	42%
PV	-42%	-17%	58%
VV	-30%	-30%	100%
CO	-29%	-28%	100%
PV	-15%	0%	0%
VV	-29%	-29%	100%

Hoofdweg	rel type	rel totaal	aandeel
BR	-14%	-9%	76%
PV	-15%	-4%	32%
VV	-14%	-13%	108%
NOx	-24%	-3%	12%
PV	-31%	-25%	100%
VV	-30%	-28%	112%
PM	-15%	-15%	100%
PV	-1%	0%	0%
VV	-15%	-15%	100%
HC	-24%	-13%	44%
PV	-46%	-18%	59%
VV	-33%	-31%	103%
CO	-30%	-28%	99%
PV	-16%	0%	0%
VV	-30%	-28%	99%

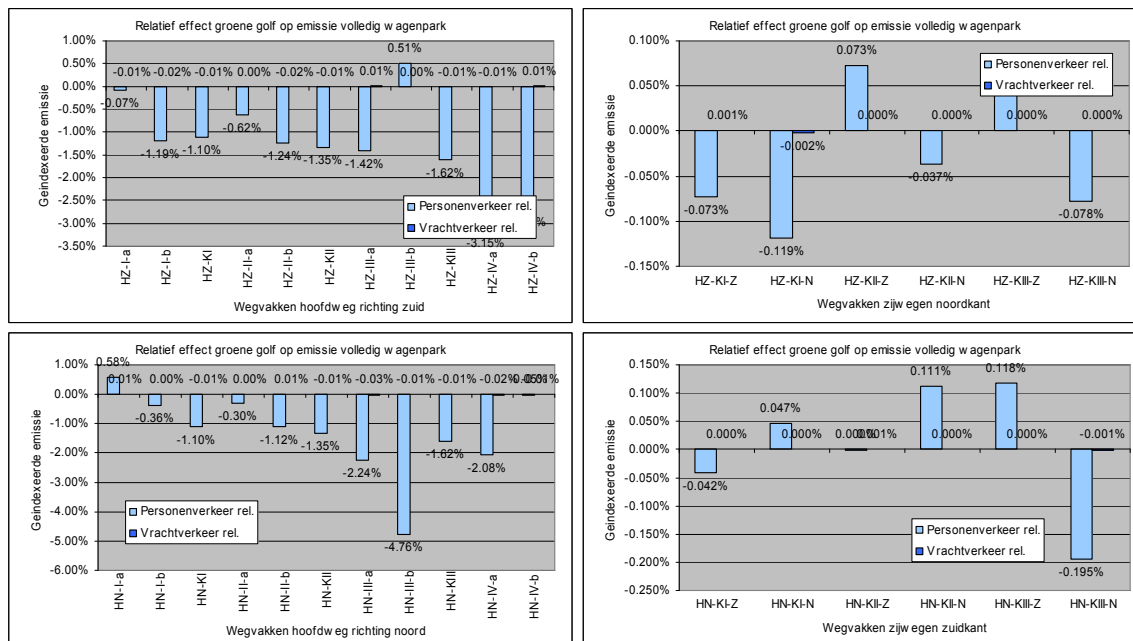
Zijwegen	rel type	rel totaal	aandeel
BR	14%	1%	-7%
PV	18%	0%	-2%
VV	15%	1%	-8%
NOx	0%	0%	0%
PV	48%	3%	-12%
VV	43%	3%	-12%
PM	-1%	0%	0%
PV	-1%	0%	0%
VV	-1%	0%	0%
HC	11%	0%	-2%
PV	19%	0%	-2%
VV	14%	1%	-3%
CO	-3%	0%	1%
PV	-3%	0%	1%
VV	-3%	0%	1%

Figuur 14.1 Overzicht van effect groene golf op brandstofverbruik en emissie NO_x en PM₁₀

14.5 Effect groene golf op de emissie – stoffen HC en CO



Figuur 14.2 Effect groene golf op de emissie –HC



Figuur 14.3 Effect groene golf op de emissie CO

15 OVERZICHT VAN MODELLEN EN METHODEN IN LUCHTKWALITEITSTUDIES

In *Tabel 15.1* staat een overzicht van de vooraanstaande methoden en modellen die ingezet worden bij studies naar de luchtkwaliteit. In de tabel zijn de verschillende modeltypen, het verkeersmodel, het emissiemodel en het dispersiemodel (ook wel verspreidingsmodel genoemd), respectievelijk aangegeven met V, E en D. Daarnaast wordt het detailniveau van de modellen, macro-, meso- en microscopisch, aangeduid met Ma, Me en Mi. Van de vetgedrukte modellen wordt in het aparte bijlage 15 document een beschrijving gegeven van de eigenschappen en prestaties.

Modelnaam	Modeltype(n)			Detailniveau		Omschrijving & ontwikkelaar / beheerder
VISUM	V			Ma		multimodaal macroscopische verkeersmodel gebaseerd op het 4-stapsmodel en bevat meerdere toedelingstechnieken, PTV Karlsruhe
OmniTRANS	V			Ma		macroscopische verkeersmodel gebaseerd op het 4-stapsmodel en bevat meerdere toedelingstechnieken, OmniTRANS, gebruikt door oa Goudappel Coffeng
VISSIM	V				Mi	microscopisch verkeerssimulatiemodel voor zowel stedelijke netwerken als buitenstedelijke netwerken en snelwegen, PTV Karlsruhe
PARAMICS	V				Mi	microscopisch verkeerssimulatiemodel, Quadstone (GB), gebruikt door TNO
AIMSUN	V				Mi	microscopisch verkeerssimulatiemodel, TSS (SP), oa gebruikt door DHV
EMFAC		E		Ma		model met relatie tussen emissie en gemiddelde snelheid, CARB (VS)
Mobile 5 / 6		E		Ma		model met relatie tussen emissie en gemiddelde snelheid, EPA (VS)
COPERT III		E		Ma		rekenmodel en database voor/van standaard emissiefactoren, ontwikkeld onder het Europese CORINAIR project, European Environment Agency
VT-micro		E			Mi	gedetailleerd model met relatie tussen emissie en snelheid- en acceleratieniveaus, Virginia Tech Transportation Institute
CMEM		E			Mi	gedetailleerd model met relatie tussen emissie en voertuigoperaties afhankelijk van variatie in snelheid en autogebruik, University of California
CAR-II		E	D	Ma		screeningsmodel voor luchtkwaliteit in relatie tot verkeer, TNO, VROM, RIVM en Diff automatisering, vrij verkrijgbaar voor rapportage besluit Luchtkwaliteit
URBIS (air)		E	D	Ma		screeningsmodel dat CAR-II en NNM combineert om de kwaliteit van stedelijke leefomgeving te bepalen, TNO
NNM		E	D	Ma		model voor het berekenen van vliegtuigemissie in relatie tot andere emissiebronnen en gebaseerd op (reken)methoden en regels waar nationale consensus over bestaat, KEMA
NNM+		E	D	Ma		uitgebreid researchmodel voor luchtkwaliteit gebaseerd op het NNM en uitgebreid met verkeersemisieberekeningen van het KEMA STACKS model, KEMA
VLW		E	D	Ma		Voorspellingssysteem Luchtkwaliteit Wegtracés ontworpen voor MER's en rapportages besluit Luchtkwaliteit door Rijkswaterstaat, gebaseerd op TNO-VM
ADMS		E	D		Me Mi	gedetailleerd luchtkwaliteitsmodel in relatie tot verkeer, specifiek onderdeel voor stedelijke luchtkwaliteit (ADMS-Urban), ontwikkeld door CERC
TNO-verkeersmodel		E	D		Me Mi	gedetailleerd model voor actuele en toekomstige luchtkwaliteit in de nabijheid van (rijks)verkeerswegen, TNO
TNO-HM		E	D		Me Mi	gedetailleerd verkeersmodel zowel gebaseerd op algoritmes uit de fysica als op empirisch bepaalde relaties en houdt rekening met meteorologische gegevens en andere bronnen, TNO
MMB	V	E	D	Ma	Me	methodiek gebaseerd op GIS bestaande uit verkeerssimulatiemodel VISSIM en luchtkwaliteitsmodel ADMS, W+B
SIMTRAP	V	E	D	Ma	Me	dynamische methodiek bestaande uit verkeerssimulatiemodel DYNEMO en luchtkwaliteitsmodel DYMOS, ontwikkeld onder het Europese ESPRIT project, oa PTV
TRANSIMS	V	E	D	Ma	Me	framework bestaande uit een combinatie van verkeersplanning en verkeerssimulatie modellen, het emissiemodel CMEM en het verspreidingsmodel MODELS-3 (EPA), Los Alamos National Laboratory, US

Tabel 15.1 Overzicht van modellen en methoden voor het berekenen van de luchtkwaliteit

Luchtkwaliteit op (de) weg met ITS

Bijlage 15

Wout Drewes

Den Haag, augustus 2006

1	MODELLEN GEBRUIKT BIJ HET BEPALEN VAN DE LUCHTKWALITEIT	3
1.1	Beschrijving van de verkeersmodellen VISUM (macro) en VISSIM(micro)	3
1.1.1	VISSIM	3
1.1.2	VISUM	4
1.2	Emissiemodellen	5
1.2.1	Macroscopische emissiemodellen	6
1.2.2	Microscopische emissiemodellen	7
2	METHODEN VOOR HET BEPALEN VAN DE LUCHTKWALITEIT	9
2.1	CAR-II	9
2.2	URBIS	10
2.3	EMME2	11
2.4	TNO-VM (TNO Verkeersmodel)	12
2.5	VLW(-NNM)	13
2.6	NNM+	14
2.7	TNO-HM (TNO Heaven Model)	15
2.8	ADMS(-Urban)	16
2.9	CFD	16
3	VOORBEELDEN VAN LUCHTKWALITEITSMODEL INPUT EN OUTPUT	18
3.1	CAR-II	18
3.2	ADMS	20

1 MODELLEN GEBRUIKT BIJ HET BEPALEN VAN DE LUCHTKWALITEIT

1.1 Beschrijving van de verkeersmodellen VISSIM(micro) en VISUM (macro)

1.1.1 VISSIM

Beschrijving

VISSIM is een microscopisch verkeerssimulatiemodel en is ontwikkeld door PTV Planung Transport Verkehr AG uit Karlsruhe, Duitsland. (VISSIM staat voor Verkehr In Städten SIMulation.) Het model simuleert het rijgedrag van individuele voertuigen over het in het model gemodelleerde verkeersnetwerk. Dit kunnen zowel stedelijke netwerken als buitenstedelijke netwerken en snelwegen zijn. Het verkeersproces kan tijdens de simulatie 'realtime' gevolgd worden. Na afloop van de simulatie kunnen diverse statistische gegevens, zoals reistijden en wachtrijlengtes, gegenereerd worden. Het model is geschikt voor het leveren van beleids- en beslissingondersteunende informatie. De resultaten van het model kunnen ook met een driedimensionale animatie van verkeersstromen gepresenteerd worden. Dit maakt VISSIM geschikt voor visualisatie van verkeerskundige effecten voor niet technische mensen.

Toepassing

- Typen verkeer: gemotoriseerd verkeer, langzaam verkeer (fietsers en voetgangers), openbaar vervoer, treinverkeer en scheepvaartverkeer
- Het model kan gebruikt worden voor:
 - het simuleren van de effecten van aanpassingen van de wegenstructuur en verkeersregelingen op de verkeersafwikkeling en het routekeuzegedrag (icm macroscopische model VISUM)
 - onderzoek naar effecten tijdelijke maatregelen en snelheidsbeperkende maatregelen (icm macroscopische model VISUM)
 - onderzoek naar effecten van dynamische verkeermanagementmaatregelen als toeritdosering, route informatie en tolheffing (icm macroscopische model VISUM)
 - het nabootsen van het gedrag van individuele voertuigen in een netwerk van wegvakken en kruispunten
 - onderzoek naar de mate waarin bestaande infrastructuur in staat is om verwachte toename verkeersaanbod te verwerken
 - onderzoek naar optimale kruispuntvorm zoals rotonde, voorrangskruising, regeling met verkeerslichten, ongelijkvloerse kruisingen.
 - onderzoek naar gedetailleerde verkeersafwikkeling op kruisingen
 - ontwerpen, testen en evalueren van voertuigafhankelijke of verkeersafhankelijke regelingen zowel op geïsoleerde kruispunten als in geregelde netwerken.
 - ontwerpen, testen en evalueren van prioriteitsingrepen voor openbaar of bijzonder vervoer

Opzet en werking

VISSIM bestaat uit een verkeerssimulatiemodule dat continu signaalgroepgegevens en detectormeldingen uitwisselt met de verkeersregelmodule. In de verkeerssimulatiemodule wordt het verkeer op microscopische wijze gemodelleerd. In de verkeersregelmodule wordt detectorinformatie verwerkt op basis waarvan de stand van de singnaalgroepen aan de simulatiemodule terug gegeven wordt. De verkeersregelmodule kan met externe regelprogramma communiceren.

De basis van de microscopische verkeersmodellering modelleren met de verkeerssimulatiemodule van VISSIM is het uitgangspunt dat het verkeersgedrag afhankelijk is van het reageren van individuele bestuurders op de waargenomen omgeving. Het gedrag wordt microscopisch, stochastisch en met discrete tijdstappen beschreven. De module is gebaseerd op het psychisch fysieke waarnemingsmodel van Wiedemann (1974). De kern van dit model is het idee dat een bestuurder begint met remmen als hij volgens eigen waarneming een langzamer rijdend voertuig te dicht nadert. Doordat de snelheid van het voorliggende voertuig niet goed wordt ingeschat zal er te hard geremd en weer opgetrokken worden, waarmee een iteratief proces ontstaat.

Voor iedere individuele bestuurder wordt een eigen voertuigkarakteristiek gesimuleerd op basis van stochastische verdelingen van snelheid en volgafstand. De verdelingen zijn gekalibreerd met periodieke praktijkmetingen. Daarnaast is een gekalibreerd model voor rijstrookwisseling in het model opgenomen en wordt een hogere alertheid gemodelleerd wanneer het kruispunt vanaf 100 meter wordt genaderd. De voertuigen volgen elkaar niet alleen maar kunnen elkaar ook inhalen.

Het model kent een relatie tussen de technische mogelijkheden van het voertuig en het gedrag van de bestuurders en wordt beschreven door een zogenaamde bestuurder-voertuig-eenheid. Hierin worden de eigenschappen van het voertuig (snelheid, versnelling en vermogen), de eigenschappen van de bestuurder (waarneming, geheugen, behoefte aan versnelling en vertraging) en de onderlinge afhankelijkheid (beïnvloeding door andere voertuigen, verkeerssituaties en omgeving) beschreven.

VISSIM kent een algoritme voor dynamische toedeling waarmee de effecten van congestie en van maatregelen als toeritdosering of dynamische reisinformatie in beeld kunnen worden gebracht. Het algoritme is gebaseerd op de lerende toedelingsmethode. De methode maakt gebruik van een iteratief rekenproces met zeer korte tijdshorizon waarbij de kennis van automobilisten, opgedaan tijdens de huidige of een afgelopen rit, bij de routekeuze wordt meegewogen. Vanuit VISUM wordt een statisch toegedeelde herkomst-bestemmingsmatrix geïmporteerd naar VISSIM. In VISSIM wordt deze statisch gesimuleerd in de vorm van routekeuzegedrag welke afhankelijke van de actuele verkeersomstandigheden tijdens de simulatie kan wijzigen.

Uitkomsten van het model

- Zelf te definiëren uitvoerbestanden waarin intensiteiten, snelheden, reistijden, verliestijden, wacht-rijlengtes en stops voor variabel aan te wijzen onderdelen van het netwerk kunnen worden aangegeven
- Zelf te definiëren uitvoerbestanden waarin voor het beoordelen van regelingen groentijden, wachttijden en logging van het verloop van het regelprogramma kunnen worden aangegeven
- Tijd-weg en tijd-ruitme diagrammen
- Milieu-effecten op basis van gedetailleerde voertuigemissies
- Driedimensionale animatie van verkeerssimulatie

Opmerkingen over het model

- Door de microscopische benadering is het mogelijk verschillende inrichtingsvarianten door te rekenen en verschillende verkeersmanagementmaatregelen te modelleren analyseren (Olde Kalter, M., et al., 2005).
- In VISSIM is een module voor het berekenen van verkeersemissies aanwezig (De Vlieger, I., 1997).
- Binnen een verkeersmanagementmethode is VISSIM toegepast om de luchtkwaliteit te simuleren (Stathopoulos, F.G., & Noland, R.B., 2003 en Noland, R.B., 2005).
- VISSIM kent vier rijhandelingen: vrij rijden, naderen, volgen en remmen. De versnelling bij elke handeling wordt bepaald met behulp van de snelheid van het voertuig, de afstand en snelheidverschillen tussen voertuigen en de individuele karakteristieken van het individu en het voertuig. De bestuurder kan in het model beslissingen maken over het veranderen van rijbaan afhankelijk van de route die gevolgd wordt en omgevingskenmerken. Er zijn geen beperkingen in het definiëren van gewenste snelheden of intensiteiten op de rijbaan (Noland, R.B., 2005).
- Calibratie studie door Gomes (2004) voor een autoweg waaruit volgt dat VISSIM geschikt is voor het modelleren van onderzoeken met complexe autoweg simulaties.
- Model is getest en gevalideerd door Felledorf en Vortisch (2001).

Vergelijkbare modellen

- PARAMICS
- AIMSUM

1.1.2 VISUM

VISUM is een multimodaal macroscopische verkeersmodel en is ontwikkeld door PTV Planung Transport Verkehr AG uit Karlsruhe, Duitsland. VISUM simuleert hoe het verkeer (bestaande uit individueel fiets- en autoverkeer en openbaar vervoer) zijn weg zoekt over de beschikbare infrastructuur en in bepaalde omstandigheden. Met het bepalen van de effecten van beleidsmaatregelen ondersteund VISUM het verkeersbeleid. De resultaten van modelberekeningen kunnen worden geanalyseerd en vertaald naar concrete oplossingen voor de hedendaagse verkeers- en vervoersproblematiek

Toepassing

- Typen verkeer: gemotoriseerd verkeer, langzaam verkeer (fietsers en voetgangers), openbaar vervoer, treinverkeer en scheepvaartverkeer
- Het model kan gebruikt worden voor:

- het simuleren van de effecten van de uitbreiding of beperking (bijvoorbeeld door het afsluiten van een weg of gebied voor bepaalde soorten verkeer) van infrastructuur of OV-verbindingen op de verkeersafwikkeling en routekeuze (inclusief substitutie-effecten)
- onderzoek naar toekomstige intensiteiten op wegvakken rond een nieuwe woonwijk
- onderzoek naar de effecten van maatregelen als tolheffing
- het aanpassen van H/B-matrices zoals het updaten van oudere H/B-matrices met verkeersstellingen, opnieuw kalibreren van H/B-matrix uit een ander model, aanvullen van een incomplete H/B-matrix (hiervoor beschikt VISUM over verschillende methoden).
- het analyseren van verkeersstromen op basis van grafisch georiënteerde methode voor selected-link-analyse
- het toedelen van verschillende verkeerssoorten aan geïntegreerde netwerken door gebruik te maken van meerdere H/B-matrices (inlezen van H/B-matrices en netwerken uit andere verkeersmodellen is mogelijk)
- het rechtstreeks exporteren van H/B-matrices van (delen van) netwerken naar VISSIM voor het berekenen van de effecten van verkeersmanagementmaatregelen en congestie met dynamische toedelingstechnieken

Opzet en werking

Met het verkeersmodel VISUM kunnen de verkeersstromen van verschillende vervoerswijzen afzonderlijk of gezamenlijk in beeld worden gebracht. Het model werkt vanuit een open-object georiënteerd concept wat het voor de gebruikers mogelijk maakt eigen applicaties voor het uitvoeren van simulaties te programmeren. Verschillende vervoerssystemen kunnen worden gedefinieerd op basis van type en doel. Binnen het model wordt de vervoersvraag vastgelegd in een herkomst- en bestemmingsmatrix. De H/B-matrices kunnen op verschillende manieren op verschillende netwerken worden toegedeeld. VISUM simuleert de routekeuze van het verkeer rekening houdende met maximum snelheden, eigenschappen van de weg en de drukte op de weg.

De modelomgeving bestaat uit transportnetwerken en omgevingskenmerken die zelf gedefinieerd of, doordat VISUM geïntegreerd is met GIS, makkelijk ingelezen en bewerkt kunnen worden. De transportnetwerken voor het wegverkeer, het verkeersnetwerk, is door middel van connectoren aan de in zones opgedeelde omgeving, verbonden. Het verkeersnetwerk bestaat uit knopen en links die respectievelijke kruisingen en wegen voorstellen. De zones beschrijven gebieden met een specifieke functie en locatie binnen het netwerk en fungeren als herkomsten en bestemmingen. Op de knopen wordt aangegeven welke verkeersbewegingen toegestaan zijn. De links hebben een bepaalde wegcapaciteit of route- of dienstregelingkenmerk (in het geval van OV-lijnen).

Binnen VISUM kan gebruik gemaakt worden van vier methoden voor het toedelen van de vervoersvraag (H/B-matrices) op het netwerk. Dit zijn de incrementele toedeling (opeenvolgende toedeling van deelmatrices), de evenwichtstoedeling (individuele routekeuze op basis van kortste reistijd (eerste principe van Wardrop)), de lerende methode toedeling (stapsgewijze aanpassing van netwerkbelasting op basis van kennis uit eerdere toedelingen) en de tribut toedeling (tweezijdige toedeling rekening houdend met reistijd en kosten).

Uitkomsten van het model

- Weergave van intensiteiten, snelheden, dichtheden, reistijden en filelengtes per variabel in te delen wegvakken in grafieken en tabellen
- Tijd-weg en tijd-ritme diagrammen
- Toedelingsresultaten kunnen ook rechtstreeks geëxporteerd worden naar een GIS-database voor het maken van berekeningen van geluid en emissie van schadelijke stoffen

Vergelijkbare modellen

- Omnitrans

1.2 Emissiemodellen

Zowel voor de macroscopische als de microscopische emissiemodellen geldt het belangrijke kenmerk dat de berekeningen van de totale emissie bestaat uit tenminste twee componenten (www.integaire.org, 2005). De totale emissie wordt berekend uit de zogenoemde 'hete emissie' en 'koude start' emissie. Daarnaast wordt ook vaak rekening gehouden met de 'condensatie emissie' die vooral voor de emissie van VOC's van belang zijn (verdamping van anorganische koolwaterstoffen

zoals benzine). De 'hete emissie' bestaat uit de emissie die plaatsvindt wanneer de motor van de auto op de juiste operatie temperatuur is. Van belang hiervoor is dat het voertuig al voldoende kilometer heeft gereden. Daarnaast spelen hiervoor parameters als helling van de weg, hoogteligging, onderhoudstatus van het voertuig, lading van het voertuig, stroomverbruik. De 'koude start emissie' bestaat uit de emissie die wordt uitgestoten voordat het voertuig de ideale operatie temperatuur heeft bereikt. Bij benadering gaat dit om de eerste 3 a 4 kilometer van de rit. De 'koude start emissie' is belangrijk voor de berekening van de emissie op een bepaalde plek, zeker in de stedelijke omgevingen. De emissie van CO en VOC zijn bijvoorbeeld grofweg 10 keer hoger bij een koude motor. Dit geldt juist voor de nieuwe minder vervuilende auto's aangezien de katalysator bij lage temperaturen niet goed werkt. 'Condensatie emissie' is de emissie van onverbrande brandstof. Dit kan door tijdens het rijden door lekken uit het motorsysteem of uit de uitlaat. Of tijdens het stilstaan door lekkage uit de benzine tank. Deze laatste mogelijk wordt vaak niet in de gebruikelijke verkeersmodellering meegenomen. De condensatie-emissie is wel van belang aangezien de maximaal mogelijke bijdrage ervan wordt geschat op 30-40%.

1.2.1 Macroscopische emissiemodellen

Amerikaanse emissiemodellen

EMFAC, California Air Resources Board

MOBILE5, Amerikaanse Environmental Protection Agency (EPA)

EMFAC en Mobile 5 zijn Amerikaanse macroscopische emissiemodellen waarin de voertuigemissie wordt uitgedrukt als functie van de gemiddelde snelheid. De modellen zijn gebaseerd op voertuigtests waarbij een beperkt aantal standaard rijpatronen is geanalyseerd.

Bij het berekenen van de emissies wordt in de modellen naast de gemiddelde snelheid rekening gehouden met voertuigtype en leeftijd, temperatuur, hoogte, voertuig belading, airco gebruik en voertuiggebruik. Voor bepaalde combinaties van deze eigenschappen worden standaard emissiefactoren opgesteld. De factoren worden vastgesteld op basis van emissiemetingen gedurende meerdere standaardtesten van voertuigen. Tijdens de tests worden rijpatronen met verschillende gemiddelde snelheden uitgevoerd. De totale emissie wordt berekend door de emissiefactoren te vermenigvuldigen met de voertuigactiviteiten uitgedrukt in afgelegde afstand, aantal ritten en aantal uren reizen met het voertuig.

MOBILE6, Amerikaanse Environmental Protection Agency (EPA)

Mobile 6 is de nieuwste versie van het Mobile model. Mobile 6 is gebaseerd op emissiedata van recente voertuigtesten, onder anderen uitgevoerd door EPA en autofabrikanten. Net zoals Mobile 5 maakt Mobile 6 ook gebruik van gemiddelde snelheden voor het schatten van de emissie. Mobile 6 deelt daarbij echter de emissiefactoren in naar wegtype en houdt, door de ritten indelen in een start-gedeelte en een normaal rijgedeelte, daarnaast rekening met de koude start van voertuigen. Daarnaast houdt Mobile 6 rekening met meer extreme karakteristieken van bepaalde voertuigen en uitzonderingen op het gemiddelde emissieproces. Bijvoorbeeld de zogenaamde 'off-cycle' emissies, die de emissie bij agressief rijgedrag beschrijven, zijn toegevoegd. Bij de emissieberekeningen worden emissiefactoren aangepast aan een selectie van omgevingstypen en gemiddelde snelheidniveaus.

In de macroscopische emissiemodellen worden emissiewaarden gecorrigeerd naar snelheid waardoor ze sterk afhankelijk zijn van de gemiddelde snelheid. Dit kan leiden tot verkeerde berekeningen van emissie bij verschillende snelheden waardoor onzekerheid in de berekeningen van deze emissiemodellen groot is (Rakha, H. et al., 2001).

Europees macroscopische emissiemodel

COPERT III, European Environment Agency

COPERT III is ontwikkeld in het Europese project CORINAIR en is gericht op het berekenen van luchtvervuilende emissies van het wegtransport. COPERT (Computer Programme to calculate Emissions from Road Transport) is opgezet voor het schatten van emissies van het wegtransport op nationaal niveau in het kader van officiële nationale emissierapportages (www.integaire.org, 2005). Met het model kunnen schattingen gemaakt worden van alle gereguleerd vervuilende stoffen (CO, NO_x, VOC,

PM) die uitgestoten worden door verschillende voertuigcategorieën en CO₂ op basis van brandstofverbruik. Daarnaast kunnen ook de emissies van niet gereguleerde stoffen, zoals CH₄, N₂O, NH₃, SO₂, zware metalen, PAH's, POP's en VOC's, berekend worden. COPERT III kan uitgebreid worden met een module voor emissies van andere bronnen. (vergina.eng.auth.gr/mech/lat/copert/copert.htm).

COPERT bestaat uit een rekenmodel en een database van standaard emissiefactoren. De emissiefactoren zijn afhankelijk van snelheid voertuigtype, brandstoftype en cilindercapaciteit. De emissiefactoren worden toegepast door vermenigvuldiging met de mate van verkeersafwikkeling (intensiteit) en de lengte van het onderzochte wegvak. De methode houdt ook rekening met de 'koude start' emissie. Met behulp van een aangenomen koud/warm-ratio voor emissie en het aandeel afgelegde afstand met koude motor wordt de 'koude start' emissie meegenomen in de berekeningen (Mensink, C., et al., 2000). Hoewel het model ontwikkeld is voor nationale studie kan het ook gebruikt worden voor emissieberekeningen van kleinere gebieden (bijvoorbeeld een stedelijk gebied, zoals Antwerpen in Mensink (2000)). Berekening van emissies met een ruimtelijke emissie van 1x1 km² en een tijdelijke resolutie van 1 uur is mogelijk (vergina.eng.auth.gr/mech/lat/copert/copert.htm).

1.2.2 Microscopische emissiemodellen

VT-Micro, Virginia Tech Transportation Institute

Het Virginia Tech Microscopische energie en emissiemodel is ontwikkeld met behulp van experimenten met verschillende polynomiale combinaties van snelheid- en acceleratieniveaus. De verschillende combinaties zijn getest met behulp van experimentele dynamometer data van 101 verschillende voertuigen.

Het uiteindelijke opgestelde regressiemodel is opgebouwd uit een combinatie van lineair, kwadratisch en kubieke snelheid- en versnellingstermen waarmee met de minste termen de originele data het beste wordt beschreven. Met het VT-micro model wordt de data van voertuigoperaties met logaritmische relaties per 5 klassen lichte auto's en 2 klassen vrachtwagen omgerekend naar emissies. De emissieberekening wordt per seconde uitgevoerd. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een tweevoudig regime voor acceleratie en deceleratie.

Aangezien het model gevoelig is voor snelheid en versnelling is het geschikt voor het doorrekenen van de effecten van ITS-maatregelen (Rakha, H., et al., 2000).

CMEM, University of California, Riverside

CMEM staat voor Comprehensive Modal Emissions Model. CMEM is een microscopisch emissiemodel dat voertuigemissie als functie van de voertuigoperaties berekent. De term 'comprehensive' slaat op het vermogen van het model om voor een grote variatie aan voertuigen en verscheidenheid aan wijze van gebruik de emissie te berekenen. Het model maakt schattingen van de emissies per seconde gebaseerd op veranderingen in het netwerk die het dynamische gedrag van voertuigen zoals versnellen en afremmen beïnvloeden. De input data bestaat uit variabelen die de voertuigoperaties beschrijven (snelheid, versnelling en hellingshoek van de weg) en uit parameters die voor het model zijn gekalibreerd (koude start coëfficiënt weerstandscoefficiënt motor).

In het model wordt het emissieproces eenvoudig op fysieke wijze met parameters benaderd. Het gehele emissieproces is verdeeld in componenten die te onderscheiden zijn naar fysieke relaties tussen voertuigoperatie en emissie productie (Rakha, 2004). Het model bestaat uit zes modules die de motorkracht, motorsnelheid, air-to-fuel ratio, brandstofverbruik, motor verlatende emissies en katalysator passerende emissiefractie schatten.

De relaties en parameters in het model zijn gebaseerd op uitlaatemissies die zijn opgesteld op basis van emissiemetingen van verschillende rijcyclussen. De emissies per rijcyclussen zijn gemeten tijdens het uitvoeren van de rijcyclussen op een dynamometer in een laboratorium. De metingen zijn uitgevoerd voor 343 voertuigen. Met de emissiedata van de 343 voertuigen, afkomstig van metingen per seconde, is een klasseindeling bestaande uit 28 voertuigcategorieën (24 normale en 4 hoge emissie voertuigcategorieën) gemaakt. De voertuigklassen zijn afhankelijk van voertuigtype, emissie status, brandstof controle technologie, emissie controle technologie, motorkracht en gewicht van het voertuig en kilometerstand.

Hoewel bij gebruik van het model rekening moet worden gehouden met een aantal beperkingen, wordt het model in recente studies het meest geschikt bevonden voor het berekenen van verkeersemisies op microscopisch niveau. (Noland, R.B., & Quddus, M.A., 2005). In tegenstelling tot de modellen EM-FAC en het Mobile model, die gebruik maken van gemiddelde snelheden afgeleid van gemiddelde rijpatronen, kan CMEM de effecten van maatregelen uitdrukken in sterkte en aantal acceleraties (Stathopoulos, F.G., & Noland, R.B., 2003).

De beperkingen die genoemd worden zijn:

- doordat inmiddels nieuwe schonere voertuigen op de markt zijn is de emissiedata enigszins verouderd
- geen representatie van werkelijke verkeerssituaties aangezien emissiedata is verkregen met dynamometertests
- berekening van emissie van zware voertuigen, vrachtwagen en bussen, is niet mogelijk
- niet mogelijk om de emissie van stofdeeltjes te meten

2 METHODEN VOOR HET BEPALEN VAN DE LUCHTKWALITEIT

In deze bijlage worden de vooraanstaande methoden voor het bepalen van de luchtkwaliteit rekening houdende met de emissiebijdragen van het verkeer, beschreven. Bij de beschrijving van de methoden wordt in grote lijnen ingegaan op de verschillende onderdelen, modellen en rekenmethoden, binnen de methoden. Ingegaan wordt op het detailniveau waarop de berekeningen in ruimte en tijd plaatsvinden en de weg-, voertuig- en omgevingskenmerken waarmee de verschillende methodenrekening houden. Daarnaast wordt per methode aangegeven welke voor- en nadelen de methode heeft en, voor zover bekend, met welke onzekerheden in modelresultaten, naar schatting, rekening gehouden moet worden. De beschrijvingen geven de beperkingen voor en de consequenties van het gebruik van de methoden aan.

2.1 CAR-II

Beschrijving

CAR-II (Calculation of Air pollution from Road traffic) is een luchtkwaliteitsmodel voor het berekenen van de actuele en toekomstige luchtkwaliteit. Het model is ontwikkeld als een screeningsmodel, dat wil zeggen als een eenvoudig hanteerbaar model waarmee op een snelle manier inzicht verkregen kan worden in de luchtkwaliteit in straten en langs verkeerswegen (TNO-R&I, 2005). Het model is geschikt om inzicht te krijgen in de huidige luchtkwaliteit of (in grote lijnen) de gevolgen van verkeersmaatregelen op de luchtkwaliteit. In Nederland wordt het model veelvuldig gebruikt voor rapportage in het kader van het Besluit Luchtkwaliteit. In de praktijk fungeert CAR-II, aangezien de meeste berekeningen worden gedaan voor binnenstedelijke situatie, als complement van het TNO-VM dat met name voor rijkswegen wordt toegepast (Erbrink, H., Vermeulen, J.P.L. en Rens, L.J., 2003).

CAR-II rekent concentraties van een beperkt aantal (maar de meest relevante) vervuilende stoffen, waaronder NO₂ en PM₁₀, als functie van de verkeersintensiteit, emissies, achtergrondconcentraties en omgevingskenmerken. De omgevingskenmerken worden als gestandaardiseerde dwarsprofielen in het model ingevoerd. Het model maakt gebruik van UNRR emissiefactoren (DHV&TNO, 2005) die afhankelijk zijn van het type voertuig en de snelheidsklasse. Het model berekent de luchtvervuiling in lijnconcentraties waarbij berekeningen mogelijk zijn van 5m tot 30 m afstand vanaf de weg-as in situatie met obstakels langs de weg. Berekeningen voor een vrij liggende weg kunnen tot 300m afstand van de weg-as.

Het model houdt rekening met:

- 5 wegtypen (vrij liggende weg, weg met eenzijdige bebouwing in 3 dichtheidsklassen en weg met dubbelzijdige bebouwing)
- bomen langs de weg door gebruik te maken van een bomenfactor
- personenverkeer en 3 klassen vrachtverkeer
- 5 snelheidsklassen

Voordelen

- CAR-II berekent jaargemiddelden en alle grens- en plandrempelwaarden die nodig zijn voor de rapportage ten behoeve van het Besluit Luchtkwaliteit.
- Model is eenvoudig en toegankelijk waardoor snel een globaal inzicht in de luchtkwaliteit kan worden verkregen.
- Het model is gericht op specifieke verkeerssituaties in steden en kan ook kruispunten doorrekenen.
- Het is mogelijk om met CAR-II concentratieberekeningen voor toekomstige situatie uit te voeren.
- Door gebruik te maken van empirische relaties tussen jaargemiddelde en hogere percentielen (zoals overschrijdingswaarden uit het Besluit Luchtkwaliteit) kunnen hiervan afgeleide hogere percentielen berekend worden.

Nadelen

- Jaargemiddelde concentraties worden niet met een verspreidingsmodel berekend maar worden afgeleid van empirische relaties gebaseerd op metingen. Deze zijn realistisch maar geven alleen goede resultaten voor het geheel (totale concentraties), aparte onderdelen hoeven niet goed te werken (afzonderlijke brongroepen), het model is een Lump-sum model.
- Uurgemiddelde concentraties worden niet direct berekend maar afgeleid van de jaargemiddelde concentraties. De uurgemiddelden worden indirect via empirische relaties die gebaseerd zijn op historische data, bepaald. Deze relaties zijn van algemene aard terwijl de relaties per specifiek knelpunt kunnen verschillen.

- De wegconfiguratie is maar beperkt door te voeren waardoor het effect van aanpassingen aan de weg niet is te berekenen (Erbrink, H., Vermeulen, J.P.L. en Rens, L.J., 2003).
- CAR-II is niet nauwkeurig genoeg om effecten van weg en gebouw configuratie of de met het oog op de luchtkwaliteit acceptabele afstand van bebouwing vanaf de weg te berekenen (TNO-R&I, 2005).
- Car-II houdt geen rekening met variatie in windrichting en wegoriëntatie zodat alle berekeningen uitgaan van afstanden loodrecht op de weg-as. Cumulaties van concentraties wordt niet meege-nomen.
- Het model is minder geschikt voor het doorrekenen van specifieke maatregelen gezien het gebruik van eenvoudige empirische relaties (Erbrink, H., Vermeulen, J.P.L. en Rens, L.J., 2003). Het mo-del rekent direct alleen jaargemiddelden waardoor effect niet tijdgedifferentieerd, bijvoorbeeld per uur, weergegeven kunnen worden.

Onzekerheden

- Onzekerheid bij verhouding bijdragen achtergrond/bron van 50%/50% is 30 tot 40%, afhankelijk van de complexiteit van de situatie.
- Het model houdt geen rekening met de oriëntatie van weg ten opzichte van de windrichting. Dit kan tot een onzekerheid van 10-20% in de uitkomsten leiden (Erbrink, H., Vermeulen, J.P.L. en Rens, L.J., 2003).
- Onzekerheid in invoerparameters is dominant.

2.2 URBIS

Beschrijving

URBIS is methodiek voor het bepalen van de leefomgeving (luchtkwaliteit, geluid, externe veiligheid en gezondheidseffecten) in stedelijke omgeving en bevat een screeningsmodel voor het bepalen van de luchtkwaliteit in de stedelijke omgeving. Het model is geschikt voor het berekenen van de globale effecten van emissiescenario's binnen stedelijke gebieden als gevolg van veranderingen in wegver-keer, scheepvaart en industrieën. De resultaten worden overzichtelijk en toegankelijk gepresenteerd in een GIS-omgeving. URBIS is interessant voor de uitvoering van lokale milieuverkenningen.

Voor het berekenen van de bijdrage die het verkeer heeft in de concentraties vervuilende stoffen in de stedelijke omgeving is het NNM vereenvoudigd tot een source-receptortabel en CAR-II uitgebreid met een module om kruispunten door te rekenen. De achtergrondconcentraties worden op eenvoudige praktische wijze afgeleid uit andere bronnen. Voor het berekenen van de bijdrage van (rijks)verkeerswegen worden CAR-II en het NNM gecombineerd. Het verkeer wordt doorgerekend met behulp van de klassenmethode van het NNM en brontypen van CAR-II.

Het model houdt rekening met:

- 5 wegtypen (vrij liggende weg, weg met eenzijdige bebouwing in 3 dichtheidsklassen en weg met dubbelzijdige bebouwing)
- bomen langs de weg door gebruik te maken van een bomenfactor
- personenverkeer en 3 klassen vrachtverkeer
- 5 snelheidsklassen

Voordelen

- De methodiek is geschikt voor globale verkenningen en geeft gebiedsoverzichten.
- Meerdere bronnen in complexe omgevingen kunnen worden meegenomen.
- URBIS is gekoppeld aan bestaande bestanden en bij de presentatie kan gebruik gemaakt worden van grafische technieken.

Nadelen

- URBIS is met het oog op de verkeersbijdragen een screeningsmodel voor regio's en kan minder goed worden toegepast op specifieke situaties, zoals lokale maatregelen op een snelweg.
- Concentraties op en direct naast snelwegen moeten als indicatieve schatting worden opgevat (TNO, 2005).
- Doordat de rijkswegen als puntbron worden gehanteerd sluit dit niet goed aan op het NNM-chemie waarmee de chemische verandering van de stoffen in de lucht wordt bepaald.
- Het effect van schermen, gebouwen en andere objecten wordt enkel grof, met een soort eerste orde benadering van obstakels, meegenomen.

- De uurgemiddelden worden afgeleid van de jaargemiddelden middels empirische relaties, waarmee URBIS dezelfde (hieraan verbonden) nadelen kent als CAR-II.
- Het model is nog maar weinig toegepast en de informatie die beschikbaar is over de onzekerheid en validiteit van het model is gering, onzekerheden zijn middels een theoretische methode bepaald (Erbrink, H., Vermeulen, J.P.L. en Rens, L.J., 2003).
- Door de combinatie van de verschillende modellen is de structuur complex en kan URBIS alleen gehanteerd worden door deskundigen op het gebied van de luchtkwaliteit.
- Het afstemmen van het model op de omgeving is maatwerk en kostbaar.

Onzekerheden

- Onzekerheid bij verhouding bijdragen achtergrond/bron 50%/50% is 28 tot 44%, afhankelijk van de complexiteit van de situatie.
- Door de grote hoeveelheid verschillende bronnen treedt mogelijk uitmiddeling op en de onzekerheid in afzonderlijke bronbijdrage is onbekend.
- Onzekerheid in invoerparameters is dominant.

2.3 EMME2

Beschrijving

Verkeersmodel voor verkeersplanning waarbij onder anderen luchtkwaliteitseffecten in de modelering kunnen worden meegenomen (www.integaire.org, 2005). Het model evalueert de prestatie van toekomstige infrastructurele netwerken en kan ingezet worden voor de korte, middellange en lange termijn planning op stedelijk niveau. Het model kan toegepast worden als ondersteuning voor de technische haalbaarheid van nieuwe infrastructuur en de het bepalen van de invloed van (nieuwe) attractoren op de stedelijke verkeersstromen en het inschatten van toekomstige stedelijke ontwikkelingen inclusief de rol van het verkeer daarin.

Bevat momenteel één microsimulatiemodel voor enkelvoudige kruisingen. Toepassing van het dynamische micro-simulatie model PARAMICS is in ontwikkeling. Met het model kunnen rollen en functies aan het openbaar vervoer en verkeersknooppunten en overstapplaatsen toegedeeld worden. In het model wordt de onderzoeksomgeving uitgedrukt in herkomsten en bestemmingen en wordt het verkeersnetwerk uitgebreid beschreven met de eigenschappen van links zoals lengte, aantal stroken, linktype, boogstraal en maximum snelheid. Daarnaast kunnen verkeersregelingen met elke richting apart gemodelleerd worden. Voor het openbaar vervoer kunnen de routes en de daaraan verbonden aantal stops, rittfrequentie, maximum snelheid aangegeven worden. Naast dit aanbod van mobiliteit wordt de mobiliteitsvraag gemodelleerd aan de hand van de transportwijze, het motief, de relatie van herkomst en bestemming en het individuele of collectieve karakter van de reis.

Het model kent een verscheidenheid aan output. Onder ander kunnen de snelheid, intensiteit en samenstelling verkeer in zware en lichte voertuigen op iedere link per uur, de gemiddelde afgelegde afstand, gemiddelde duur, kosten en vertragingstijd bij kruisingen per gebruiker en per reis en per persoon of in het algemeen en de atmosferische emissies van voertuigen per uur als resultaat verkregen worden. Deze resultaten kunnen in kaartvorm worden gepresenteerd.

Voordelen

- bijdrage aan efficiënte communicatie richting het publiek door middel van het presenteren van (transport)ontwikkelingsscenario's en effecten
- inzicht in de kritieke stedelijke ontwikkelingen inclusief de invloed van sterke stedelijke attractoren, de benodigde prioriteiten voor de ontwikkeling van infrastructuur elementen
- EMME2 wordt internationaal veel gebruikt en is al meerdere malen gecombineerd met emissiemodellen (Sbayti, H., et al., 2001)

Nadelen

- omvangrijk model waarbij het presenteren van het totaal plaatje belangrijker is dan een nauwkeurige berekening van emissie
- bij de berekening van de emissie wordt gebruik gemaakt van standaard emissiefactoren
- experts nodig voor het gebruik en update van de model software en databases
- EMME2 is niet gekoppeld aan detectiesystemen bij VRI vanwege beperkte betrouwbaarheid van telgegevens. De tellingen worden wel gebruikt voor monitoring

Onzekerheden

Geen informatie over bekend

2.4 TNO-VM (TNO Verkeersmodel)

Beschrijving

Het TNO-verkeersmodel is een gedetailleerd model gericht op het berekenen van de actuele en toekomstige luchtkwaliteit in de nabijheid van (rijks)verkeerswegen. Het model is gevalideerd met wind-tunnelexperimenten en heeft haar waarde bewezen in binnen- en buitenlandse praktijkstudies (Erbrink, H., Vermeulen, J.P.L. en Rens, L.J., 2003).

Het model is opgebouwd uit algoritmes uit de fysica en empirisch bepaalde relaties en doet berekeningen volgens een klassenmethode of een uur-voor-uur methode. Voor een verscheidenheid aan vervuilende stoffen, waaronder NO₂ en PM₁₀, worden de concentraties afhankelijk van de verkeersintensiteit, emissies en achtergrondconcentraties en met meer aandacht (dan in CAR) voor de weg- en omgevingkenmerken, berekend. De verspreiding wordt door het model berekend met gedetailleerde dispersie algoritmes gebaseerd op het Gaussisch pluimmodel. Het model maakt daarbij gebruik van de meteorologische invoerparameters windsnelheid en windrichting in de vorm van een zogenaamde fractie van gecombineerd voorkomen van beide parameters, welke per jaar wordt opgesteld (TNO-MEP, 2004). In het model worden de weg als lijnbron met een groot aantal puntbronnen wordt beschreven zodat naast het rekenen met dwarsprofielen van de weg, ook gebruik gemaakt kan worden van flexibele receptorpunten. Het model is gekoppeld aan grote bestanden met gegevens over het Nederlandse wegennet, verkeersemissies en achtergrondconcentraties. Als invoer voor de emissieberekening worden gemiddelde emissies per etmaal gebruikt (TNO-MEP, 2004)

Het model houdt rekening met:

- wegtypen op maat (vrij liggende weg, wegen met eenzijdige bebouwing en met dubbelzijdige bebouwing)
- hoogteligging van de weg, viaducten en geluidsschermen en geluidswallen
- bomen langs de weg door gebruik te maken van een bomenfactor
- diverse klassen personenverkeer en vrachtverkeer
- onbeperkte snelheden
- turbulentie van het verkeer

Voordelen

- Het model rekent standaard met jaargemiddelden. Voor knelpunten kan de 'korte termijn mode' met uur-voor-uur berekeningen worden gebruikt.
- Het model is geschikt voor het doorrekenen van situaties rond verschillende soorten wegen en effecten van aanpassingen in de weg configuratie.
- In het model kan de geometrie van de schermen, gebouwen en andere obstakels ingevoerd worden.
- Doordat het model meer met de omstandigheden van verkeer, weg en omgeving rekening houdt dan CAR, kunnen berekeningen over grotere afstanden van de weg uitgevoerd worden.
- Verschillende verkeersbronnen kunnen opgeteld worden.

Nadelen

- De percentielwaarden en andere uurgemiddelde concentraties worden met empirische relatie van jaargemiddelden afgeleid. De relaties zijn afgeleid door gemeten jaargemiddelde concentraties uit te zetten tegen gemeten aantal overschrijdingen van grenswaarden (TNO-MEP, 2004). Dit betekent dat als de percentielen en jaargemiddelde als lump-sum waarden goed worden berekend, de afzonderlijke deeleffecten binnen de jaargemiddelden van juiste waarden kunnen afwijken.
- Het optellen van verkeersbronnen met andere bronnen is niet mogelijk, daarvoor is maatwerk nodig (Erbrink, H., Vermeulen, J.P.L. en Rens, L.J., 2003).
- Het meteo-model is verouderd en staat niet meer op het niveau waar de wetenschap zich op dit moment bevindt. Op korte afstanden heeft dit geen nadelig effect. Op lange afstanden zorgt het voor onzekerheid in de modelberekeningen. In TNO-MEP (2004) wordt aangegeven dat het berekenen van emissie op grote afstand van de weg, gezien de kleine bijdrage van het verkeer, niet zinvol is.
- Het model is alleen operationeel bij TNO en niet commercieel beschikbaar.

Onzekerheden

- Het TNO-Verkeersmodel is gevalideerd door vergelijking met gemeten en berekende concentraties. De berekende jaargemiddelde verkeersbijdragen wijken minder dan 30% af van de werkelijke waarden (TNO-MEP, 2004).
- Onzekerheid bij verhouding bijdragen achtergrond/bron 50%/50% is 27 tot 37%, afhankelijk complexiteit situaties
- De onnauwkeurigheid in de uitkomsten in vergelijking met windtunnelexperimenten is 15% (onderzoek Wesseling, TNO)
- Onzekerheid in invoerparameters is dominant.

2.5 VLW(-NNM)

Beschrijving

Voorspellingssysteem Luchtkwaliteit Wegtracés ontworpen voor de door Rijkswaterstaat uit te voeren Milieu Effect Rapportages en rapportages in het kader van het Besluit luchtkwaliteit. Het model is gebaseerd op het TNO-verkeersmodel.

Het systeem is onlangs aangepast aan de modelconcepten van het NNM, waarna het VLW beschikt over twee rekenmethoden. Een klassenmodel dat gebaseerd is op het TNO-verkeersmodel en een rekenmethode die inherent is aan de rekenwijze van het NNM. Het model kan de actuele en toekomstige luchtkwaliteit bepalen voor diverse klassen personen- en vrachtverkeer waarbij rekening wordt gehouden met de snelheid van het verkeer, de omgevingskenmerken en de turbulentie van het verkeer. Met het nieuwe VLW-NNM kunnen de concentraties uur-bij-uur berekend worden.

Het model houdt rekening met:

- wegtypen op maat (vrij liggende weg, wegen met eenzijdige bebouwing en met dubbelzijdige bebouwing)
- hoogteligging van de weg, viaducten, tunnelmonden, geluidsschermen en geluidswallen
- bomen langs de weg door gebruik te maken van een bomenfactor
- diverse klassen personenverkeer en vrachtverkeer
- onbeperkte snelheden
- turbulentie van het verkeer

Voordelen

- Door gebruik te maken van empirische relaties tussen jaargemiddelde en hogere percentielen (zoals overschrijdingswaarden uit het Besluit Luchtkwaliteit) kunnen hiervan afgeleide hogere percentielen berekend worden.
- Voor alle stoffen kan de achtergrondconcentratie of –windroos gedefinieerd worden. Daarnaast kunnen nieuwe stoffen gedefinieerd worden.
- De bijdrage van meerdere verkeerswegen kunnen opgesteld worden.
- Het aantal snelheidklassen in het model is onbeperkt.
- Voor het model is een rekenschil ontwikkeld waarmee het VLW via GIS gekoppeld wordt aan wegvak- en verkeersprestatiegegevens.

Nadelen

- Het standaard VLW, dat het meest is toegepast en gevalideerd, heeft jaargemiddelde concentraties als uitvoer. Met aanvullende empirische gegevens of een extra module kunnen uurgemiddelde concentraties worden berekend. (Met het nieuwe VLW-NNM worden de uurlijkse concentratie wel direct berekend.)
- Het optellen van verkeersbronnen met andere bronnen is niet mogelijk. (Erbrink, H., Vermeulen, J.P.L. en Rens, L.J., 2003).
- Het lange-termijn klassenmodel gaat uit van neutrale atmosferische situaties en neemt aan dat de atmosferische stabiliteit geen effect heeft op de turbulentie en dus dispersie. Hierdoor kunnen de effecten maar met beperkte afstand van de weg bepaald worden.
- Het model is niet commercieel beschikbaar het wordt alleen gebruikt door de dienst DWW van Rijkswaterstaat.

Onzekerheden

- Berekeningen met het VLW-NNM wezen uit dat het model significant hogere uitkomsten heeft dan metingen, het VLW-klassenmodel en het TNO-VM (Erbrink, H., Vermeulen, J.P.L. en Rens, L.J., 2003). Inmiddels zijn de oorzaken van de verschillen verholpen. Voortgaand vergelijkt tussen het

VLW en TNO-VM leidt tot een harmonisatie van de resultaten van beide modellen (Erbrink, H., Vermeulen, J.P.L. en Rens, L.J., 2003).

2.6 NNM+

Beschrijving

Het NNM+ is een uitbreiding en verbetering van het Nieuw Nationaal model (NNM). Het NNM was oorspronkelijk opgezet om vliegtuigemissies in combinatie met andere bronnen te berekenen. Over het bepalen van de luchtkwaliteit zoals vastgelegd in het NNM, bestaat nationale consensus. Het NNM schoot echter te kort in het berekenen van verkeersemisies op rijkswegen. Met het NNM+ is het NNM geschikt gemaakt om verkeersemisies en verspreiding van verscheidene vervuilende stoffen, zoals NO₂ en PM₁₀, te berekenen en te voorspellen. Het model wordt toegepast bij het vaststellen van de kwaliteit van buitenlucht, bijvoorbeeld in het kader van milieuvergunningen.

In het NNM+ is de consensus van het NNM uitgebreid met een verkeerswegenmodellering waarbij het verkeer als lijnbron wordt benaderd en rekening wordt gehouden met het effect van geluidwerende objecten. De modelmethode is afkomstig van het door KEMA ontwikkelde verkeersemisiemodel STACKS. Met deze aanvulling bevat het NNM+ de meest recente kennis voor de behandeling van de processen in de atmosferische grenslaag. Binnen het model worden de fysische en chemische processen in detail beschreven en wordt niet gebruik gemaakt van empirische vergelijkingen. De functionaliteit van het NNM+ is verbeterd doordat behalve gemiddelden ook alle denkbare percentielwaarden, als ook droge en natte depositie, berekend kunnen worden. Daarnaast zijn een rekenwijze voor NO₂-concentraties en een meer universele methode voor het invoeren van oppervlaktebronnen toegevoegd en is de gebouwenmodule verbeterd.

Het model houdt rekening met:

- vrij liggende weg
- bomen langs de weg door gebruik te maken van een zero-displacementhoogte (bomenhoogte en dichtheid)
- diverse klassen personenverkeer en vrachtverkeer
- 5 snelheidsklassen
- turbulentie van het verkeer

Voordelen

- Doordat het model geen gebruik maakt van empirische relaties kunnen op directe wijze uurgemiddelde concentratie berekend worden. De percentielwaarden en andere overschrijdingskansen worden op directe wijze uit de uurgemiddelden bepaald.
- Het optellen van bijdragen van meerdere verkeerswegen en het integraal combineren met andere brontypen is binnen het NNM+ mogelijk.
- Meerdere rijbanen en rijstroken kunnen gedefinieerd worden en de verkeersintensiteit kan per uur opgegeven worden.
- In het model kunnen door de gedetailleerde beschrijving van verkeersbanen en obstakels variaties in de geometrie van schermen en wallen langs de wegen aangegeven worden.
- De uitvoer van het model voldoet aan de eisen van het Besluit Luchtkwaliteit en heeft dezelfde vorm als de uitvoer van het NNM.

Nadelen

- Door veel voorkomende onzekerheid in de uurlijkse invoergegevens als toekomstige weersomstandigheden, achtergrondconcentraties en emissies is snel een gebrek aan voldoende goede invoer om met uur-tot-uur berekeningen realistische en voldoende nauwkeurige uitkomsten te verkrijgen (DHV&TNO, 2005).
- Voor het rekenen aan een bron die in een complexe bebouwde omgeving staat is het NNM+ niet geschikt. Bij verbetering van het NNM is hiervoor binnen het concept van het Gaussisch pluimmodel geen oplossing gevonden. Is model is niet geschikt voor situaties waarbij gebouwen direct naast de weg staan, zoals in veel stedelijke gebieden het geval is (streetcanyons).
- Het model is in vergelijking met andere modellen nauwelijks gevalideerd met metingen in de praktijk of met windtunnelmetingen, onzekerheden zijn middels een theoretische methode bepaald (Erbrink, H., Vermeulen, J.P.L. en Rens, L.J., 2003).
- Voor optimale resultaten zijn bij de data invoer en de interpretatie van de uitkomsten de inzichten van deskundigen nodig.
- Het model is operationeel bij KEMA en mogelijk op aanvraag beschikbaar voor derden.

Onzekerheden

- Het zuiver gebruik van fysische en chemische vergelijkingen heeft, ten opzicht van eenvoudigere modellen, nog niet tot verbetering in de gemiddelde onzekerheid (30%) in de modeluitkomsten geleid. In complexe situaties, bij aanwezigheid van bebouwing en obstakels, kan de onzekerheid oplopen tot 50%.

2.7 TNO-HM (TNO Heaven Model)

Beschrijving

Het TNO-Heaven model is een uitgebreid luchtkwaliteitsmodel gebaseerd op het NNM en recent ontwikkeld in het kader van het Europese HEAVEN project. Met elementen van het verkeersmodel TNO-VM wordt de invloed van verkeerswegen meegenomen. Vanuit het HEAVEN project werd gestreefd naar de ontwikkeling van een decision support systeem dat rekening houdt met nagenoeg real-time informatie over onder andere verkeersemissies.

Het TNO-HM berekent actuele en toekomstige concentraties van een verscheidenheid aan vervuilen- de stoffen, waaronder NO₂ en PM₁₀, langs wegen in uurgemiddelden. Bij de berekeningen wordt rekening gehouden met de verkeersintensiteit, emissies, achtergrondconcentraties en weg- en omge- vingskenmerken. Op vooraanstaand wetenschappelijke wijze wordt de verspreiding van stoffen be- paald. De dispersie algoritmes en de meteorologie komen overeen met de uitgangspunten van het NNM (hierover bestaat (inter)nationaal consensus). In het model worden de weg als lijnbron met een groot aantal puntbronnen wordt beschreven zodat naast het rekenen met dwarsprofielen van de weg, ook gebruik gemaakt kan worden van flexibele receptorpunten. Het model is gekoppeld aan grote bestanden met gegevens over het Nederlandse wegennet, verkeersemissies en achtergrondconcen- traties.

Het model houdt rekening met:

- wegtypen op maat (vrij liggende weg, wegen met eenzijdige bebouwing en met dubbelzijdige be- bouwing)
- hoogteligging van de weg, viaducten en geluidsschermen en geluidswallen
- bomen langs de weg door gebruik te maken van een bomenfactor
- diverse klassen personenverkeer en vrachtverkeer
- onbeperkte snelheden
- turbulentie van het verkeer

Voordelen

- Het model maakt gebruik van een wetenschappelijk up-to-date meteorologisch model overeenko- mend met het NNM.
- Het model is een goede balans tussen fundamentele benadering en praktisch gebruik (DHV&TNO, 2005).
- De concentraties worden in uurgemiddelden berekend.
- Door de afstemming met het NNM kunnen andere bronnen integraal meegenomen worden.
- De percentielwaarden worden afgeleid van de berekende uurgemiddelde concentraties en hoeven niet afgeleid te worden van veronderstelde empirische relatie.

Nadelen

- Door veel voorkomende onzekerheid in de uurlijkse invoergegevens als toekomstige weersom- standigheden, achtergrondconcentraties en emissies is snel een gebrek aan voldoende goede in- voer om met uur-tot-uur berekeningen realistische en voldoende nauwkeurige uitkomsten te ver- krijgen (DHV&TNO, 2005).
- De omzetting van NO naar NO₂ wordt uitgerekend met empirische relaties die zijn opgesteld voor gemiddelde condities. In specifieke gevallen zorgt het gebruik van deze algemene relaties naar verwachting voor afwijkingen, maar dit is nog niet aangetoond (Erbrink, H., Vermeulen, J.P.L. en Rens, L.J., 2003).
- In complexe situaties is de verspreiding rond obstakels van groter belang dan een gedetailleerde beschrijving meteorologische invloeden en de lijnbronbenadering (Erbrink, H., Vermeulen, J.P.L. en Rens, L.J., 2003).
- De runtijden voor jaargemiddelden en situaties met veel bronnen zijn betrekkelijk lang.
- Het model is alleen operationeel bij TNO en niet commercieel beschikbaar.

- Het model is nog maar weinig toegepast en de informatie die beschikbaar is over de onzekerheid en validiteit van het model is gering, onzekerheden zijn middels een theoretische methode bepaald (Erbrink, H., Vermeulen, J.P.L. en Rens, L.J., 2003).
- Voor optimale resultaten zijn bij de data invoer en de interpretatie van de uitkomsten de inzichten van deskundigen nodig.

Onzekerheden

- Onzekerheid bij verhouding bijdragen achtergrond/bron 50%/50% is 23 tot 33%, afhankelijk complexiteit situaties
- De toename in gedetailleerdheid leidt niet tot grote reductie in onzekerheid. Doordat situatie complexer beschreven kunnen worden, neemt met name de onzekerheid als gevolg van de invoer toe.
- Onzekerheid in invoerparameters is dominant.

2.8 ADMS(Urban)

Beschrijving

Het ADMS-Urban model is een gedetailleerd luchtkwaliteitsmodel specifiek ontwikkeld voor het berekenen van de luchtkwaliteit in de stedelijke omgeving. Het model worden wereldwijd veelvuldig toegepast, onder anderen voor het maken van luchtkwaliteitskaarten van Londen.

ADMS (atmospheric dispersion modelling system) is een complex model gebaseerd wetenschappelijk vooraanstaande fysische theorieën. De resultaten worden verkregen met behulp van receptorpunten en op uurgemiddelde basis. De verkeerswegen worden als lijnbronnen gemodelleerd. Verder kan een verscheidenheid aan industriële bronnen in het model gedefinieerd worden. Voor de omgeving van de weg kunnen complexe landschappen met bergen, heuvels en kustlijnen gemodelleerd worden. ADMS-Urban is voor een groot aantal verschillende cases gevalideerd.

Voordelen

- ADMS is door gebruik te maken van receptorpunten nauwkeuriger en gedetailleerder dan CAR-II.

Nadelen

- Een risico in het gebruik van het relatief gedetailleerde ADMS model is dat ook gedetailleerde informatie benodigd is. Informatie die vaak niet of niet in de juiste vorm beschikbaar is. Het vinden en bewerken van data is erg tijdrovend.
- Door veel voorkomende onzekerheid in de uurlijkse invoergegevens als toekomstige weersomstandigheden, achtergrondconcentraties en emissies is snel een gebrek aan voldoende goede invoer om met uur-tot-uur berekeningen realistische en voldoende nauwkeurige uitkomsten te verkrijgen (DHV&TNO, 2005).
- Met name uurlijkse meteorologische gegevens kennen veel onzekerheden.

Onzekerheden

- Onzekerheid in invoerparameters is dominant. In een vergelijking van modelresultaten met metingen langs wegen (studie van Huang (2000) worden afwijkingen van 10 tot 20% gevonden.

2.9 CFD

Beschrijving

CFD (Computational Fluid Dynamics) modellering is een fundamentele en zeer nauwkeurige wijze van modelleren gebaseerd op stromingstheorieën. Ontwikkelingen zijn gaande (onder anderen veel aandacht in Duitsland) waarbij geprobeerd wordt de modellering geschikt te maken voor de PC. CFD richt zich op de verspreiding van stoffen in de atmosfeer en kan gekoppeld worden aan emissies (ook die van het verkeer). Voorbeelden van Duitse modellen zijn de driedimensionale model MISCAM en DISAM voor stedelijke omgevingen. De modellen worden gebruikt om voorberekende emissiewaarden te leveren aan eenvoudigere modellen. In Nederland wordt CFD door TNO in zeer specifieke (en uitzonderlijke) gevallen gebruikt.

Voordelen

- Voor zeer specifieke situatie relatief nauwkeurige verspreidingsberekeningen.

Nadelen

- Ongeschikt om in de praktijk toe te passen omdat één jaar doorrekenen al te veel rekenkracht vereist.

- Modellen zijn enkel gericht op de verspreiding van stoffen in de atmosfeer.
- In de fundamentele modellen mist de nauwkeurige modellering van voertuigemissies (DHV&TNO, 2005).

Onzekerheden

Niet bekend, maar naar verwachting voor sterk afgebakende situaties beperkt.

3 VOORBEELDEN VAN LUCHTKWALITEITSMODEL INPUT EN OUTPUT

3.1 CAR-II

De basisinvoergegevens worden in CAR-II gedefinieerd in één tabel, het stratenbestand. Daarnaast beschikt het model over databestanden de jaarlijkse meteorologische gegevens en achtergrondconcentraties van de jaren 2001 t/m 2004.

CAR II 4.0

StratenbestandRij wijzigenGebruikerHelp

Invoeren/wijzigen stratenbestand

Stratenbestand

C:\Program Files\TNO-MEP\CAR II 4.0\ Voorbeeld.txt

	Plaats	Straatnaam	X [m]	Y [m]	Intensiteit [mv/etm]	Fractie licht	Fractie middel zwaar	Fractie zwaar	Fractie autobus	Aantal parkeer- bewegingen	Snelheidstype	Wegtype	Bomenfactor	Afstand tot wegas [m]
	Haarlem	Zijlsingel	103380	488625	20314	0.94	0.05	0.01	0	0	Normaal stadsverkeer	3a	1	15
	Haarlem	Ged. Dude gracht	103764	488128	8093	0.37144	0.02856	0	0.6	0	Normaal stadsverkeer	3a	1	11
	Haarlem	Amsterdamse vaart	104828	488393	39558	0.957	0.01462	0.02838	0	0	Buitenweg	3a	1	15
	Haarlem	Spaardamseweg	104876	490173	29729	0.96	0.0136	0.0264	0	0	Normaal stadsverkeer	4	1.25	8
	Haarlem	Spaardamseweg	104876	490173	29729	0.96	0.0136	0.0264	0	0	Normaal stadsverkeer	3a	1.25	8
	Haarlem	Tempeliersstraat	103380	487800	6853	0.89	0.01	0.1	0	0	Stagnerend verkeer	3b	1	6

Annuleren

Afdrukken wegerbestand

Afsluiten

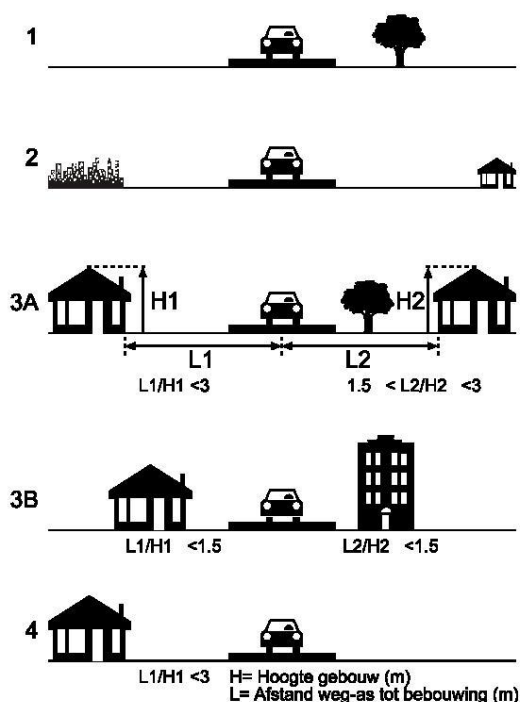
Rapportage Besluit Luchtkwaliteit

Verder

Opslaan

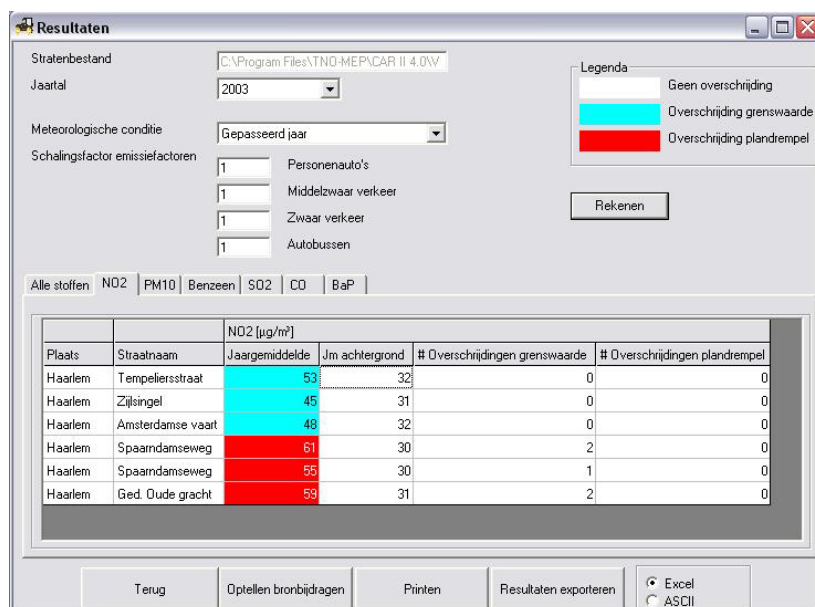
Figuur 3.1 Invoertabel weg, verkeer en omgevingskarakteristieken in CAR-II

De parameters die de eigenschappen en de omgeving van de weg in CAR-II beschrijven worden middels een dwarsdoorsnedemethode bepaald. De dwarsdoorsnedemethode kent 4 type wegen. Met onderstaand overzicht van dwarsdoorsnede kan het typ weg worden bepaald.

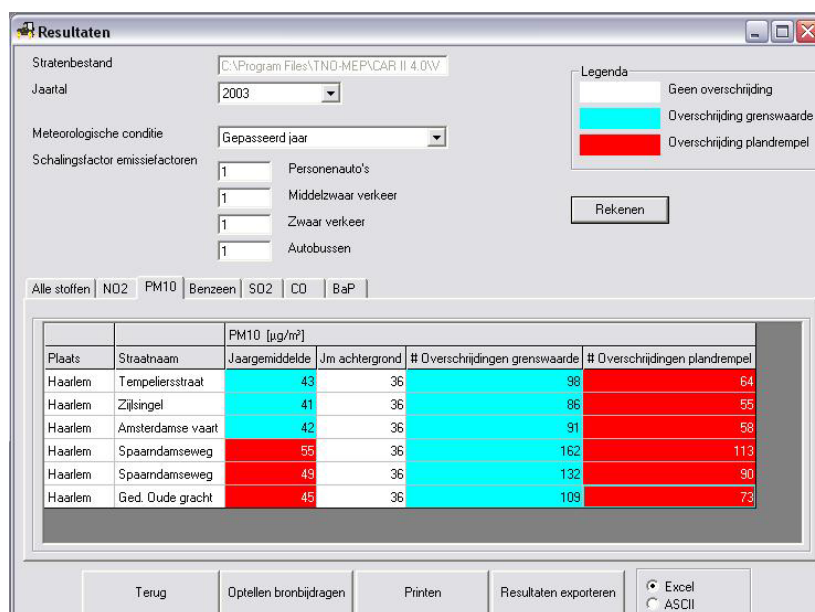


Figuur 3.2 Dwarsdoorsneden voor het definiëren van de omgevingskenmerken in CAR-II

De resultaten van de berekeningen worden in CAR-II in tabelvorm gepresenteerd. De resultaten kunnen ook in aparte databestanden verkregen worden of naar een apart excel-sjabloon die voldoet aan de eisen van de rapportage in het kader van het besluit Luchtkwaliteit, geëxporteerd worden



Figuur 3.3 Voorbeeld uitvoer CAR-II NO₂ concentraties en aantal overschrijdingen



Figuur 3.4 Voorbeeld uitvoer CAR-II met PM₁₀ concentraties en aantal overschrijdingen

3.2 ADMS

In ADMS worden de verschillende typen invoergegevens (weg-, verkeer- en omgevingskenmerken) apart ingevoerd. De weg en landschappelijke omgevingskenmerken worden als gedetailleerde netwerkbestanden (vanuit bijvoorbeeld GIS) in het model opgenomen. De meteorologische gegevens en achtergrond concentraties worden vanuit omvangrijke databestanden ingelezen. De verkeerskenmerken worden in tabelvorm ingevoerd.

Tabel I.1. Verkeerskundige invoergegevens 2004, autonome situatie

WB_ID	Naam	SNELHEID	Hoogte	Breedte	intensiteit	Etnaalvoertuigverdeling			Emissiefactoren NOx			Emissiefactoren PM10		
						fr_licht	fr_mzwaar	fr_zwaar	licht	mzwaar	zwaar	licht	mzwaar	zwaar
1	Kasteellaan	30	0	8	4600	0.97	0.03	0.01	0.750	14.800	21.500	0.086	0.596	0.710
2	Zutphensestraat	50	2	10	14953	0.89	0.06	0.05	0.680	11.180	16.240	0.075	0.463	0.556
3	Mansardehof	30	0	8	5100	0.96	0.03	0.01	0.750	14.800	21.500	0.086	0.596	0.710
4	Zutphensestraat	50	0	10	11868	0.89	0.06	0.05	0.680	11.180	16.240	0.075	0.463	0.556
5	Zutphensestraat	50	0	10	11868	0.89	0.06	0.05	0.680	11.180	16.240	0.075	0.463	0.556
6	oprit A50 zuidwaarts	120	2	10	2000	0.82	0.09	0.09	0.600	7.010	9.640	0.043	0.195	0.266
7	afrit A50 zuidwaarts	120	2	10	2560	0.82	0.09	0.09	0.460	8.590	12.740	0.043	0.306	0.409
9	afrit A50 noordwaarts uitvoegstrook	120	1	10	2000	0.82	0.09	0.09	0.460	8.590	12.740	0.043	0.306	0.409
11	A50 noordwaarts in- en uitvoegstrook	120	0	10	4560	0.82	0.09	0.09	0.600	7.010	9.640	0.043	0.195	0.266
12	oprit A50 noordwaarts invoegstrook	120	0	10	2560	0.82	0.09	0.09	0.600	7.010	9.640	0.043	0.195	0.266
13	Rijksweg A50	120	1	15	26000	0.82	0.09	0.09	0.600	7.010	9.640	0.043	0.195	0.266
14	Zutphensestraat, provweg	80	2	10	11502	0.89	0.06	0.05	0.460	8.590	12.740	0.043	0.306	0.409
15	Zutphensestraat, provweg	80	2	10	12234	0.89	0.06	0.05	0.460	8.590	12.740	0.043	0.306	0.409
16	Zutphensestraat, provweg	80	4	10	10062	0.89	0.06	0.05	0.460	8.590	12.740	0.043	0.306	0.409
17	Zutphensestraat, provweg	80	4	10	11374	0.89	0.06	0.05	0.460	8.590	12.740	0.043	0.306	0.409
18	Rijksweg A50	120	4	15	28000	0.82	0.09	0.09	0.600	7.010	9.640	0.043	0.195	0.266
19	Rijksweg A50	120	4	15	28000	0.82	0.09	0.09	0.600	7.010	9.640	0.043	0.195	0.266
20	Rijksweg A50	120	1	15	26000	0.82	0.09	0.09	0.600	7.010	9.640	0.043	0.195	0.266
24	Laan van Erica Z samen	50	2	20	20129	0.91	0.05	0.04	0.680	11.180	16.240	0.075	0.463	0.556
25	spoorlijn		3	8										
26	spoorlijn		2	8										
27	spoorlijn		2	4										
28	Zutphensestraat	50	0	10	11868	0.89	0.06	0.05	0.680	11.180	16.240	0.075	0.463	0.556
29	Zutphensestraat	50	0	10	11868	0.89	0.06	0.05	0.680	11.180	16.240	0.075	0.463	0.556
30	spoorlijn		2	4										
32	spoorlijn		3	8										
33	Rijksweg A50	120	0	15	28560	0.82	0.09	0.09	0.600	7.010	9.640	0.043	0.195	0.266
34	Rijksweg A50	120	0	15	28560	0.82	0.09	0.09	0.600	7.010	9.640	0.043	0.195	0.266
35	Laan van Osseveld samen	50	2	10	19565	0.91	0.05	0.04	0.680	11.180	16.240	0.075	0.463	0.556
36	Laan van Osseveld noordwaarts	50	0	5	9777	0.91	0.05	0.04	0.680	11.180	16.240	0.075	0.463	0.556
37	Zutphensestraat	50	2	10	14953	0.89	0.06	0.05	0.680	11.180	16.240	0.075	0.463	0.556
38	Zutphensestraat	50	0	15	14953	0.89	0.06	0.05	0.680	11.180	16.240	0.075	0.463	0.556
39	Laan van Osseveld zuidwaarts	50	0	10	9788	0.91	0.05	0.04	0.680	11.180	16.240	0.075	0.463	0.556
40	Laan van Erica N noordwaarts	50	0	10	9934	0.91	0.05	0.04	0.680	11.180	16.240	0.075	0.463	0.556
41	Laan van Erica N zuidwaarts	50	0	5	10195	0.91	0.05	0.04	0.680	11.180	16.240	0.075	0.463	0.556
42	Laan van Erica N samen	50	0	10	10065	0.91	0.05	0.04	0.680	11.180	16.240	0.075	0.463	0.556
43	spoorlijn		3	8										
44	Laan van Erica N zuidwaarts	50	0	10	10065	0.91	0.05	0.04	0.680	11.180	16.240	0.075	0.463	0.556
45	Laan van Erica Z noordwaarts	50	2	10	10065	0.91	0.05	0.04	0.680	11.180	16.240	0.075	0.463	0.556
46	Laan van Erica Z zuidwaarts	50	2	10	10065	0.91	0.05	0.04	0.680	11.180	16.240	0.075	0.463	0.556

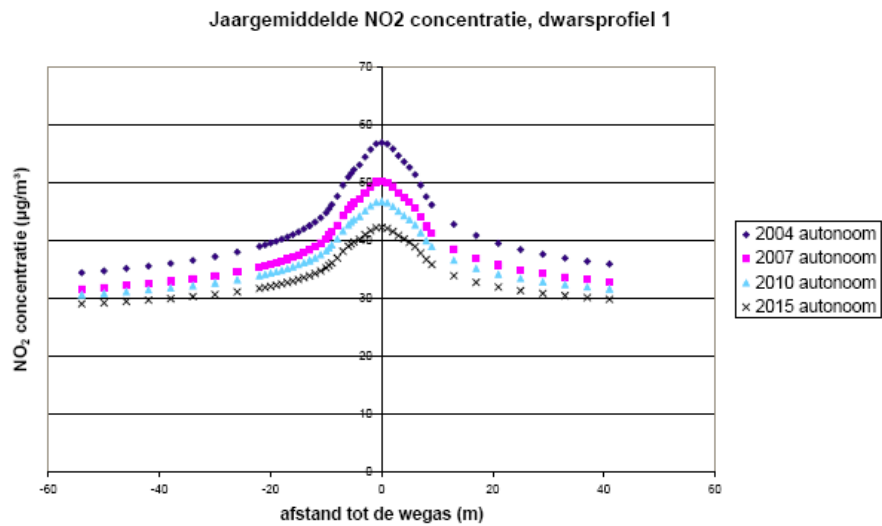
Figuur 3.5 Voorbeeld invoer ADMS model

De uitvoer van ADMS bestaat uit relatief omvangrijke databestanden. Vanuit de databestanden kunnen de gegevens bewerkt en op oneindig veel manier gepresenteerd worden. Daarnaast kunnen in ADMS op basis van de resultaten contourkaarten gemaakt worden.

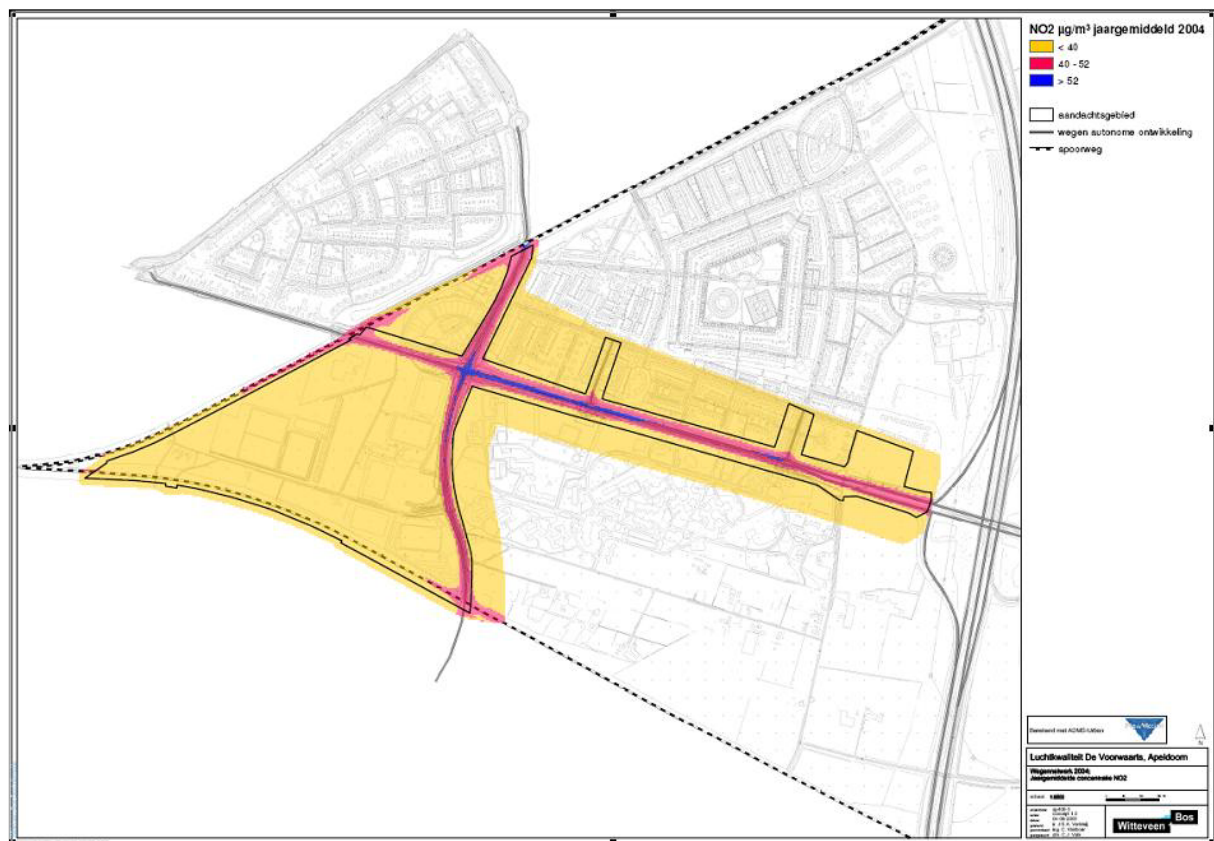
dwarsprofiel 1

	jaargemiddelde NO ₂			aantal overschrijdingen uurgemiddelde NO ₂			jaargemiddelde PM10			aantal overschrijdingen etmaalgemiddelde PM10		
	afstand [m]	max. conc.	norm conc.	afstand [m]	max. aantal	norm aantal (conc.)	afstand [m]	max. conc.	norm conc.	afstand [m]	max. aantal	norm aantal (conc.)
2004 A	6	57	52	-	10	18 (260)	-	37	42	>50	59	35 (55)
2007 A	6	50	46	-	13	18 (230)	-	40	40	>50	88	35 (50)
2010 A	8	47	40	5	21	18 (200)	-	35	40	>50	70	35 (50)
2015 A	4	42	40	-	14	18 (200)	-	34	40	>50	65	35 (50)
2007 R	12	57	46	7	18	18 (230)	9	42	40	>50	106	35 (50)
2010 R	16	52	40	12	32	18 (200)	-	37	40	>50	74	35 (50)
2015 R	11	46	40	9	21	18 (200)	-	36	40	>50	70	35 (50)

Figuur 3.6 Voorbeeld van uitvoer met tabel ADMS model



Figuur 3.7 Voorbeeld van uitvoer met dwarsdoorsnede ADMS model



Figuur 3.8 Voorbeeld van uitvoer met contourkaart ADMS model